

# **PERANCANGAN STRUKTUR ATAS GEDUNG APARTEMEN 10 LANTAI DI JAKARTA BARAT**

Laporan Tugas Akhir  
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana dari  
Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Oleh :

**SHANDY TRISAKTI PAIDING LEWA**  
NPM : 13 02 15092 / TS



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ATMA JAYA  
YOGYAKARTA**  
April 2018

**PENGESAHAN**

Laporan Tugas Akhir

**PERANCANGAN STRUKTUR ATAS GEDUNG APARTEMEN  
10 LANTAI DI JAKARTA BARAT**

Oleh :

SHANDY TRISAKTI PAIDING LEWA  
NPM. : 13 02 15092 / TS

Telah disetujui oleh Pembimbing

Yogyakarta, ..... 18 April 2018

Pembimbing



(Ir. A. Wahyono, M.T.)

Disahkan oleh:

Program Studi Teknik Sipil

Ketua



(Ir. A. Y. Harijanto, M.Eng., Ph.D)



## PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir

### PERANCANGAN STRUKTUR ATAS GEDUNG APARTEMEN 10 LANTAI DI JAKARTA BARAT


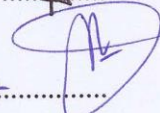



Oleh:

SHANDY TRISAKTI PAIDING LEWA

NPM : 13.02.15092

Telah diuji dan disetujui oleh:

	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	: Ir. A. Wahyono MT		: 18/04/18
Sekretaris	: Dinar Gumilang Jati, ST, M.Eng		: 24/4/2018
Anggota	: J. JANUATI SUJATI		: 24/4-18



## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Shandy Trisakti Pading Lewa

No. Mhs : 13 02 15092                      PPS : Struktur

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir dengan judul:

### **PERANCANGAN STRUKTUR ATAS GEDUNG APARTEMEN 10 LANTAI DI JAKARTA BARAT**

benar-benar merupakan hasil karya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide, data, hasil penelitian maupun kutipan langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tugas Akhir ini. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Tugas Akhir ini merupakan plagiasi, maka ijazah yang saya peroleh dinyatakan batal dan akan saya kembalikan kepada Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Yogyakarta,

Yang membuat pernyataan.

  
  
(Shandy Trisakti Pading Lewa)

## **KATA HANTAR**

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan berkat dan rahmatNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan pendidikan tinggi Strata-1 Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Dalam penyusunan dan penulisan Tugas Akhir ini, penulis bersyukur atas dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Sushardjanti Felasari, S.T., M.Sc., CAED, P.hD., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
2. Ir. A.Y. Harijanto, M.Eng., Ph.D, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
3. Dinar Gumilang Jati, S.T., M.Eng., selaku koordinator Tugas Akhir Struktur Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
4. Ir. Agustinus Wahjono, M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang bersedia memberikan pengarahan dan meluangkan waktu selama proses penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen dan Staf di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta, yang telah membimbing dan membantu penulis selama proses perkuliahan di Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

6. Keluarga besar tercinta penulis, yaitu Orang Tua serta Saudara dan Saudari yang telah memberikan dukungan dalam hal materi dan doa dengan penuh keikhlasan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Prayolga Toban Palili, S.Si., yang telah memberikan nasihat, dukungan dan doa selama penyusunan Tugas Akhir ini.
8. Angkatan XVII Jogja, dan Kontrakan INSTIPER yang memberikan dukungan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
9. Julianto Pagassang ,S.T., yang membantu mencari data penelitian untuk penyusunan Tugas Akhir ini.
10. Semua orang yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang mendukung selama melakukan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.

Penulisan laporan kerja praktek ini jauh dari sempurna sehingga kritik dan saran dari pembaca sangat penulis perlukan dalam menyempurnakan. Akhir kata penulis mengucapkan banyak terimakasih. Semoga laporan kerja praktik ini dapat bermanfaat bagi penulis dan rekan-rekan pembaca sekalian.

Yogyakarta, 23 Maret 2018

Penulis

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN.....	iv
KATA HANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN .....	xiv
INTISARI.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Keaslian Tugas Akhir .....	3
1.5. Tujuan Tugas Akhir .....	3
1.6. Manfaat Tugas Akhir .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1. Prinsip Dasar dalam Perencanaan Struktur.....	5
2.2. Respons Spektrum .....	7
2.3. Sistem Struktur Bangunan .....	8
2.3.1. Kolom.....	8
2.3.2. Balok .....	9
2.3.3. Pelat.....	11
2.3.4. Dinding Struktural.....	12
2.4. Mekanisme Kerja <i>Strong Column Weak Beam</i> .....	14
2.5. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.....	14
BAB III LANDASAN TEORI .....	16
3.1. Pembebanan.....	16
3.1.1. Kuat Perlu.....	16
3.1.2. Kuat Rencana .....	18
3.2. Perencanaan Gempa berdasarkan SNI 1726-2012.....	20
3.2.1. $S_{DS}$ dan $S_{D1}$ .....	20
3.2.2. Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa( $I_e$ ).....	20
3.2.3. Kategori Desain Seismik .....	23
3.2.4. Sistem Struktur dan Parameter Struktur Berdasarkan KDS .....	24
3.2.5. Periode Fundamental.....	25
3.2.6. Gaya Geser Dasar Seismik .....	26
3.3. Perancangan Elemen Struktur.....	29
3.3.1. Perencanaan Pelat .....	29

3.3.1.1.	Penentuan Jenis Pelat .....	29
3.3.1.2.	Desain Pelat Satu Arah.....	30
3.3.2.	Perencanaan Balok .....	34
3.3.2.1.	Tebal Minimum Balok .....	34
3.3.2.2.	Tulangan Longitudinal .....	34
3.3.2.3.	Tulangan Transversal .....	35
3.3.2.4.	Kekuatan Geser .....	36
3.3.3.	Perencanaan Kolom.....	38
3.3.3.1.	Beban Aksial Kolom.....	38
3.3.3.2.	Rasio Kelangsingan .....	38
3.3.3.3.	Kuat Lentur .....	39
3.3.3.4.	Tulangan Longitudinal.....	39
3.3.3.5.	Tulangan Transversal.....	39
3.3.3.6.	Kekuatan Geser.....	41
3.3.3.7.	<i>Joint</i> Rangka Momen Khusus.....	42
3.3.4.	Dinding Struktural.....	44
<b>BAB IV</b>	<b>ESTIMASI DIMENSI ELEMEN STRUKTUR.....</b>	<b>46</b>
4.1.	Estimasi Dimensi .....	46
4.2.	Estimasi Dimensi Pelat .....	46
4.2.1.	Pelat Satu Arah.....	47
4.2.2.	Pelat Dua Arah .....	48
4.3.	Estimasi Dimensi Balok.....	54
4.3.1.	Estimasi Balok Anak .....	55
4.3.1.1.	Pembebanan Balok Anak .....	55
4.3.1.2.	Momen Balok Anak .....	56
4.3.1.3.	Dimensi Balok Anak .....	57
4.3.2.	Estimasi Balok Induk .....	58
4.3.2.1.	Pembebanan Balok Induk.....	58
4.3.2.2.	Momen Balok Induk.....	59
4.3.2.3.	Dimensi Balok Induk.....	60
4.4.	Estimasi Dimensi Kolom .....	62
4.4.1.	Pembebanan Kolom .....	63
4.4.2.	Dimensi Kolom .....	64
4.5.	Estimasi Dimensi Dinding Struktural .....	76
4.6.	Estimasi Dimensi Tangga .....	77
4.6.1.	Estimasi Dimensi Tangga Lantai Dasar .....	77
4.6.2.	Estimasi Dimensi Tangga Lantai 2 – 10 .....	78
<b>BAB V</b>	<b>ANALISIS STRUKTUR.....</b>	<b>80</b>
5.1.	Analisis Gempa.....	80
5.1.1.	Parameter Percepatan Spektra Desain $S_{DS}$ dan $S_{D1}$ .....	80
5.1.2.	Kategori Resiko .....	81
5.1.3.	Kategori Desain Seismik (KDS) .....	81
5.1.4.	Sistem Struktur dan Parameter Struktur Berdasarkan KDS .....	81



5.1.5.	Faktor Keutamaan Gempa.....	82
5.1.6.	Desain Respons Spektrum.....	83
5.1.7.	Periode Fundamental.....	84
5.1.8.	Perhitungan Gempa Statik Ekuivalen.....	84
5.1.9.	Koefisien Seismik .....	85
5.1.10.	Analisi Respons Spektra Ragam .....	86
5.1.11.	Skala Nilai Desain untuk Respons Terkombinasi .....	87
5.1.12.	Simpangan Antar Lantai.....	90
5.1.13.	Pemeriksaan Pengaruh P-Delta .....	91
5.1.14.	Pemeriksaan Pengaruh Torsi .....	92
5.2.	Penulangan Pelat lantai.....	94
5.2.1.	Data Perencanaan .....	94
5.2.2.	Perhitungan Momen Pelat Lantai .....	94
5.2.3.	Perhitungan Tulangan Lentur Arah X (Lapangan dan Tumpuan) .....	95
5.2.4.	Perhitungan Tulangan Lentur Arah Y (Lapangan dan Tumpuan) .....	96
5.2.5.	Pemeriksaan Geser Pada Pelat Lantai .....	97
5.3.	Penulangan Pelat Tangga dan Bordes.....	99
5.3.1.	Data Perencanaan .....	99
5.3.2.	Perhitungan Tulangan Lentur (Longitudinal).....	99
5.3.3.	Perhitungan Tulangan Susut.....	101
5.4.	Penulangan Balok Bordes.....	102
5.4.1.	Data Perencanaan .....	102
5.4.2.	Perhitungan Tulangan Longitudinal Tumpuan (Momen Negatif).....	102
5.4.3.	Perhitungan Tulangan Longitudinal Tumpuan (Momen Positif) .....	105
5.4.4.	Perhitungan Tulangan Longitudinal Lapangan (Momen Negatif).....	107
5.4.5.	Perhitungan Tulangan Longitudinal Lapangan (Momen Positif) .....	109
5.4.6.	Perhitungan Tulangan Transversal.....	112
5.5.	Penulangan Balok .....	114
5.5.1.	Data Perencanaan .....	114
5.5.2.	Perhitungan Tulangan Longitudinal Tumpuan (Momen Negatif).....	114
5.5.3.	Perhitungan Tulangan Longitudinal Tumpuan (Momen Positif) .....	117
5.5.4.	Perhitungan Tulangan Longitudinal Lapangan (Momen Negatif).....	119
5.5.5.	Perhitungan Tulangan Longitudinal Lapangan (Momen Positif) .....	122
5.5.6.	Perhitungan Tulangan Transversal.....	124
5.6.	Penulangan Kolom.....	129
5.6.1.	Data Perencanaan .....	129

5.6.2. Pemeriksaan Tipe Portal.....	129
5.6.3. Pengaruh Kelangsingan Kolom.....	130
5.6.4. Perhitungan Tulangan Longitudinal.....	140
5.6.5. Kuat Kolom.....	143
5.6.6. Perhitungan Tulangan Transversal.....	145
5.7. Hubungan Balok Kolom.....	154
5.7.1. Perhitungan Tulangan Transversal.....	155
5.7.2. Nilai $M_{pr}$ - balok.....	155
5.8. Penulangan Dinding geser.....	158
5.8.1. Data Perencanaan.....	158
5.8.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Vertikal dan Horisontal.....	158
5.8.3. Pemeriksaan Kuat Geser Pada Dinding.....	160
5.8.4. Kebutuhan Tulangan Terhadap Kombinasi Gaya Aksial dan Lentur.....	160
5.8.5. Pemeriksaan Komponen Batas.....	162
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>163</b>
6.1. Kesimpulan.....	163
6.2. Saran.....	167
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>168</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Faktor Reduksi Kekuatan Desain.....	18
Tabel 3.2. Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung.....	20
Tabel 3.3. KDS Berdasarkan $S_{DS}$ .....	23
Tabel 3.4. KDS Berdasarkan $S_{D1}$ .....	23
Tabel 3.5. Sistem Struktur dan Parameter Struktur Berdasarkan KDS .....	24
Tabel 3.6. Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung .....	25
Tabel 3.7. Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$ .....	25
Tabel 3.8. Tabel Minimum Pelat.....	32
Tabel 3.9. Persyaratan Tulangan Susut dan Suhu untuk Pelat .....	33
Tabel 3.10. Tebal Minimum Balok .....	34
Tabel 4.1. Rekapitulasi Estimasi Tebal Pelat .....	54
Tabel 4.2. Tebal Minimum Balok Anak.....	57
Tabel 4.3. Tebal Minimum Balok Induk.....	60
Tabel 4.4. Rekapitulasi Dimensi Balok.....	61
Tabel 4.5. Rekapitulasi Dimensi Kolom .....	75
Tabel 4.6. Perhitungan Tebal Dinding Geser Lantai Dasar .....	76
Tabel 4.7. Perhitungan Tebal Dinding Geser Lantai 2-10 .....	76
Tabel 4.8. Rekapitulasi Dimensi Tangga .....	79
Tabel 5.1. Desain Respons Spektrum.....	83
Tabel 5.2. Partisipasi Massa .....	86
Tabel 5.3. Output Dinamik Arah X dan Y .....	87
Tabel 5.4. Output Dinamik Arah X dan Y (Lanjutan) .....	88
Tabel 5.5. Simpangan Antar Lantai Arah X.....	90
Tabel 5.6. Simpangan Antar Lantai Arah Y.....	91
Tabel 5.7. Koefisien Stabilitas Arah X.....	91
Tabel 5.8. Koefisien Stabilitas Arah Y.....	92
Tabel 5.9. Pemeriksaan Torsi Akibat Gempa Arah X.....	93
Tabel 5.10. Pemeriksaan Torsi Akibat Gempa Arah Y .....	93
Tabel 5.11. Data Gaya Momen dan Geser Tangga .....	99
Tabel 5.12. Data Gaya Momen dan Geser Balok Bordes B202 Lantai 2.....	102
Tabel 5.13. Data Gaya Momen dan Geser Balok B3 Lantai 2.....	114
Tabel 5.14. Data Gaya Momen, Aksial, dan Geser Kolom C20 Lantai 1 .....	129

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Kolom .....	9
Gambar 2.2.	Balok.....	10
Gambar 2.3.	(a)Penampang tekendali Tarik; (b) Penampang Daerah Transisi; (c) Penampang Tekendali Tekan .....	11
Gambar 2.4.	Pelat .....	12
Gambar 2.5.	Dinding Struktural .....	13
Gambar 2.6.	Mekanisme Kerja <i>Strong Column-Weak Beam</i> .....	14
Gambar 3.1.	Variasi Nilai $\Phi$ terhadap $\epsilon_t$ untuk $f_y = 420$ MPa.....	19
Gambar 3.2.	Eksponen yang Terkait dengan Periode Struktur .....	28
Gambar 3.3.	Rasio Bentang Pelat.....	30
Gambar 3.4.	Geser Desain Untuk Balok .....	37
Gambar 3.5.	Geser Desain Untuk Kolom.....	42
Gambar 4.1.	Pelat Satu Arah ( <i>One Way Slab</i> ) .....	47
Gambar 4.2.	Pelat Dua Arah ( <i>Two Way Slab</i> ).....	48
Gambar 4.3.	Penampang Balok L 550 x 750 .....	49
Gambar 4.4.	Penampang Balok T 550 x 750 .....	50
Gambar 4.5.	Penampang Balok T 350 x 550 .....	51
Gambar 4.6.	Penampang Balok T 300 x 550 .....	52
Gambar 4.7.	<i>Tributary Area</i> Balok Anak .....	55
Gambar 4.8.	<i>Tributary Area</i> Balok Induk .....	58
Gambar 4.9.	Perencanaan Tangga .....	79
Gambar 5.1.	Pelat Terkekang Empat Sisi .....	94
Gambar 5.2.	Detail Penulangan Pelat Lantai .....	98
Gambar 5.3.	Detail Penulangan Pelat Tangga dan Bordes.....	101
Gambar 5.4.	Penulangan Balok Bordes B202 Lantai 2.....	113
Gambar 5.5.	Penulangan Balok B3 Lantai 2 .....	127
Gambar 5.6.	Detail Penulangan Balok B3 Lantai 2 .....	128
Gambar 5.7.	Faktor Panjang Efektif Arah X .....	135
Gambar 5.8.	Faktor Panjang Efektif Arah Y .....	139
Gambar 5.9.	Diagram Interaksi $\Phi M_n - \Phi P_n$ .....	141
Gambar 5.10.	Diagram Interaksi $M_n - P_n$ .....	144
Gambar 5.11.	Tulangan Geser Kolom.....	146
Gambar 5.12.	Diagram Interaksi $M_{pr} - P_{pr}$ .....	148
Gambar 5.13.	Penulangan Kolom C20 Lantai 1 .....	153
Gambar 5.14.	Detail Penulangan Kolom C20 Lantai 1 .....	153
Gambar 5.15.	Detail Tulangan Hubungan Balok Kolom .....	156
Gambar 5.16.	Diagram Interaksi Dinding Geser.....	160
Gambar 5.17.	Penulangan Dinding Geser .....	161

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Pemodelan Struktur pada *ETABS*
- Lampiran 2. Rencana Balok dan Kolom Lantai Dasar
- Lampiran 3. Rencana Balok dan Kolom Lantai 2-10
- Lampiran 4. Portal Kolom dan Balok
- Lampiran 5. Detail Pelat Lantai
- Lampiran 6. Detail Balok
- Lampiran 7. Detail Kolom
- Lampiran 8. Detail Hubungan Balok dan Kolom
- Lampiran 9. Detail Tangga
- Lampiran 10. Detail Dinding Geser
- Lampiran 11. *Output* Data Kolom C20 dari Program *ETABS*
- Lampiran 12. *Output* Data Balok B3 dari Program *ETABS*
- Lampiran 13. *Output* Data Balok Bordes B202 dari Program *ETABS*
- Lampiran 14. Diagram Interaksi  $\Phi M_n - \Phi P_n$
- Lampiran 15. Diagram Interaksi  $M_n - P_n$
- Lampiran 16. Diagram Interaksi  $M_{pr} - P_{pr}$
- Lampiran 17. Perhitungan Balok Induk dengan bentang 8,1 m
- Lampiran 18. Potongan Penulangan Balok dengan bentang 8,1 m
- Lampiran 19. Detail Penulangan Balok dengan bentang 8,1 m

## ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

$A_b$	= luas setiap batang tulangan, mm <sup>2</sup>
$A_{ch}$	= luas penampang inti beton, mm <sup>2</sup>
$A_{cv}$	= luas penampang bruto beton yang dibatasi oleh tebal badan dan panjang penampang dalam arah gaya geser yang ditinjau, mm <sup>2</sup>
$A_g$	= luas bruto penampang beton, mm <sup>2</sup>
$A_j$	= luas efektif joint, mm <sup>2</sup>
$A_s$	= luas tulangan tarik longitudinal non-prategang, mm <sup>2</sup>
$A_{sh}$	= luas tulangan sengkang, mm <sup>2</sup>
$A_v$	= luas tulangan geser dalam daerah berjarak $S$ , mm <sup>2</sup>
$b$	= lebar penampang, mm
$b_w$	= lebar bagian badan, mm
$C_1, C_2$	= gaya tekan tulangan, kN
$d$	= jarak serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik, mm
$DF$	= faktor distribusi momen untuk kolom
$E_c$	= modulus elastisitas beton, MPa
$E_s$	= modulus elastisitas baja tulangan, MPa
$f_c'$	= kuat tekan beton yang disyaratkan, MPa
$f_y$	= kuat leleh tulangan yang diisyaratkan, MPa
$f_{yt}$	= kuat leleh tulangan transversal yang disyaratkan, MPa
$h$	= tinggi penampang, mm
$h_c$	= lebar penampang inti kolom, mm
$h_w$	= tinggi dinding keseluruhan atau segmen dinding yang ditinjau, mm
$h_x$	= spasi pengikat silang pada semua muka kolom, mm
$I$	= momen inersia penampang terhadap sumbu pusat, mm <sup>4</sup>
$I_g$	= momen inersia penampang beton bruto terhadap sumbu pusat, yang mengabaikan tulangan, mm <sup>4</sup>
$k$	= faktor panjang efektif untuk komponen struktur tekan
$l$	= panjang bentang, mm
$l_o$	= panjang yang diukur dari muka <i>joint</i> sepanjang sumbu komponen struktur, dimana tulangan transversal khusus disediakan, mm
$l_u$	= panjang tak tertumpu komponen struktur tekan, mm
$l_w$	= panjang keseluruhan dinding atau segmen dinding yang ditinjau dalam arah gaya geser, mm
$l_x$	= panjang bentang terpendek, mm
$l_y$	= panjang bentang terpanjang, mm
$M_n$	= kuat momen nominal pada penampang, kN.m
$M_{pr}^+$	= momen kapasitas positif pada penampang, kN.m
$M_{pr}^-$	= momen kapasitas negatif pada penampang, kN.m
$M_u$	= momen terfaktor penampang, kN.m
$M_1$	= momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen struktur tekan, kN.m
$M_2$	= momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen struktur tekan, kN.m
$n$	= jumlah benda, seperti uji kekuatan dan batang tulangan



$N_{DL}$	= gaya aksial akibat beban mati, kN
$N_{LL}$	= gaya aksial akibat beban hidup, kN
$N_u$	= beban aksial terfaktor yang terjadi bersamaan dengan $V_u$ , kN
$P_n$	= kuat nominal penampang yang mengalami tekan, kN
$q_{DL}$	= beban mati terfaktor per satuan luas, kN/mm <sup>2</sup>
$q_{LL}$	= beban hidup terfaktor per satuan luas, kN/mm <sup>2</sup>
$Q$	= indeks stabilitas
$R$	= faktor reduksi gempa
$R_n$	= tahanan momen nominal, mm
$r$	= radius girasi, mm
$S$	= spasi antar tulangan, mm
$T_1, T_2$	= gaya tarik tulangan, kN
$T_x, T_y$	= waktu getar alami struktur, detik
$V$	= gaya geser nominal statik ekuivalen akibat pengaruh gempa rencana yang bekerja di tingkat dasar struktur, kN
$V_c$	= gaya geser dasar nominal yang disumbangkan oleh beton, kN
$V_e$	= gaya geser akibat gempa, kN
$V_g$	= gaya geser akibat beban gravitasi, kN
$V_j$	= gaya geser pada <i>joint</i> , kN
$V_n$	= kuat geser nominal, kN
$V_s$	= kuat geser nominal yang disumbangkan tulangan geser, kN
$V_u$	= gaya geser terfaktor pada penampang, kN
$W$	= berat total gedung, kN
$W_u$	= beban terfaktor per unit panjang dari balok atau per unit luas untuk pelat, kN/m
$\beta$	= rasio dimensi panjang terhadap pendek, bentang bersih pelat dua arah, kN
$\beta_1$	= faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral
$\rho$	= rasio tulangan tarik non-prategang, kN
$\epsilon_t$	= regangan tarik neto dalam lapisan terluar baja tarik longitudinal pada kuat nominal
$\Phi$	= faktor reduksi kekuatan

## INTISARI

**PERANCANGAN STRUKTUR ATAS GEDUNG APARTEMEN 10 LANTAI DI JAKARTA BARAT**, Shandy Trisakti Paiding Lewa NPM 130215092, tahun 2018, bidang peminatan Struktur, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Jakarta merupakan salah satu kota terbesar di Indonesia yang menjadi pusat pemerintahan dan perekonomian Indonesia. Hal ini menyebabkan banyak masyarakat dari luar kota datang untuk mencari pekerjaan di kota Jakarta. Meningkatnya jumlah populasi tidak sebanding dengan ketersediaan lahan di kota Jakarta. Semakin berkurangnya lahan yang tersedia di Jakarta membuat harga tanah di kota tersebut melambung tinggi. Solusi yang bisa dijadikan salah satu alternatif adalah tempat tinggal vertikal seperti apartemen atau rumah susun. Perancangan bangunan vertikal harus berdasarkan ketentuan standar yang berlaku di Indonesia.

Tugas Akhir Perancangan Struktur Atas Gedung Apartemen 10 Lantai Di Jakarta Barat terdiri dari 10 lantai dengan struktur yang digunakan adalah struktur beton bertulang. Perancangan ini mengacu pada peraturan SNI2847:2013 untuk beton struktural, SNI 1726:2012 untuk analisis gempa dan SNI 1727:2013 untuk pembebanan. Elemen struktur yang ditinjau pada perancangan adalah pelat, balok, kolom, tangga, hubungan balok kolom, dan dinding geser. Bangunan berada pada Kategori Desain Seismik D. Sistem struktur yang diterapkan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Mutu beton  $f_c' = 30$  MPa, dan mutu baja tulangan  $f_y = 400$  MPa. Analisis struktur menggunakan program bantu *ETABS*.

Hasil dari perancangan elemen struktur yang diperoleh pada Tugas Akhir ini berupa dimensi pelat, tangga, kolom, balok, hubungan balok kolom dan dinding geser. Penulangan pada elemen struktur yang ditinjau pada Tugas Akhir ini meliputi pelat lantai dengan tebal 125 mm dengan tulangan arah X dan Y adalah P10-200, balok induk (500x750) mm<sup>2</sup> dengan tulangan pokok pada tumpuan 7D25 dan 6D25 dengan tulangan geser 2P10-100 dan pada lapangan 3D25 dengan tulangan geser 2P-200, kolom (800x900) mm<sup>2</sup> tulangan pokok 18D25 dan tulangan geser 5P10-100 untuk tumpuan dan 5P10-150 untuk lapangan, hubungan balok kolom, tangga dengan ketinggian 3,5 m, dan dinding geser dengan tebal 300 mm dengan tulangan horisontal dan vertikal yang digunakan D20-300.

Kata Kunci : Perancangan Struktur, Analisis Gempa, SRPMK, *ETABS*, Pelat Lantai, Balok, Kolom, Tangga, Hubungan Balok Kolom, Dinding Geser

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Jakarta merupakan salah satu kota terbesar di Indonesia. Kota Jakarta merupakan sebuah kota yang menjadi pusat pemerintahan dan pusat perekonomian Indonesia. Hal ini menyebabkan banyak masyarakat dari luar kota datang untuk menjadi pekerjaan di kota Jakarta. Hal ini menyebabkan melonjaknya jumlah penduduk setiap tahunnya. Meningkatnya jumlah populasi warga Jakarta tidak sebanding dengan ketersediaan lahan di kota Jakarta. Oleh sebab itu, apartemen dan rumah susun dibutuhkan sebagai salah satu pilihan tempat tinggal di kota Jakarta.

Kebutuhan manusia akan ruang semakin meningkat sebanding dengan bertambahnya jumlah penduduk. Namun lahan yang tersedia untuk dijadikan tempat tinggal semakin berkurang. Semakin berkurangnya lahan yang tersedia di Jakarta membuat harga tanah di kota tersebut melambung tinggi.

Solusi yang bisa dijadikan salah satu alternatif adalah tempat tinggal vertikal seperti apartemen atau rumah susun. Apartemen merupakan sebuah pilihan alternatif tempat tinggal yang tepat bagi penduduk di perkotaan seperti kota Jakarta. Pembangunan apartemen atau rumah susun dapat menggunakan lahan yang minim dan dapat menampung kapasitas orang yang banyak. Puri

*Mansion Apartment* yang berlokasi di Jakarta Barat dibangun sebagai salah satu solusi untuk mengatasi masalah keterbatasan lahan di Jakarta.

Perancangan bangunan seperti apartemen memerlukan beberapa kriteria seperti kekuatan struktur, ekonomis, fungsional dan memiliki nilai estetika. Perancangan bangunan vertikal harus berdasarkan ketentuan standar yang berlaku di Indonesia.

### 1.2. **Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dari Tugas Akhir ini adalah merencanakan struktur atas dari bangunan bertingkat tinggi yang aman terhadap beban-beban yang terjadi. Perencanaan struktur atas meliputi analisis dan estimasi dimensi struktur, perencanaan penulangan balok, kolom, pelat lantai dan atap, dan tangga sesuai dengan standar yang berlaku di Indonesia.

### 1.3. **Batasan Masalah**

Batasan masalah dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Struktur bangunan yang dirancang sebagai bahan perancangan mengacu pada gambar arsitek gedung Puri *Mansion Apartment Tower B* dengan modifikasi dari 33 lantai menjadi 10 lantai.
2. Perancangan meliputi: balok, kolom, pelat, tangga dan dinding struktural.
3. Elemen struktur menggunakan beton bertulang.
4. Perancangan elemen struktur mengacu pada Tata Cara Struktur Beton untuk Bangunan SNI 2847:2013.

5. Analisis perencanaan ketahanan gempa mengacu pada Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung SNI 1726:2012.
6. Analisis gempa menggunakan metode analisis beban gempa statis ekuivalen dengan respon spektrum.
7. Analisis menggunakan beban mati, beban hidup, dan beban gempa sesuai dengan Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 1727:2013.
8. Analisis struktur dilakukan dengan bantuan program *ETABS Nonlinear version 7.10*.
9. Spesifikasi material yang digunakan:
  - a. Beton bertulang dengan  $f'c$ : 30 MPa.
  - b. Baja tulangan dengan ulir dengan  $f_y$ : 400 MPa.
  - c. Baja tulangan polos dengan  $f_y$ : 240 Mpa.

#### **1.4. Keaslian Tugas Akhir**

Berdasarkan penelusuran yang telah dilakukan penulis, perancangan bangunan dengan judul Perancangan Struktur Atas Gedung Apartemen 10 Lantai di Jakarta Barat belum pernah dilakukan.

#### **1.5. Tujuan Tugas Akhir**

Pengerjaan Tugas Akhir yang dilakukan penulis bertujuan untuk merencanakan elemen struktur atas yang aman terhadap beban-beban yang terjadi dan sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia.

### **1.6. Manfaat Tugas Akhir**

Dengan penulisan Tugas Akhir ini diharapkan penulis mampu merancang bangunan vertikal bertingkat tinggi sesuai dengan ilmu yang telah diperoleh di bangku perkuliahan agar sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia. Selain itu diharapkan agar Tugas Akhir dari penulis dapat menjadi referensi dan acuan bagi mahasiswa yang akan melakukan perancangan bangunan vertikal bertingkat tinggi.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Prinsip Dasar dalam Perencanaan Struktur**

Perencanaan adalah salah satu tahap penting dalam sebuah rangkaian proses membangun sebuah struktur bangunan. Menurut SNI 2847:2013 Pasal 9.1, struktur dan komponen struktur yang didesain harus memiliki kekuatan desain di semua penampang paling sedikit sama dengan kekuatan perlu yang dihitung untuk beban dan gaya terfaktor dalam kombinasi sedemikian rupa seperti yang ditetapkan dalam Standar Nasional Indonesia.

Menurut Heinz Frick (2006), prinsip-prinsip dasar dalam perencanaan struktur tahan gempa adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan bangunan tahan gempa haruslah terencana dan teratur secara geometri. Bagian yang menahan beban dengan yang tidak harus dianggap sebagai satu kesatuan yang saling mempengaruhi.
2. Bangunan harus dibuat seringan mungkin, maka harus diperhitungkan bahan bangunan yang dipakai. Semakin berat bangunan, semakin besar beban yang ditanggung oleh bagian bangunan yang menerima beban (tiang/kolom) dan potensi kerusakan jika terjadi gempa bumi. Jika bangunan semakin tinggi haruslah lebih ringan lagi. Bagian atap bangunan yang berat akan membahayakan struktur dan penghuni di bawahnya.

3. Struktur yang direncanakan haruslah sesederhana mungkin sehingga jalur beban gaya yang meninggi (vertikal) maupun mendatar (horisontal) dapat dimengerti dengan mudah, semakin sederhana struktur bangunannya, maka akan semakin tahan terhadap guncangan gempa yang keras.
4. Denah sebaiknya dirancang dengan sesimetris mungkin, seimbang ukurannya antara bagian kiri dan kanan, depan dengan belakang bangunan. Dapat pula berbentuk bujur sangkar maupun lingkaran penuh.
5. Struktur yang meninggi (vertikal), seperti tiang/ kolom, dan kuda-kuda, ditempatkan sedemikian rupa, sehingga dapat menerima beban terbesar. Semakin besar gaya vertikal, semakin besar pula ketahanan terhadap gaya gempa yang berguncang dan memuntir ke segala arah.
6. Jika ada tangga, lift, eskalator, haruslah diletakkan sedekat mungkin dengan pusat bangunan.
7. Potongan vertikal bangunan sebaiknya berbentuk segi empat.
8. Tinggi bangunan sebaiknya tidak melebihi empat kali lebar gedung.
9. Struktur bangunan sebaiknya dipilih yang monolit, berarti seluruh konstruksi bangunan dikonstruksikan dengan bahan bangunan yang sama karena pada saat terjadi gempa, bahan bangunan yang berbeda akan memberikan reaksi yang berbeda pula.
10. Ketebalan pelat lantai pada bangunan bertingkat dengan ketebalan balok sebaiknya lebih besar daripada biasanya untuk menghindari getaran vertikal sejauh mungkin. Balok tidak boleh dibuat lebih besar daripada tiang tumpuannya agar tidak terjadi ketegangan tambahan.

11. Ring balok horisontal pada setiap tingkat dengan batang tarik diagonal dapat meningkatkan kestabilan bangunan.
12. Fondasi harus dibuat sesederhana dan sekuat mungkin agar tidak patah pada saat gempa bumi. Sebaiknya membuat pelat lantai beton bertulang dan pondasi lajur dengan balok lantai beton bertulang. Pondasi setempat sebaiknya dihindari.
13. Reaksi suatu bangunan pada saat terjadi gempa bumi tergantung pada cara pembangunannya, bukan pada cara perencanaannya. Maka sangat pentinglah manajemen atau pengaturan pembuatan serta pengawasan pada saat pelaksanaan pembangunan yang menjamin kualitas bangunan. Juga diperlukan pemeliharaan dan perawatan bangunan ketika bangunan selesai dan nantinya digunakan.
14. Perubahan suatu gedung dan melakukan pembangunan tambahan harus dilakukan dengan cermat karena dapat mengubah kestabilan gedung terhadap gempa bumi.

## **2.2. Respons Spektrum**

Menurut Pawirodikromo (2012), metode respons struktur merupakan salah satu cara untuk menghitung simpangan, gaya – gaya dinamika, dll pada struktur derajat kebebasan banyak. Respons struktur dapat digunakan untuk keperluan praktis dalam menentukan gaya gempa rencana dalam bentuk gaya horisontal dengan cara menyederhanakan beban dinamik menjadi beban statik ekuivalen.

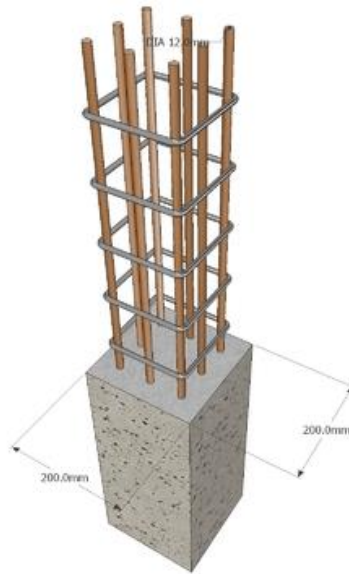
## **2.3. Sistem Struktur Bangunan**

### **2.3.1. Kolom**

Menurut SNI 2847-2013 pasal 2.2, kolom adalah komponen struktur dengan rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil melampaui 3 yang digunakan terutama untuk menumpu beban tekan aksial. Untuk komponen struktur dengan perubahan dimensi lateral, dimensi lateral terkecil adalah rata-rata dimensi atas dan bawah sisi yang lebih kecil.

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peranan penting dari suatu bangunan, sehingga keruntuhan pada suatu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan runtuhnya (*collapse*) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*total collapse*) seluruh struktur (Sudarmoko, 1996).

Menurut SNI 2847-2013 pasal 8.10.1, kolom harus dirancang untuk menahan gaya aksial dari beban terfaktor pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang lantai atau atap bersebelahan yang ditinjau. Kondisi pembebanan yang memberikan rasio momen maksimum terhadap beban aksial harus juga ditinjau.



Gambar 2.1 Kolom  
(Sumber dari 3dwarehouse.sketchup.com)

### 2.3.2. Balok

Balok adalah komponen struktur yang bertugas meneruskan beban yang disangga sendiri maupun dari plat kepada kolom penyangga. Balok menahan gaya-gaya yang bekerja dalam arah transversal terhadap sumbunya yang mengakibatkan terjadinya lenturan (Dipohusodo, 1994).

Menurut Nawy (1990), berdasarkan jenis keruntuhan, keruntuhan yang terjadi pada balok dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu:

#### 1. Kondisi Regangan Seimbang

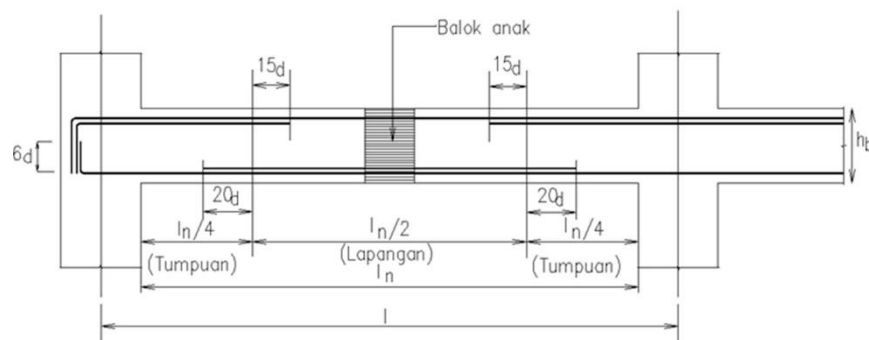
Tulangan tarik mulai leleh tepat pada saat beton mencapai regangan batasnya dan akan hancur karena tekan. Pada saat awal terjadinya keruntuhan, regangan tekan yang diijinkan pada saat serat tepi yang tertekan adalah 0,003 sedangkan regangan baja sama dengan regangan lelehnya yaitu  $\epsilon_y = f_y / E_c$ .

## 2. Penampang Terkendali Tekan

Keruntuhan ditandai dengan hancurnya beton yang tertekan. Pada awal keruntuhan, regangan baja  $\epsilon_s$  yang terjadi masih lebih kecil daripada regangan lelehnya  $\epsilon_y$ . Dengan demikian tegangan baja  $f_s$  juga lebih kecil daripada tegangan lelehnya  $f_y$ . Kondisi ini terjadi apabila tulangan yang digunakan lebih banyak daripada yang diperlukan dalam keadaan *balanced*.

## 3. Penampang Terkendali Tarik

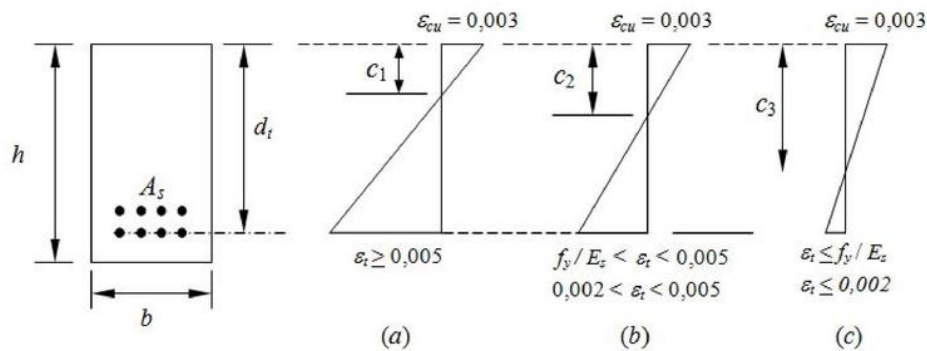
Keruntuhan ditandai dengan terjadinya leleh pada tulangan baja. Kondisi penampang yang demikian dapat terjadi apabila tulangan tarik yang dipakai pada balok kurang dari yang diperlukan untuk kondisi *balanced*.



Gambar 2.2 Balok

(Sumber dari <http://www.perencanaanstruktur.com/2012/03/ketentuan-standard-penggambaran-detail.html>)

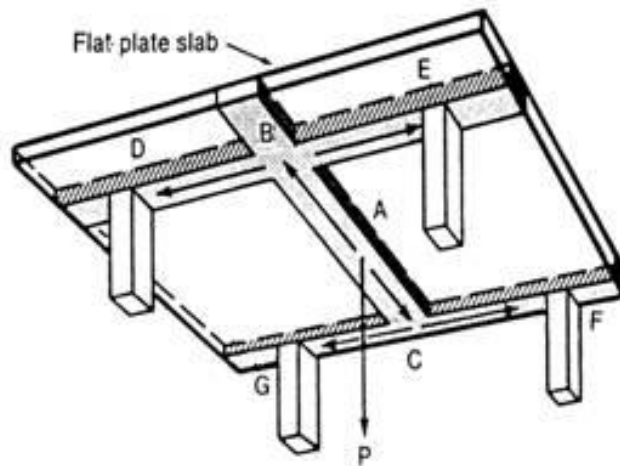




Gambar 2.3 (a) Penampang Terkendali Tarik; (b) Penampang Daerah Transisi; (c) Penampang Terkendali Tekan  
(Sumber dari <http://www.perencanaanstruktur.com/2012/03/ketentuan-standard-penggambaran-detail.html>)

### 2.3.3. Pelat

Menurut Nawy (1998) pelat merupakan elemen horizontal utama yang menyalurkan beban hidup maupun beban mati ke rangka pendukung vertikal dari suatu sistem struktur. Di dalam konstruksi beton bertulang, pelat digunakan untuk mendapatkan permukaan datar. Sebuah pelat beton bertulang merupakan sebuah bidang datar yang lebar, yang mempunyai arah horizontal dengan permukaan atas dan bawahnya sejajar atau mendekati sejajar. Pelat biasanya ditumpu oleh gelagar atau balok beton bertulang (biasanya pelat dicor menjadi satu kesatuan dengan gelagar tersebut), oleh dinding pasangan batu bata atau dinding beton bertulang, oleh batang-batang struktur baja, secara langsung oleh kolom-kolom, atau tertumpu secara menerus oleh tanah.



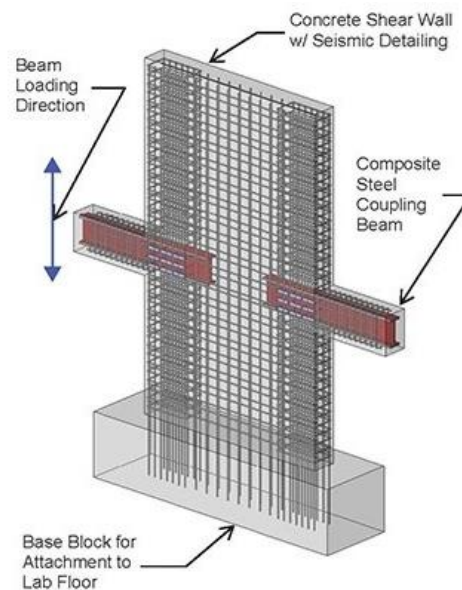
Gambar 2.4 Pelat  
(Sumber dari oneeightytwocivil.blogspot.com)

#### 2.3.4. Dinding Struktural

Menurut SNI 2847-2013, dinding struktural adalah dinding yang diproporsikan untuk menahan kombinasi geser, momen, dan gaya aksial. Dinding geser adalah dinding struktural yang ditetapkan sebagai bagian sistem penahan gaya gempa bisa dikategorikan sebagai berikut:

1. Dinding Beton Polos Struktur Biasa (*ordinary Structural Plain Concrete Wall*) adalah dinding yang memenuhi prasyarat minimum untuk desai dan pelaksanaan konstruksi beton polos struktural (cor di tempat atau pracetak) sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 22.
2. Dinding Struktural Pracetak Menengah (*Intermediate Precast Structural Wall*) adalah dinding yang memenuhi persyaratan SNI 2847-2013 pasal 1 sampai 18.

3. Dinding Struktural Khusus (*Special Structural Wall*) adalah dinding cor di tempat atau pracetak yang memenuhi persyaratan SNI 2847-2013 pasal 21.1.3 sampai 21.1.7, 21.9, dan 21.10 sebagaimana sesuai, sebagaimana tambahan pada persyaratan untuk dinding struktur beton bertulang biasa.



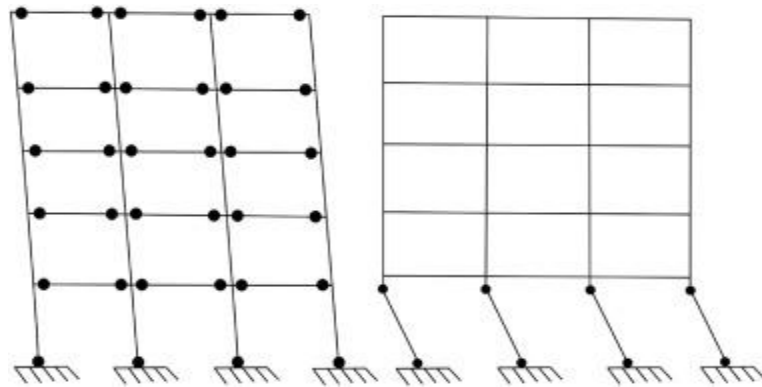
Gambar 2.5 Dinding Struktural

( Sumber dari <http://jurnalarsitek.blogspot.co.id/2017/04/perencanaan-penulangan-struktur-dinding.html> )

#### 2.4. Mekanisme Kerja Strong Column-Weak Beam

Hubungan antara kolom dan balok merupakan daerah yang rawan terhadap gaya lateral gempa. Pada saat struktur mendapat gaya lateral gempa, distribusi kerusakan sepanjang ketinggian gedung bergantung pada simpangan antar lantai. Jika struktur memiliki balok yang lebih kuat dari kolom, maka simpangan antar lantai akan berpusat pada satu lantai saja (*soft story effect*). Jika kolom lebih kuat

dari balok (*strong column-weak beam*), maka simpangan antar lantai akan tersebar merata pada setiap lantai dan keruntuhan pada satu lantai dapat dimimalkan.



Gambar 2.6 Mekanisme Kerja *Strong Column-Weak Beam*

(Sumber dari researchgate.net)

## 2.5. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) adalah desain struktur beton bertulang dengan pendetailan yang menghasilkan struktur yang fleksibel (memiliki daktilitas tinggi). Desain struktur beton bertulang dengan SRPMK sudah dimulai sejak tahun 1960 (Blume et al, 1961) dan pertama kali diwajibkan penggunaannya untuk wilayah yang memiliki resiko gempa tinggi dalam *Uniform Building Code* (ICBO 1973). Berdasarkan pengalaman para praktisi, untuk desain yang ekonomis dengan SRPMK, bentang balok yang proporsional adalah 6 sampai 9 m. Untuk jarak antar lantai yang tinggi, perlu diperhatikan kemungkinan *soft story*. Pendetailan dalam SRPMK bertujuan untuk mendapatkan struktur yang bersifat daktil. Beberapa ketentuan SRPMK:

- a. Tulangan sengkang dipasang dengan rapat terutama pada bagian struktur yang mengalami kelelahan seperti hubungan balok-kolom untuk mencegah keruntuhan geser
- b. Pada analisa kekuatan geser pada balok atau kolom, kekuatan geser dari beton ( $V_c$ ) diabaikan terutama pada balok yang mengalami gaya aksial kecil, sehingga hanya tulangan saja yang menahan gaya geser.
- c. Lokasi dan pendetailan *splice* untuk mencegah keruntuhan akibat *splice*.

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1. Pembebanan

Beban-beban yang akan digunakan dalam perencanaan struktur gedung meliputi beban hidup, beban mati dan beban gempa.

##### 3.1.1. Kuat Perlu

Berdasarkan SNI 284-2013 dan SNI 1726-2012 didapatkan beberapa kombinasi pembebanan untuk bangunan gedung, kombinasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$1. U = 1,4D \quad (3-1)$$

$$2. U = 1,2D + 1,6L \quad (3-2)$$

$$3. U = (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0 L + \rho.E_X + 0,3.\rho.E_Y \quad (3-3)$$

$$4. U = (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0 L + \rho.E_X - 0,3.\rho.E_Y \quad (3-4)$$

$$5. U = (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0 L - \rho.E_X + 0,3.\rho.E_Y \quad (3-5)$$

$$6. U = (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0 L - \rho.E_X - 0,3.\rho.E_Y \quad (3-6)$$

$$7. U = (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0 L + 0,3.\rho.E_X + \rho.E_Y \quad (3-7)$$

$$8. U = (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0 L + 0,3.\rho.E_X - \rho.E_Y \quad (3-8)$$

$$9. U = (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0 L - 0,3.\rho.E_X + \rho.E_Y \quad (3-9)$$

$$10. U = (1,2 + 0,2 S_{DS})D + 1,0 L - 0,3.\rho.E_X - \rho.E_Y \quad (3-10)$$

$$11. U = (0,9 - 0,2 S_{DS})D + \rho.E_X + 0,3.\rho.E_Y \quad (3-11)$$

$$12. U = (0,9 - 0,2 S_{DS})D + \rho.E_X - 0,3.\rho.E_Y \quad (3-12)$$

$$13. U = (0,9 - 0,2 S_{DS})D - \rho.E_X + 0,3.\rho.E_Y \quad (3-13)$$



$$14. U = (0,9 - 0,2 S_{DS})D - \rho.E_X - 0,3.\rho.E_Y \quad (3-14)$$

$$15. U = (0,9 - 0,2 S_{DS})D + 0,3.\rho.E_X + \rho.E_Y \quad (3-15)$$

$$16. U = (0,9 - 0,2 S_{DS})D + 0,3.\rho.E_X - \rho.E_Y \quad (3-16)$$

$$17. U = (0,9 - 0,2 S_{DS})D - 0,3.\rho.E_X + \rho.E_Y \quad (3-17)$$

$$18. U = (0,9 - 0,2 S_{DS})D - 0,3.\rho.E_X - \rho.E_Y \quad (3-18)$$

Keterangan:

U = kuat perlu

D = beban mati

L = beban hidup

$E_X$  = beban gempa (arah X)

$E_Y$  = beban gempa (arah Y)

$\rho$  = faktor redundansi

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.3.4.2 untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F,  $\rho$  harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi, dimana  $\rho$  diijinkan diambil sebesar 1,0.

- a. Masing-masing tingkat yang menahan beban lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau sesuai dengan tabel 12.
- b. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-

masing arah orthogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat  $h_{SX}$ , untuk konstruksi rangka ringan.

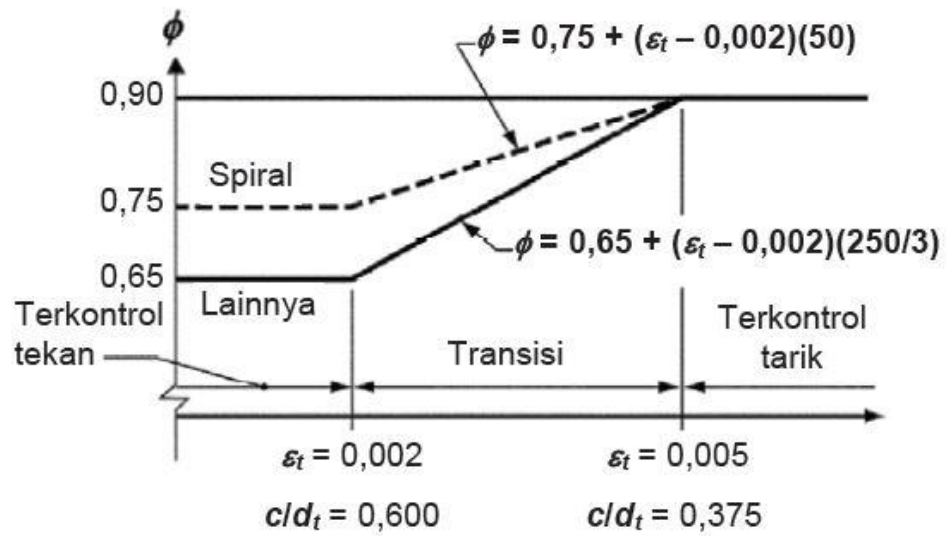
### 3.1.2. Kuat Rencana

Kekuatan desain yang disediakan oleh suatu komponen struktur, sambungannya dengan komponen struktur lain, dan penampangnya, sehubungan dengan lentur, beban normal, geser, dan torsi, harus diambil sebesar kekuatan nominal dihitung sesuai dengan persyaratan, yang dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) ditentukan berdasarkan pasal 9.3 SNI 2847 2013.

**Tabel 3.1 Faktor Reduksi Kekatan Desain**

No.	Keterangan	Faktor Reduksi ( $\phi$ )
1.	Penampang terkendali tarik	0,9
2.	Penampang terkendali tekan:	0,75
	a. Komponen struktur dengan tulangan spiral	
	b. Komponen struktur bertulang lainnya	0,65
3.	Geser dan torsi	0,75
4.	Tumpuan pada beton	0,65
5.	Daerah angkur pasca tarik	0,85
6.	Model strat dan pengikat, dan strat, pengikat daerah pertemuan ( <i>nodal</i> ), dan daerah tumpuan	0,75
7.	Penampang lentur dalam komponen struktur pratarik dimana penanaman <i>strand</i> kurang dari panjang penyaluran:	0,75
	a. Dari ujung komponen struktur ke ujung panjang transfer	
	b. Dari ujung panjang transfer ke ujung panjang penyaluran $\phi$ boleh ditinggalkan secara linier	0,75 - 0,9

(dikutip dari SNI 2847-2013 Pasal 9.3, halaman 66-67)



Interpolasi pada  $c/d_t$ :  
 Spiral  $\phi = 0,75 + 0,15[(1/(c/d_t) - (5/3))]$   
 Lainnya  $\phi = 0,65 + 0,25[(1/(c/d_t) - (5/3))]$

Gambar 3.1 Variasi Nilai  $\phi$  terhadap  $\varepsilon_t$  untuk  $f_y = 420$  MPa  
 (Sumber SNI 2847:2013 gambar S9.3.2)

### 3.2. Perencanaan Gempa Berdasarkan SNI 1726-2012

#### 3.2.1. $S_{DS}$ dan $S_{D1}$

Nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  ditentukan berdasarkan aplikasi *website* desain spektra Indonesia dengan alamat *website* [www.puskim.go.id](http://www.puskim.go.id).

#### 3.2.2. Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ )

Kategori resiko untuk struktur bangunan gedung dan non gedung seusai tabel 3.2, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan faktor keutamaan  $I_e$  menurut tabel 3.5.

**Tabel 3.2 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung**

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ )
Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan.</li> <li>b. Fasilitas sementara</li> <li>c. Gudang penyimpanan</li> <li>d. Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ol>	I	1,00
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, III, dan IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Perumahan</li> <li>b. Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>c. Pasar</li> <li>d. Gedung perkantoran</li> <li>e. Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>f. Pusat perbelanjaan/ <i>mall</i></li> <li>g. Bangun industry</li> <li>h. Fasilitas manufaktur</li> <li>i. Pabrik</li> </ol>	II	1,00

**Tabel 3.2 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung (Lanjutan)**

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ )
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Bioskop</li> <li>b. Gedung pertemuan</li> <li>c. Stadion</li> <li>d. Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>e. Fasilitas penitipan anak</li> <li>f. Penjara</li> <li>g. Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>b. Fasilitas penanganan air</li> <li>c. Fasilitas penanganan limbah</li> <li>d. Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk dalam kategori resiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III	1,25

**Tabel 3.2 Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung (Lanjutan)**

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ )
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Bangunan-bangunan monumental</li> <li>b. Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>c. Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>d. Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>e. Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>f. Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>g. Pusat pembangkit energy dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan saat darurat.</li> <li>h. Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat.</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori resiko IV.</p>	IV	1,50

(dikutip dari tabel 1 SNI 1726-2012, halaman 14-15)

### 3.2.3. Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter percepatan respons spektral pada periode pendek sebagai berikut:

**Tabel 3.3 KDS Berdasarkan  $S_{DS}$**

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

(dikutip dari tabel 6 SNI 1726-2012, halaman 24)

Kategori Desain Seismik berdasarkan parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik sebagai berikut:

**Tabel 3.4 KDS Berdasarkan  $S_{D1}$**

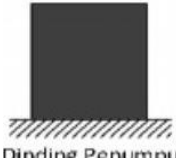



Nilai $S_{D1}$	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{DS} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{DS} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{DS}$	D	D

(dikutip dari tabel 7 SNI 1726-2012, halaman 25)

### 3.2.4. Sistem Struktur dan Parameter Struktur Berdasarkan KDS

Sistem struktur penahan gaya gempa lateral dan vertikal harus dipilih berdasarkan KDS-nya serta ketinggian struktur. Tipe-tipe sistem struktur yang dipilih dapat ditentukan dengan mengacu pada tabel 3.5.

**Tabel 3.5 Sistem Struktur dan Parameter Struktur Berdasarkan KDS**

Sistem Penahan Beban Lateral		KDS						R	$\Omega_0$	$C_d$	
		A	B	C	D	E	F				
 Dinding Penumpu	Dinding Geser Beton Biasa	TB	TB	TB	X	X	X	4	2,5	4	
	Dinding Geser Beton Khusus	TB	TB	TB	48m	48m	30m	5	2,5	5	
 Sistem Rangka Gedung (beban gempa dipikul dinding geser)	Dinding Geser Beton Biasa	TB	TB	TB	X	X	X	5	2,5	4,5	
	Dinding Geser Beton Khusus	TB	TB	TB	48m	49m	30m	6	2,5	5	
 Sistem Rangka Pemikul Momen	Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa	TB	TB	X	X	X	X	3	3	2,5	
	Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah	TB	TB	TB	X	X	X	5	3	4,5	
	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	TB	TB	TB	TB	TB	TB	8	3	5,5	
 Sistem Ganda (25% beban gempa dipikul rangka pemikul momen)	Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah	Dinding Geser Beton Biasa	TB	TB	TB	X	X	X	5,5	2,5	4,5
		Dinding Geser Beton Khusus	TB	TB	TB	48m	30m	30m	6,5	2,5	5
	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	Dinding Geser Beton Biasa	TB	TB	TB	X	X	X	6	2,5	5
		Dinding Geser Beton Khusus	TB	TB	TB	TB	TB	TB	7	2,5	5,5



### 3.2.5. Periode Fundamental

Periode alami struktur,  $T$ , dalam arah yang ditinjau tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ) dari tabel 3.6 dan periode pendekatan  $T_a$ , yang dihitung dengan persamaan 3.19.

**Tabel 3.6 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung**

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain pada 1 Detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

(dikutip dari tabel 14 SNI 1726-2012, halaman 56)

Periode alami pendekatan,  $T_a$ , dalam satuan detik, dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (3-19)$$

dengan  $h_n$  adalah ketinggian struktur (dalam meter) diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, sedangkan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari tabel 3.7.

**Tabel 3.7 Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$**

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka Baja Pemikul Momen	0,0724	0,80
Rangka Beton Pemikul Momen	0,0466	0,90
Rangka Baja dengan <i>Bracing</i> Eksentris	0,0731	0,75
Rangka Baja dengan <i>Bracing</i> terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua Sistem Struktur Lainnya	0,0488	0,75

(dikutip dari tabel 15 SNI 1726-2012, halaman 56)

Apabila periode alami struktur diperoleh dari hasil analisis menggunakan *software* ( $T_c$ ), maka periode alami struktur yang diambil ( $T$ ) harus ditentukan dengan ketentuan sebagai berikut:

$$\text{Jika } T_c > C_u \cdot T_a, \text{ maka } T = C_u \cdot T_a \quad (3-20)$$

$$\text{Jika } T_a < T_c < C_u \cdot T_a, \text{ maka } T = T_c \quad (3-21)$$

$$\text{Jika } T_c < T_a, \text{ maka } T = T_a \quad (3-22)$$

### 3.2.6. Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar akibat gempa bumi, dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W \quad (3-23)$$

dengan :

$C_s$  = koefisien respons seismik

$W$  = berat efektif bangunan

Besaran koefisien respon seismik,  $C_s$ , dapat dihitung sebagai berikut:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-24)$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung tidak boleh melebihi:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-25)$$

Namun tidak boleh melebihi:

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01 \quad (3-26)$$

Untuk struktur-struktur yang memiliki lokasi pada daerah dengan nilai  $S_I$  sama dengan atau lebih besar dari 0,6g,  $C_s$  tidak boleh kurang daripada:

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3-27)$$

dengan:

$C_s$  = koefisien respons seismik

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek 0,2 detik

$R$  = faktor modifikasi respons yang dicantumkan pada tabel 3.5

$I_e$  = faktor keutamaan yang dicantumkan pada tabel 3.2

Berat efektif bangunan,  $W$ , harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya, yaitu:

1. Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan: minimum sebesar 25 persen beban hidup lantai (beban hidup lantai di garasai public dan struktur parkir terbuka, serta beban penyimpanan tidak melebihi 5 persen dari berat efektif bangunan pada suatu lantai, tidak perlu disertakan).
2. Jika ketentuan untuk partisi disyaratkan dalam desain beban lantai: diambil sebagai yang terbesar diantara berat partisi actual atau berat daerah lantai minimum sebesar  $0,48 \text{ kN/m}^2$ .
3. Berat operasional total dari alat permanen.
4. Berat lansekap dan beban lainnya pada taman atap dan luasan sejenis lainnya.

Gaya geser dasar seismik yang telah dihitung selanjutnya didistribusikan ke semua tingkat menjadi gaya gempa lateral ( $F_x$ ) yang besarnya ditentukan sebagai berikut:

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (3-28)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i^k} \quad (3-29)$$

dengan:

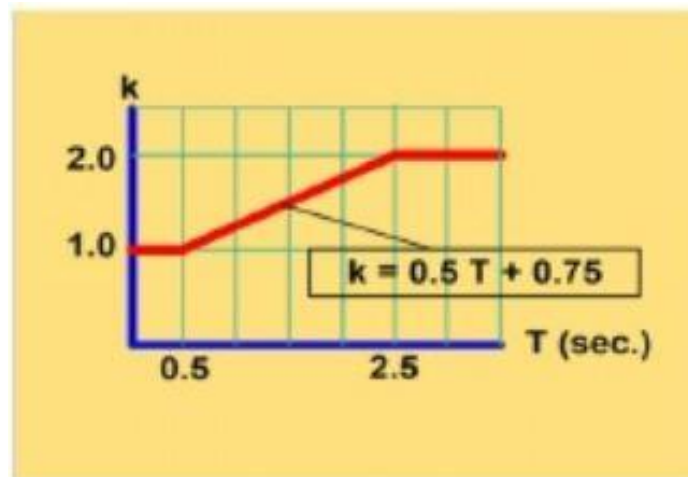
$C_{vx}$  = faktor distribusi lateral

$V$  = gaya geser dasar seismik

$W_i, W_x$  = bagian berat efektif bangunan efektif total struktur

$h_i, h_x$  = tinggi dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$

$k$  = eksponen yang terkait dengan periode struktur



Gambar 3.2 Eksponen yang Terkait dengan Periode Struktur

(Sumber dari

[www.academia.edu/11131629/PENGARUH\\_PENETAPAN\\_SNI\\_GEMPA\\_2012\\_PADA\\_DESAIN\\_STRUKTUR\\_RANGKA\\_MOMEN\\_BETON\\_BERTULANG\\_DI\\_BEBERAPA\\_KOTA\\_DI\\_INDONESIA](http://www.academia.edu/11131629/PENGARUH_PENETAPAN_SNI_GEMPA_2012_PADA_DESAIN_STRUKTUR_RANGKA_MOMEN_BETON_BERTULANG_DI_BEBERAPA_KOTA_DI_INDONESIA))

### 3.3 Perancangan Elemen Struktur

Struktur yang akan dirancang adalah struktur atas yang meliputi beberapa bagian seperti Pelat, Balok, Kolom dan Tangga. Perencanaan struktur berdasarkan pada Tata Cara Struktur Beton untuk Bangunan SNI 2847:2013. Setiap elemen struktur yang dirancang harus syarat Kuat Rencana  $\geq$  Kuat perlu. Untuk elemen struktur yang memikul momen lentur, gaya geser dan gaya aksial maka persamaan yang didapat adalah sebagai berikut:

$$\phi Mn \geq Mu \quad (3-30)$$

$$\phi Vn \geq Vu \quad (3-31)$$

$$\phi Pn \geq Pu \quad (3-32)$$

#### 3.3.1. Perancangan Pelat

##### 3.3.1.1. Penentuan Jenis Pelat

Ada dua jenis pelat, yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah.

##### a. Pelat Satu Arah

Pelat satu arah adalah pelat yang didukung pada dua tepi yang berhadapan sehingga lenturan hanya timbul dalam satu arah. Rasio bentang pelat satu arah dapat ditentukan dengan rumus:

$$\frac{L_y}{L_x} \geq 2 \quad (3-33)$$

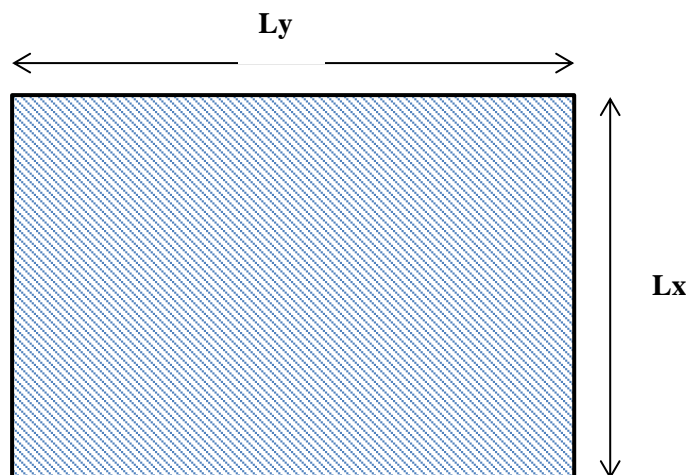
b. Pelat Dua Arah

Pelat dua arah adalah pelat yang didukung pada empat tepinya, sehingga lenturan yang timbul dua arah. Rasio bentang pelat dua arah dapat ditentukan dengan rumus:

$$1 < \frac{L_y}{L_x} < 2 \quad (3-34)$$

dengan :  $L_y$  = bentang pelat terbesar

$L_x$  = bentang pelat terkecil



Gambar 3.3 Rasio Bentang Pelat

### 3.3.1.2. Desain Pelat Satu Arah

Peraturan SNI 2847:2013 memberikan beberapa batasan tentang desain pelat satu arah:

- a. Desain dilakukan dengan menggunakan asumsi lebar 1 meter.
- b. Menghitung momen terfaktor dengan analisis tumpang:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (3-35)$$

Maka:

$$M_n = C_c x z = T_s x z \quad (3-36)$$

$$M_n = C_c x z = a \cdot b \cdot 0,85 f_c' \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (3-37)$$

$$M_n = T_s x z = A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (3-38)$$

c. Menghitung momen terfaktor dengan rumus:

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (3-39)$$

Maka tahanan momennya adalah:

$$R_n = \frac{M_u}{b \cdot d^2} = \frac{\phi \cdot M_n}{b \cdot d^2} \quad (3-40)$$

Nilai rasio penulangan adalah

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \quad (3-41)$$

dengan:  $M_n$  = momen nominal (N-mm)

$M_u$  = momen terfaktor (N-mm)

$C_c$  = gaya tekan beton (N)

$T_s$  = gaya tarik tulangan baja (N)

$z$  = lengan momen (mm)

$d$  = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan (mm)

$a$  = tinggi blok tegangan persegi ekuivalen (mm)

$R_n$  = tahanan momen

$b$  = lebar asumsi 1 m

$\rho$  = rasio penulangan

$\phi$  = faktor reduksi kekuatan

$f_y$  = kekuatan leleh tulangan (MPa)

$f_c$  = kekuatan tekan beton (MPa)

- d. Ketebalan minimum pelat satu rah yang menggunakan  $f_y = 400$  MPa sesuai dengan tabel 3.8.

**Tabel 3.8 Tebal Minimum Pelat**

Jenis Komponen Struktur	Tertumpu Sederhana	Satu Ujung Menerus	Kedua Ujung Menerus	Kantilever
Pelat Satu Arah	L/20	L/24	L/28	L/10
Pelat Rusuk	L/16	L/18,5	L/21	L/8

(dikutip dari tabel 9.5(a) SNI 2847-2013, halaman 70)

Untuk  $f_y$  selain 400 MPa, maka nilai dalam tabel 3.8 harus dikalikan dengan  $\{0,4 + (f_y / 700)\}$ .

- e. Selimut beton untuk struktur pelat tidak boleh kurang dari 20 mm, untuk pelat yang tidak berhubungan langsung dengan cuaca dan tanah.
- f. Tulangan susut dan suhu harus paling sedikit memiliki rasio tulangan terhadap luas bruto penampang beton seperti ditunjukkan dalam tabel 3.9, namun tidak kurang dari 0,0014.



**Tabel 3.9 Persyaratan Tulangan Susut dan Suhu untuk Pelat**

Pelat yang menggunakan tulangan ulir dengan mutu $f_y = 280$ atau $350$ MPa	$0,002 \times b \times h$
Pelat yang menggunakan tulangan ulir atau jaring kawat las dengan mutu $f_y = 420$ MPa	$0,0018 \times b \times h$
Pelat yang menggunakan tulangan dengan tegangan luluh melebihi $420$ MPa yang diukur pada regangan leleh sebesar $0,35\%$	$0,0018 \times \frac{420}{f_y} \times b \times h$

- g. Jarak antar tulangan,  $s$ , dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$s = \frac{1000 \times A_b}{A_s} \quad (3-42)$$

dengan:  $s$  = jarak antar tulangan (mm)

$$A_b = \text{luas bruto (mm}^2\text{)}$$

$$A_s = \text{luas aktual (mm}^2\text{)}$$

- h. Syarat spasi tulangan utama dan tulangan susut dan suhu adalah:

- Tulangan utama, dipilih nilai terkecil

$$s \leq 3h \quad (h = \text{tebal pelat})$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

- Tulangan susut dan suhu, dipilih nilai terkecil

$$s \leq 3h \quad (h = \text{tebal pelat})$$

$$s \leq 450 \text{ mm}$$

### 3.3.2. Perancangan Balok

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5, bahwa komponen struktur lentur SRPMK harus memenuhi syarat berikut:

- a. Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur,  $P_u$ , tidak boleh melebihi  $A_g f'_c / 10$ .
- b. Bentang bersih komponen struktur,  $l_n$ , tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.
- c. Lebar komponen,  $b_w$ , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari  $0,3h$  dan 250 mm.

#### 3.3.2.1. Tebal Minimum Balok

Menurut SNI 2847:2013 pasal 9.5, tinggi minimum balok dapat ditentukan dengan:

**Tabel 3.10 Tebal Minimum Balok**

Jenis Komponen Struktur	Tertumpu Sederhana	Satu Ujung Menerus	Kedua Ujung Menerus	Kantilever
Balok	L/16	L/18,5	L/21	L/8

(dikutip dari tabel 9.5(a) SNI 2847-2013, halaman 70)

#### 3.3.2.2. Tulangan Longitudinal

Menurut SNI 2847:2013 pasal 212.5.2, tulangan longitudinal memiliki beberapa syarat sebagai berikut:

- a. Jumlah tulangan atas maupun tulangan bawah tidak boleh kurang dari:

$$A_{s \min} = \frac{0,25 x \sqrt{f'c}}{F_y} x b_w x d \quad (3-43)$$

Tetapi tidak boleh lebih kecil dari:

$$A_{s \min} = \frac{1,4 x b_w x d}{F_y} \quad (3-44)$$

Dengan rasio tulangan,  $\rho$  tidak boleh melebihi 0,025. Paling sedikit dua batang tulangan harus disediakan menerus pada kedua sisi atas dan bawah.

- b. Kekuatan momen positif pada muka *joint* tidak boleh kurang dari setengah kekuatan momen negatif pada muka *joint* tersebut. Baik kekuatan momen positif maupun negatif sepanjang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada salah satu *joint*.

### 3.3.2.3. Tulangan *Transversal*

Sengkang tertutup harus dipasang pada daerah komponen struktur rangka berikut:

- a. Pada jarak dua kali tinggi komponen struktur yang diukur dari muka komponen struktur ke arah tengah bentang, di kedua ujung komponen struktur lentur.
- b. Pada jarak dua kali tinggi komponen struktur pada kedua sisi penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi dalam hubungan dengan perpindahan lateral inelastis rangka.

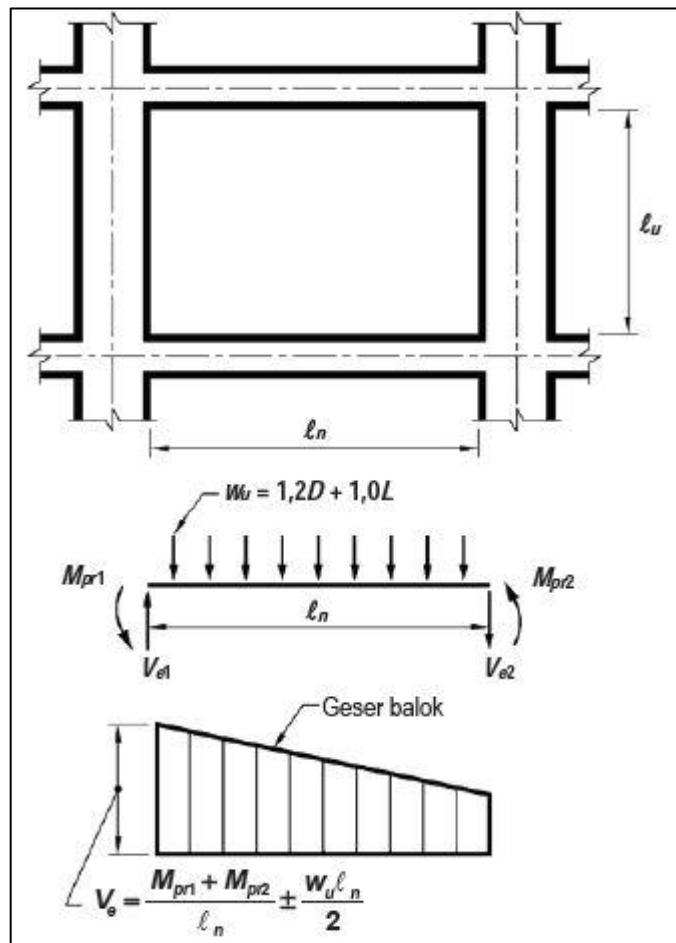
Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.2 sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu, dengan spasi sengkang,  $s$  tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- $d/4$ .
- Enam kali diameter terkecil tulangan lentur utama.
- 150 mm.

Bila sengkang tertutup tidak diperlukan, sengkang dengan kait gempa pada kedua ujung harus dispasikan dengan jarak tidak lebih dari  $d/2$  sepanjang bentang komponen struktur.

#### **3.3.2.4. Kekuatan Geser**

Gaya geser desain,  $V_c$ , harus ditentukan dari peninjauan gaya statis pada bagian komponen struktur antara muka *joint*, dengan mengasumsikan bahwa momen-momen dengan tanda berlawanan yang berhubungan dengan kekuatan momen lentur yang mungkin,  $M_{pr}$ , bekerja pada muka *joint* dan komponen struktur dibebani beban gravitasi tributari terfaktor sepanjang bentang.



Gambar 3.4 Geser Desain untuk Balok  
(Sumber SNI 2847:2013 gambar S21.5.4)

Keterangan:

Dalam batang tulangan longitudinal sebesar paling sedikit  $1,25f_y$  dan faktor reduksi kekuatan,  $\phi$  sebesar 1,0.

$P_u$  = gaya aksial terfaktor

$V_c$  = gaya geser desain

$W_u$  = beban terfaktor per satuan panjang balok atau pelat satu arah

$L_n$  = bentang bersih

### 3.3.3. Perancangan Kolom

Persyaratan yang harus dipenuhi oleh kolom yang didesain untuk SRPMK menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6:

- a. Gaya tekan aksial terfaktor tidak boleh kurang dari  $A_g f'_c / 10$ .
- b. Dimensi penampang terpendek diukur pada garis lurus yang melalui pusat geometri tidak boleh kurang dari 300 mm.
- c. Rasio dimensi penampang terpendek terhadap dimensi tegak lurus tidak boleh kurang dari 0,4.

#### 3.3.3.1. Beban Aksial Kolom

Dalam SNI 2847:2013 Pasal 10.3.6, persamaan kolom dengan sengkang persegi adalah sebagai berikut:

$$\phi P_n = (\phi \cdot 0,85) [0,85 \cdot f'_c \cdot A_g + A_{st} (f_y - 0,85 \cdot f'_c)] \quad (3-45)$$

#### 3.3.3.2. Rasio Kelangsingan

Suatu elemen struktur dapat dikategorikan sebagai kolom pendek atau kolom panjang. Jenis kolom dapat ditentukan melalui rasio kelangsingan kolom tersebut. Batasan diberikan dalam SNI 2847:2013 Pasal 10.10.1 yang menyatakan bahawa efek kelangsingan boleh diabaikan untuk:

- a. Elemen struktur tekan bergoyang, apabila:

$$\frac{k.l_u}{r} \leq 22 \quad (3-46)$$

- b. Elemen struktur tekan tak bergoyang, apabila:

$$\frac{k.l_u}{r} \leq 34 - 12 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \leq 40 \quad (3-47)$$

### 3.3.3.3. Kuat Lentur

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.22:

$$\sum M_{nc} \geq (1,2) \sum M_{nb} \quad (3-48)$$

$\sum M_{nc}$  = jumlah kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam *joint* yang dievaluasi di muka-muka *joint*. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya-gaya yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.

$\sum M_{nb}$  = jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam *joint* yang dievaluasi di muka-muka *joint*.

### 3.3.3.4. Tulangan Longitudinal

Luas tulangan memanjang  $A_{st}$  tidak boleh kurang dari 0,01  $A_g$  atau lebih dari 0,06  $A_g$ .

### 3.3.3.5. Tulangan Transversal

Tulangan *transversal* dipasang sepanjang  $l_o$  dari setiap muka *joint* pada kedua sisi sembarang penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. Panjang  $l_o$  tidak boleh kurang dari yang terbesar dari:

- a. Tinggi komponen struktur pada muka *joint* atau pada penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi.
- b. Seperenam bentang bersih komponen struktur.
- c. 450 mm.

Spasi tulangan *transversal* sepanjang  $l_o$  tidak boleh melebihi yang terkecil dari:

- a. Seperempat dimensi komponen struktur minimum.
- b. 6 kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil.
- c.  $s_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right)$

Nilai  $s_o$  tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu diambil kurang dari 100 mm. Jumlah tulangan *transversal* ditentukan sebagai berikut:

- a. Rasio volume tulangan spiral atau sengkang bulat,  $\rho_s$  tidak boleh kurang dari:

$$\rho_s = 0,12 \left( \frac{f_c'}{f_{yt}} \right) \quad (3-49)$$

dan tidak boleh kurang dari:

$$\rho_s = 0,45 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f_c'}{f_{yt}} \quad (3-50)$$

- b. Luas penampang tulangan sengkang persegi,  $A_{sh}$  tidak boleh kurang dari:

$$A_{sh} = 0,3 \frac{s \cdot b_c \cdot f_c'}{f_{yt}} \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad (3-51)$$

$$A_{sh} = 0,09 \left( \frac{s \cdot b_c \cdot f_c'}{f_{yt}} \right) \quad (3-52)$$



### 3.3.3.6. Kekuatan Geser

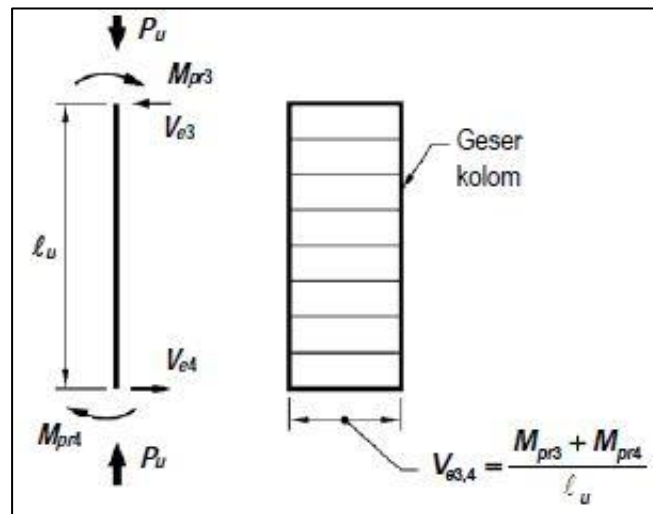
Gaya geser desain,  $V_c$ , harus ditentukan dari peninjauan terhadap gaya-gaya maksimum yang dihasilkan di muka-muka *joint* di setiap ujung komponen struktur. Gaya-gaya *joint* harus ditentukan menggunakan kekuatan momen maksimum yang mungkin,  $M_{pr}$  di setiap ujung komponen struktur yang berhubungan dengan rentang dari beban aksial terfaktor,  $P_u$  yang bekerja pada komponen struktur. Dalam semua kasus  $V_c$  tidak boleh kurang dari gaya geser terfaktor yang ditentukan oleh analisis struktur.

Tulangan *transversal* sepanjang  $l_o$  diproporsikan untuk menahan geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$ , bilamana:

- a. Gaya geser yang ditimbulkan gempa mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam  $l_o$ .
- b. Gaya tekan aksial terfaktor,  $P_u$  termasuk pengaruh gaya gempa kurang dari  $A_g f'_c / 10$ .

Jika harus dihitung, maka:

$$A_{sh} = 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \quad (3-53)$$



Gambar 3.5 Geser Desain untuk Kolom

(Sumber SNI 2847:2013 gambar S21.5.4)

Keterangan:

$A_{st}$  = luas total tulangan longitudinal non-prategang

$A_{sh}$  = luas penampang total tulangan *transversal*

$h_x$  = spasi horizontal kait silang pusat

$N_u$  = gaya aksial terfaktor tegak lurus penampang diambil sebagai positif untuk tekan dan negatif untuk tarik

### 3.3.3.7. Joint Rangka Momen Khusus

- Gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal di muka *joint* harus ditentukan dengan mengasumsikan bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur  $1,25 f_y$ .

- b. Bila tulangan balok longitudinal menerus melalui *joint* balok-kolom, dimensi kolom yang sejajar terhadap tulangan balok tidak boleh kurang 20 kali diameter batang tulangan balok longitudinal terbesar.
- c.  $V_n$  tidak boleh diambil sebagai yang lebih besar dari nilai:
- Untuk *joint* yang terkekang oleh balok-balok pada semua empat muka,

$$V_n = 1,7\sqrt{f_c'} A_j \quad (3-54)$$

- Untuk *joint* yang terkekang oleh balok-balok pada tiga muka atau pada dua muka yang berlawanan,

$$V_n = 1,2\sqrt{f_c'} A_j \quad (3-55)$$

- Untuk kasus-kasus lainnya,

$$V_n = 1,0\sqrt{f_c'} A_j \quad (3-56)$$

Keterangan:

$V_n$  = kekuatan geser nominal

$A_j$  = luas penampang efektif pada *joint*

### 3.3.4. Dinding Struktural

Menurut SNI 2847:2013 pasal 14.3, penulangan dinding harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Rasio minimum luas tulangan vertikal terhadap luas bruto beton:
  - a. 0,0012 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan  $f_y$  tidak kurang dari 420 MPa; atau
  - b. 0,0015 untuk batang tulangan ulir lainnya; atau
  - c. 0,0012 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besar dari D-16.
2. Rasio minimum luas tulangan horizontal terhadap luas bruto beton:
  - a. 0,0020 untuk batang tulangan ulir yang tidak lebih besar dari D-16 dengan  $f_y$  kurang dari 420 MPa; atau
  - b. 0,0025 untuk batang tulangan ulir lainnya; atau
  - c. 0,0020 untuk tulangan kawat las yang tidak lebih besar dari D-16.
3. Dinding lebih tebal dari 250 mm, kecuali dinding besmen (*basement*), harus mempunyai tulangan untuk setiap arah dipasang dalam dua lapis sejajar dengan muka dinding sesuai dengan berikut ini:
  - a. Satu lapis tidak kurang dari setengah dan tidak lebih dari dua pertiga tulangan total yang dibutuhkan untuk setiap arah harus ditempatkan tidak kurang dari 50 mm atau tidak lebih dari sepertiga tebal dinding dari permukaan eksterior.
  - b. Lapis lainnya, sisa tulangan yang diperlukan dalam arah tersebut, harus ditempatkan tidak kurang dari 20 mm atau tidak lebih dari sepertiga tebal dinding dari permukaan interior.

4. Tulangan vertikal tidak perlu dilingkupi oleh pengikat *transversal* bila luas tulangan vertikal tidak lebih besar dari 0,01 kali luas beton bruto, atau bila tulangan vertikal tidak dibutuhkan sebagai tulangan tekan.
5. Sebagai tambahan untuk tulangan minimum yang disyaratkan oleh SNI 2847:2013 pasal 14.3.1, tidak kurang dari dua batang tulangan D-16 pada dinding yang mempunyai dua lapis tulangan dan satu tulangan D-16 untuk dinding dengan satu lapis tulangan dalam kedua arah, harus disediakan mengelilingi jendela, pintu, dan bukaan dengan ukuran serupa. Batang tulangan tersebut harus diangkur untuk mengembangkan  $f_y$  dalam kondisi tarik pada sudut-sudut bukaan.

## BAB IV

### ESTIMASI DIMENSI ELEMEN STRUKTUR

#### 4.1. Estimasi Dimensi

Estimasi adalah sebuah tahapan awal dalam perencanaan struktur gedung. Estimasi dilakukan dengan metode pendekatan, sehingga hasil akhir perancangan tidak berbeda jauh dengan hasil estimasi.

Estimasi struktur yang dilakukan meliputi pelat, balok, kolom, tangga dan dinding struktural. Estimasi ini berdasarkan pada pedoman SNI 2847-2013.

#### 4.2. Estimasi Dimensi Pelat

Pelat dibagi atas dua jenis, yaitu:

- a. Pelat Satu Arah (*One Way Slab*)
- b. Pelat Dua Arah (*Two Way Slab*)

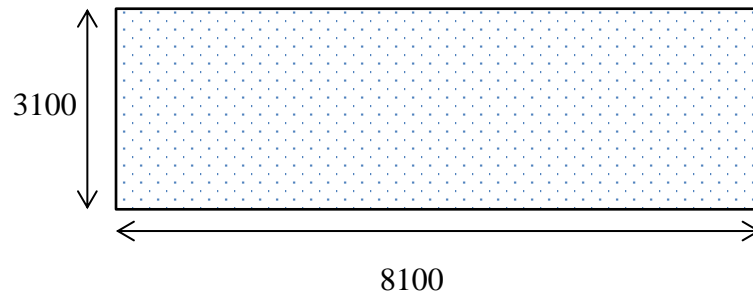
Penentuan jenis pelat didasarkan pada perbandingan bentang terpanjang dan bentang terpendek pelat. Perbandingan bentang pelat ditentukan dengan rumus:

$$\frac{L_y}{L_x} \geq 2, \text{ untuk Pelat Satu Arah (One Way Slab)} \quad (4-1)$$

$$1 < \frac{L_y}{L_x} < 2, \text{ untuk Pelat Dua Arah (Two Way Slab)} \quad (4-2)$$

Pelat yang akan digunakan sebagai bahan estimasi adalah pelat dengan bentangan terbesar untuk masing-masing jenisnya.

#### 4.2.1. Pelat Satu Arah



Gambar 4.1 Pelat Satu Arah (*One Way Slab*)

Dimensi bentang pelat terbesar:

$$L_y = 8100 \text{ mm}$$

$$L_x = 3100 \text{ mm}$$

$$L_y/L_x = 8100/3100 = 2,62 > 2$$

Untuk 1 ujung menerus:

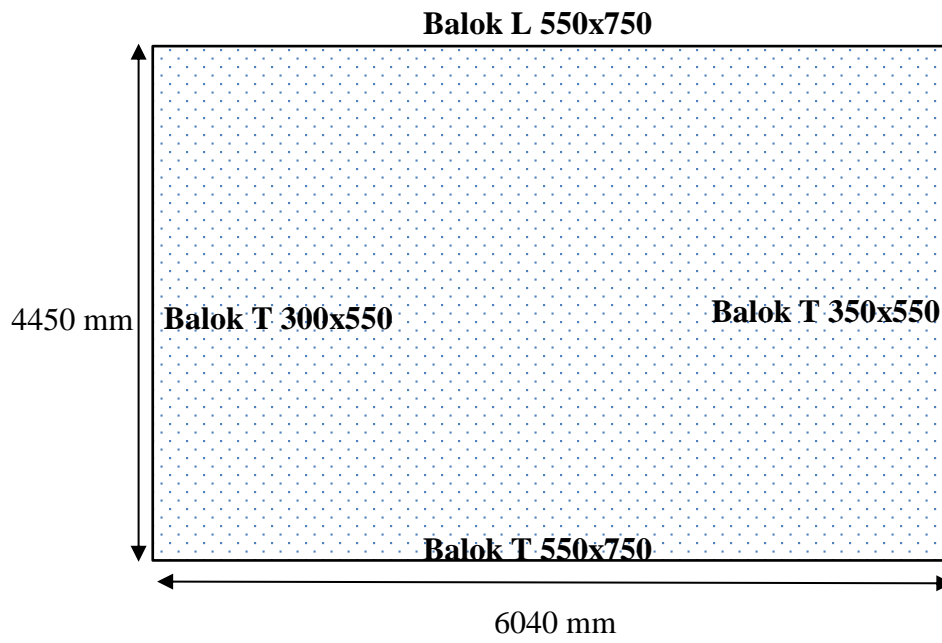
$$\begin{aligned} h_{min} &= \frac{1}{24} L_x \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right) = \frac{1}{24} 3100 \left( 0,4 + \frac{240}{700} \right) \\ &= 95,95 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk 2 ujung menerus:

$$\begin{aligned} h_{min} &= \frac{1}{28} L_x \left( 0,4 + \frac{f_y}{700} \right) = \frac{1}{28} 3100 \left( 0,4 + \frac{240}{700} \right) \\ &= 82,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tebal minimum pelat yang digunakan untuk pelat satu arah (*one way slab*) adalah 120 mm.

#### 4.2.2. Pelat Dua Arah



Gambar 4.2 Pelat Dua Arah (*Two Way Slab*)

Dimensi bentang pelat terbesar:

$$L_y = 6040 \text{ mm}$$

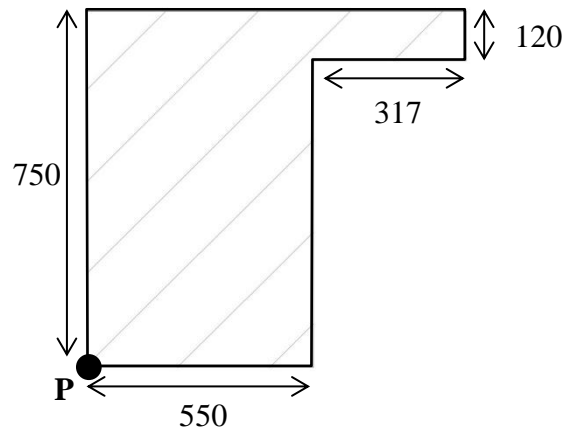
$$L_x = 4450 \text{ mm}$$

$$L_y/L_x = 6040/4450 = 1,31 < 2$$

Direncanakan tebal pelat adalah 125 mm.



a. **Balok L 550 x 750**



Gambar 4.3 Penampang Balok L 550 x 750

Titik berat terhadap titik P:

$$X = \frac{((550 \times 750) \times 275) + ((317 \times 120) \times 708,5)}{(550 \times 750) + (317 \times 120)} = 321,004 \text{ mm}$$

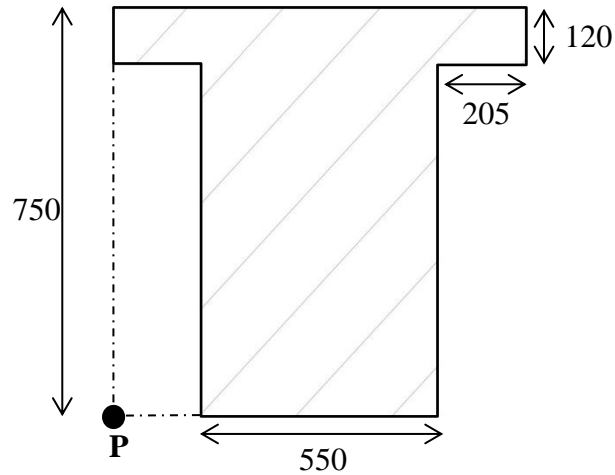
$$Y = \frac{((550 \times 750) \times 375) + ((317 \times 120) \times 609)}{(550 \times 750) + (317 \times 120)} = 408,428 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{c1} &= \frac{1}{12} b \cdot h^3 + A \cdot y^2 = \frac{1}{12} 550 \cdot 750^3 + 412500 \cdot 30,685^2 \\ &= 19.724.342.632 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{c2} &= \frac{1}{12} b \cdot h^3 + A \cdot y^2 = \frac{1}{12} 317 \cdot 120^3 + 44520 \cdot 284,315^2 \\ &= 3.652.191.229 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_c &= I_{c1} + I_{c2} = 19.724.342.632 + 3.652.191.229 \\ &= 23.376.533.861 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

**b. Balok T 550 x 750**



Gambar 4.4 Penampang Balok T 550 x 750

Titik berat terhadap titik P:

$$X = \frac{((205 \times 120) \times 102,5) + ((550 \times 750) \times 480) + ((205 \times 120) \times 857,5)}{(550 \times 750) + (205 \times 120) + (205 \times 120)} = 480 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{((205 \times 120) \times 690) + ((550 \times 750) \times 375) + ((205 \times 120) \times 690)}{(550 \times 750) + (205 \times 120) + (205 \times 120)} = 408,57 \text{ mm}$$

$$I_{c1} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + A \cdot y^2 = \frac{1}{12} 550 \cdot 750^3 + 412500 \cdot 33,567^2$$

$$= 19.800.726.153 \text{ mm}^4$$

$$I_{c2} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + A \cdot y^2 = \frac{1}{12} 205 \cdot 120^3 + 24600 \cdot 281,432^2$$

$$= 1.977.948.042 \text{ mm}^4$$

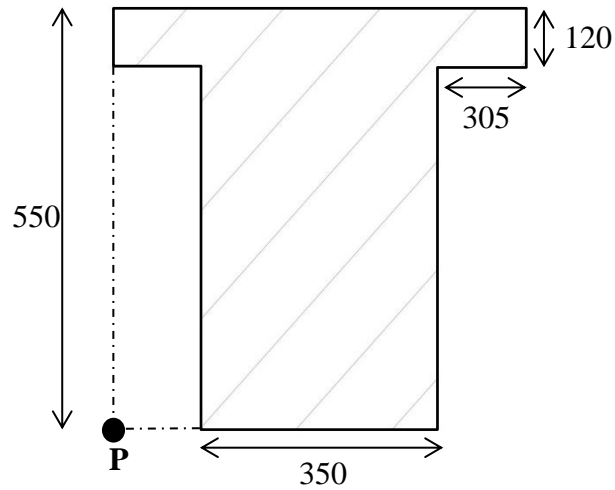
$$I_{c3} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + A \cdot y^2 = \frac{1}{12} 205 \cdot 120^3 + 24600 \cdot 281,432^2$$

$$= 1.977.948.042 \text{ mm}^4$$

$$I_c = I_{c1} + I_{c2} + I_{c3} = 19.800.726.153 + (1.977.948.042 \times 2)$$

$$= 23.756.622.237 \text{ mm}^4$$

c. **Balok T 350 x 550**



Gambar 4.5 Penampang Balok T 350 x 550

Titik berat terhadap titik P:

$$X = \frac{((305 \times 120) \times 152,5) + ((350 \times 550) \times 480) + ((305 \times 120) \times 807,5)}{(350 \times 550) + (305 \times 120) + (305 \times 120)} = 368,91 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{((305 \times 120) \times 490) + ((350 \times 550) \times 275) + ((305 \times 120) \times 490)}{(350 \times 550) + (305 \times 120) + (305 \times 120)} = 334,23 \text{ mm}$$

$$I_{c1} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + A \cdot y^2 = \frac{1}{12} 350 \cdot 550^3 + 192500 \cdot 59,232^2$$

$$= 5.527.981.851 \text{ mm}^4$$

$$I_{c2} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + A \cdot y^2 = \frac{1}{12} 305 \cdot 120^3 + 36600 \cdot 155,767^2$$

$$= 931.967.843,7 \text{ mm}^4$$

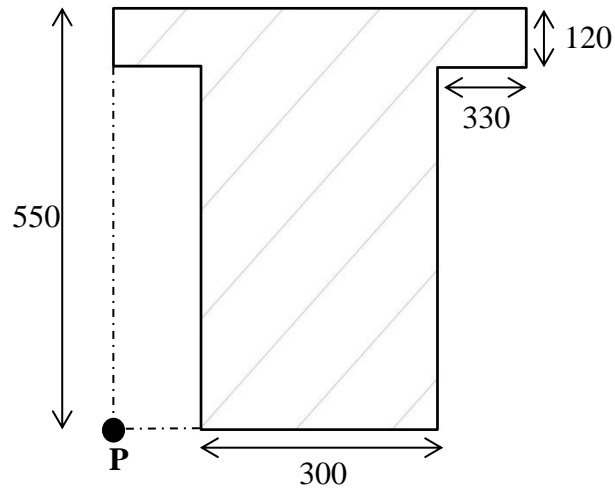
$$I_{c3} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + A \cdot y^2 = \frac{1}{12} 305 \cdot 120^3 + 36600 \cdot 155,767^2$$

$$= 931.967.843,7 \text{ mm}^4$$

$$I_c = I_{c1} + I_{c2} + I_{c3} = 5.527.981.851 + (931.967.843,7 \times 2)$$

$$= 7.391.917.539 \text{ mm}^4$$

d. **Balok T 300 x 550**



Gambar 4.6 Penampang Balok T 300 x 550

Titik berat terhadap titik P:

$$X = \frac{((330 \times 120) \times 165) + ((300 \times 550) \times 480) + ((330 \times 120) \times 795)}{(350 \times 550) + (305 \times 120) + (305 \times 120)} = 351,25 \text{ mm}$$

$$Y = \frac{((305 \times 120) \times 490) + ((350 \times 550) \times 275) + ((305 \times 120) \times 490)}{(350 \times 550) + (305 \times 120) + (305 \times 120)} = 311,62 \text{ mm}$$

$$I_{c1} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + A \cdot y^2 = \frac{1}{12} 300 \cdot 550^3 + 165500 \cdot 61,622^2$$

$$= 4.785.917.001 \text{ mm}^4$$

$$I_{c2} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + A \cdot y^2 = \frac{1}{12} 330 \cdot 120^3 + 39600 \cdot 128,378^2$$

$$= 700.167.918,2 \text{ mm}^4$$

$$I_{c3} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 + A \cdot y^2 = \frac{1}{12} 330 \cdot 120^3 + 39600 \cdot 128,378^2$$

$$= 700.167.918,2 \text{ mm}^4$$

$$I_c = I_{c1} + I_{c2} + I_{c3} = 4.785.917.001 + (700.167.918,2 \times 2)$$

$$= 6.186.252.838 \text{ mm}^4$$

$$I_c \text{ pelat 1} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 4450 \cdot 120^3 = 640.800.000 \text{ mm}^4$$

$$I_c \text{ pelat 2} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 6040 \cdot 120^3 = 869.760.000 \text{ mm}^4$$

$$I_c \text{ pelat 3} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 4450 \cdot 120^3 = 640.800.000 \text{ mm}^4$$

$$I_c \text{ pelat 4} = \frac{1}{12} b \cdot h^3 = \frac{1}{12} 6040 \cdot 120^3 = 869.760.000 \text{ mm}^4$$

$$\alpha_1 = \frac{I_c \text{ Balok 1}}{I_c \text{ Pelat 1}} = \frac{23.376.533.861}{640.800.000} = 36,48$$

$$\alpha_1 = \frac{I_c \text{ Balok 2}}{I_c \text{ Pelat 3}} = \frac{23.756.622.237}{869.760.000} = 37,07$$

$$\alpha_1 = \frac{I_c \text{ Balok 3}}{I_c \text{ Pelat 2}} = \frac{7.391.917.539}{640.800.000} = 8,50$$

$$\alpha_1 = \frac{I_c \text{ Balok 4}}{I_c \text{ Pelat 4}} = \frac{6.186.252.838}{869.760.000} = 7,11$$

$$\sum \alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 36,48 + 37,07 + 8,50 + 7,11 = 89,17 > 2$$

$$\beta = \frac{6040 - 350}{4450 - 550} = 1,46$$

Untuk  $\sum \alpha > 2$ , maka:

$$h = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{fy}{1400}\right)}{36 + 9\beta} = \frac{5690\left(0,8 + \frac{240}{1400}\right)}{36 + 9(1,46)}$$

$$= 112,50 \text{ mm} > 90 \text{ mm (OK)}$$

h terpakai = 120 mm.

**Tabel 4.1 Rekapitulasi Estimasi Tebal Pelat**

Posisi	Pelat Dua Arah (mm)
Pelat Atap	125
Pelat Lantai	125

### 4.3. Estimasi Dimensi Balok

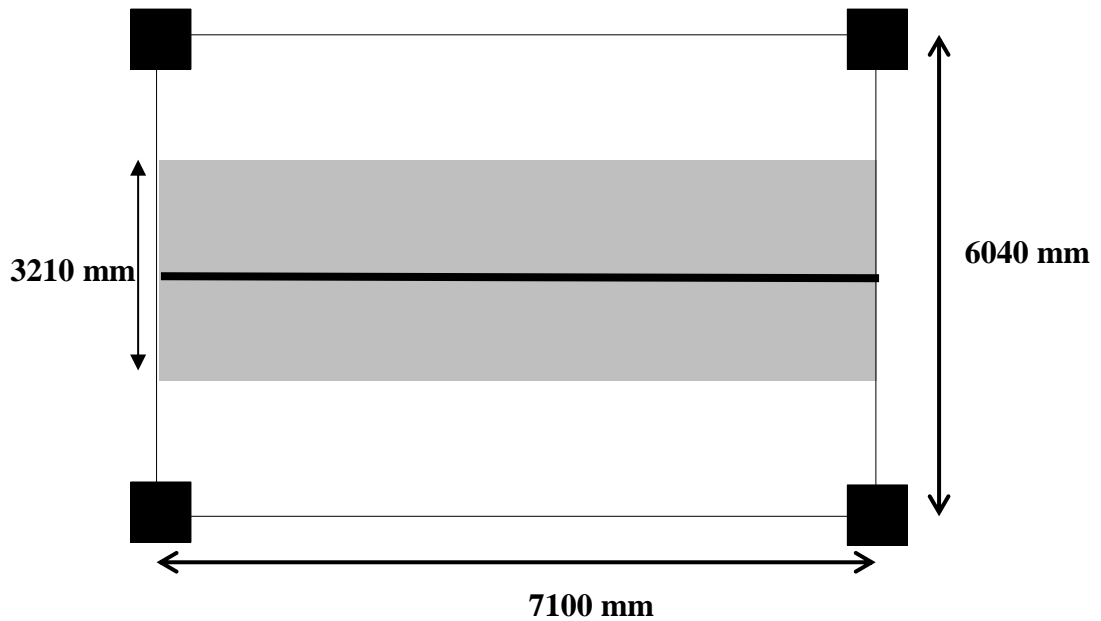
Tahapan setelah estimasi pelat adalah melakukan perhitungan untuk estimasi balok. Pada tahapan ini menggunakan metode *tributary area*. Metode *tributary area* dilakukan dengan memperhatikan beban mati dan hidup yang bekerja pada balok.

Dalam melakukan tahapan estimasi dimensi balok menggunakan beberapa asumsi, yaitu:

- a. Diameter Sengkang = 10 mm.
- b. Diameter Tulangan = 25 mm.
- c. Selimut Beton = 40 mm.
- d. Nilai  $f_c' = 30$  MPa; Nilai  $f_y = 400$  MPa untuk tulangan ulir dan  $f_y = 200$  MPa untuk tulangan polos,  $\rho = 0,01$ .
- e.  $R_n = \rho \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{\rho \cdot f_y}{1,7 \cdot f_c'}\right) = 0,01 \cdot 400 \cdot \left(1 - \frac{0,01 \cdot 400}{1,7 \cdot 30}\right) = 3,69$  MPa

### 4.3.1. Estimasi Balok Anak

Perencanaan dimensi balok anak dihitung berdasarkan pembagian luasan yang di dukung oleh elemen stuktur (*tributary area*).



Gambar 4.7 *Tributary Area* Balok Anak

#### 4.3.1.1. Pembebanan Balok Anak

Pembebanan pada balok anak terdiri dari berat hidup dan berat mati. Beban mati pada balok anak berupa berat pelat, pasir, ubin, dan berat plafond serta pengantung.

##### 1. Beban Mati

Berat Pelat Lantai	= $0,12 \times 24$	= $2,88 \text{ kN/m}^2$
Berat Pasir (20mm)	= $0,02 \times 16$	= $0,32 \text{ kN/m}^2$
Berat Penutup Lantai(10mm)	= $0,01 \times 24$	= $0,24 \text{ kN/m}^2$

Berat Plafond dan Pengantung	= 0,18 kN/m <sup>2</sup>
Berat Mekanikal Elektrikal	= 0,20 kN/m <sup>2</sup>
	<hr style="width: 100%; border: 0.5px solid black;"/> +
	= 3,82 kN/m <sup>2</sup>
2. Beban Hidup	= 2,5 kN/m <sup>2</sup>
3. <i>Tributary Area</i>	= 7,1 m x 3,21 m
	= 24,462 m <sup>2</sup>
4. Berat Total Pelat Lantai(Q <sub>DL</sub> )	= 3,82 kN/m <sup>2</sup> x 22,791 m <sup>2</sup>
	= 87,06 kN
5. Total Beban Hidup(Q <sub>LL</sub> )	= 22,791 m <sup>2</sup> x 2,5 kN/m <sup>2</sup>
	= 56,9775 kN
6. Total Beban Balok (Q <sub>U</sub> )	= $\frac{1,2 (93,445) + 1,6 (61,115)}{7,1}$
	= 34,765 kN/m

#### 4.3.1.2.Momen Balok Anak

1. 
$$M_U = \frac{1}{10} \times Q_U \times L^2$$

$$= \frac{1}{10} \times 27,55 \times 7,1^2$$

$$= 138,903 \text{ kN.m}$$
2. 
$$M_N = \frac{1,15 \cdot M_u}{\phi}$$

$$= \frac{1,15 \cdot 138,903}{0,9}$$

$$= 177,487 \text{ kN.m}$$



#### 4.3.1.3. Dimensi Balok Anak

$$Rn = \frac{Mn}{0,9 \times b \times d^2} ; \text{ nilai } b \text{ yang digunakan adalah } 350 \text{ mm.}$$

$$3,69 = \frac{177,487 \times 10^6}{0,9 \times 350 \times d^2}$$

$$d^2 = 148455,19 \text{ mm}^4$$

$$d = \sqrt{148455,19}$$

$$d = 385,298 \text{ mm}$$

$$h = d + \text{Selimut Beton} + \text{Diameter Sengkang} + (0,5 \times \text{Diameter Tulangan})$$

$$h = 385,298 + 40 + 10 + (0,5 \times 25)$$

$$= 447,798 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$$

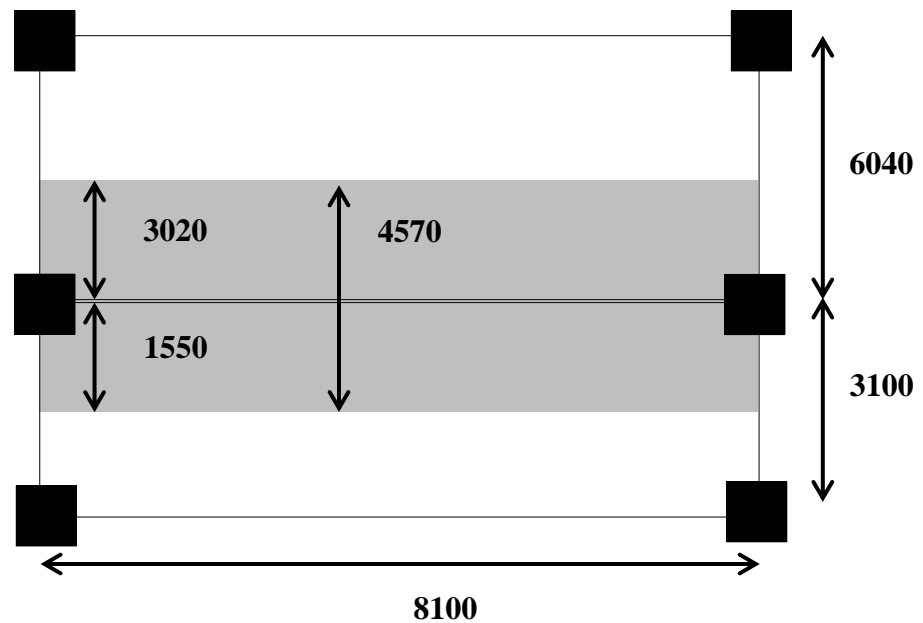
**Tabel 4.2 Tinggi Minimum Balok Anak**

Jenis Komponen Struktur	Tebal	Panjang Bentang (m)	Hasil (mm)
Satu Ujung Menerus	L/18,5	7,1	<b>383,78</b>
Dua Ujung Menerus	L/21		<b>338,09</b>

Dimensi yang digunakan untuk balok anak dengan bentang 7,1 meter adalah 400 x 600 (mm<sup>2</sup>).

### 4.3.2. Estimasi Balok Induk

Perencanaan dimensi balok anak dihitung berdasarkan pembagian luasan yang di dukung oleh elemen stuktur (*tributary area*).



Gambar 4.8 *Tributary Area* Balok Induk

#### 4.3.2.1. Pembebanan Balok Induk

Pembebanan pada balok induk terdiri dari berat hidup dan berat mati.

##### 1. Beban Mati

Berat Pelat Lantai	$= 0,12 \times 24$	$= 2,88 \text{ kN/m}^2$
Berat Pasir (20mm)	$= 0,02 \times 16$	$= 0,32 \text{ kN/m}^2$
Berat Penutup Lantai(10mm)	$= 0,01 \times 24$	$= 0,24 \text{ kN/m}^2$

Berat Plafond dan Peggantung	= 0,18 kN/m <sup>2</sup>
Berat Mekanikal Elektrikal	= 0,20 kN/m <sup>2</sup>
	+ = 3,82 kN/m <sup>2</sup>
2. Beban Hidup	= 2,5 kN/m <sup>2</sup>
3. <i>Tributary Area</i>	= 8,1 m x 4,57 m = 37,017 m <sup>2</sup>
4. Berat Total Pelat Lantai(Q <sub>DL</sub> )	= 3,82 kN/m <sup>2</sup> x 24,462 m <sup>2</sup> = 150,289 kN
5. Total Beban Hidup(Q <sub>LL</sub> )	= 37,017 m <sup>2</sup> x 2,5 kN/m <sup>2</sup> = 92,543 kN
6. Total Beban Balok (Q <sub>U</sub> )	= $\frac{1,2 (150,289)+1,6(92,543)}{8,1}$ = 40,545 kN/m
7. Beban Terpusat Balok Anak(P <sub>U</sub> )	= $\frac{34,765 \times 8,1}{2}$ = 140,799 kN

#### 4.3.2.2.Momen Balok Induk

$$\begin{aligned}
 1. \quad M_U &= \left(\frac{1}{10} \times Q_U \times L^2\right) + \left(0,8 \times \frac{1}{4} \times P_U \times L\right) \\
 &= \left(\frac{1}{10} \times 40,545 \times 8,1^2\right) + \left(0,8 \times 0,25 \times 140,799 \times 8,1\right) \\
 &= 494,11 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \quad Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{494,11}{0,9} \\
 &= 549,012 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

#### 4.3.2.3. Dimensi Balok Induk

$$Rn = \frac{Mn}{0,9 \times b \times d^2} ; \text{ nilai } b \text{ yang digunakan adalah } 500 \text{ mm.}$$

$$3 = \frac{549,012 \times 10^6}{0,9 \times 500 \times d^2}$$

$$d^2 = 451861,44 \text{ mm}^4$$

$$d = \sqrt{451861,44}$$

$$d = 672,206 \text{ mm}$$

$$h = d + \text{Selimut Beton} + \text{Diameter Sengkang} + (0,5 \times \text{Diameter Tulangan})$$

$$h = 672,206 + 40 + 10 + (0,5 \times 25)$$

$$= 734,706 \text{ mm} \approx 750 \text{ mm}$$

**Tabel 4.3 Tebal Minimum Balok Induk**

Jenis Komponen Struktur	Tebal	Panjang Bentang (m)	Hasil (mm)
Satu Ujung Menerus	L/18,5	8,1	<b>386</b>
Dua Ujung Menerus	L/21		<b>438</b>

Dimensi yang digunakan untuk balok induk dengan bentang 8,1 meter adalah 500 x 750 (mm).

**Tabel 4.4 Rekapitulasi Dimensi Balok**

Posisi	Label	Dimensi Balok	
		Lebar (mm)	Tinggi (mm)
Balok Induk	B1	350	550
	B2	500	750
Balok Anak	BA1	200	300
	BA2	300	500
	BA3	250	400
	BA4	400	600

#### 4.4. Estimasi Dimensi Kolom

Estimasi dimensi kolom dilakukan dengan memperhitungkan beban aksial. Beban aksial yang digunakan berasal dari beban hidup dan beban mati yang membebani kolom yang bersangkutan seperti pelat, balok induk dan balok anak.

Dalam melakukan tahapan estimasi dimensi kolom menggunakan beberapa asumsi, yaitu:

- a. Diasumsikan  $A_{st} = 2\%$  atau  $0,02 A_g$ , maka nilai  $A_g - A_{st} = 0,98 A_g$
- b. Diameter Sengkang = 10 mm.
- c. Diameter Tulangan = 25 mm.
- d. Selimut Beton = 40 mm.
- e. Nilai  $f_c' = 30$  MPa; Nilai  $f_y = 400$  MPa untuk tulangan ulir dan  $f_y = 200$  MPa untuk tulangan polos.

#### 4.4.1. Pembebanan Kolom

##### a. Beban Rencana Pelat Atap

Berat Pelat Lantai	$= 0,12 \times 24$	$= 2,88 \text{ kN/m}^2$
Berat Pasir (20mm)	$= 0,02 \times 16$	$= 0,32 \text{ kN/m}^2$
Berat Plafond dan Penggantung		$= 0,18 \text{ kN/m}^2$
Berat Mekanikal Elektrikal		$= 0,20 \text{ kN/m}^2$
		_____+
Beban Mati Total		$= 3,58 \text{ kN/m}^2$
Beban Hidup	$= 2,5 \text{ kN/m}^2$	

##### b. Beban Rencana Pelat lantai 2-9

Berat Pelat Lantai	$= 0,12 \times 24$	$= 2,88 \text{ kN/m}^2$
Berat Pasir (20mm)	$= 0,02 \times 16$	$= 0,32 \text{ kN/m}^2$
Berat Penutup Lantai(10mm)	$= 0,01 \times 24$	$= 0,24 \text{ kN/m}^2$
Berat Plafond dan Penggantung		$= 0,18 \text{ kN/m}^2$
Berat Mekanikal Elektrikal		$= 0,20 \text{ kN/m}^2$
		_____+
Beban Mati Total		$= 3,82 \text{ kN/m}^2$
Beban Hidup	$= 2,5 \text{ kN/m}^2$	

##### c. Beban Rencana Pelat lantai 1

Berat Pelat Lantai	$= 0,12 \times 24$	$= 2,88 \text{ kN/m}^2$
Berat Pasir (20mm)	$= 0,02 \times 16$	$= 0,32 \text{ kN/m}^2$
Berat Penutup Lantai(10mm)	$= 0,01 \times 24$	$= 0,24 \text{ kN/m}^2$

Berat Plafond dan Penggantung	= 0,18 kN/m <sup>2</sup>
Berat Mekanikal Elektrikal	= 0,20 kN/m <sup>2</sup>
	_____+
Beban Mati Total	= 3,82 kN/m <sup>2</sup>
Beban Hidup	= 4,79 kN/m <sup>2</sup>

#### 4.4.2. Dimensi Kolom

##### a. Kolom Dak

Beban Mati dari pelat dak	= 0,12x8,1x4,57x3,82x24	= 141,4 kN
Balok Induk (550x750)	= 24x(0,75-0,12)x0,55x4,05	= 33,68 kN
Balok Induk (550x750)	= 24x(0,75-0,12)x0,55x4,05	= 33,68 kN
Balok Anak (350x550)	= 24x(0,55-0,12)x0,35x3,02	= 10,91 kN
Balok Anak (350x550)	= 24x(0,55-0,12)x0,35x1,55	= 5,59 kN
Balok Anak (250x300)	= 24x(0,3-0,12)x0,25x1,55	= 1,674 kN
<u>Balok Anak (250x300)</u>	<u>= 24x(0,3-0,12)x0,25x1,55</u>	<u>= 1,674 kN</u>
NDL		= 228,62 kN
NLL	= 0,12x8,1x4,57x2,5	= 92,54 kN
P <sub>U</sub>	= 1,2NDL + 1,6NLL	
	= 1,2(228,62)+1,6(92,543)	= 422,41 kN
Berat Kolom Total	= 1,15 x P <sub>U</sub>	= 1,15x422,41 = 485,77 kN
A <sub>g</sub>	= 0,02	
Φ	= 0,65	
P <sub>n</sub>	= 0,8 . {0,85 . f <sub>c</sub> ' . (A <sub>g</sub> -A <sub>st</sub> )+f <sub>y</sub> . A <sub>st</sub> }	
	= 0,8 . {0,85 . 30 . (0,98A <sub>g</sub> )+400 . 0,02A <sub>g</sub> }	



$$= 0,8 \cdot (25,5A_g - 0,51A_g + 8A_g) = 26,392 A_g$$

$$\Phi P_n = P_U$$

$$P_n = P_U / \Phi$$

$$26,392 \cdot A_g = (485,77 \times 1000) / 0,65$$

$$A_g = (485,77 \times 1000) / (26,392 \times 0,65) = 28.317 \text{ mm}^2$$

Asumsi dimensi  $b = h = \sqrt{A_g} = 168,28 \text{ mm}$ , dimensi kolom sebesar  $500 \times 900 \text{ (mm}^2\text{)}$ .

### b. Kolom Lantai 9

$$\text{Beban mati dari lantai atas} = (24 \times 3,5 \times 0,5^2) + 288,62 = 249,62 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Mati dari pelat dak} = 0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 3,82 \times 24 = 141,4 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Induk (550x750)} = 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Induk (550x750)} = 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Anak (350x550)} = 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 3,02 = 10,91 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Anak (350x550)} = 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 1,55 = 5,59 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Anak (250x300)} = 24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN}$$

$$\underline{\text{Balok Anak (250x300)} = 24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN}_+}$$

$$\text{NDL} = 478,24 \text{ kN}$$

$$\text{NLL} = (0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 2,5) \times 2 = 185,08 \text{ kN}$$

$$P_U = 1,2 \text{NDL} + 1,6 \text{NLL}$$

$$= 1,2(478,24) + 1,6(185,08) = 870,02 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Kolom Total} = 1,15 \times P_U = 1,15 \times 870,02 = 1000,53 \text{ kN}$$

$$A_g = 0,02$$

$$\Phi = 0,65$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= 0,8 \cdot \{0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}\} \\
 &= 0,8 \cdot \{0,85 \cdot 30 \cdot (0,98A_g) + 400 \cdot 0,02A_g\} \\
 &= 0,8 \cdot (25,5A_g - 0,51A_g + 8A_g) = 26,392 A_g
 \end{aligned}$$

$$\Phi P_n = P_U$$

$$P_n = P_U / \Phi$$

$$26,392 \cdot A_g = (1000,53 \times 1000) / 0,65$$

$$A_g = (1000,53 \times 1000) / (26,392 \times 0,65) = 58.323,38 \text{ mm}^2$$

Asumsi dimensi  $b = h = \sqrt{A_g} = 241,50 \text{ mm}$ , dimensi kolom sebesar  $500 \times 900 \text{ (mm}^2\text{)}$ .

### c. Kolom Lantai 8

$$\text{Beban mati dari lantai atas} = (24 \times 3,5 \times 0,5^2) + 478,24 = 499,24 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Mati dari pelat dak} = 0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 3,82 \times 24 = 141,4 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Induk (550x750)} = 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Induk (550x750)} = 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Anak (350x550)} = 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 3,02 = 10,91 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Anak (350x550)} = 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 1,55 = 5,59 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Anak (250x300)} = 24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN}$$

$$\underline{\text{Balok Anak (250x300)} = 24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN}}$$

$$\text{NDL} = 727,86 \text{ kN}$$

$$\text{NLL} = (0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 2,5) \times 3 = 277,63 \text{ kN}$$

$$P_U = 1,2\text{NDL} + 1,6\text{NLL}$$

$$= 1,2(727,86) + 1,6(277,63) = 1317,63 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Kolom Total} = 1,15 \times P_U = 1,15 \times 1317,63 = 1515,28 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 A_g &= 0,02 \\
 \Phi &= 0,65 \\
 P_n &= 0,8 \cdot \{0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}\} \\
 &= 0,8 \cdot \{0,85 \cdot 30 \cdot (0,98 A_g) + 400 \cdot 0,02 A_g\} \\
 &= 0,8 \cdot (25,5 A_g - 0,51 A_g + 8 A_g) = 26,392 A_g \\
 \Phi P_n &= P_U \\
 P_n &= P_U / \Phi \\
 26,392 \cdot A_g &= (1515,28 \times 1000) / 0,65 \\
 A_g &= (1515,28 \times 1000) / (26,392 \times 0,65) = 88329,73 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Asumsi dimensi  $b = h = \sqrt{A_g} = 297,2 \text{ mm}$ , dimensi kolom sebesar  $500 \times 900 \text{ (mm}^2\text{)}$ .

#### d. Kolom Lantai 7

$$\begin{aligned}
 \text{Beban mati dari lantai atas} &= (24 \times 3,5 \times 0,5^2) + 727,86 = 748,86 \text{ kN} \\
 \text{Beban Mati dari pelat dak} &= 0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 3,82 \times 24 = 141,4 \text{ kN} \\
 \text{Balok Induk (550x750)} &= 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN} \\
 \text{Balok Induk (550x750)} &= 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN} \\
 \text{Balok Anak (350x550)} &= 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 3,02 = 10,91 \text{ kN} \\
 \text{Balok Anak (350x550)} &= 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 1,55 = 5,59 \text{ kN} \\
 \text{Balok Anak (250x300)} &= 24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN} \\
 \underline{\text{Balok Anak (250x300)}} &= \underline{24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN}} \\
 \text{NDL} &= 977,48 \text{ kN} \\
 \text{NLL} &= (0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 2,5) \times 4 = 370,17 \text{ kN} \\
 P_U &= 1,2 \text{NDL} + 1,6 \text{NLL}
 \end{aligned}$$

$$= 1,2(977,48)+1,6(370,17) = 1765,25 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Kolom Total} = 1,15 \times P_U = 1,15 \times 1765,25 = 2030,03 \text{ kN}$$

$$A_g = 0,02$$

$$\Phi = 0,65$$

$$\begin{aligned} P_n &= 0,8 \cdot \{0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}\} \\ &= 0,8 \cdot \{0,85 \cdot 30 \cdot (0,98 A_g) + 400 \cdot 0,02 A_g\} \\ &= 0,8 \cdot (25,5 A_g - 0,51 A_g + 8 A_g) = 26,392 A_g \end{aligned}$$

$$\Phi P_n = P_U$$

$$P_n = P_U / \Phi$$

$$26,392 \cdot A_g = (2030,03 \times 1000) / 0,65$$

$$A_g = (2030,03 \times 1000) / (26,392 \times 0,65) = 118.336,08 \text{ mm}^2$$

Asumsi dimensi  $b = h = \sqrt{A_g} = 344 \text{ mm}$ , , dimensi kolom sebesar  $600 \times 900$  ( $\text{mm}^2$ ).

#### e. Kolom Lantai 6

$$\text{Beban mati dari lantai atas} = (24 \times 3,5 \times 0,5^2) + 977,48 = 998,48 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Mati dari pelat dak} = 0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 3,82 \times 24 = 141,4 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Induk (550x750)} = 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Induk (550x750)} = 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Anak (350x550)} = 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 3,02 = 10,91 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Anak (350x550)} = 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 1,55 = 5,59 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Anak (250x300)} = 24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Anak (250x300)} = 24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN} \pm$$

$$\text{NDL} = 1227,1 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
NLL &= (0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 2,5) \times 5 = 462,71 \text{ kN} \\
P_U &= 1,2NDL + 1,6NLL \\
&= 1,2(1227,1) + 1,6(462,71) = 2212,86 \text{ kN} \\
\text{Berat Kolom Total} &= 1,15 \times P_U = 1,15 \times 2212,86 = 2544,78 \text{ kN} \\
A_g &= 0,02 \\
\Phi &= 0,65 \\
P_n &= 0,8 \cdot \{0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}\} \\
&= 0,8 \cdot \{0,85 \cdot 30 \cdot (0,98 A_g) + 400 \cdot 0,02 A_g\} \\
&= 0,8 \cdot (25,5 A_g - 0,51 A_g + 8 A_g) = 26,392 A_g \\
\Phi P_n &= P_U \\
P_n &= P_U / \Phi \\
26,392 \cdot A_g &= (2544,78 \times 1000) / 0,65 \\
A_g &= (2544,78 \times 1000) / (26,392 \times 0,65) = 148342,43 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Asumsi dimensi  $b = h = \sqrt{A_g} = 385,15 \text{ mm}$ , dimensi kolom sebesar  $600 \times 900 \text{ (mm}^2\text{)}$ .

#### f. Kolom Lantai 5

$$\begin{aligned}
\text{Beban mati dari lantai atas} &= (24 \times 3,5 \times 0,5^2) + 1227,1 = 1248,1 \text{ kN} \\
\text{Beban Mati dari pelat dak} &= 0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 3,82 \times 24 = 141,4 \text{ kN} \\
\text{Balok Induk (550x750)} &= 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN} \\
\text{Balok Induk (550x750)} &= 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN} \\
\text{Balok Anak (350x550)} &= 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 3,02 = 10,91 \text{ kN} \\
\text{Balok Anak (350x550)} &= 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 1,55 = 5,59 \text{ kN} \\
\text{Balok Anak (250x300)} &= 24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\underline{\text{Balok Anak (250x300)}} = 24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN}_\pm$$

$$\text{NDL} = 1476,72 \text{ kN}$$

$$\text{NLL} = (0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 2,5) \times 6 = 555,24 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} P_U &= 1,2\text{NDL} + 1,6\text{NLL} \\ &= 1,2(1476,72) + 1,6(555,24) = 2660,47 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Berat Kolom Total} = 1,15 \times P_U = 1,15 \times 2660,47 = 3059,54 \text{ kN}$$

$$A_g = 0,02$$

$$\Phi = 0,65$$

$$\begin{aligned} P_n &= 0,8 \cdot \{0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}\} \\ &= 0,8 \cdot \{0,85 \cdot 30 \cdot (0,98A_g) + 400 \cdot 0,02A_g\} \\ &= 0,8 \cdot (25,5A_g - 0,51A_g + 8A_g) = 26,392 A_g \end{aligned}$$

$$\Phi P_n = P_U$$

$$P_n = P_U / \Phi$$

$$26,392 \cdot A_g = (3059,54 \times 1000) / 0,65$$

$$A_g = (3059,54 \times 1000) / (26,392 \times 0,65) = 178.348,78 \text{ mm}^2$$

Asumsi dimensi  $b = h = \sqrt{A_g} = 422,31 \text{ mm}$ , dimensi kolom sebesar  $600 \times 900 \text{ (mm}^2\text{)}$ .

#### g. Kolom Lantai 4

$$\text{Beban mati dari lantai atas} = (24 \times 3,5 \times 0,5^2) + 1476,72 = 1497,72 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Mati dari pelat dak} = 0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 3,82 \times 24 = 141,4 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Induk (550x750)} = 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Induk (550x750)} = 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Anak (350x550)} = 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 3,02 = 10,91 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok Anak (350x550)} &= 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 1,55 = 5,59 \text{ kN} \\ \text{Balok Anak (250x300)} &= 24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN} \\ \text{Balok Anak (250x300)} &= 24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN}_+ \end{aligned}$$

$$\text{NDL} = 1726,34 \text{ kN}$$

$$\text{NLL} = (0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 2,5) \times 7 = 647,8 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} P_U &= 1,2 \text{NDL} + 1,6 \text{NLL} \\ &= 1,2(1726,34) + 1,6(647,8) = 3108,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Berat Kolom Total} = 1,15 \times P_U = 1,15 \times 3108,08 = 3574,29 \text{ kN}$$

$$A_g = 0,02$$

$$\Phi = 0,65$$

$$\begin{aligned} P_n &= 0,8 \cdot \{0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}\} \\ &= 0,8 \cdot \{0,85 \cdot 30 \cdot (0,98 A_g) + 400 \cdot 0,02 A_g\} \\ &= 0,8 \cdot (25,5 A_g - 0,51 A_g + 8 A_g) = 26,392 A_g \end{aligned}$$

$$\Phi P_n = P_U$$

$$P_n = P_U / \Phi$$

$$26,392 \cdot A_g = (3574,29 \times 1000) / 0,65$$

$$A_g = 3574,29 \times 1000 / (26,392 \times 0,65) = 208.355,13 \text{ mm}^2$$

Asumsi dimensi  $b = h = \sqrt{A_g} = 456,46 \text{ mm}$ , dimensi kolom sebesar  $700 \times 900 \text{ (mm}^2\text{)}$ .

#### **h. Kolom Lantai 3**

$$\text{Beban mati dari lantai atas} = (24 \times 3,5 \times 0,5^2) + 1726,34 = 1747,34 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Mati dari pelat dak} = 0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 3,82 \times 24 = 141,4 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Induk (550x750)} = 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Balok Induk (550x750)} &= 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN} \\
 \text{Balok Anak (350x550)} &= 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 3,02 = 10,91 \text{ kN} \\
 \text{Balok Anak (350x550)} &= 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 1,55 = 5,59 \text{ kN} \\
 \text{Balok Anak (250x300)} &= 24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN} \\
 \underline{\text{Balok Anak (250x300)}} &= 24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN} +
 \end{aligned}$$

$$\text{NDL} = 1975,96 \text{ kN}$$

$$\text{NLL} = (0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 2,5) \times 8 = 740,34 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 P_U &= 1,2 \text{NDL} + 1,6 \text{NLL} \\
 &= 1,2(228,62) + 1,6(92,543) = 3555,69 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat Kolom Total} = 1,15 \times P_U = 1,15 \times 3555,69 = 4089,04 \text{ kN}$$

$$A_g = 0,02$$

$$\phi = 0,65$$

$$\begin{aligned}
 P_n &= 0,8 \cdot \{0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}\} \\
 &= 0,8 \cdot \{0,85 \cdot 30 \cdot (0,98 A_g) + 400 \cdot 0,02 A_g\} \\
 &= 0,8 \cdot (25,5 A_g - 0,51 A_g + 8 A_g) = 26,392 A_g
 \end{aligned}$$

$$\phi P_n = P_U$$

$$P_n = P_U / \phi$$

$$26,392 \cdot A_g = (4089,04 \times 1000) / 0,65$$

$$A_g = (4089,04 \times 1000) / (26,392 \times 0,65) = 238.361,48 \text{ mm}^2$$

Asumsi dimensi  $b = h = \sqrt{A_g} = 488,22 \text{ mm}$ , dimensi kolom sebesar  $700 \times 900 \text{ (mm}^2\text{)}$ .



**i. Kolom Lantai 2**

$$\text{Beban mati dari lantai atas} = (24 \times 3,5 \times 0,5^2) + 1975,96 = 1996,96 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Mati dari pelat dak} = 0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 3,82 \times 24 = 141,4 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Induk (550x750)} = 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Induk (550x750)} = 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Anak (350x550)} = 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 3,02 = 10,91 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Anak (350x550)} = 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 1,55 = 5,59 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Anak (250x300)} = 24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN}$$

$$\underline{\text{Balok Anak (250x300)} = 24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN}}$$

$$\text{NDL} = 2225,57 \text{ kN}$$

$$\text{NLL} = (0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 2,5) \times 9 = 832,88 \text{ kN}$$

$$P_U = 1,2 \text{NDL} + 1,6 \text{NLL}$$

$$= 1,2(2225,57) + 1,6(832,88) = 4003,3 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Kolom Total} = 1,15 \times P_U = 1,15 \times 4003,3 = 4603,8 \text{ kN}$$

$$A_g = 0,02$$

$$\Phi = 0,65$$

$$P_n = 0,8 \cdot \{0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}\}$$

$$= 0,8 \cdot \{0,85 \cdot 30 \cdot (0,98 A_g) + 400 \cdot 0,02 A_g\}$$

$$= 0,8 \cdot (25,5 A_g - 0,51 A_g + 8 A_g) = 26,392 A_g$$

$$\Phi P_n = P_U$$

$$P_n = P_U / \Phi$$

$$26,392 \cdot A_g = (4603,8 \times 1000) / 0,65$$

$$A_g = (4603,8 \times 1000) / (26,392 \times 0,65) = 268.367,83 \text{ mm}^2$$

Asumsi dimensi  $b = h = \sqrt{A_g} = 518,04$  mm dimensi kolom sebesar 700 x 900 (mm<sup>2</sup>).

**j. Kolom Lantai 1**

$$\text{Beban mati dari lantai atas} = (24 \times 3,5 \times 0,5^2) + 2225,57 = 2246,57 \text{ kN}$$

$$\text{Beban Mati dari pelat dak} = 0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 3,82 \times 24 = 141,4 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Induk (550x750)} = 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Induk (550x750)} = 24 \times (0,75 - 0,12) \times 0,55 \times 4,05 = 33,68 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Anak (350x550)} = 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 3,02 = 10,91 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Anak (350x550)} = 24 \times (0,55 - 0,12) \times 0,35 \times 1,55 = 5,59 \text{ kN}$$

$$\text{Balok Anak (250x300)} = 24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN}$$

$$\underline{\text{Balok Anak (250x300)} = 24 \times (0,3 - 0,12) \times 0,25 \times 1,55 = 1,674 \text{ kN}_+}$$

$$\text{NDL} = 2475,19 \text{ kN}$$

$$\text{NLL} = (0,12 \times 8,1 \times 4,57 \times 2,5) \times 10 = 925,43 \text{ kN}$$

$$P_U = 1,2\text{NDL} + 1,6\text{NLL}$$

$$= 1,2(2475,19) + 1,6(925,43) = 4450,91 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Kolom Total} = 1,15 \times P_U = 1,15 \times 4450,91 = 5118,55 \text{ kN}$$

$$A_g = 0,02$$

$$\Phi = 0,65$$

$$P_n = 0,8 \cdot \{0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}\}$$

$$= 0,8 \cdot \{0,85 \cdot 30 \cdot (0,98 A_g) + 400 \cdot 0,02 A_g\}$$

$$= 0,8 \cdot (25,5 A_g - 0,51 A_g + 8 A_g) = 26,392 A_g$$

$$\Phi P_n = P_U$$

$$P_n = P_U / \Phi$$

$$26,392 \cdot A_g = (5118,55 \times 1000) / 0,65$$

$$A_g = (5118,55 \times 1000) / (26,392 \times 0,65) = 298.374,18 \text{ mm}^2$$

Asumsi dimensi  $b = h = \sqrt{A_g} = 546,24 \text{ mm}$ , dimensi kolom sebesar  $800 \times 900 \text{ (mm}^2\text{)}$ .

**Tabel 4.5 Rekapitulasi Dimensi Kolom**

Label	Lantai	Dimensi (mm <sup>2</sup> )
K1	Lantai 8 - 10	500 x 900
K2	Lantai 5 - 7	600 x 900
K3	Lantai 2 - 4	700 x 900
K4	Lantai 1	800 x 900

#### 4.5. Estimasi Dimensi Dinding Struktural

Menurut SNI 2847-2013 pasal 14.3.5.1, tebal dinding struktural tidak boleh kurang dari  $1/25$  tinggi atau panjang bentang tertumpu, dipilih yang mana lebih pendek atau tidak boleh kurang dari 100 mm.

**Tabel 4.6 Perhitungan Tebal Dinding Geser Lantai Dasar**

LANTAI DASAR				
h lantai	4500			mm
b lantai	3100	5360	2300	mm
h/25	120	120	120	mm
b/25	124	214.4	94	mm
Tebal Terpakai	200	300	200	mm

**Tabel 4.7 Perhitungan Tebal Dinding Geser Lantai 2- 10**

LANTAI 2 - 10				
h lantai	3500			mm
b lantai	3100	5360	2300	mm
h/25	140	140	140	mm
b/25	124	214.4	94	mm
Tebal Terpakai	200	300	200	mm

## 4.6. Estimasi Dimensi Tangga

### 4.6.1. Estimasi Dimensi Tangga Lantai Dasar

Perencanaan dimensi tangga untuk lantai dasar:

$$\text{Tinggi antar lantai (} h_{\text{lantai}} \text{)} = 4500 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar ruang tangga (} b_{\text{tangga}} \text{)} = 3500 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang ruang tangga (} l_{\text{tangga}} \text{)} = 4000 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi anak tangga (} optrede \text{)} = 180 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar anak tangga (} antrede \text{)} = 250 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah anak tangga (} n \text{)} = \frac{h}{Op} - 1 = \frac{4500}{180} - 1 = 24$$

$$\text{Syarat tangga} : 600 \leq \{(2 \times Op) + An\} \leq 650$$

$$: 600 \leq \{(2 \times 180) + 250\} \leq 650$$

$$: 600 \leq 610 \leq 650 \text{ (memenuhi syarat)}$$

$$\text{Panjang bordes} = l - \frac{n-1}{2} - An$$

$$= 4000 - \frac{24-1}{2} - 250 = 1100 \text{ mm}$$

$$\text{Kemiringan tangga (} \alpha \text{)} = \text{arc tan } \frac{Op}{An} = \text{arc tan } \frac{180}{250} = 35,75^\circ$$

$$tt' = \frac{0,5 \times Op \times An}{\sqrt{Op^2 + An^2}} = \frac{0,5 \times 180 \times 250}{\sqrt{180^2 + 250^2}} = 0,073 \text{ m}$$

Tebal pelat tangga = tebal pelat bordes

$$tt = 0,15 \text{ m}$$

$$h' = \frac{tt+tt'}{\cos\alpha} = \frac{0,15+0,073}{\cos 35,75} = 0,27 \text{ m} = 270 \text{ mm}$$

#### 4.6.2. Estimasi Dimensi Tangga Lantai 2 sampai Lantai 10

Perencanaan dimensi tangga untuk lantai 2 – 10:

$$\text{Tinggi antar lantai } (h_{\text{lantai}}) = 3500 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar ruang tangga } (b_{\text{tangga}}) = 3500 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang ruang tangga } (l_{\text{tangga}}) = 4000 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi anak tangga } (optrede) = 175 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar anak tangga } (antrede) = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah anak tangga } (n) = \frac{h}{Op} - 1 = \frac{3500}{175} - 1 = 19$$

$$\text{Syarat tangga} : 600 \leq \{(2 \times Op) + An\} \leq 650$$

$$: 600 \leq \{(2 \times 175) + 300\} \leq 650$$

$$: 600 \leq 650 \leq 650 \text{ (memenuhi syarat)}$$

$$\text{Panjang bordes} = l - \frac{n-1}{2} - An$$

$$= 4000 - \frac{19-1}{2} - 300 = 1300 \text{ mm}$$

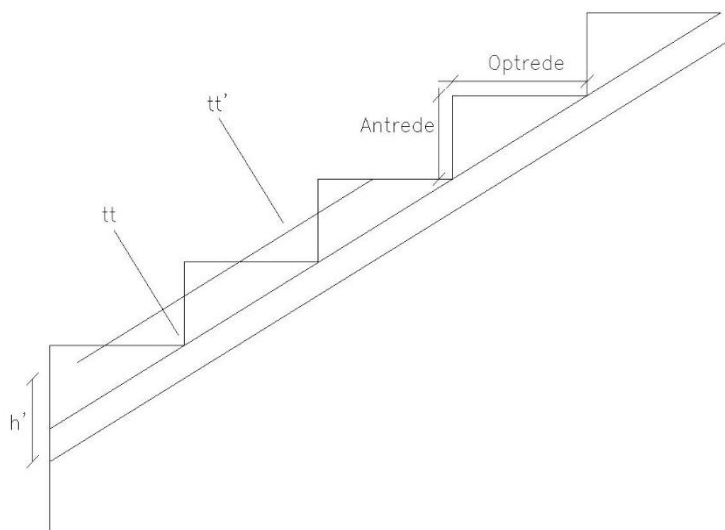
$$\text{Kemiringan tangga } (\alpha) = \text{arc tan } \frac{Op}{An} = \text{arc tan } \frac{175}{300} = 30,114^\circ$$

$$tt' = \frac{0,5 \times Op \times An}{\sqrt{Op^2 + An^2}} = \frac{0,5 \times 175 \times 300}{\sqrt{175^2 + 300^2}} = 0,076 \text{ m}$$

Tebal pelat tangga = tebal pelat bordes

$$tt = 0,15 \text{ m}$$

$$h' = \frac{tt + tt'}{\cos \alpha} = \frac{0,15 + 0,076}{\cos 30,114} = 0,26 \text{ m} = 260 \text{ mm}$$



Gambar 4.9 Perencanaan Tangga

**Tabel 4.8 Rekapitulasi Dimensi Tangga**

Posisi Tangga	Label	Dimensi	
		Tebal (mm)	Lebar x Panjang (mm)
Lantai Dasar	Bordes	150	1100 x 3500
	Tangga	270	2900 x 3500
Lantai 2 - 10	Bordes	150	1300 x 3500
	Tangga	260	2700 x 3500

## BAB V

### ANALISIS STRUKTUR

#### 5.1. Analisis Gempa

##### 5.1.1. Parameter Percepatan Spektra Desain $S_{DS}$ dan $S_{D1}$

$S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  diperoleh dari situs web desain spektra Indonesia yang dibuat oleh Kementerian Pekerjaan Umum:

<http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain Spektra Indonesia 2011>

Dari hasil perhitungan diperoleh:

a. Parameter  $S_S$  dan  $S_1$

$$S_S = 0,676 \text{ g}$$

$$S_1 = 0,298 \text{ g}$$

b. Kelas Situs

Untuk kelas situs proyek, berada pada lokasi tanah keras sehingga tidak perlu dilakukan perhitungan.

c. Koefisien Situs

$$F_a = 1,130$$

$$F_v = 1,502$$

d. Parameter Percepatan Respons Spektrum pada  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$

$$S_{MS} = 0,764 \text{ g}$$

$$S_{M1} = 0,448 \text{ g}$$

e. Nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$

$$S_{DS} = 0,509 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 0,298 \text{ g}$$



### 5.1.2. Kategori Resiko

Sesuai dengan Tabel 1 SNI 1726:2012 gedung yang dirancang termasuk kedalam kategori resiko II.

### 5.1.3. Kategori Desain Seismik (KDS)

Untuk menentukan Kategori Desain Seismik ditinjau dari nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  menggunakan Tabel 6 dan 7 SNI 1726:2012, maka:

- a. Dengan nilai  $S_{DS}$  sebesar 0,509, maka KDS yang diperoleh sesuai dengan Tabel 6 SNI 1726:2012 adalah D.
- b. Dengan nilai  $S_{D1}$  sebesar 0,298, maka KDS yang diperoleh sesuai dengan Tabel 7 SNI 1726:2012 adalah D. Nilai KDS yang digunakan adalah D.

### 5.1.4. Sistem Struktur dan Parameter Struktur Berdasarkan KDS

Sistem struktur penahan gaya gempa lateral dan vertikal harus dipilih berdasarkan nilai KDS dan ketinggian struktur. Tipe sistem struktur yang digunakan dalam gedung yang dirancang adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan nilai :

$$R = 8$$

$$C_d = 5,5$$

$$\Omega_0 = 3$$

### 5.1.5. Faktor Keutamaan Gempa

Berdasarkan Tabel 2 SNI 1726:2012 dengan kategori resikoII, maka nilai faktor keutamaan gempa yang digunakan adalah  $I_e = 1,0$ .

### 5.1.6. Desain Respons Spektrum

Nilai  $T_0$  dan  $T_S$  ditentukan sebagai berikut:

$$S_{DS} = 0,509 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 0,298 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 (S_{D1}/S_{DS}) \\ &= 0,2 (0,298/0,509) = 0,117 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_S &= S_{D1}/S_{DS} \\ &= 0,298/0,509 = 0,585 \end{aligned}$$

Nilai  $T_0$  dan  $T_S$  yang telah diperoleh dimasukkan kedalam tabel perhitungan untuk membuat desain grafik respons spektrum yang akan digunakan sebagai beban gempa pada *ETABS*.

**Tabel 5.1 Desain Respons Spektrum**

Desain Respons Spektrum					
n	T <sub>s+n</sub>	S <sub>a</sub>	n	T <sub>s+n</sub>	S <sub>a</sub>
0	0	0.298	1,8	2.385	0.125
T <sub>0</sub>	0.117	0.509	1,9	2.485	0.120
T <sub>s</sub>	0.585	0.509	2,0	2.585	0.115
0,1	0.685	0.435	2,1	2.685	0.111
0,2	0.785	0.379	2,2	2.785	0.107
0,3	0.885	0.337	2,3	2.885	0.103
0,4	0.985	0.302	2,4	2.985	0.100
0,5	1.085	0.275	2,5	3.085	0.097
0,6	1.185	0.251	2,6	3.185	0.094
0,7	1.285	0.232	2,7	3.285	0.091
0,8	1.385	0.215	2,8	3.385	0.088
0,9	1.485	0.201	2,9	3.485	0.085
1,0	1.585	0.188	3,0	3.585	0.083
1,1	1.685	0.177	3,1	3.685	0.081
1,2	1.785	0.167	3,2	3.785	0.079
1,3	1.885	0.158	3,3	3.885	0.077
1,4	1.985	0.150	3,4	3.985	0.075
1,5	2.085	0.143	-	-	-
1,6	2.185	0.136	-	-	-
1,7	2.285	0.130	-	-	-

Untuk nilai  $(T_s + n) > T_s$  dihitung dengan rumus:

$$S_a = S_{D1}/(T_s + n)$$

Nilai  $S_a$  untuk  $(T_s+n) = 0$  digunakan nilai  $S_{D1}$  sebesar 0,298. Sedangkan untuk  $T_0$  dan  $T_s$  digunakan nilai  $S_{DS}$  sebesar 0,509.

Karena nilai respons spektrum hanya menggunakan nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  maka pada respons spektrum *case* bukan beban gravitasi saja, namun menjadi  $9,81/(R/I_e)$ .

$$Scale Factor = 9,81/(R/I_e) = 9,81/(8/1) = 1,23$$

### 5.1.7. Periode Fundamental

Berdasarkan tabel 14 SNI 1726:2012 dengan nilai  $S_{D1} = 0,289$  g maka nilai koefisien  $C_U$  yang diperoleh adalah 1,402. Berdasarkan Tabel 15 SNI 1726:2012 dengan tipe struktur Sistem Rangka Pemikul Beton maka diperoleh,  $C_t = 0,0466$  dan  $x = 0,9$ .

### 5.1.8. Perhitungan Gempa Statik Ekuivalen

Dengan tinggi gedung,  $h = 37$  m maka:

$$\begin{aligned} T_a &= C_t \cdot h^x \\ &= 0,0466 \cdot 37^{0,9} = 1,202 \text{ s} \end{aligned}$$

$$C_u \cdot T_a = 1,402 \cdot 1,202 = 1,685 \text{ s}$$

Pada SNI 1726-2012 pasal 7.8.2:

$$\text{Jika } T_c > C_u \cdot T_a \text{ maka } T = C_u \cdot T_a$$

$$\text{Jika } T_a < T_c < C_u \cdot T_a \text{ maka } T = T_c$$

Pembatasan waktu getar alami bangunan untuk mecegah struktur bangunan terlalu fleksibel. Berdasarkan analisis program bantu *ETABS*, periode getar alami bangunan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$T_{cx} = 1,104 \text{ detik}$$

$$T_{cy} = 0,957 \text{ detik}$$

Waktu getar alami bangunan berdasarkan hitungan *ETABS* lebih kecil dari nilai  $C_u \cdot T_a = 1,685$  detik, maka waktu getar alami yang digunakan adalah waktu getar alami dari hitungan *ETABS*.

### 5.1.9. Koefisien Seismik

$$C_{s \max} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,509}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,064$$

$$C_{sx} = \frac{S_{D1}}{T_{cx} \cdot \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,298}{1,03 \left(\frac{8}{1}\right)} = 0,034$$

$$C_{sy} = \frac{S_{D1}}{T_{cy} \cdot \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,298}{0,85 \left(\frac{8}{1}\right)} = 0,039$$

$$C_{s \min} = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e = 0,044 \cdot 0,298 \cdot 1 = 0,022$$

Maka nilai  $C_s$  yang digunakan adalah:

$$C_{sx} = 0,034$$

$$C_{sy} = 0,039$$

Eksponen  $K$  berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.3 adalah sebagai berikut:

$$K = 0,5 \cdot T + 0,75$$

Untuk nilai  $T_{cx} = 1,03$  detik maka:

$$K_x = 0,5(1,104) + 0,75 = 1,302$$

Untuk nilai  $T_{cy} = 0,85$  detik maka:

$$K_y = 0,5(0,957) + 0,75 = 1,229$$

### 5.1.10. Analisis Respons Spektra Ragam

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.9.1, analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur, analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal dari respon yang ditinjau model. Berdasarkan analisis ETABS, jumlah partisipasi massa pada mode ke-14 telah melebihi 90%.

**Tabel 5.2 Partisipasi Massa**

Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
1	1,065414	80,4366	0,0131	80,4366	0,0131
2	0,872016	0,4768	70,072	80,9134	70,0851
3	0,821083	2,8559	8,1374	83,7694	78,2224
4	0,337268	8,8844	0,0001	92,6537	78,2226
5	0,312984	0,0002	0,0228	92,6539	78,2454
6	0,307704	0	0	92,6539	78,2454
7	0,30647	0	0,0032	92,6539	78,2487
8	0,3045	0	0	92,6539	78,2487
9	0,301922	0	0,0179	92,6539	78,2666
10	0,298889	0,0001	0,0009	92,6541	78,2675
11	0,296142	0,0001	0,1849	92,6541	78,4524
12	0,293576	0,0008	0,0628	92,6549	78,5152
13	0,25507	0,3266	1,2235	92,9815	79,7387
14	0,24128	0,0345	12,6192	93,0161	92,358
15	0,177523	2,5893	0,0037	95,6054	92,3616
16	0,127925	0,0824	0,0243	95,6878	92,386
17	0,115607	0,0001	3,5735	95,6878	95,9594
18	0,111535	1,27	0,0016	96,9578	95,9611
19	0,080002	0,0243	0,0943	96,9821	96,0553
20	0,078504	0,8697	0,0027	97,8518	96,0581
21	0,071373	0	1,4719	97,8518	97,53
22	0,059307	0,7168	0,0042	98,5686	97,5342
23	0,057003	0,0158	0,0003	98,5844	97,5345
24	0,055978	0,0285	0,1619	98,6129	97,6964

### 5.1.11. Skala Nilai Desain untuk Respons Terkombinasi

Gaya geser ( $V$ ) harus dihitung dalam masing-masing dua arah horizontal orthogonal menggunakan perioda fundamental struktur yang dihitung ( $T$ ) dalam masing-masing arah.

Kombinasi respons untuk geser dasar ragam ( $V_t$ ) lebih kecil 85 persen dari gaya geser yang dihitung ( $V$ ) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan  $0,85 \frac{V}{V_t}$ .

### Gaya Geser Dinamik

Output ETABS dapat dilihat pada tabel 5.3

**Tabel 5.3 Output Dinamik arah X dan Y**

Spec	Mode	Dir	F1	F2	F3	M1	M2	M3
RSX	1	U1	4159,22	53,01	0	-1336,98	103859,1	-37759
RSX	2	U1	30,12	-365,16	0	9439,866	761,061	-12985,4
RSX	3	U1	191,7	323,58	0	-8410,2	4777,745	9583,328
RSX	4	U1	834,25	-3,4	0	247,826	-3441,77	-8084,21
RSX	5	U1	0,01	0,18	0	-0,353	0,069	6,654
RSX	6	U1	0	0	0	0,003	0,002	0,037
RSX	7	U1	0	0,01	0	-0,027	0,004	0,302
RSX	8	U1	0	0	0	0,061	0	0,095
RSX	9	U1	0	0,02	0	-0,064	0,009	0,686
RSX	10	U1	0,01	-0,03	0	0,299	0,01	-0,838
RSX	11	U1	0,01	-0,34	0	1,057	-0,156	-12,161
RSX	12	U1	0,07	-0,65	0	-1,941	0,131	-28,257
RSX	13	U1	30,67	-59,36	0	15,483	-88,074	-2221,11
RSX	14	U1	3,24	61,99	0	-133,291	-7,715	2181,949
RSX	15	U1	243,14	-9,14	0	55,191	1322,799	-2714,72
RSX	16	U1	7,74	4,2	0	-23,447	45,026	216,954
RSX	17	U1	0	1,25	0	-5,66	0,031	46,776
RSX	18	U1	116,95	-4,2	0	17,778	-24,528	-1282,47
RSX	19	U1	1,98	3,9	0	-11,285	-1,151	225,854

**Tabel 5.4 Output Dinamik arah X dan Y (Lanjutan)**

RSX	20	U1	70,52	-3,96	0	9,321	234,438	-832,482
RSX	21	U1	0	-0,03	0	0,048	-0,001	-1,275
RSX	22	U1	53,55	-4,12	0	10,438	63,931	-734,913
RSX	23	U1	1,17	0,16	0	0,59	2,905	89,591
RSX	24	U1	2,1	5	0	-14,148	6,648	257,341
RSX	All	All	4256,1	498,43	0	12716,68	104037,4	42091,24
RSY	1	U2	53,01	0,68	0	-17,041	1323,788	-481,276
RSY	2	U2	-365,16	4426,89	0	-114441	-9226,45	157423,4
RSY	3	U2	323,58	546,2	0	-14196,3	8064,744	16176,48
RSY	4	U2	-3,4	0,01	0	-1,01	14,025	32,943
RSY	5	U2	0,18	2,14	0	-4,267	0,829	80,488
RSY	6	U2	0	0	0	0,01	0,006	0,139
RSY	7	U2	0,01	0,3	0	-0,983	0,149	10,863
RSY	8	U2	0	0	0	0	0	0
RSY	9	U2	0,02	1,69	0	-5,561	0,765	59,818
RSY	10	U2	-0,03	0,09	0	-0,74	-0,024	2,069
RSY	11	U2	-0,34	17,36	0	-54,546	8,063	627,836
RSY	12	U2	-0,65	5,9	0	17,581	-1,19	255,983
RSY	13	U2	-59,36	114,89	0	-29,966	170,458	4298,729
RSY	14	U2	61,99	1184,96	0	-2548,1	-147,479	41711,93
RSY	15	U2	-9,14	0,34	0	-2,075	-49,733	102,065
RSY	16	U2	4,2	2,29	0	-12,746	24,475	117,932
RSY	17	U2	1,25	333,9	0	-1512,35	8,317	12497,51
RSY	18	U2	-4,2	0,15	0	-0,638	0,88	46,012
RSY	19	U2	3,9	7,69	0	-22,236	-2,268	445,034
RSY	20	U2	-3,96	0,22	0	-0,523	-13,167	46,755
RSY	21	U2	-0,03	115,87	0	-175,993	5,117	4638,677
RSY	22	U2	-4,12	0,32	0	-0,802	-4,913	56,477
RSY	23	U2	0,16	0,02	0	0,081	0,399	12,301
RSY	24	U2	5	11,92	0	-33,696	15,834	612,896
RSY	All	All	498,43	4630,17	0	115356,2	12327,79	164259,5

Dari hasil ETABS didapatkan gaya geser dinamik arah X = 4256,1 kN dan arah Y = 4630,17 kN.



### **Gaya Geser Statik Dasar Ekuivalen**

Dari perhitungan diperoleh:

$$C_{sx} = 0,034$$

$$C_{sy} = 0,039$$

Berat total bangunan ( $W$ )= 107355,49 kN

Gaya geser dapat dihitung,  $V = C_s \cdot W$

$$V_x = 107355,49 \cdot 0,034 = 3622,28 \text{ kN}$$

$$V_y = 107355,49 \cdot 0,039 = 4176,93 \text{ kN}$$

$$0,85 \cdot V_x = 0,85 \cdot 3622,28 = 3078,93 \text{ kN}$$

$$0,85 \cdot V_y = 0,85 \cdot 4176,93 = 3550,39 \text{ kN}$$

$V$  dari *ETABS*  $< 0,85V$  (maka perhitungan tidak memerlukan faktor pengali)

### 5.1.12. Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.12.1.1, untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri hanya rangka momen pada struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, atau F, simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta_x$ ) tidak boleh melebihi  $\Delta_a/p$  untuk semua tingkat. Faktor Redudansi ( $\rho$ ) adalah 1,3, jenis struktur yang dipilih adalah SRPMK, maka faktor amplifikasi ( $C_d$ ) adalah 5,5 dan kategori resiko II simpangan antar lantai ijin ( $\Delta_a$ ) adalah 0,015  $h_{sx}$  pada tabel 16 SNI 1726:2012 pasal 7.12.1.

**Tabel 5.5 Simpangan Antar Lantai Arah X**

Lantai	$h_{sx}$	$C_d$	$\delta_{xe}$	$I_e$	$\delta$	$\Delta_a$	$\rho$	$\Delta_i$	$\Delta_x$
Atap	3500	5,5	18,72	1,5	68,64	52,5	1,3	40,38	3,34
9	3500	5,5	17,81	1,5	65,30	52,5	1,3	40,38	4,51
8	3500	5,5	16,58	1,5	60,79	52,5	1,3	40,38	5,72
7	3500	5,5	15,02	1,5	55,07	52,5	1,3	40,38	6,49
6	3500	5,5	13,25	1,5	48,58	52,5	1,3	40,38	7,33
5	3500	5,5	11,25	1,5	41,25	52,5	1,3	40,38	7,92
4	3500	5,5	9,09	1,5	33,33	52,5	1,3	40,38	7,88
3	3500	5,5	6,94	1,5	25,45	52,5	1,3	40,38	8,25
2	3500	5,5	4,69	1,5	17,20	52,5	1,3	40,38	11,37
1	4500	5,5	1,59	1,5	5,83	67,5	1,3	51,92	5,83

**Tabel 5.6 Simpangan Antar Lantai Arah Y**

Lantai	hsy	Cd	$\delta_{ye}$	Ie	$\delta$	$\Delta a$	p	$\Delta i$	$\Delta y$
Atap	3500	5,5	18,09	1,5	66,33	52,5	1,3	40,38	5,94
9	3500	5,5	16,47	1,5	60,39	52,5	1,3	40,38	6,42
8	3500	5,5	14,72	1,5	53,97	52,5	1,3	40,38	6,93
7	3500	5,5	12,83	1,5	47,04	52,5	1,3	40,38	7,22
6	3500	5,5	10,86	1,5	39,82	52,5	1,3	40,38	7,44
5	3500	5,5	8,83	1,5	32,38	52,5	1,3	40,38	7,37
4	3500	5,5	6,82	1,5	25,01	52,5	1,3	40,38	6,97
3	3500	5,5	4,92	1,5	18,04	52,5	1,3	40,38	6,45
2	3500	5,5	3,16	1,5	11,59	52,5	1,3	40,38	7,66
1	4500	5,5	1,07	1,5	3,92	67,5	1,3	51,92	3,92

Berdasarkan Tabel 5.6 dan 5.7, simpangan antar lantai arah X dan Y yang terjadi tidak ada yang melebihi simpangan ijin.

### 5.1.13. Pemeriksaan Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-Delta tidak disyaratkan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas ( $\theta$ ) < 0,1.

$$\theta = \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V \cdot h_s \cdot C_d}$$

**Tabel 5.7 Koefisien Stabilitas Arah X**

Lantai	hsx	$\Delta x$	Px	Vx	Cd	Ie	$\theta$	$\theta_{max}$
Atap	3500	3,34	14192,39	682,51	5,5	1,5	0,0054	0,091
9	3500	4,51	34319,75	1612,57	5,5	1,5	0,0075	0,091
8	3500	5,72	51989,58	2418,26	5,5	1,5	0,0096	0,091
7	3500	6,49	74820,51	3108,02	5,5	1,5	0,0122	0,091
6	3500	7,33	95193,91	3684,7	5,5	1,5	0,0148	0,091
5	3500	7,92	115567,3	4148,67	5,5	1,5	0,0172	0,091
4	3500	7,88	136531,2	4511,01	5,5	1,5	0,0186	0,091
3	3500	8,25	157495,1	4775,15	5,5	1,5	0,0212	0,091
2	3500	11,37	178459	4943,57	5,5	1,5	0,0320	0,091
1	4500	5,83	194787,7	5002,4	5,5	1,5	0,0138	0,091

**Tabel 5.8 Koefisien Stabilitas Arah Y**

Lantai	hsy	$\Delta y$	Px	Vy	Cd	Ie	$\theta$	$\theta_{max}$
Atap	3500	5,94	14192,39	754,6	5,5	1,5	0,0087	0,091
9	3500	6,42	34319,75	1789,44	5,5	1,5	0,0096	0,091
8	3500	6,93	51989,58	2692,17	5,5	1,5	0,0104	0,091
7	3500	7,22	74820,51	3471,04	5,5	1,5	0,0121	0,091
6	3500	7,44	95193,91	4127,92	5,5	1,5	0,0134	0,091
5	3500	7,37	115567,3	4661,72	5,5	1,5	0,0142	0,091
4	3500	6,97	136531,2	5083,49	5,5	1,5	0,0146	0,091
3	3500	6,45	157495,1	5395,2	5,5	1,5	0,0147	0,091
2	3500	7,66	178459	5597,32	5,5	1,5	0,0190	0,091
1	4500	3,92	194787,7	5669,63	5,5	1,5	0,0082	0,091

Berdasarkan Tabel 5.8 dan 5.9, koefisien stabilitas tiap lantai arah X dan Y yang terjadi ( $\theta$ ) tidak ada yang melebihi koefisien stabilitas maksimal ( $\theta_{max}$ ). Maka pengaruh P-Delta diabaikan.

#### 5.1.14. Pemeriksaan Pengaruh Torsi

Jenis diafragma pada struktur gedung yang dirancang merupakan diafragma kaku, maka dari itu pengaruh akibat torsi pada struktur gedung ini perlu ditinjau disetiap lantainya dan harus diperhitungkan dengan ketentuan sebagai berikut:

Pengaruh torsi terjadi jika  $\frac{\delta_{maks}}{\delta_{rata-rata}} > 1,2$ .

**Tabel 5.9 Pemeriksaan Torsi Akibat Gempa Arah X**

Lantai	$\delta_{kiri}$	$\delta_{kanan}$	$\delta_{rata2}$	$\delta_{max}$	$\delta_{max}/\delta_{rata2}$	Batas Ijin
Atap	18,72	18,72	18,72	17,8	0,95	1,2
9	17,81	17,81	17,81	16,8	0,94	1,2
8	16,58	16,58	16,58	15,5	0,93	1,2
7	15,02	15,02	15,02	13,9	0,93	1,2
6	13,25	13,25	13,25	12,1	0,91	1,2
5	11,25	11,25	11,25	10,1	0,90	1,2
4	9,09	9,09	9,09	7,9	0,87	1,2
3	6,94	6,94	6,94	5,8	0,84	1,2
2	4,69	4,69	4,69	3,7	0,79	1,2
1	1,59	1,59	1,59	1,6	1,01	1,2

**Tabel 5.10 Pemeriksaan Torsi Akibat Gempa Arah Y**

Lantai	$\delta_{kiri}$	$\delta_{kanan}$	$\delta_{rata2}$	$\delta_{max}$	$\delta_{max}/\delta_{rata2}$	Batas Ijin
Atap	18,09	18,09	18,09	21,6	1,19	1,2
9	16,47	16,47	16,47	19,4	1,18	1,2
8	14,72	14,72	14,72	17,01	1,16	1,2
7	12,83	12,83	12,83	14,54	1,13	1,2
6	10,86	10,86	10,86	12,03	1,11	1,2
5	8,83	8,83	8,83	9,51	1,08	1,2
4	6,82	6,82	6,82	7,08	1,04	1,2
3	4,92	4,92	4,92	4,88	0,99	1,2
2	3,16	3,16	3,16	2,92	0,92	1,2
1	1,07	1,07	1,07	1,25	1,17	1,2

Berdasarkan Tabel 5.10 dan 5.11,  $\frac{\delta_{maks}}{\delta_{rata-rata}} < 1,2$ , maka torsi diabaikan.

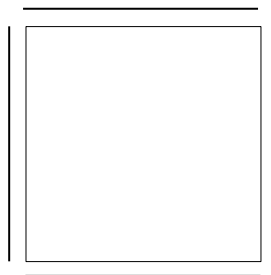
## 5.2. Penulangan Pelat Lantai

### 5.2.1. Data Perencanaan

1. Pelat yang digunakan untuk analisis adalah pelat 2 arah.
2. Dimensi pelat yang ditinjau adalah 6040 x 4600 (mm<sup>2</sup>).  
 $L_y = 6040 \text{ mm}$   
 $L_x = 4600 \text{ mm}$
3. Selimut beton berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 7.7.1 adalah 20 mm.
4. Tebal Pelat = 125 mm.
5. Tulangan pokok = tulangan susut = D10,  $f_y = 400 \text{ MPa}$ .
6. Luas Tulangan ( $A_b$ ) = 78.54 mm<sup>2</sup>.
7.  $h_{\text{efektif}} = 125 - 20 - (0.5 \times 10) = 100 \text{ mm}$ .

### 5.2.2. Perhitungan Momen Pelat Lantai

Penentuan momen pelat digunakan tabel pelat menurut PBI 1971 dengan jenis pelat terkekang empat sisi dan nilai  $l_y/l_x = 1,31$ , maka diperoleh nilai momen sebagai berikut:



Gambar 5.1 Pelat Terkekang Empat Sisi

$$M_lx = 0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times X ; \text{ dengan } X = 50.3$$

$$M_{tx} = 0,001 \times Q_u \times L_x^2 \times X ; \text{ dengan } X = 50.3$$

$$Mly = 0,001 \times Qu \times L_x^2 \times X ; \text{ dengan } X = 38$$

$$Mty = 0,001 \times Qu \times L_x^2 \times X ; \text{ dengan } X = 38$$

Hasil Perhitungan momen pelat lantai:

$$Mlx = 0,001 \times 10,412 \times (4,6^2) \times 50,3 = 11,08 \text{ kN.m}$$

$$Mtx = 0,001 \times 10,412 \times (4,6^2) \times 50,3 = 11,08 \text{ kN.m}$$

$$Mly = 0,001 \times 10,412 \times (4,6^2) \times 38 = 8,37 \text{ kN.m}$$

$$Mty = 0,001 \times 10,412 \times (4,6^2) \times 38 = 8,37 \text{ kN.m}$$

### 5.2.3. Perhitungan Tulangan Lentur Arah-X (Lapangan dan Tumpuan)

$$Rn = \frac{Mn}{0,9 \times b \times d^2} = \frac{11,08 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 100^2} = 1,231 \text{ MPa}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f_c'}} \right) = \frac{0,85 \times 30}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,231}{0,85 \times 30}} \right) = 0,003$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan luas tulangan dan spasi antar tulangan.

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{perlu} \times b \times h = 0,003 \times 1000 \times 100 = 300 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \rho_{min} \times b \times h = 0,0018 \times 1000 \times 125 = 250 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ perlu}} > A_{s \text{ min}}$  , maka digunakan nilai  $A_{s \text{ perlu}}$ .

$$\text{Spasi} = \frac{b \times A_b}{A_{s \text{ perlu}}} = \frac{1000 \times 78,54}{300} = 261,79 \text{ mm}$$

Tulangan yang digunakan untuk tulangan lentur arah X adalah P10 – 200.

Cek kekuatan momen nominal desain pelat:

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{b \times A_b}{s} = \frac{1000 \times 78,54}{200} = 392,69 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}}$$

$$a = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{392,69}{0,85 \times 30 \times 1000} = 6,16 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \times A_{s \text{ pakai}} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = 0,9 \times 392,69 \times 400 \times \left(100 - \frac{6,16}{2}\right)$$

$\phi M_n = 13,702 \text{ kN.m} > M_{lx}$ , tulangan yang dirancang aman.

#### 5.2.4. Perhitungan Tulangan Lentur Arah-Y (Lapangan dan Tumpuan)

$$R_n = \frac{M_n}{0,9 \times b \times d^2} = \frac{8,37 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 100^2} = 0,93 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}}\right) = \frac{0,85 \times 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,604}{0,85 \times 30}}\right) = 0,0024$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan luas tulangan dan spasi antar tulangan.

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times h = 0,002 \times 1000 \times 100 = 240 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \rho_{\text{min}} \times b \times h = 0,0018 \times 1000 \times 125 = 250 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ min}}$ , maka digunakan nilai  $A_{s \text{ min}}$  sebagai nilai  $A_{s \text{ perlu}}$  yang baru.

$$\text{Spasi} = \frac{b \times A_b}{A_{s \text{ perlu}}} = \frac{1000 \times 78,54}{250} = 314,16 \text{ mm}$$

Tulangan yang digunakan untuk tulangan lentur arah Y adalah P10 – 200.

Cek kekuatan momen nominal desain pelat:

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{b \times A_b}{s} = \frac{1000 \times 78,54}{200} = 392,7 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}}$$



$$a = \frac{A_s \text{ pakai}}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{392,7}{0,85 \times 30 \times 1000} = 6,16 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \times A_s \text{ pakai} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = 0,9 \times 392,7 \times 400 \times \left(100 - \frac{6,16}{2}\right)$$

$\phi M_n = 13,702 \text{ kN.m} > M_{ly}$ , tulangan yang dirancang aman.

### 5.2.5. Pemeriksaan Geser Pada Pelat Lantai

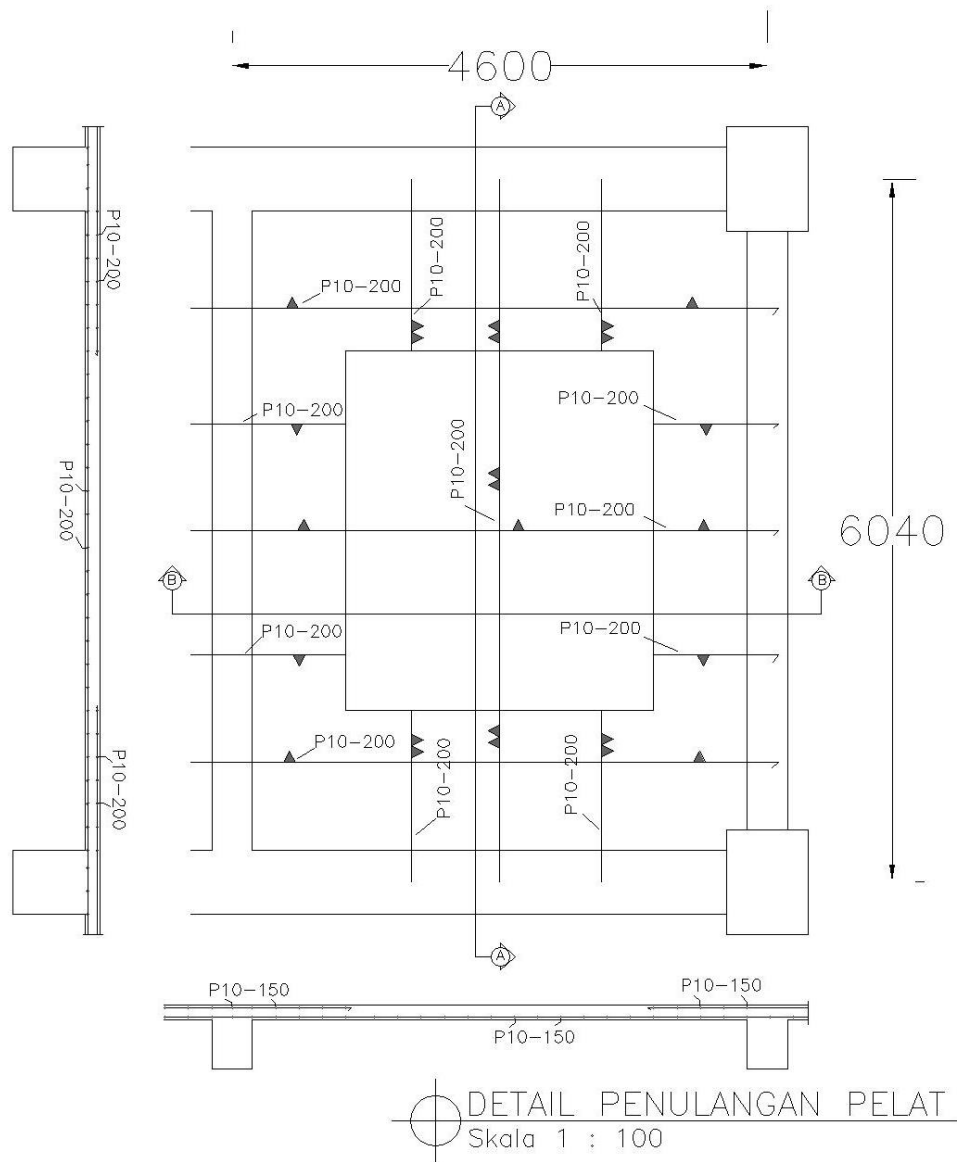
$$V_u = \frac{1,15 \times W_u \times L_x}{2} = \frac{1,15 \times 10.412 \times 4,6}{2} = 27,540 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot \frac{1}{6} \sqrt{30} \cdot 1000 \cdot 100 = 68465,320 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 68,465 \text{ kN}$$

$0,5 \times \phi V_c = 34,233 \text{ kN} > V_u$ , maka geser dapat ditahan oleh beton.



Gambar 5.2 Detail Penulangan Pelat Lantai

### 5.3. Penulangan Pelat Tangga dan Bordes

Gedung yang dirancang memiliki 2 ketinggian yang berbeda yaitu 4,5 m dan 3,5 m. Tangga yang ditinjau dalam perhitungan ini adalah tangga dengan ketinggian 3,5 m.

#### 5.3.1. Data Perencanaan

1. Tinggi antar lantai = 3,5 m
2. Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 Mpa
3. Mutu tulangan baja,  $f_y = f_{yt} = 400$  MPa
4. Selimut beton berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 7.7.1 adalah 20 mm.
5. Tebal Pelat = 150 mm.
6. Tulangan pokok = 12 mm dengan luas tulangan ( $A_b$ ) = 113,04mm<sup>2</sup>.
7. Tulangan susut = 10 mm dengan luas tulangan ( $A_b$ ) = 78.54 mm<sup>2</sup>.
8.  $D_{efektif} = 150 - 20 - (0.5 \times 14) = 124$  mm.

**Tabel 5.11 Data Gaya Momen dan Geser Tangga**

Data SAP2000	Pelat Tangga dan Bordes
Momen Maks (kN.m)	34,895
Gaya Geser (kN)	55,93

#### 5.3.2. Perhitungan Tulangan Lentur (*Longitudinal*)

$$Rn = \frac{Mn}{0,9 \times b \times d^2} = \frac{34,895 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 124^2} = 2,522 \text{ MPa}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f_c'}} \right) = \frac{0,85 \times 30}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,522}{0,85 \times 30}} \right) = 0,007$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan luas tulangan dan spasi antar tulangan.

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d = 0,007 \times 1000 \times 124 = 824,719 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \rho_{\text{min}} \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 124 = 270 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ perlu}} > A_{s \text{ min}}$  , maka digunakan nilai  $A_{s \text{ perlu}}$ .

$$\text{Spasi} = \frac{b \times A_b}{A_{s \text{ perlu}}} = \frac{1000 \times 113,04}{824,719} = 137,065 \text{ mm}$$

Tulangan yang digunakan untuk tulangan adalah P12 – 100.

Cek kekuatan momen nominal desain pelat:

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{b \times A_b}{s} = \frac{1000 \times 113,04}{100} = 1130,4 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ perlu}}$$

$$a = \frac{A_{s \text{ pakai}}}{0,85 \times f_c' \times b} = \frac{1130,4}{0,85 \times 30 \times 1000} = 17,732 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \times A_{s \text{ pakai}} \times f_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) = 0,9 \times 1130,4 \times 400 \times \left( 100 - \frac{17,732}{2} \right)$$

$\phi M_n = 46,85 \text{ kN.m} > M_U$ , tulangan yang dirancang aman.

Pemeriksaan geser pada pelat tangga dan bordes:

$$V_U = 55,93 \text{ kN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot \frac{1}{6} \sqrt{30} \cdot 1000 \cdot 124 = 84,897 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 84,897 \text{ kN}$$

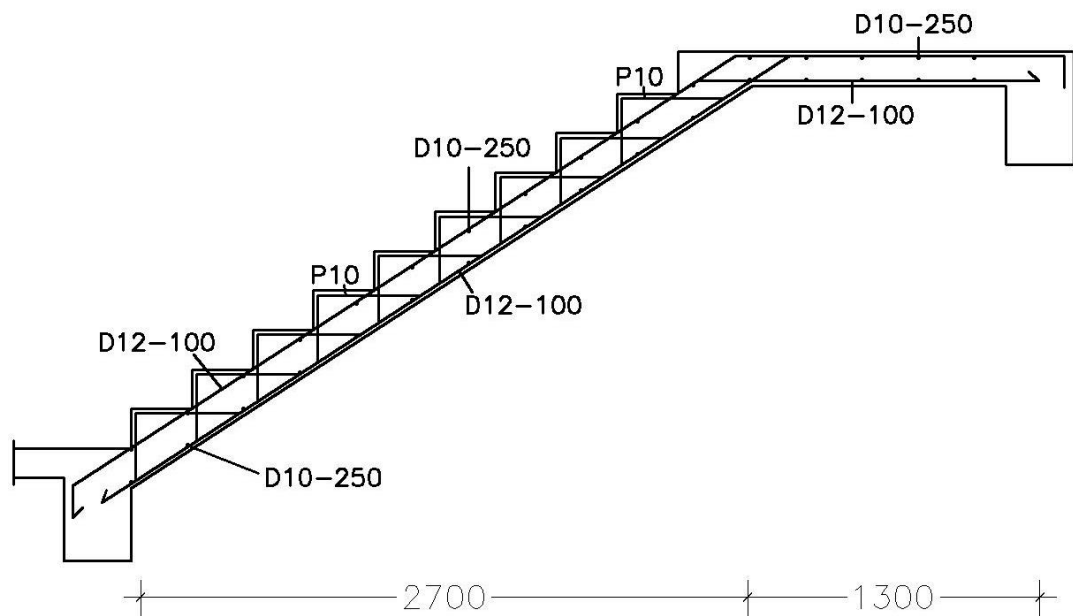
$0,5 \times \phi V_c = 84,897 \text{ kN} > V_u$ , maka geser dapat ditahan oleh beton.

### 5.3.3. Perhitungan Tulangan Susut

$$A_{s \text{ min}} = \rho_{\text{min}} \times b \times d = 0,0018 \times 1000 \times 150 = 270 \text{ mm}^2$$

$$\text{Spasi} = \frac{b \times A_b}{A_{s \text{ perlu}}} = \frac{1000 \times 78,5}{270} = 290,74 \text{ mm}$$

Tulangan yang digunakan untuk tulangan adalah P10 – 250.



Gambar 5.3 Detail Penulangan Pelat Tangga dan Bordes

#### 5.4. Penulangan Balok Bordes

Gedung yang dirancang memiliki 2 ketinggian yang berbeda yaitu 4,5 m dan 3,5 m. Tangga yang ditinjau dalam perhitungan ini adalah tangga dengan ketinggian 3,5 m.

##### 5.4.1. Data Perencanaan

1. Lebar Balok ( $b_w$ ) = 300 mm
2. Tinggi Balok ( $h$ ) = 500 mm
3. Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 Mpa
4. Mutu tulangan baja,  $f_y = f_{yt} = 400$  MPa
5. Selimut beton = 40 mm
6. Tulangan pokok = 22 mm dengan luas tulangan ( $A_b$ ) = 380,13 mm<sup>2</sup>.
7. Tulangan sengkang = 10 mm dengan luas tulangan ( $A_b$ ) = 78.54 mm<sup>2</sup>.
8. Bentang Balok = 3500 mm
9.  $D_{\text{efektif}} = 500 - 20 - (0.5 \times 14) = 439$  mm.

**Tabel 5.12 Data Gaya Momen dan Geser Balok Bordes B202 Lantai 2**

Balok Bordes	Tumpuan	Lapangan
Mu <sup>-</sup> maks (kN.m)	221,911	58,789
Mu <sup>+</sup> maks (kN.m)	118,142	31,298
Vu (kN)	62,41	

##### 5.4.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Tumpuan (Momen Negatif)

$$Mu^- \text{ maks} = 221,911 \text{ kN.m}$$

$$Rn = \frac{Mn}{0,9 \times b \times d^2} = \frac{221,911 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 439^2} = 4,265 \text{ MPa}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times f'c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c'}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times 30}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 4,265}{0,85 \times 30}} \right) = 0,012$$

$$A_{s\ perlu} = \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$A_{s\ perlu} = 0,012 \times 300 \times 439 = 1546,592 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\ min} = \frac{1,4}{f_y} b \cdot d$$

$$A_{s\ min} = \frac{1,4}{400} 300 \cdot 439 = 460,95 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\ min} = \frac{\sqrt{f'c'}}{4 \cdot f_y} b \cdot d$$

$$A_{s\ min} = \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 400} 300 \cdot 439 = 450,884 \text{ mm}^2$$

$A_{s\ min}$  yang digunakan adalah 450,884 mm<sup>2</sup>.

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1, rasio tulangan tidak boleh melebihi 0,025.

$\rho_{maks} = 0,025$ , maka:

$$A_{s\ maks} = \rho_{maks} \times b \times d$$

$$A_{s\ maks} = 0,025 \times 300 \times 439 = 3292,5 \text{ mm}^2$$

$A_{s\ min} < A_{s\ perlu} < A_{s\ maks}$ , maka yang digunakan adalah  $A_s = 1546,592 \text{ mm}^2$ .

$$n = \frac{A_s}{A_{b \text{ longitudinal}}} b \cdot d$$

$$n = \frac{1546,592}{380,13} 300.439 = 4,069 \approx 5$$

$$A_{s \text{ pakai}} = n \cdot A_{b \text{ longitudinal}}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 5 \cdot 380,13 = 1900,664 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ pakai}} > A_s \text{ perlu}$  , maka yang digunakan adalah  $A_{s \text{ pakai}}$ .

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 7.6.1, jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih dari 25 mm.

$$X = \frac{b - (2 \cdot S_{\text{beton}}) - (2 \cdot \phi_{\text{senggang}}) - (n \cdot \phi_{\text{longitudinal}})}{n - 1}$$

$$X = \frac{300 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (5 \cdot 22)}{5 - 1} = 22,5 \text{ mm} < 25 \text{ mm}, \text{ maka digunakan 2 lapis tulangan}$$

dengan susunan 3 tulangan lapis pertama dan 2 tulangan lapis kedua.

$$X = \frac{b - (2 \cdot S_{\text{beton}}) - (2 \cdot \phi_{\text{senggang}}) - (n \cdot \phi_{\text{longitudinal}})}{n - 1}$$

$$X = \frac{300 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (3 \cdot 22)}{3 - 1} = 67 \text{ mm} > 25 \text{ mm}, \text{ jarak tulangan memenuhi syarat.}$$

Periksa momen nominal:

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

$$a = \frac{1900,664 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 300} = 99,381 \text{ mm}$$



$$\phi M_n = \phi \cdot A_{s \text{ pakai}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$\phi M_n = 0,9 \cdot 1900,665 \cdot 400 \left(439 - \frac{99,381}{2}\right) = 266,381 \text{ kN.m} > M_U$  , maka rancangan tulangan yang direncanakan aman.

#### 5.4.3. Perhitungan Tulangan Longitudinal Tumpuan (Momen Positif)

$$M_u^+ \text{ maks} = 118,142 \text{ kN.m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{0,9 \times b \times d^2} = \frac{118,142 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 439^2} = 2,27 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}}\right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,27}{0,85 \times 30}}\right) = 0,006$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 0,006 \times 300 \times 439 = 784,165 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b \cdot d$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{400} 300 \cdot 439 = 460,95 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} b \cdot d$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 400} 300 \cdot 439 = 450,884 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ min}}$  yang digunakan adalah  $450,884 \text{ mm}^2$ .

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1, rasio tulangan tidak boleh melebihi 0,025.

$\rho_{\text{maks}} = 0,025$ , maka:

$$A_{s \text{ maks}} = \rho_{\text{maks}} \times b \times d$$

$$A_{s \text{ maks}} = 0,025 \times 300 \times 439 = 3292,5 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ min}} < A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ maks}}$ , maka yang digunakan adalah  $A_s = 784,165 \text{ mm}^2$ .

$$n = \frac{A_s}{A_{b \text{ longitudinal}}} \times b \times d$$

$$n = \frac{784,165}{380,13} \times 300 \times 439 = 2,063 \approx 3$$

$$A_{s \text{ pakai}} = n \cdot A_{b \text{ longitudinal}}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 3 \cdot 380,13 = 1140,398 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$ , maka yang digunakan adalah  $A_{s \text{ pakai}}$ .

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 7.6.1, jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih dari 25 mm.

$$X = \frac{b - (2 \cdot S_{\text{beton}}) - (2 \cdot \phi_{\text{senggang}}) - (n \cdot \phi_{\text{longitudinal}})}{n - 1}$$

$$X = \frac{300 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (3 \cdot 22)}{3 - 1} = 67 \text{ mm} > 25 \text{ mm}, \text{ maka digunakan 1 lapis tulangan.}$$

Periksa momen nominal:

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

$$a = \frac{1140,398 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 300} = 59,6287 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \text{ pakai} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 1140,398 \cdot 400 \left(439 - \frac{59,6287}{2}\right) = 167,988 \text{ kN.m} > M_U, \text{ maka}$$

rancangan tulangan yang direncanakan aman.

#### 5.4.4. Perhitungan Tulangan Longitudinal Lapangan (Momen Negatif)

$$M_u^- \text{ maks tumpuan} = 221,911 \text{ kN.m}$$

$$M_{U^-} \text{ Lapangan} \geq 0,25 M_{U^-} \text{ tumpuan}$$

$$58,789 \text{ kN.m} > 55,478 \text{ kN.m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{0,9 \cdot b \cdot d^2} = \frac{58,789 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 439^2} = 1,129 \text{ MPa}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f'_c}}\right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,129}{0,85 \cdot 30}}\right) = 0,00289$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 0,00289 \times 300 \times 439 = 380,6154 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min} = \frac{1,4}{f_y} b \cdot d$$

$$A_{s \min} = \frac{1,4}{400} 300 \cdot 439 = 460,95 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y} b \cdot d$$

$$A_{s \min} = \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 400} 300 \cdot 439 = 450,884 \text{ mm}^2$$

$A_{s \min}$  yang digunakan adalah 450,884 mm<sup>2</sup>.

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1, rasio tulangan tidak boleh melebihi 0,025.

$\rho_{\max} = 0,025$ , maka:

$$A_{s \max} = \rho_{\max} \times b \times d$$

$$A_{s \max} = 0,025 \times 300 \times 439 = 3292,5 \text{ mm}^2$$

$A_s \text{ perlu} < A_{s \min} < A_{s \max}$ , maka yang digunakan adalah  $A_s = 450,884 \text{ mm}^2$ .

$$n = \frac{A_s}{A_{b \text{ longitudinal}}} b \cdot d$$

$$n = \frac{450,884}{380,13} 300 \cdot 439 = 1,186 \approx 2$$

$$A_{s \text{ pakai}} = n \cdot A_{b \text{ longitudinal}}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 2 \cdot 380,13 = 760,265 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$  , maka yang digunakan adalah  $A_{s \text{ pakai}}$ .

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 7.6.1, jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih dari 25 mm.

$$X = \frac{b - (2 \cdot S_{\text{beton}}) - (2 \cdot \phi_{\text{sengkan}}) - (n \cdot \phi_{\text{longitudinal}})}{n - 1}$$

$$X = \frac{300 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (2 \cdot 22)}{2 - 1} = 156 \text{ mm} > 25 \text{ mm}, \text{ maka digunakan 1 lapis tulangan.}$$

Periksa momen nominal:

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

$$a = \frac{760,265 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 300} = 39,75 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_{s \text{ pakai}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 760,265 \cdot 400 \left(439 - \frac{39,75}{2}\right) = 114,71 \text{ kN.m} > M_U, \text{ maka rancangan}$$

tulangan yang direncanakan aman.

#### 5.4.5. Perhitungan Tulangan Longitudinal Lapangan (Momen Positif)

$$M_u^+ \text{ maks tumpuan} = 118,142 \text{ kN.m}$$

$$M_{U \text{ Lapangan}} \geq 0,25 M_{U^+} \text{ tumpuan}$$

$$31,298 \text{ kN.m} > 29,5355 \text{ kN.m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{0,9 \cdot b \cdot d^2} = \frac{31,298 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 439^2} = 0,6015 \text{ MPa}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f_c'}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times 30}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,6015}{0,85 \times 30}} \right) = 0,001522$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$A_s \text{ perlu} = 0,001522 \times 300 \times 439 = 200,4309 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} b \cdot d$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{400} 300 \cdot 439 = 460,95 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} b \cdot d$$

$$A_s \text{ min} = \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 400} 300 \cdot 439 = 450,884 \text{ mm}^2$$

$A_s \text{ min}$  yang digunakan adalah 450,884 mm<sup>2</sup>.

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1, rasio tulangan tidak boleh melebihi 0,025.

$\rho_{maks} = 0,025$ , maka:

$$A_s \text{ maks} = \rho_{maks} \times b \times d$$

$$A_s \text{ maks} = 0,025 \times 300 \times 439 = 3292,5 \text{ mm}^2$$

$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ min} < A_s \text{ maks}$ , maka yang digunakan adalah  $A_s = 450,884 \text{ mm}^2$ .

$$n = \frac{A_s}{A_{b \text{ longitudinal}}} b \cdot d$$

$$n = \frac{450,884}{380,13} 300 \cdot 439 = 1,186 \approx 2$$

$$A_{s \text{ pakai}} = n \cdot A_{b \text{ longitudinal}}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 2 \cdot 380,13 = 760,265 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ pakai}} > A_s \text{ perlu}$  , maka yang digunakan adalah  $A_{s \text{ pakai}}$ .

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 7.6.1, jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih dari 25 mm.

$$X = \frac{b - (2 \cdot S_{\text{beton}}) - (2 \cdot \phi_{\text{sengkan}}) - (n \cdot \phi_{\text{longitudinal}})}{n - 1}$$

$$X = \frac{300 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (2 \cdot 22)}{2 - 1} = 156 \text{ mm} > 25 \text{ mm}, \text{ maka digunakan 1 lapis tulangan.}$$

Periksa momen nominal:

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

$$a = \frac{760,265 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 300} = 39,75 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_{s \text{ pakai}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 760,265 \cdot 400 \left(439 - \frac{39,75}{2}\right) = 114,71 \text{ kN.m} > M_U , \text{ maka rancangan}$$

tulangan yang direncanakan aman.

#### 5.4.6. Perhitungan Tulangan Transversal

$$V_u = 62,41 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{\sqrt{f'c} \cdot b \cdot d}{6} = \frac{\sqrt{30} \cdot 300 \cdot 439}{6 \cdot 10^3} = 120,23 \text{ kN}$$

$$\Phi V_c = 0,75 \cdot 120,23 = 90,17 \text{ kN}$$

$$\text{Maka, } V_s = \frac{V_u}{\phi} = \frac{62,41}{0,75} = 83,21 \text{ kN}$$

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.2 spasi sengkang pada tumpuan tidak boleh melebihi yang terkecil dari :

- $\frac{d}{4} = \frac{439}{4} = 109,75 \text{ mm}$
- $S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \cdot 400 \cdot 439}{83,21} = 331,475 \text{ mm}$
- $8 \cdot \phi_{longitudinal} = 8 \cdot 22 = 176 \text{ mm}$
- $24 \cdot \phi_{sengkang} = 24 \cdot 10 = 240 \text{ mm}$
- 300 mm

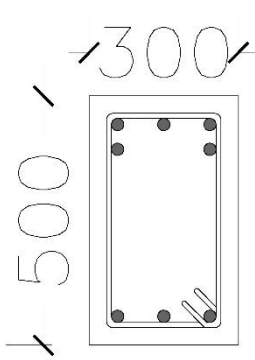
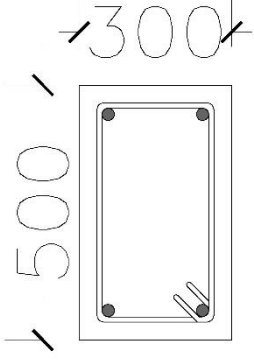
Jadi sengkang pada tumpuan yang digunakan adalah 2P10-100.

Sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.3 spasi sengkang pada tumpuan tidak boleh melebihi dari :

- $\frac{d}{2} = \frac{439}{2} = 219,5 \text{ mm}$

Jadi sengkang pada lapangan yang digunakan adalah 2P10-200.



Keterangan	Balok Bordes B202	
	Tumpuan Kiri / Kanan	Lapangan
Gambar		
Tulangan Atas	5 D22	2 D22
Tulangan Bawah	3 D22	2 D22
Sengkang	2P10 - 100	2P10 - 200

Gambar 5.4 Penulangan Balok Bordes B202 Lantai 2

## 5.5. Penulangan Balok

### 5.5.1. Data Perencanaan

1. Lebar Balok ( $b_w$ ) = 500 mm
2. Tinggi Balok ( $h$ ) = 750 mm
3. Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 Mpa
4. Mutu tulangan baja,  $f_y = f_{yt} = 400$  MPa
5. Selimut beton = 40 mm
6. Tulangan pokok = 25 mm dengan luas tulangan ( $A_b$ ) = 380,13 mm<sup>2</sup>.
7. Tulangan sengkang = 10 mm dengan luas tulangan ( $A_b$ ) = 78.54 mm<sup>2</sup>.
8. Bentang Balok = 3050 mm
9.  $D_{\text{efektif}} = 750 - 40 - (0.5 \times 25) - 10 = 687,5$ mm.

**Tabel 5.13 Data Gaya Momen dan Geser Balok B3 Lantai 2**

Balok Induk B3	Tumpuan	Lapangan
Mu <sup>-</sup> maks (kN.m)	703,53	3,525
Mu <sup>+</sup> maks (kN.m)	668,067	20,556
Vu (kN)	323,27	

### 5.5.2. Perhitungan Tulangan Longitudal Tumpuan (Momen Negatif)

$$Mu^- \text{ maks tumpuan} = 703,53 \text{ kN.m}$$

$$Rn = \frac{Mn}{0,9 \times b \times d^2} = \frac{703,53 \times 10^6}{0,9 \times 500 \times 687,5^2} = 3,308 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f_c'}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times 30}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,308}{0,85 \times 30}} \right) = 0,009$$

$$A_{s\text{ perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$A_{s\text{ perlu}} = 0,009 \times 500 \times 687,5 = 3055,571 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b \cdot d$$

$$A_{s\text{ min}} = \frac{1,4}{400} 500 \cdot 687,5 = 1203,125 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{ min}} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y} b \cdot d$$

$$A_{s\text{ min}} = \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 400} 500 \cdot 687,5 = 1176,748 \text{ mm}^2$$

$A_{s\text{ min}}$  yang digunakan adalah  $1176,748 \text{ mm}^2$ .

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1, rasio tulangan tidak boleh melebihi 0,025.

$\rho_{\text{maks}} = 0,025$ , maka:

$$A_{s\text{ maks}} = \rho_{\text{maks}} \times b \times d$$

$$A_{s\text{ maks}} = 0,025 \times 500 \times 687,5 = 8593,75 \text{ mm}^2$$

$A_{s\text{ min}} < A_{s\text{ perlu}} < A_{s\text{ maks}}$ , maka yang digunakan adalah  $A_s = 3055,571 \text{ mm}^2$ .

$$n = \frac{A_s}{A_{b\text{ longitudinal}}} b \cdot d$$

$$n = \frac{3055,571}{490,87} 500 \cdot 687,5 = 6,225 \approx 7$$

$$A_{s \text{ pakai}} = n \cdot A_{b \text{ longitudinal}}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 7 \cdot 490,87 = 3436,117 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$  , maka yang digunakan adalah  $A_{s \text{ pakai}}$ .

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 7.6.1, jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih dari 25 mm.

$$X = \frac{b - (2 \cdot S_{\text{beton}}) - (2 \cdot \phi_{\text{senggang}}) - (n \cdot \phi_{\text{longitudinal}})}{n - 1}$$

$$X = \frac{500 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (7 \cdot 25)}{7 - 1} = 37,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm}, \text{ maka digunakan 1 lapis tulangan.}$$

Periksa momen nominal:

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

$$a = \frac{3436,117 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 500} = 107,79 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{107,79}{0,84} = 128,33 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003 = \frac{687,5 - 128,33}{128,33} \cdot 0,003 = 0,0131 > 0,005 \text{ (memenuhi syarat)}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_{s \text{ pakai}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 3436,117 \cdot 400 \left(687,5 - \frac{107,79}{2}\right) = 783,765 \text{ kN.m} > M_U \text{ , maka}$$

rancangan tulangan yang direncanakan aman.

### 5.5.3. Perhitungan Tulangan Longitudal Tumpuan (Momen Positif)

$$Mu^+ \text{ maks} = 668,067 \text{ kN.m}$$

$$Rn = \frac{Mn}{0,9 \times b \times d^2} = \frac{668,067 \times 10^6}{0,9 \times 500 \times 687,5^2} = 3,141 \text{ MPa}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times f'c'}{fy} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c'}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times 30}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,141}{0,85 \times 30}} \right) = 0,008$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 0,008 \times 500 \times 687,5 = 2889,799 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{fy} \times b \times d$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{400} \times 500 \times 687,5 = 1203,125 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{f'c'}}{4 \times fy} \times b \times d$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{30}}{4 \times 400} \times 500 \times 687,5 = 1176,748 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ min}}$  yang digunakan adalah 1176,748 mm<sup>2</sup>.

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1, rasio tulangan tidak boleh melebihi 0,025.

$\rho_{\text{maks}} = 0,025$ , maka:

$$A_{s \text{ maks}} = \rho_{\text{maks}} \times b \times d$$

$$A_{s \text{ maks}} = 0,025 \times 500 \times 687,5 = 8593,75 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ min}} < A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ maks}}$ , maka yang digunakan adalah  $A_s = 2889,799 \text{ mm}^2$ .

$$n = \frac{A_s}{A_{b \text{ longitudinal}}} \cdot b \cdot d$$

$$n = \frac{2889,799}{490,87} \cdot 500 \cdot 687,5 = 5,887 \approx 6$$

$$A_{s \text{ pakai}} = n \cdot A_{b \text{ longitudinal}}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 6 \cdot 490,87 = 2945,243 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$ , maka yang digunakan adalah  $A_{s \text{ pakai}}$ .

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 7.6.1, jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih dari 25 mm.

$$X = \frac{b - (2 \cdot S_{\text{beton}}) - (2 \cdot \phi_{\text{senggang}}) - (n \cdot \phi_{\text{longitudinal}})}{n - 1}$$

$$X = \frac{500 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (6 \cdot 25)}{6 - 1} = 50 \text{ mm} > 25 \text{ mm}, \text{ maka digunakan 1 lapis tulangan.}$$

Periksa momen nominal:

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

$$a = \frac{2945,243 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 500} = 92,39 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{107,79}{0,84} = 109,97 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} \cdot 0,003 = \frac{687,5-109,97}{109,97} \cdot 0,003 = 0,0158 > 0,005 \text{ (memenuhi syarat)}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \text{ pakai} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 2945,243 \cdot 400 \left(687,5 - \frac{92,39}{2}\right) = 679,96 \text{ kN.m} > M_U, \text{ maka}$$

rancangan tulangan yang direncanakan aman.

#### 5.5.4. Perhitungan Tulangan Longitudinal Lapangan (Momen Negatif)

$$M_u^- \text{ maks tumpuan} = 703,53 \text{ kN.m}$$

$$M_{U^-} \text{ Lapangan} \geq 0,25 M_{U^-} \text{ maks tumpuan}$$

$$4,525 \text{ kN.m} < 175,8825 \text{ kN.m}$$

Gunakan  $M_{U^-} \text{ Lapangan}$  baru yaitu 175,8825 kN.m.

$$R_n = \frac{M_n}{0,9 \times b \times d^2} = \frac{17,8825 \times 10^6}{0,9 \times 500 \times 687,5^2} = 0,827 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}}\right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times 30}{400} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,827}{0,85 \times 30}}\right) = 0,0021$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 0,0021 \times 500 \times 687,5 = 722,548 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min} = \frac{1,4}{f_y} b \cdot d$$

$$A_{s \min} = \frac{1,4}{400} 500 \cdot 687,5 = 1203,125 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \min} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y} b \cdot d$$

$$A_{s \min} = \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 400} 500 \cdot 687,5 = 1176,748 \text{ mm}^2$$

$A_{s \min}$  yang digunakan adalah 1176,748 mm<sup>2</sup>.

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1, rasio tulangan tidak boleh melebihi 0,025.

$\rho_{\max} = 0,025$ , maka:

$$A_{s \max} = \rho_{\max} \times b \times d$$

$$A_{s \max} = 0,025 \times 500 \times 687,5 = 8593,75 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ perlu}} < A_{s \min} < A_{s \max}$ , maka yang digunakan adalah  $A_{s \text{ perlu baru}} = 1176,748 \text{ mm}^2$ .

$$n = \frac{A_s}{A_{b \text{ longitudinal}}} b \cdot d$$

$$n = \frac{1176,748}{490,87} 300 \cdot 439 = 2,397 \approx 3$$

$$A_{s \text{ pakai}} = n \cdot A_{b \text{ longitudinal}}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 3 \cdot 490,87 = 1472,622 \text{ mm}^2$$



$A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$  , maka yang digunakan adalah  $A_{s \text{ pakai}}$ .

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 7.6.1, jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih dari 25 mm.

$$X = \frac{b - (2 \cdot S_{\text{beton}}) - (2 \cdot \phi_{\text{sengkanj}}) - (n \cdot \phi_{\text{longitudinal}})}{n - 1}$$

$$X = \frac{500 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (3 \cdot 25)}{3 - 1} = 162,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm}, \text{ maka digunakan 1 lapis tulangan.}$$

Periksa momen nominal:

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

$$a = \frac{1472,622 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 500} = 46,2 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{107,79}{0,84} = 54,99 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003 = \frac{687,5 - 54,99}{54,99} \cdot 0,003 = 0,0345 > 0,005 \text{ (memenuhi syarat)}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_{s \text{ pakai}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 1472,622 \cdot 400 \left(687,5 - \frac{46,2}{2}\right) = 352,231 \text{ kN.m} > M_U \text{ , maka}$$

rancangan tulangan yang direncanakan aman.

### 5.5.5. Perhitungan Tulangan Longitudal Lapangan (Momen Positif)

$$M_u^+ \text{ maks tumpuan} = 668,067 \text{ kN.m}$$

$$M_{U^+ \text{ Lapangan}} \geq 0,25 M_{U^+ \text{ maks tumpuan}}$$

$$20,556 \text{ kN.m} < 167,02 \text{ kN.m}$$

Gunakan  $M_{U \text{ Lapangan}}$  baru yaitu 167,02 kN.m.

$$R_n = \frac{M_n}{0,9 \times b \times d^2} = \frac{167,02 \times 10^6}{0,9 \times 500 \times 687,5^2} = 0,785 \text{ MPa}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times 30}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,785}{0,85 \times 30}} \right) = 0,00199$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 0,00199 \times 500 \times 687,5 = 685,538 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b \cdot d$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{400} 500 \cdot 687,5 = 1203,125 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} b \cdot d$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 400} 500 \cdot 687,5 = 1176,748 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ min}}$  yang digunakan adalah 1176,748 mm<sup>2</sup>.

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1, rasio tulangan tidak boleh melebihi 0,025.

$\rho_{maks} = 0,025$ , maka:

$$A_{s maks} = \rho_{maks} \times b \times d$$

$$A_{s maks} = 0,025 \times 500 \times 687,5 = 8593,75 \text{ mm}^2$$

$A_s \text{ perlu} < A_s \text{ min} < A_s \text{ maks}$ , maka yang digunakan adalah  $A_s \text{ pakai baru} = 1176,748 \text{ mm}^2$ .

$$n = \frac{A_s}{A_{b \text{ longitudinal}}} \times b \cdot d$$

$$n = \frac{1176,748}{490,87} \times 500 \cdot 687,5 = 2,397 \approx 3$$

$$A_{s pakai} = n \cdot A_{b \text{ longitudinal}}$$

$$A_{s pakai} = 3 \cdot 490,87 = 1472,622 \text{ mm}^2$$

$A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$ , maka yang digunakan adalah  $A_s \text{ pakai}$ .

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 7.6.1, jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih dari 25 mm.

$$X = \frac{b - (2 \cdot S_{beton}) - (2 \cdot \phi_{sengkan}) - (n \cdot \phi_{longitudinal})}{n - 1}$$

$$X = \frac{500 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (3 \cdot 25)}{3 - 1} = 162,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm}, \text{ maka digunakan 1 lapis}$$

tulangan.

Periksa momen nominal:

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

$$a = \frac{1472,622 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 500} = 46,2 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{107,79}{0,84} = 54,99 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} \cdot 0,003 = \frac{687,5-54,99}{54,99} \cdot 0,003 = 0,0345 > 0,005 \text{ (memenuhi syarat)}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \text{ pakai} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 1472,622 \cdot 400 \left(687,5 - \frac{46,2}{2}\right) = 352,231 \text{ kN.m} > M_U \text{ , maka}$$

rancangan tulangan yang direncanakan aman.

### 5.5.6. Perhitungan Tulangan Transversal

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.4, gaya geser rencana akibat beban gempa ditentukan dengan mengasumsikan tegangan tulangan tarik tulangan longitudinal pada tiap ujung balok memiliki tegangan lentur minimal sebesar  $1,25 \cdot f_y$  dan faktor reduksi sebesar 1.

Menghitung momen kapasitas negatif  $M_{pr}^-$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan atas 7.D25

$$a_{pr}^- = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$a_{pr}^- = \frac{1,25 \cdot 3436,117 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 500} = 134,75 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^- = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr}^-}{2}\right)$$

$$M_{pr}^- = 1,25 \cdot 3436,117 \cdot 400 \left(687,5 - \frac{134,75}{2}\right) = 1065,41 \text{ kN.m}$$

Menghitung momen kapasitas positif  $M_{pr}^+$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan bawah 6.D25

$$a_{pr}^+ = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$a_{pr}^+ = \frac{1,25 \cdot 2945,243 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 500} = 115,5 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^+ = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr}^+}{2}\right)$$

$$M_{pr}^+ = 1,25 \cdot 2945,243 \cdot 400 \left(687,5 - \frac{115,5}{2}\right) = 927,38 \text{ kN.m}$$

Perhitungan gaya geser akibat gravitasi dihitung dengan pendekatan menggunakan ETABS dengan kombinasi beban 1,2DL + 1,6 LL.

$$V_g = 323,27 \text{ kN.}$$

Perhitungan gaya geser akibat gempa:

$$V_e = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{ln} + V_g$$

$$V_e = \frac{1065,41 + 927,38}{9,9} + 323,27 = 524,56 \text{ kN}$$

$$V_{U \text{ ETABS}} = 496,68 \text{ kN}$$

$V_e > V_{U \text{ ETABS}}$  maka gaya geser akibat gempa yang baru yaitu  $V_U = 524,56 \text{ kN}$ .

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2, nilai  $V_C$  diabaikan jika memenuhi dua syarat, yaitu gaya geser yang ditimbulkan gempa mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam panjang tersebut dan gaya tekan aksial terfaktor ( $P_U$ ) termasuk pengaruh gempa kurang dari  $\frac{A_g f'_c}{20}$ .

$$V_e \geq 0,5V_U$$

248,34 kN < 262,28 kN, maka tidak memenuhi syarat.

Maka digunakan rumus sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.1 :

$$V_C = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$V_C = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 500 \cdot 687,5 = 320,08 \text{ kN}$$

$$\Phi_{\text{Geser}} = 0,75$$

$$V_s = \frac{V_U}{\phi} - V_C$$

$$V_s = \frac{524,56}{0,75} - 320,08 = 379,34 \text{ kN}$$

Cek  $V_{S \text{ maks}}$  ( SNI 2847:2013 pasal 11.4.7.9):

$$V_{S \text{ maks}} = 0,66 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$V_{S \text{ maks}} = 0,66 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 500 \cdot 687,5 = 1242,65 \text{ kN}$$

Gunakan 2P10 :

$$S = \frac{A_v f_y \cdot d}{V_s}$$

$$S = \frac{157.400 \cdot 687,5}{379,34} = 113,87 \text{ mm}$$

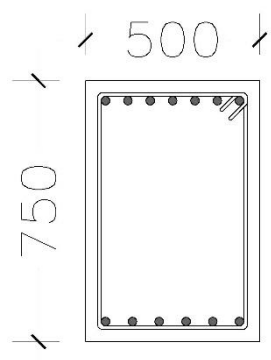
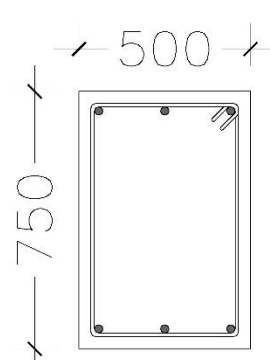
$$S = \frac{d}{4} = \frac{687,5}{4} = 171,875 \text{ mm}$$

$$S = 6 \cdot D_{Longitudinal} = 6 \cdot 25 = 150 \text{ mm}$$

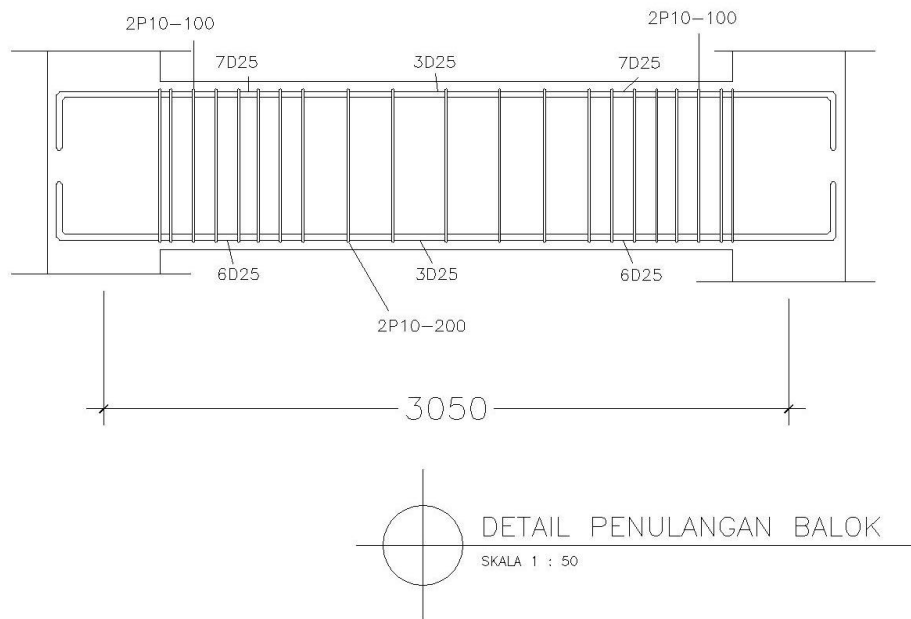
Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.2, spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi tiga persyaratan diatas, maka spasi diambil yang terkecil yaitu 113,87 mm. Sengkang yang digunakan pada tumpuan adalah 2P10 – 100.

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.3, diluar sendi plastis spasi tulangan sengkang tidak boleh melebihi:

$$\frac{d}{2} = \frac{687,5}{2} = 343,75 \text{ mm, maka spasi lapangan yang digunakan 2P10-200.}$$

Keterangan	Balok B3	
	Tumpuan Kiri / Kanan	Lapangan
Gambar		
Tulangan Atas	7 D25	3 D25
Tulangan Bawah	6 D25	3 D25
Sengkang	2P10 - 100	2P10 - 200

Gambar 5.5 Penulangan Balok B3 Lantai 2



Gambar 5.6 Detail Penulangan Balok B3 Lantai 2



## 5.6. Penulangan Kolom

### 5.6.1. Data Perencanaan

1. Lebar Kolom ( $b_w$ ) = 800 mm
2. Tinggi Kolom ( $h$ ) = 900 mm
3. Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 Mpa
4. Mutu tulangan baja,  $f_y = f_{yt} = 400$  MPa
5. Selimut beton = 40 mm
6. Tulangan pokok = 25 mm dengan luas tulangan ( $A_b$ ) = 490,874 mm<sup>2</sup>.
7. Tulangan sengkang = 12 mm dengan luas tulangan ( $A_b$ ) = 78.54 mm<sup>2</sup>.
8. Bentang Kolom = 4500 mm ; Bentang Bersih Kolom ( $l_n$ ) = 3800 mm
9.  $D_{\text{efektif}} = 900 - 40 - (0.5 \times 25) \cdot 12 = 798$  mm.

**Tabel 5.14 Data Gaya Momen, Aksial dan Geser Kolom C20 Lantai 1**

Kolom C20	Max	Min
$M_U$ (kN.m)	248,099	280,238
$P_u$ (kN)	2808,72	6013,17
$V_u$ (kN)	70,25	88,16

### 5.6.2. Pemeriksaan Tipe Portal

#### Arah X

$$P_{U \text{ maks}} = 6013,17 \text{ kN}$$

Dari hitungan pada tabel 5.8 di dapatkan nilai:

$$\Delta = 5,83 \text{ mm}; V = 5002,4 \text{ kN ( diambil dari baris Lantai 1)}$$

$$Q = \frac{\sum P_U \cdot \Delta}{V \cdot l}$$

$$Q = \frac{6013,17 \cdot 5,83}{5002,4 \cdot 4500} = 0,00157 < 0,05$$

Sehingga sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 10.10.5.2 Portal Arah X yang ditinjau dianggap Tidak Bergoyang.

### **Arah Y**

$$P_{U \text{ maks}} = 6013,17 \text{ kN}$$

Dari hitungan pada tabel 5.9 di dapatkan nilai:

$$\Delta = 4,58 \text{ mm}; V = 5669,63 \text{ kN ( diambil dari baris Lantai 1)}$$

$$Q = \frac{\sum P_U \cdot \Delta}{V \cdot I}$$

$$Q = \frac{6013,17 \cdot 4,58}{5669,63 \cdot 4500} = 0,00108 < 0,05$$

Sehingga sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 10.10.5.2 Portal Arah Y yang ditinjau dianggap Tidak Bergoyang.

### **5.6.3. Pengaruh Kelangsingan Kolom**

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 10.10.1, pengaruh kelangsingan boleh diabaikan untuk komponen struktur tekan yang tidak bergoyang bila:

$$\frac{k \cdot l_n}{r} \leq \left( 34 - 12 \left( \frac{M1}{M2} \right) \right) \leq 40$$

Untuk mendapatkan nilai k, diperlukan mencari faktor kekangan ujung kolom yang ditinjau ujung atas ( $\Psi_a$ ) dan ujung bawah ( $\Psi_b$ ) kolom.

$$\psi = \frac{\sum \left( \frac{E \cdot I_k}{I_k} \right)}{\sum \left( \frac{E \cdot I_b}{I_b} \right)}$$

$I_k$  = Momen Inersia Kolom = 0,7  $I_g$  (SNI 2847:2013 Pasal 10.10.4.1)

$I_b$  = Momen Inersia Balok = 0,35  $I_g$  (SNI 2847:2013 Pasal 10.10.4.1)

### **Pemeriksaan Kelangsingan Kolom Arah X**

#### **Kekangan Atas**

Dimensi Kolom Tinjauan

Lebar Kolom (b) = 800 mm

Tinggi Kolom (h) = 900 mm

$$I_{k-tinjau} = 0,7 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{k-tinjau} = 0,7 \cdot \frac{800 \cdot 900^3}{12} = 3,402 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$E \cdot I_{k-tinjau} = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot I_{k-tinjau}$$

$$E \cdot I_{k-tinjau} = 4700 \cdot \sqrt{30} \cdot 3,402 \cdot 10^{10} = 8,76 \times 10^{14} \text{ N.mm}^2$$

Dimensi Kolom Atas

Lebar Kolom (b) = 700 mm

Tinggi Kolom (h) = 900 mm

$$I_{k-atas} = 0,7 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{k-atas} = 0,7 \cdot \frac{700 \cdot 900^3}{12} = 2,977 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$E \cdot I_{k-atas} = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot I_{k-tinjauan}$$

$$E \cdot I_{k-atas} = 4700 \cdot \sqrt{30} \cdot 2,977 \cdot 10^{10} = 7,663 \times 10^{14} \text{ N.mm}^2$$

Dimensi Balok Atas

Lebar Balok (b) = 500 mm

Tinggi Balok (h) = 750 mm

$$I_{b-atas} = 0,35 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{b-atas} = 0,35 \cdot \frac{500 \cdot 750^3}{12} = 6,15 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$E \cdot I_{b-atas} = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot I_{k-tinjauan}$$

$$E \cdot I_{b-atas} = 4700 \cdot \sqrt{30} \cdot 6,15 \cdot 10^9 = 1,584 \times 10^{14} \text{ N.mm}^2$$

Faktor Kekangan Atas

$$\Psi_a = \frac{\left(\frac{E \cdot I_{k-tinjauan}}{I_{k-tinjauan}}\right) + \left(\frac{E \cdot I_{k-atas}}{I_{k-atas}}\right)}{\left(\frac{E \cdot I_{b-atas}}{I_{b-atas}}\right)}$$

$$\Psi_a = \frac{\left(\frac{8,76 \times 10^{14}}{3,402 \times 10^{10}}\right) + \left(\frac{7,663 \times 10^{14}}{2,977 \times 10^{10}}\right)}{\left(\frac{1,584 \times 10^{14}}{6,15 \times 10^9}\right)} = 23,99$$

### Kekangan Bawah

Dimensi Kolom Tinjauan

Lebar Kolom (b) = 800 mm

Tinggi Kolom (h) = 900 mm

$$I_{k-tinjauan} = 0,7 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{k-tinjauan} = 0,7 \cdot \frac{800 \cdot 900^3}{12} = 3,402 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$E \cdot I_{k-tinjauan} = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot I_{k-tinjauan}$$

$$E \cdot I_{k-tinjauan} = 4700 \cdot \sqrt{30} \cdot 3,402 \cdot 10^{10} = 8,76 \times 10^{14} \text{ N.mm}^2$$

Dimensi Kolom Bawah

Lebar Kolom (b) = 800 mm

Tinggi Kolom (h) = 900 mm

$$I_{k-tinjauan} = 0,7 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{k-tinjauan} = 0,7 \cdot \frac{800 \cdot 900^3}{12} = 3,402 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$E \cdot I_{k-tinjauan} = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot I_{k-tinjauan}$$

$$E \cdot I_{k-tinjauan} = 4700 \cdot \sqrt{30} \cdot 3,402 \cdot 10^{10} = 8,76 \times 10^{14} \text{ N.mm}^2$$

### Dimensi Balok Bawah

$$\text{Lebar Balok (b)} = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi Balok (h)} = 750 \text{ mm}$$

$$I_{b-bawah} = 0,35 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{b-bawah} = 0,35 \cdot \frac{500 \cdot 750^3}{12} = 6,15 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$E \cdot I_{b-bawah} = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot I_{k-tinjauan}$$

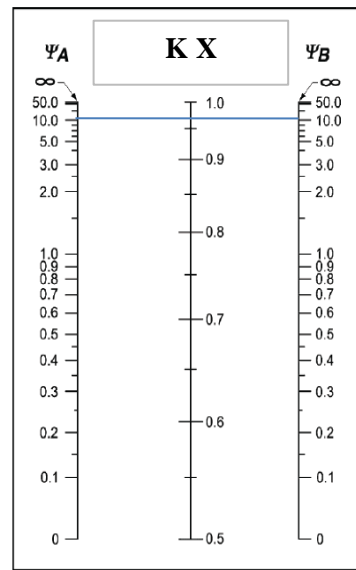
$$E \cdot I_{b-bawah} = 4700 \cdot \sqrt{30} \cdot 6,15 \cdot 10^9 = 1,584 \times 10^{14} \text{ N.mm}^2$$

### Faktor Kekangan Bawah

$$\Psi_b = \frac{\left(\frac{E \cdot I_{k-tinjauan}}{I_{k-tinjauan}}\right) + \left(\frac{E \cdot I_{k-bawah}}{I_{k-bawah}}\right)}{\left(\frac{E \cdot I_{b-bawah}}{I_{b-bawah}}\right)}$$

$$\Psi_b = \frac{\left(\frac{8,76 \times 10^{14}}{3,402 \times 10^{10}}\right) + \left(\frac{8,76 \times 10^{14}}{3,402 \times 10^{10}}\right)}{\left(\frac{1,584 \times 10^{14}}{6,15 \times 10^9}\right)} = 25,59$$

Setelah faktor kekangan diperoleh, nilai faktor kekangan diplot kedalam grafik faktor k (SNI 2847:2013 Pasal 10.10.7.2). Menurut gambar 5.7, nilai k yang didapatkan adalah 0,96.



Gambar 5.7 Faktor Panjang Efektif Arah X

(Sumber dari SNI 2847:2013 Pasal 10.10.7.2)

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 10.10.1, analisis batang yang ditinjau merupakan komponen struktur tekan yang tidak bergoyang:

$$\frac{k \cdot l_n}{r} \leq \left( 34 - 12 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \right) \leq 40$$

Nilai  $r$  yang diambil sebesar 0,3 dari dimensi arah tinjauan stabilitas ( SNI 2847:2013 Pasal 10.10.1.2) yakni 0,3 dari 600 mm dengan  $M_1 = 120,994$  kN.m dan  $M_2 = 248,099$  kN.m

$$\frac{0,96 \cdot 3,75}{0,3 \cdot 600} \leq \left( 34 - 12 \left( \frac{120,994}{248,099} \right) \right) \leq 40$$

$20 < 28,15 < 40$  ; kelangsingan kolom diabaikan.

## Pemeriksaan Kelangsingan Kolom Arah Y

### Kekangan Atas

Dimensi Kolom Tinjauan

$$\text{Lebar Kolom (b)} = 800 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi Kolom (h)} = 900 \text{ mm}$$

$$I_{k\text{-tinjauan}} = 0,7 \cdot \frac{h \cdot b^3}{12}$$

$$I_{k\text{-tinjauan}} = 0,7 \cdot \frac{900 \cdot 800^3}{12} = 2,69 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$E \cdot I_{k\text{-tinjauan}} = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot I_{k\text{-tinjauan}}$$

$$E \cdot I_{k\text{-tinjauan}} = 4700 \cdot \sqrt{30} \cdot 3,402 \cdot 10^{10} = 6,92 \times 10^{14} \text{ N.mm}^2$$

Dimensi Kolom Atas

$$\text{Lebar Kolom (b)} = 700 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi Kolom (h)} = 900 \text{ mm}$$

$$I_{k\text{-atas}} = 0,7 \cdot \frac{h \cdot b^3}{12}$$

$$I_{k\text{-atas}} = 0,7 \cdot \frac{900 \cdot 700^3}{12} = 1,8 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$E \cdot I_{k\text{-atas}} = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot I_{k\text{-tinjauan}}$$

$$E \cdot I_{k\text{-atas}} = 4700 \cdot \sqrt{30} \cdot 1,8 \cdot 10^{10} = 4,64 \times 10^{14} \text{ N.mm}^2$$



### Dimensi Balok Atas

$$\text{Lebar Balok (b)} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi Balok (h)} = 550 \text{ mm}$$

$$I_{b-atas} = 0,35 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{b-atas} = 0,35 \cdot \frac{350 \cdot 550^3}{12} = 1,698 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$E \cdot I_{b-atas} = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot I_{k-tinjauan}$$

$$E \cdot I_{b-atas} = 4700 \cdot \sqrt{30} \cdot 1,698 \cdot 10^9 = 4,372 \times 10^{13} \text{ N.mm}^2$$

### Faktor Kekangan Atas

$$\Psi_a = \frac{\left(\frac{E \cdot I_{k-tinjauan}}{I_{k-tinjauan}}\right) + \left(\frac{E \cdot I_{k-atas}}{I_{k-atas}}\right)}{\left(\frac{E \cdot I_{b-atas}}{I_{b-atas}}\right)}$$

$$\Psi_a = \frac{\left(\frac{6,92 \times 10^{14}}{2,69 \times 10^{10}}\right) + \left(\frac{4,64 \times 10^{14}}{1,8 \times 10^{10}}\right)}{\left(\frac{4,372 \times 10^{13}}{1,698 \times 10^9}\right)} = 61,16$$

### Kekangan Bawah

#### Dimensi Kolom Tinjauan

$$\text{Lebar Kolom (b)} = 800 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi Kolom (h)} = 900 \text{ mm}$$

$$I_{k-tinjauan} = 0,7 \cdot \frac{h \cdot b^3}{12}$$

$$I_{k-tinjau} = 0,7 \cdot \frac{900 \cdot 800^3}{12} = 2,69 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$E \cdot I_{k-tinjau} = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot I_{k-tinjau}$$

$$E \cdot I_{k-tinjau} = 4700 \cdot \sqrt{30} \cdot 3,402 \cdot 10^{10} = 6,92 \times 10^{14} \text{ N.mm}^2$$

Dimensi Kolom Bawah

Lebar Kolom (b) = 800 mm

Tinggi Kolom (h) = 900 mm

$$I_{k-tinjau} = 0,7 \cdot \frac{h \cdot b^3}{12}$$

$$I_{k-tinjau} = 0,7 \cdot \frac{900 \cdot 800^3}{12} = 2,69 \times 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$E \cdot I_{k-tinjau} = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot I_{k-tinjau}$$

$$E \cdot I_{k-tinjau} = 4700 \cdot \sqrt{30} \cdot 3,402 \cdot 10^{10} = 6,92 \times 10^{14} \text{ N.mm}^2$$

Dimensi Balok Bawah

Lebar Balok (b) = 350 mm

Tinggi Balok (h) = 550 mm

$$I_{b-bawah} = 0,35 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_{b-bawah} = 0,35 \cdot \frac{350 \cdot 550^3}{12} = 1,698 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$E \cdot I_{b-bawah} = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot I_{k-tinjau}$$

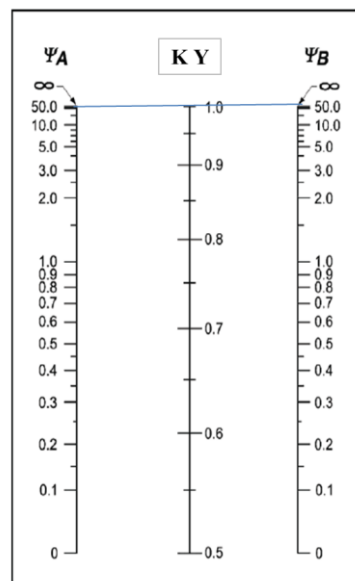
$$E \cdot I_{b-bawah} = 4700 \cdot \sqrt{30} \cdot 1,698 \cdot 10^9 = 4,372 \times 10^{13} \text{ N.mm}^2$$

Faktor Kekangan Bawah

$$\Psi_b = \frac{\left(\frac{E \cdot I_{k-tinjauan}}{I_{k-tinjauan}}\right) + \left(\frac{E \cdot I_{k-bawah}}{I_{k-bawah}}\right)}{\left(\frac{E \cdot I_{b-bawah}}{I_{b-bawah}}\right)}$$

$$\Psi_b = \frac{\left(\frac{6,92 \times 10^{14}}{2,69 \times 10^{10}}\right) + \left(\frac{6,92 \times 10^{14}}{2,69 \times 10^{10}}\right)}{\left(\frac{4,372 \times 10^{13}}{1,698 \times 10^9}\right)} = 73,25$$

Setelah faktor kekangan diperoleh, nilai faktor kekangan diplot kedalam grafik faktor k (SNI 2847:2013 Pasal 10.10.7.2). Menurut gambar 5.8, nilai k yang didapatkan adalah 1.



Gambar 5.8 Faktor Panjang Efektif Arah Y

(Sumber dari SNI 2847:2013 Pasal 10.10.7.2)

Berdasarkan SNI 2847:2013 Pasal 10.10.1, analisis batang yang ditinjau merupakan komponen struktur tekan yang tidak bergoyang:

$$\frac{k \cdot l_n}{r} \leq \left( 34 - 12 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \right) \leq 40$$

Nilai r yang diambil sebesar 0,3 dari dimensi arah tinjauan stabilitas ( SNI 2847:2013 Pasal 10.10.1.2) yakni 0,3 dari 700 mm dengan  $M_1 = 120,994$  kN.m dan  $M_2 = 248,099$  kN.m

$$\frac{1 \cdot 3,75}{0,3 \cdot 700} \leq \left( 34 - 12 \left( \frac{120,994}{248,099} \right) \right) \leq 40$$

$17,857 < 28,15 < 40$  ; kelangsingan kolom diabaikan.

#### 5.6.4. Perhitungan Tulangan Longitudinal

Perhitungan tulangan longitudinal untuk kolom menggunakan diagram bantu untuk memperkirakan rasio penulangan.

$$N_{od-min} = \frac{P_{u-min}}{f'_c \cdot b \cdot h}$$

$$N_{od-min} = \frac{6013,17 \cdot 1000}{30 \cdot 800 \cdot 900} = 0,13$$

$$M_{od-min} = \frac{M_{u-min}}{f'_c \cdot b \cdot h^2}$$

$$M_{od-min} = \frac{280,238 \cdot 10^6}{30 \cdot 800 \cdot 900^2} = 0,01$$

Nilai  $\rho$  diperoleh dari diagram interaksi  $\Phi M_n - \Phi P_n$ , nilai yang didapatkan adalah  $\rho = 0,01$ .

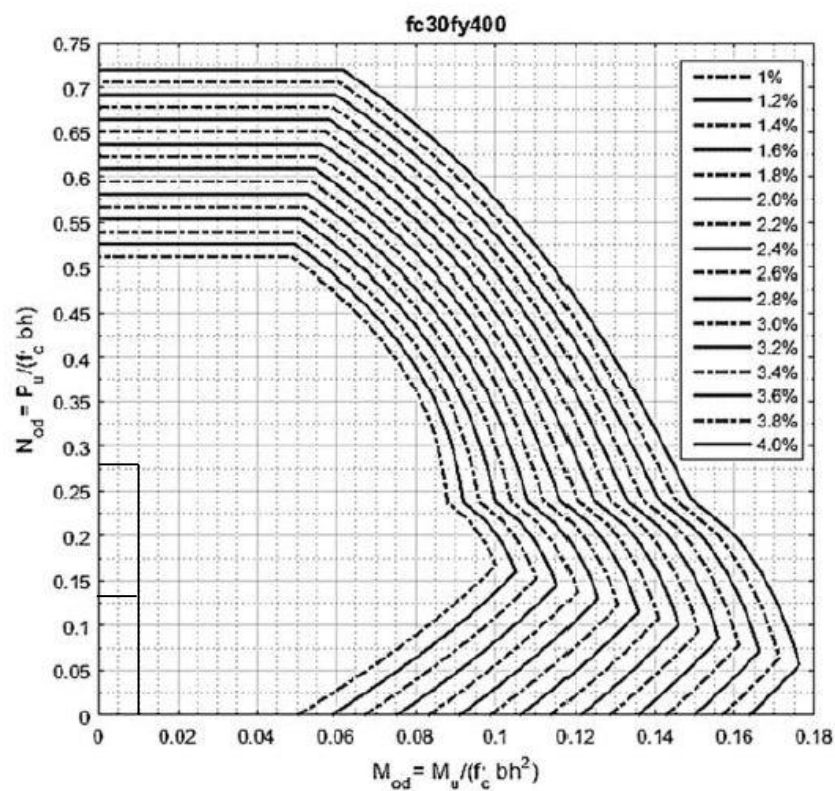
$$N_{od-max} = \frac{P_{u-max}}{f'_c \cdot b \cdot h}$$

$$N_{od-max} = \frac{2808,72 \cdot 1000}{30 \cdot 800 \cdot 900} = 0,28$$

$$M_{od-max} = \frac{M_{u-max}}{f'_c \cdot b \cdot h^2}$$

$$M_{od-max} = \frac{248,099 \cdot 10^6}{30 \cdot 600 \cdot 700^2} = 0,01$$

Nilai  $\rho$  diperoleh dari diagram interaksi  $\Phi M_n - \Phi P_n$ , nilai yang didapatkan adalah  $\rho = 0,01$ .



Gambar 5.9 Diagram Interaksi  $\Phi M_n - \Phi P_n$

(Yoyong Arfiadi, 2016)

Nilai  $\rho$  yang digunakan adalah  $\rho = 0,01$

$$A_{st} = \rho \cdot b \cdot h$$

$$A_{st} = 0,01 \cdot 800 \cdot 900 = 7200 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan yang digunakan,

$$n = \frac{A_{st}}{A_{b \text{ longitudinal}}}$$

$$n = \frac{7200}{490,874} = 14,67 \approx 16$$

Tulangan kolom harus kelipatan 4, sehingga digunakan tulangan D25 sebanyak 16 buah. Sama seperti perhitungan balok, besar spasi antar tulangan sejajar harus dicek sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 7.6.3.

$$X = \frac{b - (2 \cdot S_{beton}) - (2 \cdot \phi_{sengkan}) - (n \cdot \phi_{longitudinal} / 4)}{n/4}$$

$$X = \frac{800 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (16 \cdot 25 / 4)}{16/4} = 142,75 \text{ mm} > 40 \text{ mm}, \text{ maka spasi tulangan yang}$$

dihitung memenuhi syarat.

$$\rho_{aktual} = \frac{n \cdot A_{b \text{ longitudinal}}}{b \cdot h}$$

$$\rho_{aktual} = \frac{16 \cdot 490,87}{800 \cdot 900} = 0,011$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.3.1, rasio luas tulangan memanjang tidak boleh kurang dari 0,01 atau tidak lebih dari 0,06.

$$0,01 < \rho_{\text{aktual}} < 0,06$$

$$0,01 < 0,011 < 0,06 \text{ (syarat memenuhi)}$$

### 5.6.5. Kuat Kolom

Agar kolom dapat memenuhi syarat “*Strong Column-Weak Beam*”, diperlukan pemeriksaan kekuatan kolom dan kekuatan balok yang merangkai pada titik pertemuan yang ditinjau. Momen nominal kolom harus lebih besar dari 1,2 x momen nominal balok.

$$\sum M_{nc} \geq \sum 1,2 \cdot M_{nb}$$

Momen nominal balok dari perhitungan sebelumnya:

$$\sum M_{nb} = 1065,41 \text{ kN.m}$$

Kebutuhan jumlah momen nominal minimum kolom:

$$\sum M_{nc} = 1,2 \cdot \sum M_{nb} = 1,2 \cdot 1065,41 = 1278,492 \text{ kN.m}$$

Kebutuhan jumlah momen nominal minimum satu kolom:

$$M_{nc-min} = \frac{\sum M_{nc}}{2} = \frac{1278,492}{2} = 639,246 \text{ kN.m}$$

Kolom yang dirancang harus mampu memikul beban  $M_{nc-min}$ . Momen nominal kolom yang ditinjau diperoleh dari diagram interaksi  $M_n - P_n$  dengan tulangan 16D25 dan  $\rho_{\text{aktual}} = 0,011$ .

$$N_{od-min} = \frac{P_{u-min}}{f_c' \cdot b \cdot h}$$

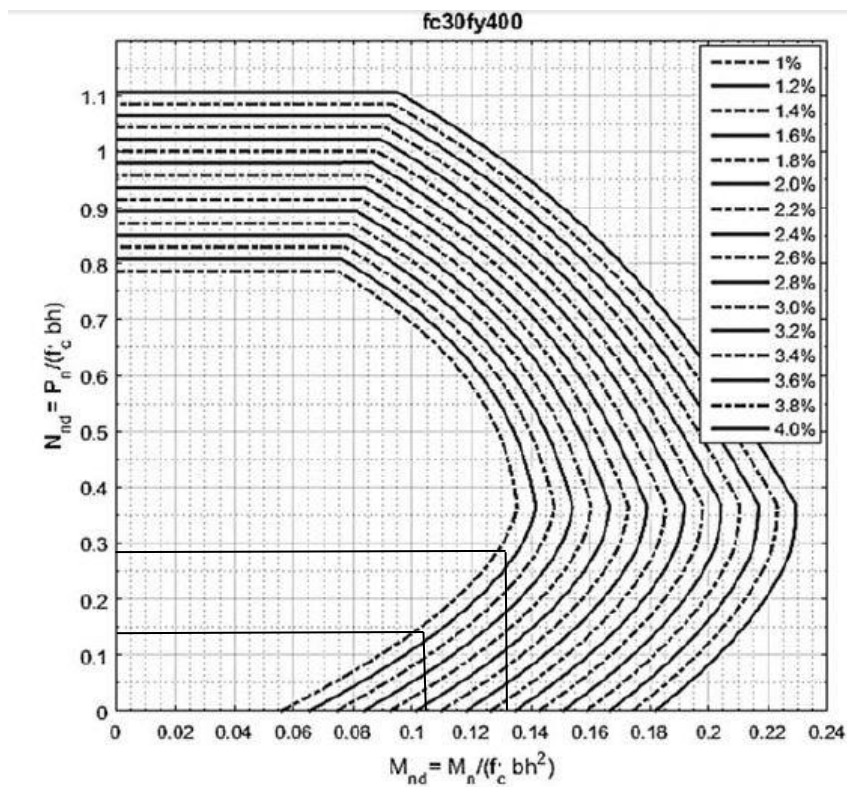
$$N_{od-min} = \frac{6013,17 \cdot 1000}{30 \cdot 800 \cdot 900} = 0,13$$

Dari diagram interaksi diperoleh  $M_{od-min} = 0,112$

$$N_{od-max} = \frac{P_{u-max}}{f'_c \cdot b \cdot h}$$

$$N_{od-max} = \frac{2808,72 \cdot 1000}{30 \cdot 800 \cdot 900} = 0,28$$

Dari diagram interaksi diperoleh  $M_{od-maks} = 0,134$



Gambar 5.10 Diagram Interaksi  $M_n - P_n$

(Yoyong Arfiadi, 2016)



Sehingga,

$$M_{nc-1} = M_{od-min} \cdot f'_c \cdot b \cdot h^3$$

$$M_{nc-1} = 0,134 \cdot 30 \cdot 800 \cdot 900^3 / 10^6 = 2604,96 \text{ kN.m} > M_{min} \text{ (memenuhi syarat)}$$

$$M_{nc-2} = M_{od-maks} \cdot f'_c \cdot b \cdot h^3$$

$$M_{nc-1} = 0,112 \cdot 30 \cdot 800 \cdot 900^3 / 10^6 = 2177,28 \text{ kN.m} > M_{max} \text{ (memenuhi syarat)}$$

### 5.6.6. Perhitungan Tulangan Transversal

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4, penulangan geser terdiri dari daerah  $l_o$  dan daerah diluar  $l_o$ .  $l_o$  dapat ditentukan dari persyaratan berikut:

$$h = 900 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{6} l_n = \frac{1}{6} 3800 = 633,33 \text{ mm}$$

$$450 \text{ mm}$$

Nilai  $l_o$  diambil dari yang terbesar, yaitu 900 mm. Daerah  $l_o$  diambil sebesar 900 mm dari ujung kolom.

### Tulangan Geser Daerah $l_o$

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.6.4.3, spasi tulangan geser maksimum pada daerah  $l_o$  diambil dari nilai terkecil dari persyaratan berikut:

$$0,25 \cdot h = 0,25 \cdot 900 = 225 \text{ mm}$$

$$6 \cdot D_{longitudinal} = 6 \cdot 25 = 150 \text{ mm}$$

100 mm

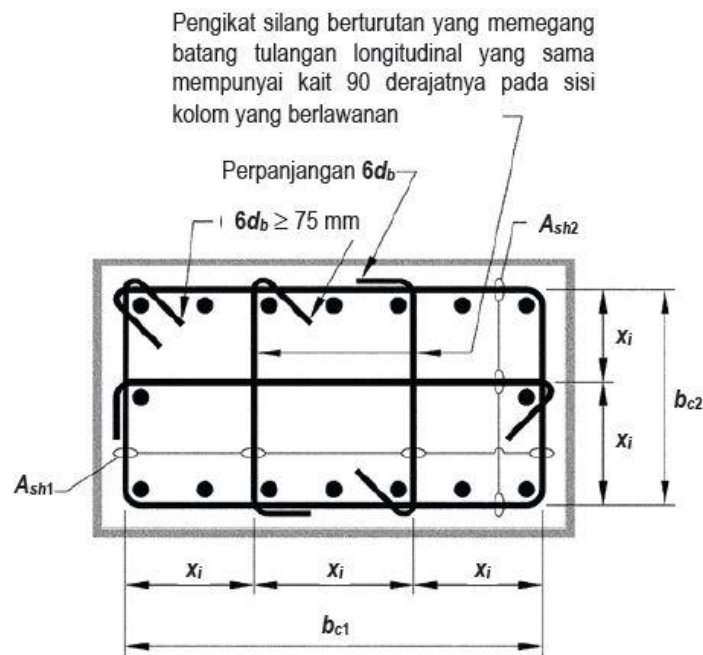
Spasi tulangan yang digunakan pada daerah  $l_0$  adalah 100 m.

### Luas Tulangan Minimum

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4, luas tulangan minimum daerah  $l_0$  harus dihitung dengan persamaan berikut :

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

$$A_{sh-2} = 0,09 \cdot \frac{b_c \cdot f'_c}{f_y}$$



Gambar 5.11 Tulangan Geser Kolom

(SNI 2847:2013; hal 192)

$$A_g = 800 \cdot 900 = 720000 \text{ mm}^2$$

$$b_{c-1} = 800 - (2 \cdot 40) = 720 \text{ mm}$$

$$b_{c-2} = 900 - (2 \cdot 40) = 820 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = 720 \cdot 820 = 590400 \text{ mm}^2$$

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

$$A_{sh-1} = 0,3 \cdot \frac{720 \cdot 30}{400} \cdot \left( \frac{720000}{590400} - 1 \right) = 3,56 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh-2} = 0,09 \cdot \frac{b_c \cdot f'_c}{f_y}$$

$$A_{sh-2} = 0,09 \cdot \frac{720 \cdot 30}{400} = 4,86 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh-11} = 0,3 \cdot \frac{b_c \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right)$$

$$A_{sh-11} = 0,3 \cdot \frac{820 \cdot 30}{400} \cdot \left( \frac{720000}{590400} - 1 \right) = 4,05 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh-22} = 0,09 \cdot \frac{b_c \cdot f'_c}{f_y}$$

$$A_{sh-22} = 0,09 \cdot \frac{820 \cdot 30}{400} = 5,54 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Berdasarkan diagram interaksi  $M_{pr}$  -  $P_{pr}$  diperoleh:

$$N_{ny-min} = \frac{P_{u-min}}{f'_c \cdot b \cdot h}$$

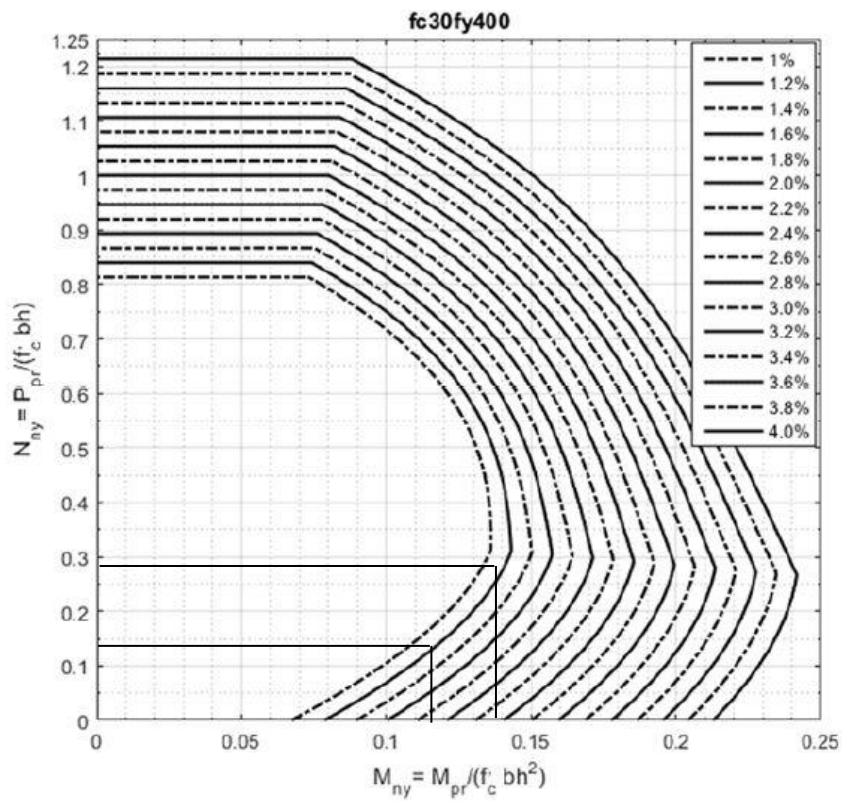
$$N_{ny-min} = \frac{6013,17 \cdot 1000}{30 \cdot 800 \cdot 900} = 0,28$$

Dari diagram interaksi diperoleh  $M_{ny-min} = 0,14$

$$N_{ny-max} = \frac{P_{u-max}}{f'_c \cdot b \cdot h}$$

$$N_{ny-max} = \frac{2808,72 \cdot 1000}{30 \cdot 800 \cdot 900} = 0,12$$

Dari diagram interaksi diperoleh  $M_{ny-maks} = 0,12$



Gambar 5.12 Diagram Interaksi  $M_{pr} - P_{pr}$

(Yoyong Arfiadi, 2016)

Sehingga dari hasil diagram interaksi didapatkan:

$$M_{pr-kol1} = M_{ny-min} \cdot f'_c \cdot b \cdot h^2$$

$$M_{pr-kol1} = 0,14 \cdot 30 \cdot 800 \cdot 900^2 = 2721,6 \text{ kN.m}$$

Perhitungan Faktor Distribusi Momen Joint Atas

### Arah X

$$E \cdot I_{k-tinjauan} = 8,76 \cdot 10^{14} \text{ N.mm}^2$$

$$E \cdot I_{k-atas} = 7,663 \cdot 10^{14} \text{ N.mm}^2$$

$$E \cdot I_{k-bawah} = 8,76 \cdot 10^{14} \text{ N.mm}^2$$

$$DF_{atas} = \frac{E \cdot I_{k-tinjauan}}{E \cdot I_{k-tinjauan} + E \cdot I_{k-atas}} = \frac{8,76 \cdot 10^{14}}{8,76 \cdot 10^{14} + 7,663 \cdot 10^{14}} = 0,53$$

$$DF_{bawah} = \frac{E \cdot I_{k-tinjauan}}{E \cdot I_{k-tinjauan} + E \cdot I_{k-bawah}} = \frac{8,76 \cdot 10^{14}}{8,76 \cdot 10^{14} + 8,76 \cdot 10^{14}} = 0,5$$

### Arah Y

$$E \cdot I_{k-tinjauan} = 6,92 \cdot 10^{14} \text{ N.mm}^2$$

$$E \cdot I_{k-atas} = 4,64 \cdot 10^{14} \text{ N.mm}^2$$

$$E \cdot I_{k-bawah} = 6,92 \cdot 10^{14} \text{ N.mm}^2$$

$$DF_{atas} = \frac{E \cdot I_{k-tinjauan}}{E \cdot I_{k-tinjauan} + E \cdot I_{k-atas}} = \frac{6,92 \cdot 10^{14}}{6,92 \cdot 10^{14} + 4,64 \cdot 10^{14}} = 0,59$$

$$DF_{bawah} = \frac{E \cdot I_{k-tinjauan}}{E \cdot I_{k-tinjauan} + E \cdot I_{k-bawah}} = \frac{6,92 \cdot 10^{14}}{6,92 \cdot 10^{14} + 6,92 \cdot 10^{14}} = 0,5$$

Dari hitungan balok sebelumnya diperoleh:

$$M_{pr-balok} = 1065,41 \text{ kN.m}$$

$$M_{pr-kol2x} = \frac{DF_{atas}}{DF_{atas} + DF_{bawah}} \cdot M_{pr-balok}$$

$$M_{pr-kol2x} = \frac{0,53}{0,53 + 0,5} \cdot 2721,6 = 1404,7 \text{ kN.m}$$

$$M_{pr-kol2y} = \frac{DF_{atas}}{DF_{atas} + DF_{bawah}} \cdot M_{pr-balok}$$

$$M_{pr-kol2y} = \frac{0,5}{0,59 + 0,5} \cdot 2721,7 = 1483,19 \text{ kN.m}$$

$M_{pr-kol 2y} < M_{pr-kol 2x} < M_{pr-kol 1}$  , maka  $M_{pr-kol 2y}$  digunakan dalam merencanakan gaya geser.

$$V_e = \left( \frac{2 \cdot M_{pr-kol 2y}}{l} \right) = \frac{2 \cdot 1438,19}{4,5} = 639,2 \text{ kN}$$

Dari hasil perhitungan, gaya geser  $V_e$  lebih besar dari gaya geser  $V_u$  yang diperoleh dari ETABS. Sehingga gaya geser yang dihitung sudah memenuhi syarat.

### Menentukan Tulangan Geser

Dari perhitungan luas tulangan geser minimum, diambil nilai terbesar:

$$A_{sh-22} = 5,54 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Penulangan daerah  $l_o$ :

$$\text{Spasi} = 100 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = S \cdot A_{sh-11} = 100 \cdot 5,54 = 554 \text{ mm}^2$$

Gunakan D12 (  $A_b = 113,097 \text{ mm}^2$ )

Jumlah kaki sengkang:

$$n = \frac{A_{sh}}{A_b} = \frac{554}{113,097} = 4,89 \approx 4$$

Sehingga digunakan 5P10-100.

Penulangan luar daerah  $l_o$ :

$$A_{sh-1} = 3,56 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Penulangan daerah  $l_o$ :

$$\text{Spasi} = 150 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = S \cdot A_{sh-2} = 150 \cdot 3,56 = 533,415 \text{ mm}^2$$

Gunakan D12 (  $A_b = 113,097 \text{ mm}^2$ )

Jumlah kaki sengkang:

$$n = \frac{A_{sh}}{A_b} = \frac{533,415}{113,097} = 4,72 \approx 5$$

Sehingga digunakan 5P10-150.

Pengecekan Kemampuan Layan Kolom:

Daerah  $l_0$  :

$$V_s = \frac{A_{sh} \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$V_s = \frac{554 \cdot 400 \cdot 798}{100} = 1766,772 \text{ kN}$$

Luar Daerah  $l_0$  :

$$V_s = \frac{A_{sh} \cdot f_y \cdot d}{s}$$

$$V_s = \frac{533,415 \cdot 400 \cdot 798}{150} = 1702,66 \text{ kN}$$

Gaya geser terbesar yang terjadi adalah  $V_U = 81,11 \text{ kN}$ , maka beban geser yang harus ditanggung oleh kolom adalah:

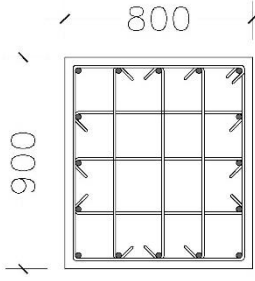
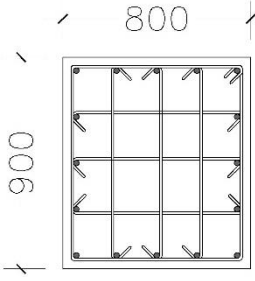
$$V_{u\text{-terfaktor}} = \frac{V_e}{\Phi_{geser}}$$

$$V_{u\text{-terfaktor}} = \frac{89,16}{0,65} = 137,17 \text{ kN}$$

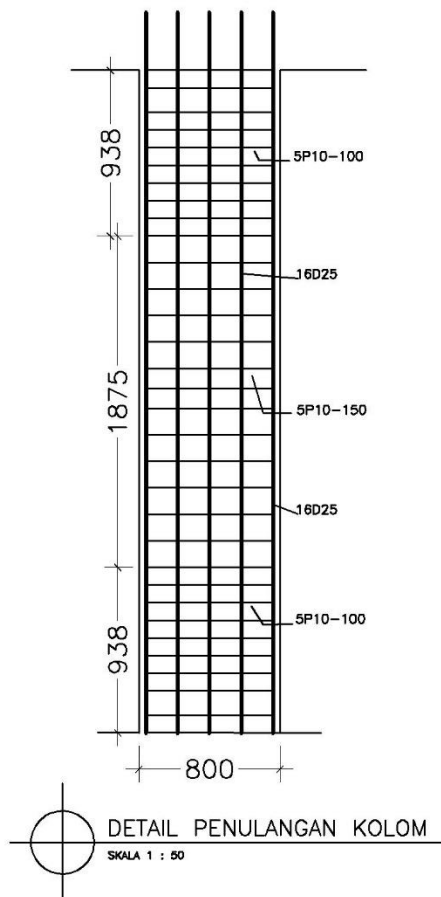
$$V_s > V_{U\text{-terfaktor}} \text{ (memenuhi syarat)}$$

Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa penulangan kolom menggunakan syarat minimum struktur tahan gempa sesuai SNI 2847:2013 pasal 21.6.4.4 sudah mencukupi untuk menahan gaya geser terfaktor.



Keterangan	Kolom C20	
	Tumpuan Kiri / Kanan	Lapangan
Gambar		
Tulangan Longitudinal	16 D25	16 D25
Sengkang	5P10 - 100	5P10 - 150

Gambar 5.13 Penulangan Kolom C20 Lantai 1



Gambar 5.14 Detail Penulangan Kolom C20 Lantai 1

### 5.7. Hubungan Balok Kolom

Bagian *joint* pada sebuah bangunan merupakan sebuah pertemuan antara balok dan kolom. Titik temu antara balok dan kolom disebut Hubungan Balok Kolom (HBK). Daerah titik temu ini harus didetailkan dengan baik.

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.7.3, persyaratan untuk tulangan transversal adalah sebagai berikut:

1. Tulangan transversal pada daerah Hubungan Balok Kolom harus berbentuk sengkang tertutup.
2. Komponen – komponen struktur balok yang merangka pada keempat sisi kolom memiliki lebar sekurang-kurangnya  $\frac{3}{4}$  dari lebar kolom, jumlah tulangan kolom dapat direduksi menjadi  $\frac{1}{2}$ , dan spasi ijin minimum ditingkatkan menjadi 150 mm. Tulangan transversal dipasang pada daerah Hubungan Balok Kolom setinggi balok terendah yang merangka pada kolom.
3. Jika balok lebih lebar daripada kolom pada Hubungan Balok Kolom, maka tulangan longitudinal balok harus dikekang dengan tulangan transversal.

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.7.4, kuat geser nominal pada Hubungan Balok Kolom diambil tidak melebihi dari:

$1,7 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_g$  untuk Hubungan Balok Kolom yang terkekang di empat sisi.

$1,25 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_g$  untuk Hubungan Balok Kolom yang terkekang di ketiga sisi atau dua sisi berlawanan.

$1,0 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_g$  untuk Hubungan Balok Kolom yang lainnya.

$$A_g = 800 \cdot 900 = 720000 \text{ mm}^2$$

#### 5.7.1. Perhitungan Tulangan Transversal

Dengan asumsi kolom terkekang di keempat sisi, lebar balok 500 mm menutupi 0,75 lebar sisi kolom ( $0,75 \times 800 = 600 \text{ mm}$ ), maka jumlah tulangan transversal dapat direduksi setengahnya.

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,5 \cdot 5,54 = 2,77 \text{ mm}^2$$

Jarak antar tulangan transversal boleh diambil sebesar 150 mm, sehingga:

$$A_{sh} = 2,77 \cdot 150 = 415,5 \text{ mm}^2$$

Dipasang tulangan sengkak 3 kaki D12 ( $A_{sh} = 3 \cdot 113,097 = 339,292 \text{ mm}^2$ )

Pada hasil perhitungan dengan menggunakan program bantu ETABS, diperoleh nilai  $V_e = 89,16 \text{ kN}$ .

#### 5.7.2. Nilai $M_{pr}$ -balok

Pada bagian tumpuan, balok menggunakan tulangan atas 7D25 dan tulangan bawah 6D25, sehingga gaya tarik yang diperoleh:

$$T_1 = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y = 1,25 \cdot 7 \cdot 490,874 \cdot 400 = 1718,058 \text{ kN}$$

$$T_1 = C_1 = 1718,058 \text{ kN}$$

$$T_2 = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y = 1,25 \cdot 6 \cdot 490,874 \cdot 400 = 1472,622 \text{ kN}$$

$$T_2 = C_2 = 1472,622 \text{ kN}$$

$$V_U = 89,16 \text{ kN}$$

$$V = T_1 + C_2 - V_U = 1718,058 + 1472,622 - 89,16 = 3101,52 \text{ kN}$$

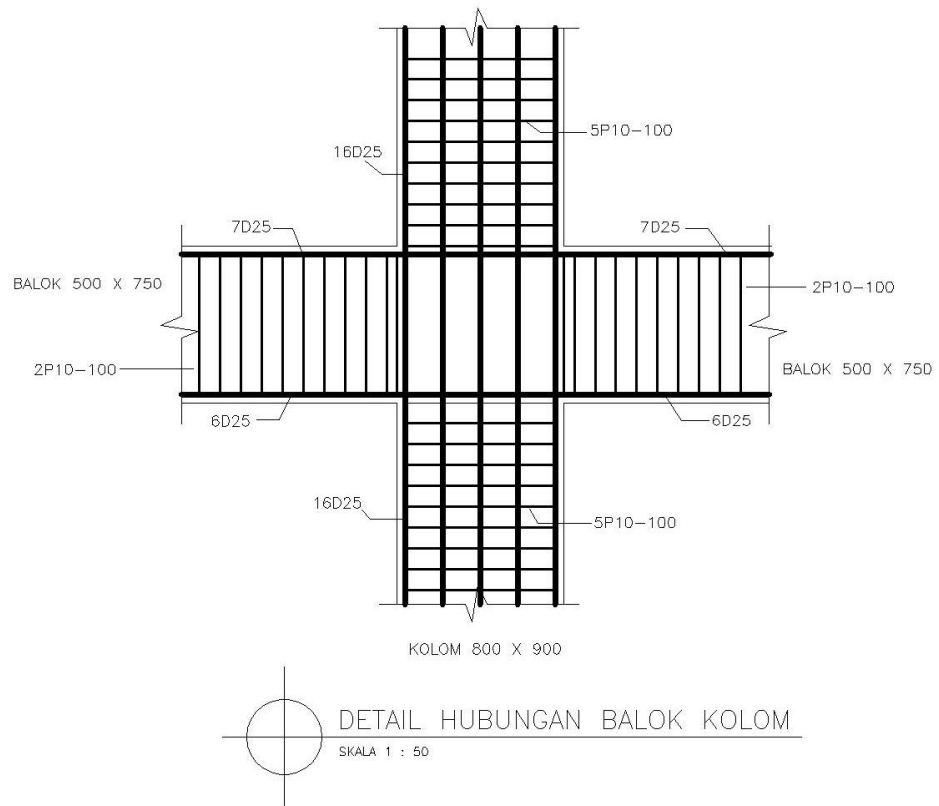
Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.7.4, untuk Hubungan Balok Kolom yang terkekang di keempat sisi tidak boleh melebihi:

$$V_n = 1,7 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_g$$

$$V_n = 1,7 \cdot \sqrt{30} \cdot 720000 = 6704,124 \text{ kN}$$

$$\Phi \cdot V_n = 0,75 \cdot 6704,124 = 5028,093 \text{ kN}$$

Nilai  $\Phi \cdot V_n > V$ , maka Hubungan Balok Kolom memenuhi syarat.



Gambar 5.15 Detail Tulangan Hubungan Balok Kolom

## 5.8. Penulangan Dinding Geser

### 5.8.1. Data Perencanaan

Tinjauan Lantai 2, P8

1. Mutu Beton,  $f_c' = 30$  Mpa
2. Mutu Baja Tulangan,  $f_y = f_{yt} = 400$  Mpa
3. Diameter Tulangan = 20 mm; Luas Tulangan = 314,159 mm<sup>2</sup>
4.  $M_U = 6552,98$  kN.m
5.  $P_U = 703,89$  kN
6.  $V_U = 1549,9$  kN
7. Tebal Dinding,  $t_w = 300$  mm
8. Panjang Dinding geser,  $l_w = 5660$  mm
9. Luas Bruto Penampang,  $A_{cv} = t_w \cdot l_w = 300 \cdot 5660 = 1,698 \cdot 10^6$  mm<sup>2</sup>
10. Inersia Penampang,  $I_g = 1/12 \cdot t_w \cdot l_w^3 = 1/12 \cdot 300 \cdot 5660^3 = 4,53 \cdot 10^{12}$  mm<sup>4</sup>

### 5.8.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Vertikal dan Horisontal

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.2.2, dibutuhkan paling sedikit dua tirai tulangan jika pada dinding diperoleh  $V_U > 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}$ .

$$0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} = 0,17 \cdot 1,698 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} = 1581,056 \text{ kN}$$

$$V_U < 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}, \text{ maka digunakan satu tirai tulangan.}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.2.1, rasio tulangan badan terdistribusi (rasio tulangan longitudinal,  $\rho_l$ , rasio tulangan transversal,  $\rho_t$ ) tidak kurang dari

0,0025 dan spasi maksimum tulangan dinding untuk masing – masing arah tidak boleh melebihi 450mm. Syarat yang harus diperiksa:

$$V_u > 0,083 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}$$

$$V_u > 0,083 \cdot 1,698 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} = 771,9273 \text{ kN (memenuhi syarat)}$$

Maka rasio tulangan longitudinal dan transversal yang digunakan adalah 0,0025.

Luas penampang dinding geser per meter panjang:

$$A_{1m} = 300 \cdot 1000 = 3 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

Luas minimum kebutuhan tulangan transversal dan longitudinal per meter panjang:

$$A_{sh-1m} = 0,0025 \cdot 3 \cdot 10^5 = 750 \text{ mm}^2$$

Untuk satu lapis tulangan D20 maka,

$$n = \frac{A_{sh-1m}}{A_b} = \frac{750}{314,159} = 2,38 \approx 3$$

$$S = \frac{A_{sh-1m}}{2} = \frac{750}{2} = 375 \text{ mm} < 450 \text{ m ( memenuhi syarat)}$$

Maka tulangan yang digunakan per meter panjang 3D20-300 dalam satu lapis tulangan.

### 5.8.3. Pemeriksaan Kuat Geser Pada Dinding

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.1, kuat geser nominal dinding geser dihitung sesuai dengan persamaan:

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{37000}{5660} = 6,54 > 2$$

Maka nilai  $\sigma_c$  menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.1 adalah 0,17.

Rasio luas tulangan transversal dengan D25-300 dalam 1 lapis tulangan:

$$\rho_t = \frac{2 \cdot A_b}{s \cdot t_w}$$

$$\rho_t = \frac{2 \cdot 314,159}{350 \cdot 300} = 0,00598 > 0,0025 \text{ (memenuhi syarat)}$$

$$V_n = A_{cv} (\sigma_c \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} + \rho_t \cdot f_y)$$

$$V_n = 1,698 \cdot 10^6 (0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} + 0,00598 \cdot 400) = 5645,379 \text{ kN}$$

$$\Phi V_n = 0,75 \cdot 7318,526 = 4234,034 \text{ kN}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.9.4.4, kuat geser dinding tidak boleh melebihi kuat geser nominal maksimum:

$$V_{n-maks} = 0,66 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}$$

$$V_{n-maks} = 0,66 \cdot 1,698 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} = 6138,217 \text{ kN}$$

$$V_{n-min} < V_n < V_{n-maks}$$

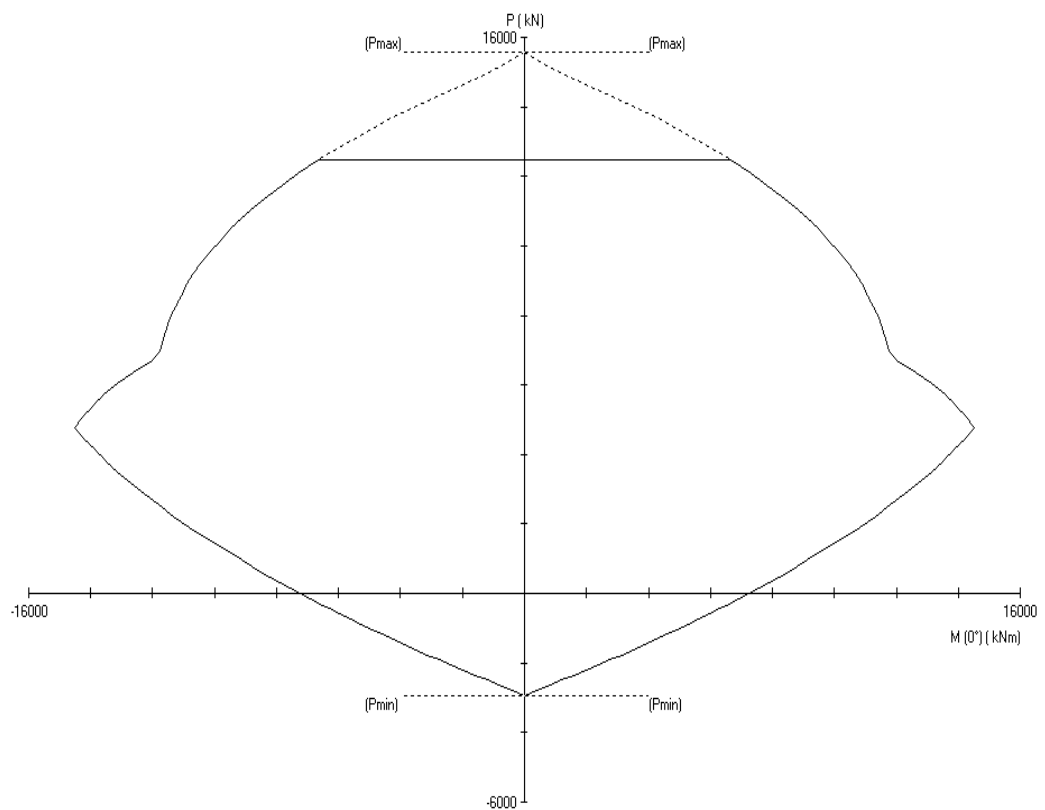
$$V_n > V_U \text{ (dinding geser dapat menahan gaya geser yang terjadi)}$$



#### 5.8.4. Kebutuhan Tulangan Terhadap Kombinasi Gaya Aksial dan Lentur

Kuat tekan dan lentur dinding struktural diperoleh dari diagram interaksi dinding geser dengan program bantu *SpColumn*. Tulangan yang digunakan pada dinding geser adalah 1 lapis D20-300.

Berdasarkan diagram interaksi pada gambar 5.16, dapat disimpulkan bahwa dinding geser dapat menahan gaya  $P_U = 703,89$  kN, dan  $M_U = 6552,98$  kN.m pada dinding geser.



Gambar 5.16 Diagram Interaksi Dinding Geser

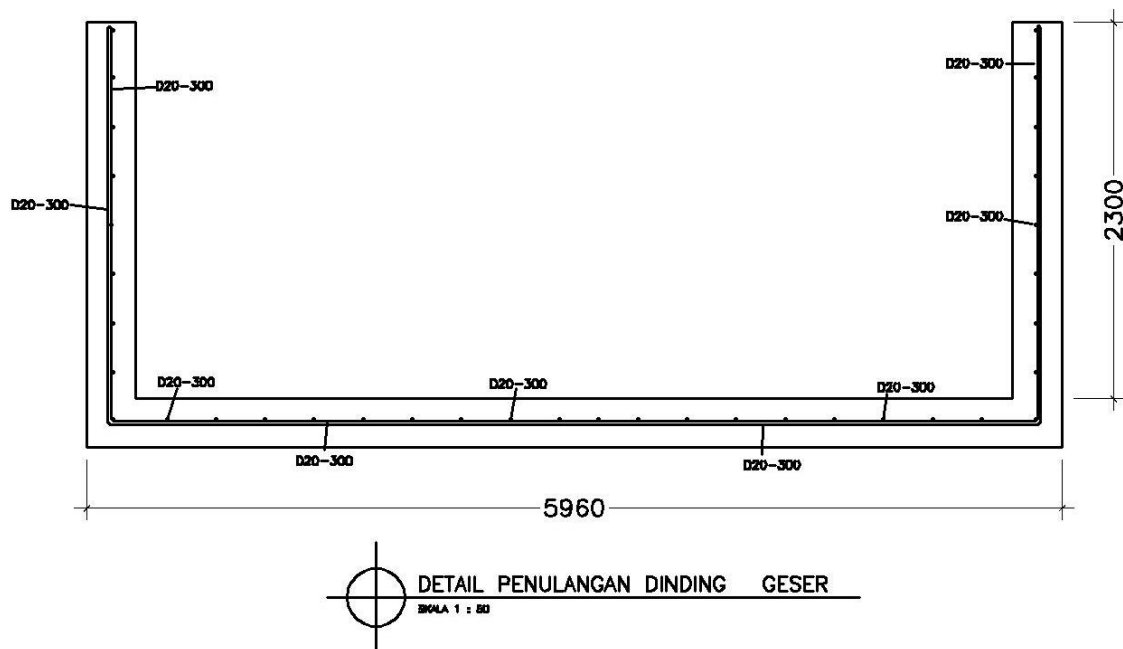
### 5.8.5. Pemeriksaan Komponen Batas

Jika,  $\frac{P_U}{A_g} + \left( \frac{M_U}{I_g} \cdot \frac{l_w}{2} \right) \geq 0,2 \cdot f_c'$  maka dinding memerlukan komponen batas.

$$\frac{P_U}{A_g} + \left( \frac{M_U}{I_g} \cdot \frac{l_w}{2} \right) \geq 0,2 \cdot f_c'$$

$$\frac{703,89}{1,698 \cdot 10^6} + \left( \frac{6552,984}{4,53 \cdot 10^{12}} \cdot \frac{5660}{2} \right) \geq 6 \text{ MPa}$$

4,06 < 6 Mpa (dinding geser tidak memerlukan komponen batas)



Gambar 5.17 Ddetail Penulangan Dinding Geser

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Komponen yang ditinjau pada perancangan Gedung Apartemen 10 Lantai yang berlokasi di Jakarta Barat adalah pelat, balok, kolom, tangga, dinding geser dan hubungan balok kolom. Dimensi yang digunakan pada perancangan ini diperoleh dari proses estimasi dimensi dan *trial and error*. Setelah melakukan perhitungan analisis gempa, analisis struktur dengan bantuan program *ETABS*, serta perhitungan elemen struktur diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Waktu getar alami yang diperoleh dari program *ETABS* adalah:

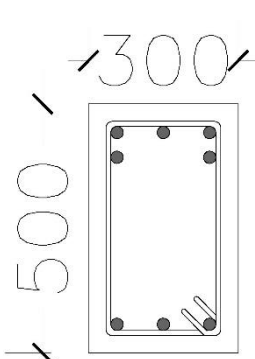
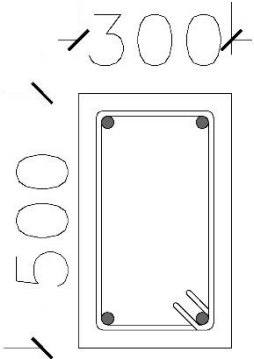
$$T_{cx} = 1,104 \text{ detik}$$

$$T_{cy} = 0,957 \text{ detik}$$

Waktu getar alami yang diperoleh lebih kecil dari  $C_u.T_a = 1,685$  detik, maka waktu getar yang digunakan adalah  $T_{cx}$  dan  $T_{cy}$ .

2. Jumlah partisipasi massa yang telah melebihi 90% terdapat pada mode ke 14.
3. Pelat lantai yang dirancang merupakan pelat lantai dua arah. Tebal pelat yang digunakan adalah 125 mm, dengan tulangan pokok arah X adalah P10-200 dan arah Y P10-150.

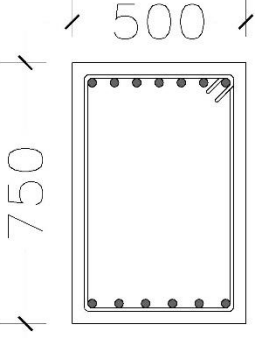
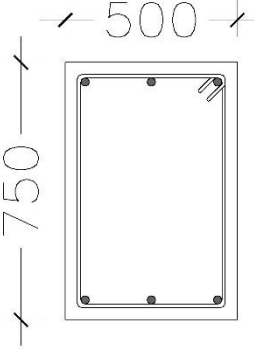
4. Tebal pelat tangga dan bordes yang dirancang adalah 150 mm. Tulangan pelat tangga longitudinal digunakan D12-100 sedangkan tulangan susut digunakan P10-200.
5. Penulangan balok bordes (300x500) mm<sup>2</sup> B202 lantai 2 dapat dilihat pada gambar 7.1.

Keterangan	Balok Bordes B202	
	Tumpuan Kiri / Kanan	Lapangan
Gambar		
Tulangan Atas	5 D25	2 D25
Tulangan Bawah	3 D25	2 D25
Sengkang	2P10 - 100	2P10 - 200

Gambar 5.4 Penulangan Balok Bordes B202 Lantai 2

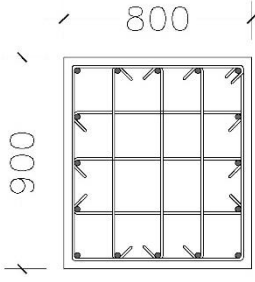
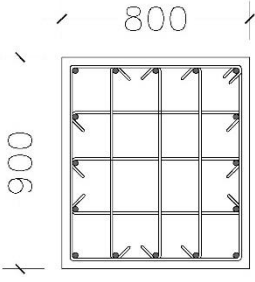
6. Penulangan balok (500x750) mm<sup>2</sup> B3 lantai 2 dapat dilihat pada gambar

7.2.

Keterangan	Balok B3	
	Tumpuan Kiri / Kanan	Lapangan
Gambar		
Tulangan Atas	7 D25	3 D25
Tulangan Bawah	6 D25	3 D25
Sengkang	2P10 - 100	2P10 - 200

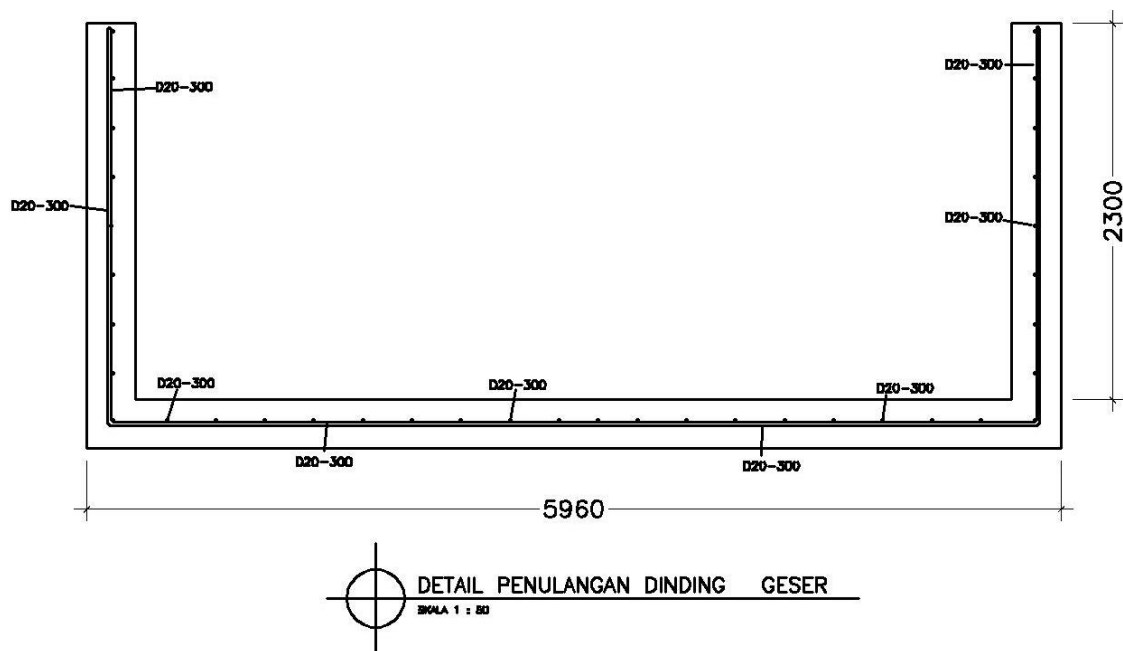
Gambar 7.2 Penulangan Balok B3 Lantai 2

7. Penulangan kolom (800x9000) mm<sup>2</sup> C20 lantai 1 dapat dilihat pada gambar 7.3

Keterangan	Kolom C20	
	Tumpuan Kiri / Kanan	Lapangan
Gambar		
Tulangan Longitudinal	16 D25	16 D25
Sengkang	5P10 - 100	5P10 - 150

Gambar 7.3 Penulangan Kolom C20 Lantai 1

8. Penulangan dinding geser dapat dilihat pada gambar 7.4.



Gambar 7.4 Penulangan Dinding Geser

## 6.2. Saran

Sesuai dengan yang dipaparkan pada laporan Tugas Akhir ini, berikut adalah beberapa saran yang dapat penulis berikan:

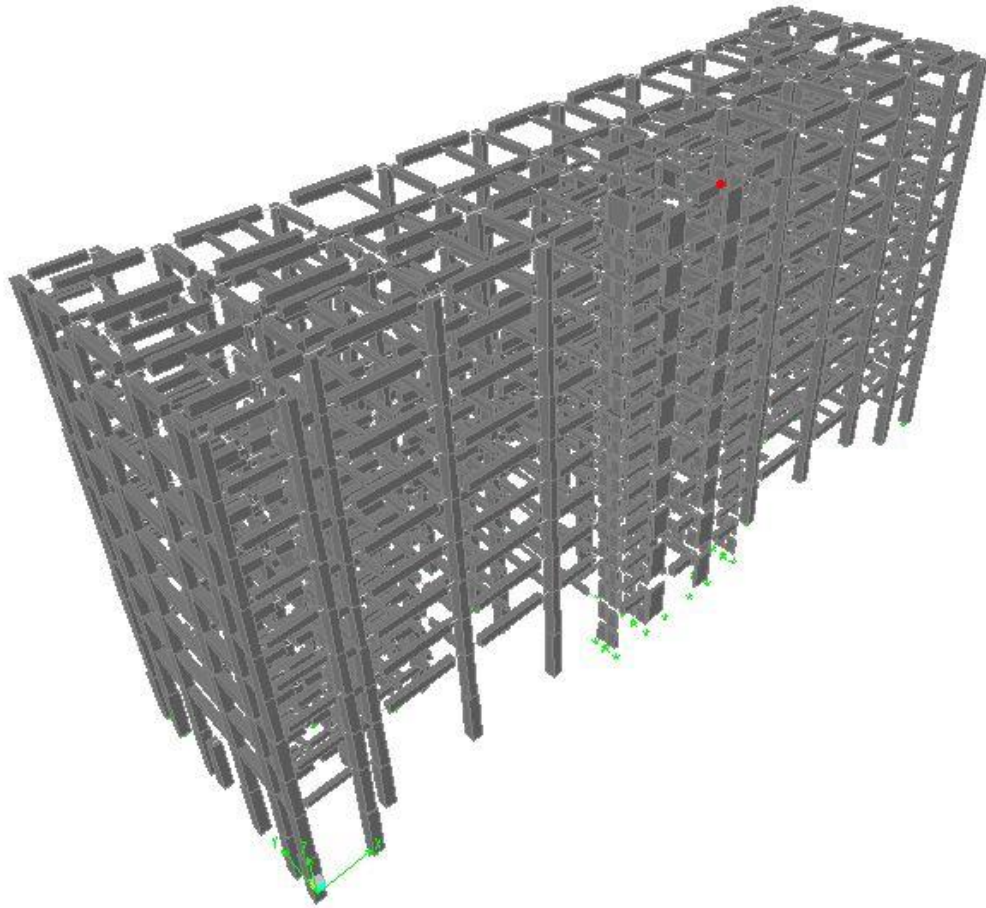
1. Dalam pekerjaan perancangan maupun lapangan, pemahaman gambar arsitektural sangat diperlukan.
2. Dalam melakukan perancangan, referensi acuan seperti SNI, buku dan jurnal perlu diperbanyak agar dalam proses penyelesaian kasus lebih mudah.
3. Penguasaan program bantu teknik sipil seperti *ETABS*, *SAP2000*, dan *SpColumn* sangat diperlukan untuk membantu dalam analisis.
4. Membuat *time schedule* pengerjaan Tugas Akhir agar target pekerjaan dapat tercapai.
5. Jangan lupa berdoa kepada Tuhan Yang Maha Esa, jangan pernah putus asa dan selalu mencoba melakukan yang terbaik.

## DAFTAR PUSTAKA

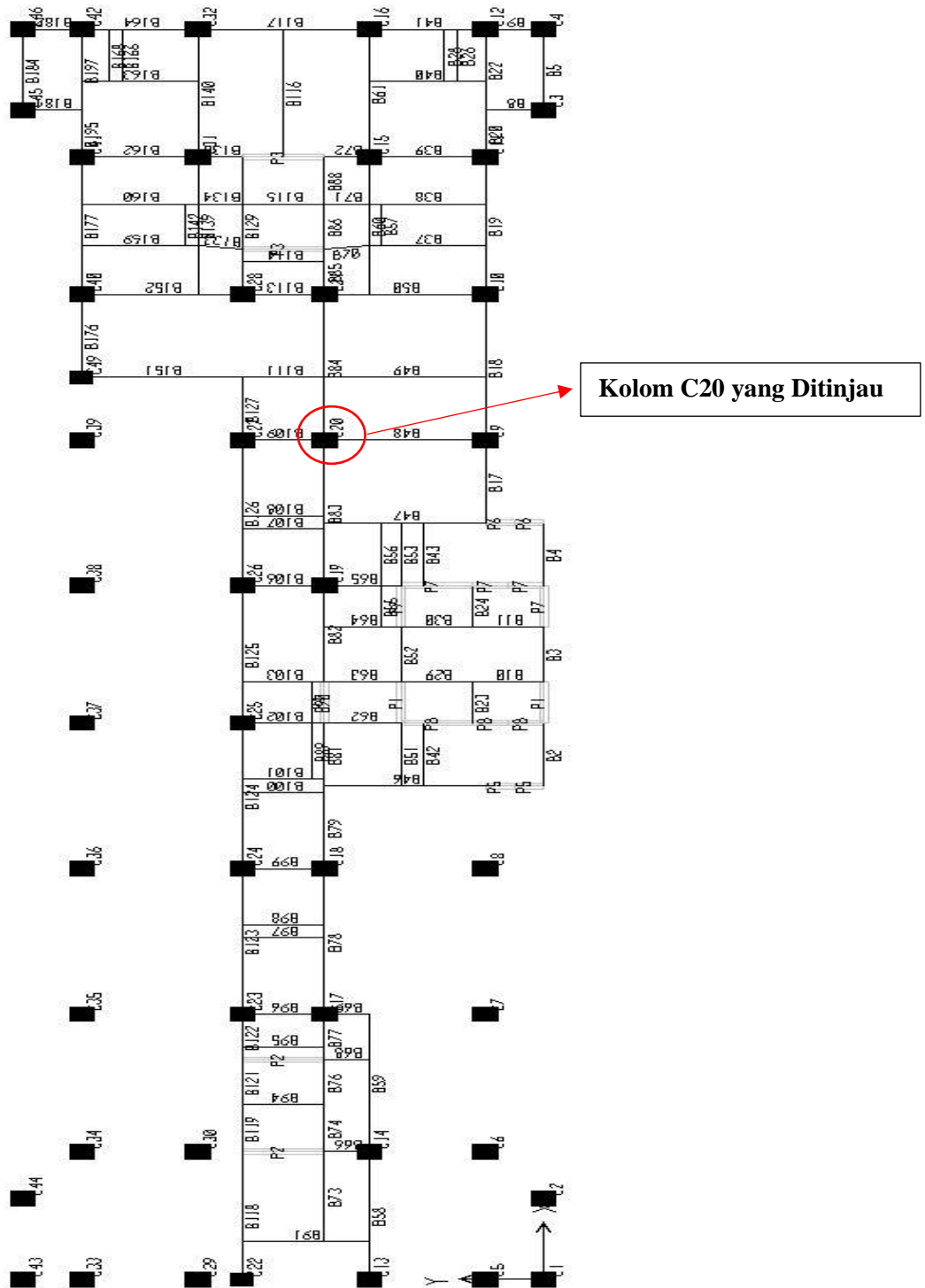
- Arfiadi Y., 2014, *Pengaruh Penetapan SNI Gempa 2012 pada Desain Struktur Rangka Momen Beton Bertulang di Beberapa Kota di Indonesia*, diakses 12 September 2017, [http://www.academia.edu/11131629/PENGARUH\\_PENETAPAN\\_SNI\\_GEMPA\\_2012\\_PADA\\_DESAIN\\_STRUKTUR\\_RANGKA\\_MOMEN\\_BETON\\_BERTULANG\\_DI\\_BEBERAPA\\_KOTA\\_DI\\_INDONESIA](http://www.academia.edu/11131629/PENGARUH_PENETAPAN_SNI_GEMPA_2012_PADA_DESAIN_STRUKTUR_RANGKA_MOMEN_BETON_BERTULANG_DI_BEBERAPA_KOTA_DI_INDONESIA).
- Arfiadi Y., 2016, *Diagram Interaksi Perancangan Kolom dengan Tulangan Pada Empat Sisi Berdasarkan SNI 2847:2013 dan ACI 318M-11*, Jurnal Teknik Sipil, UAJY, Yogyakarta.
- Dipohusodo, Istimawan, 1994, *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Nawy, Edward G., 1998, *Beton Bertulang: Suatu Pendekatan Dasar*, PT. Refika Aditama, Bandung.
- Pawirodikromo, Widodo, 2012, *Seismologi Teknik Rekayasa Kegempaan*, Erlangga, Jakarta.
- Setiawan, 2016, *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*, Erlangga, Jakarta.
- Subpanitia Teknis 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur dan Konstruksi, 2013, *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, SNI 2847:2013, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Subpanitia Teknis 91-01-S4 Bahan, Sain, Struktur dan Konstruksi, 2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung*, SNI 1726:2012, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Subpanitia Teknik Standarisasi Bidang Pemukiman, 2013, *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, SNI 1727:2013, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.



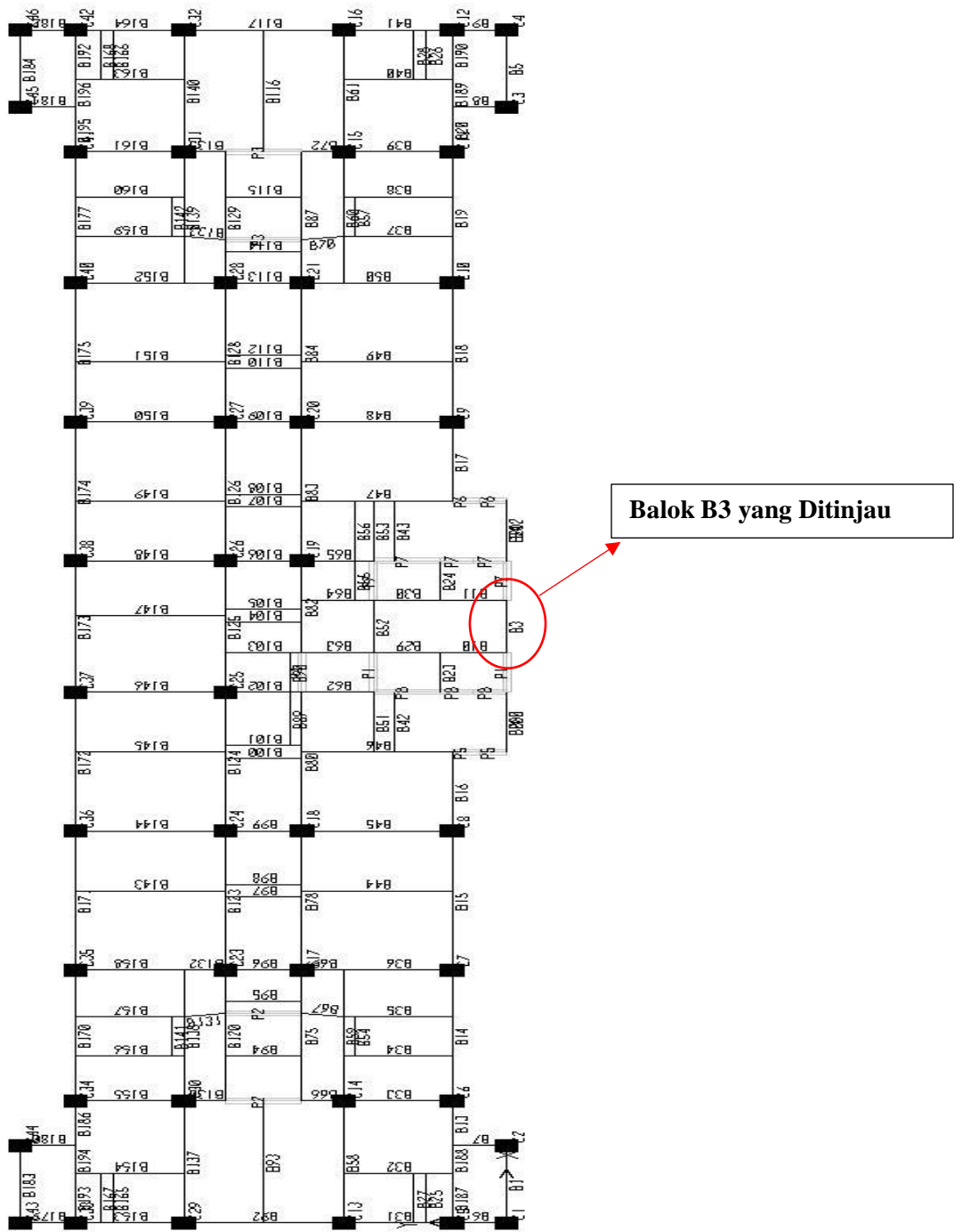
# LAMPIRAN



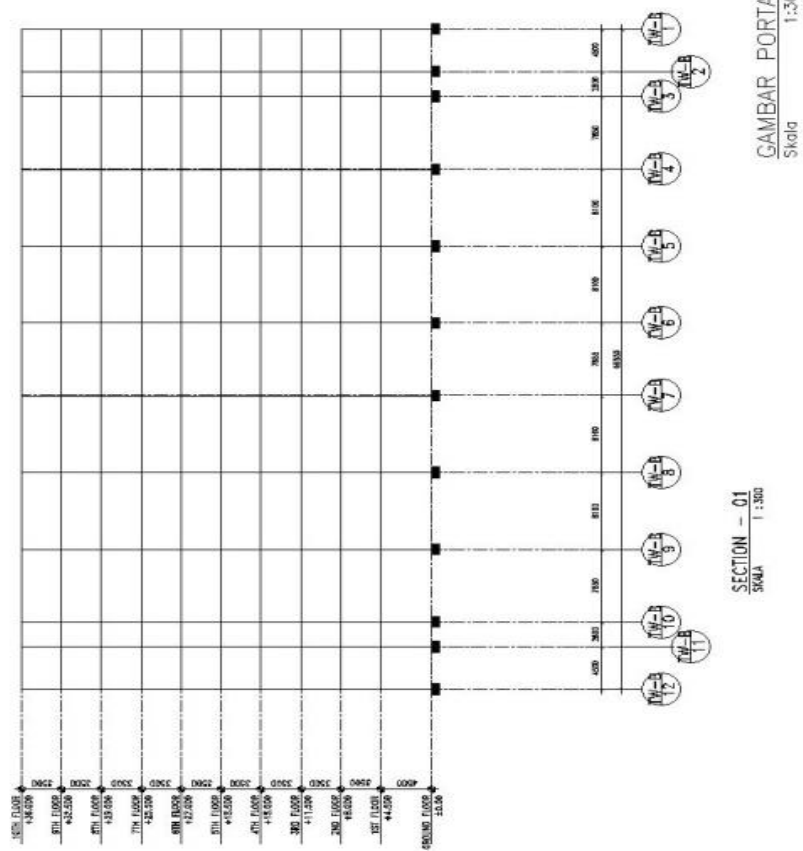
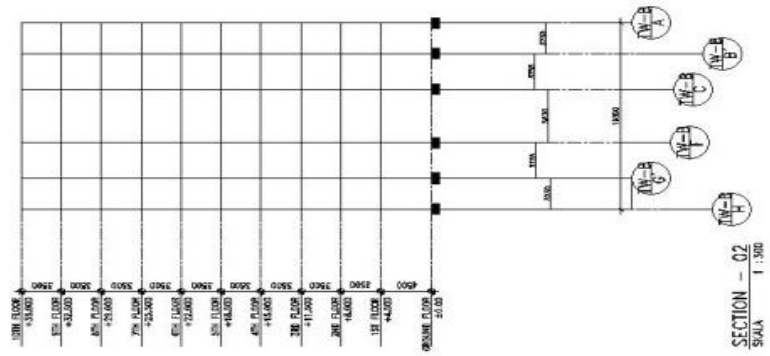
Lampiran 1. Pemodelan Struktur pada *ETABS*



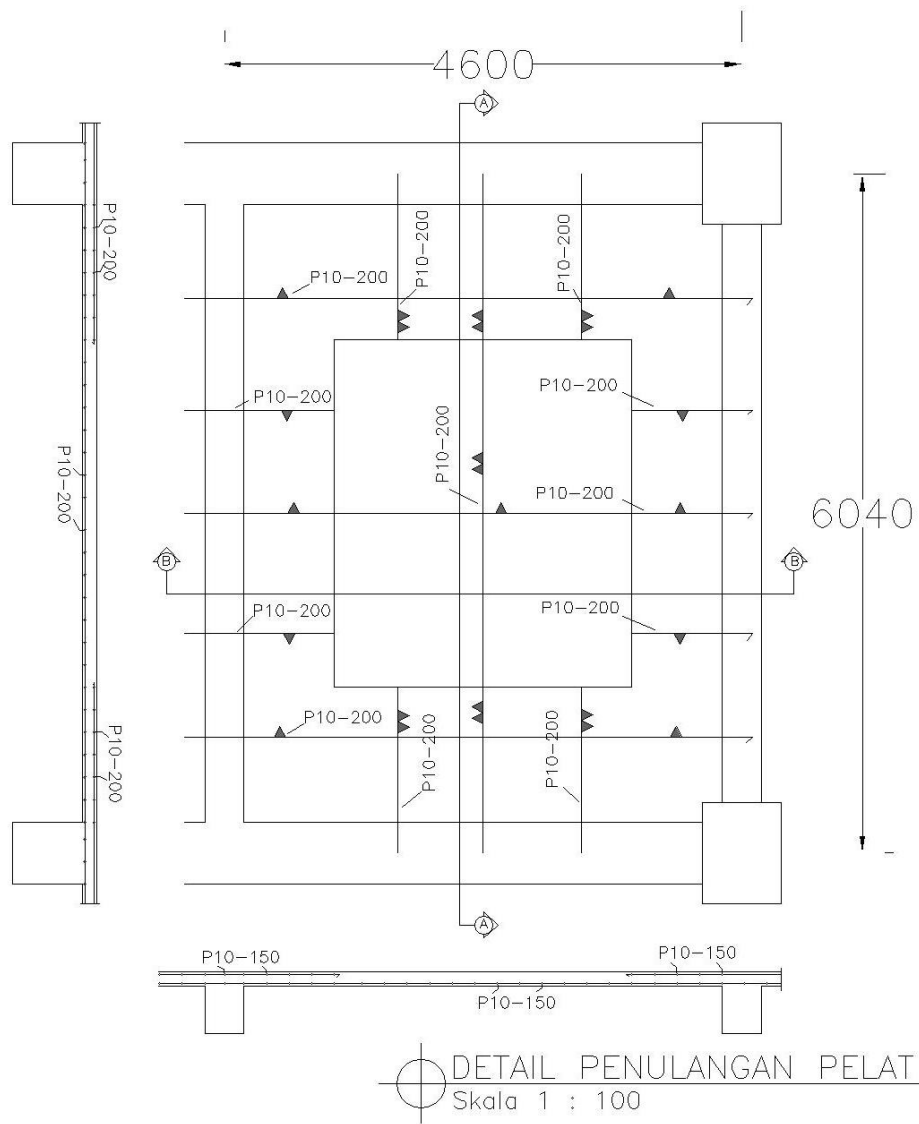
Lampiran 2. Rencana Kolom dan Balok Lantai Dasar



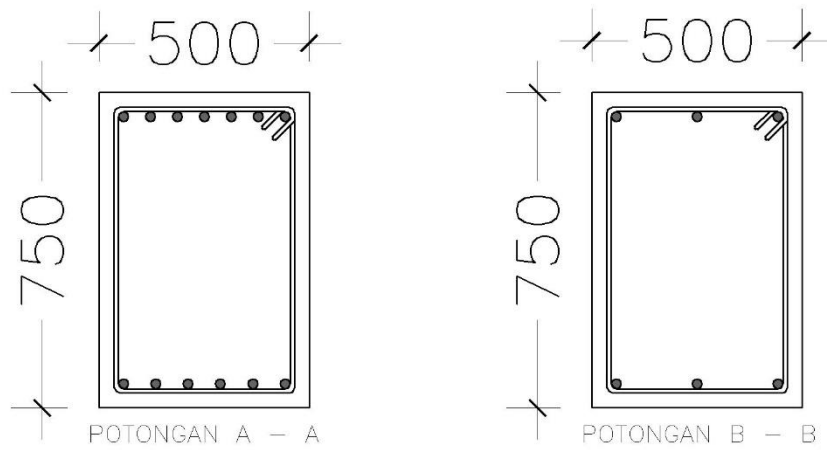
Lampiran 3. Rencana Kolom dan Balok Lantai 2 – 10



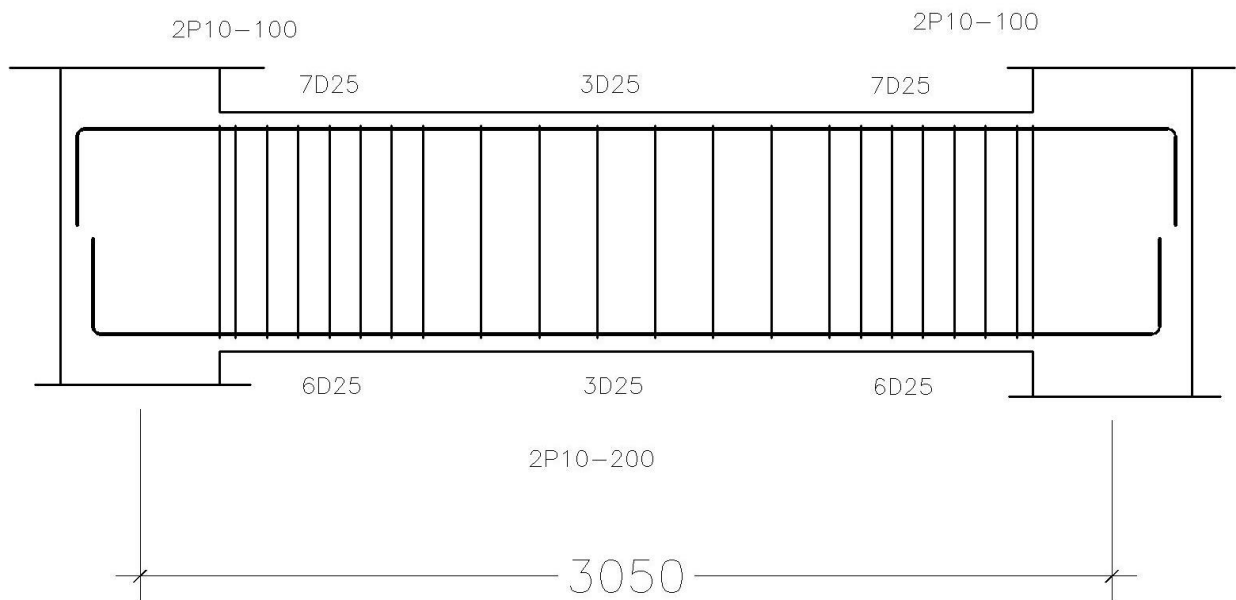
Lampiran 4. Portal Kolom dan Balok



Lampiran 5. Detail Pelat Lantai

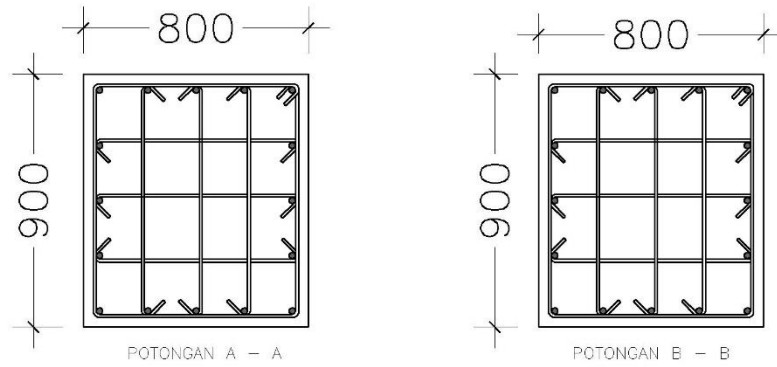


DETAIL PENULANGAN BALOK  
SKALA 1 : 50

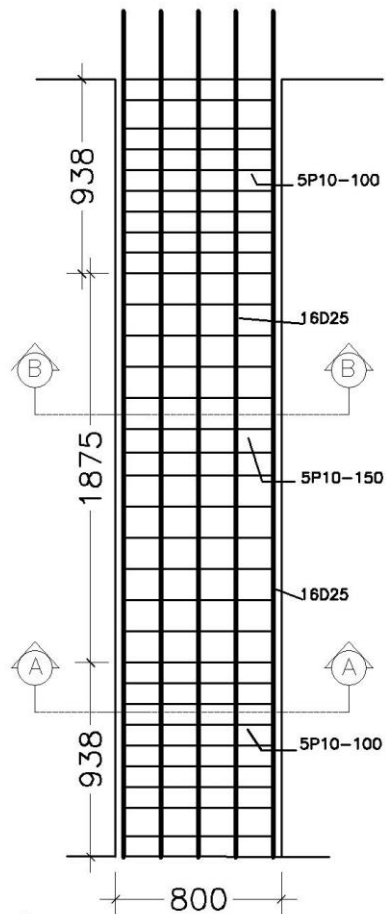


DETAIL PENULANGAN BALOK  
SKALA 1 : 50

Lampiran 6. Detail Balok



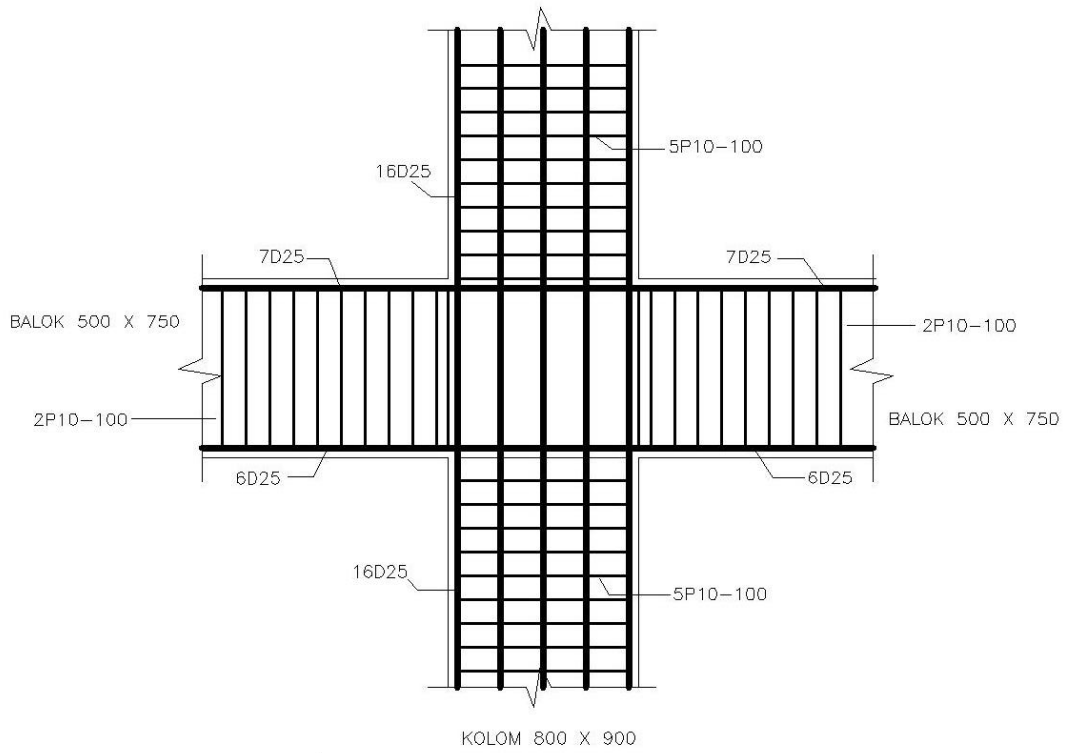
DETAIL PENULANGAN KOLOM  
SKALA 1 : 50



DETAIL PENULANGAN KOLOM  
SKALA 1 : 50

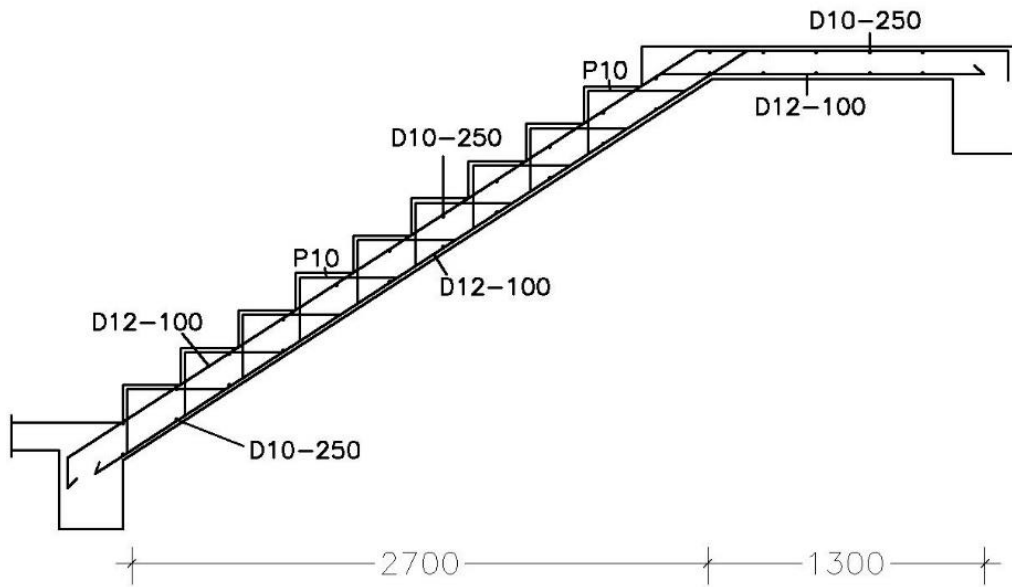
Lampiran 7. Detail Kolom



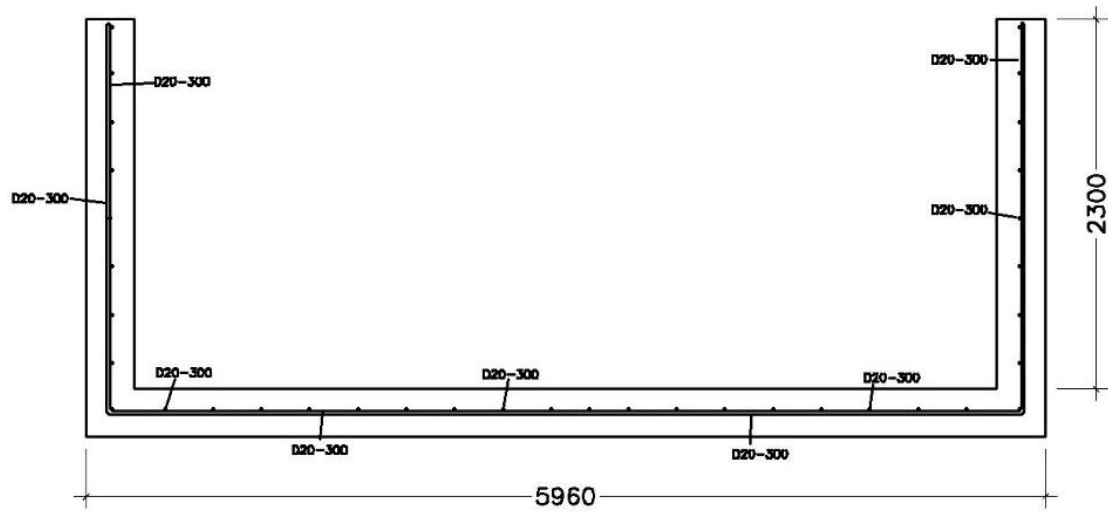



 DETAIL HUBUNGAN BALOK KOLOM  
 SKALA 1 : 50

Lampiran 8. Detail Hubungan Balok dan Kolom



Lampiran 9. Detail Tangga



DETAIL PENULANGAN DINDING GESER  
SKALA 1 : 20

Lampiran 10. Detail Dinding Geser

Column	Load	Loc	P	V2	V3	T	M2	M3
C20	ENVE MA	0	-2870,79	70,25	58,6	1,318	193,322	248,099
C20	ENVE MA	2,25	-2839,76	70,25	58,6	1,318	68,997	96,843
C20	ENVE MA	4,5	-2808,72	70,25	58,6	1,318	-16,936	120,994
C20	ENVE MIN	0	-6013,17	-89,16	-27,97	-1,296	-142,823	-280,238
C20	ENVE MIN	2,25	-5965,91	-89,16	-27,97	-1,296	-87,409	-86,429
C20	ENVE MIN	4,5	-5919,25	-89,16	-27,97	-1,296	-70,385	-68,027

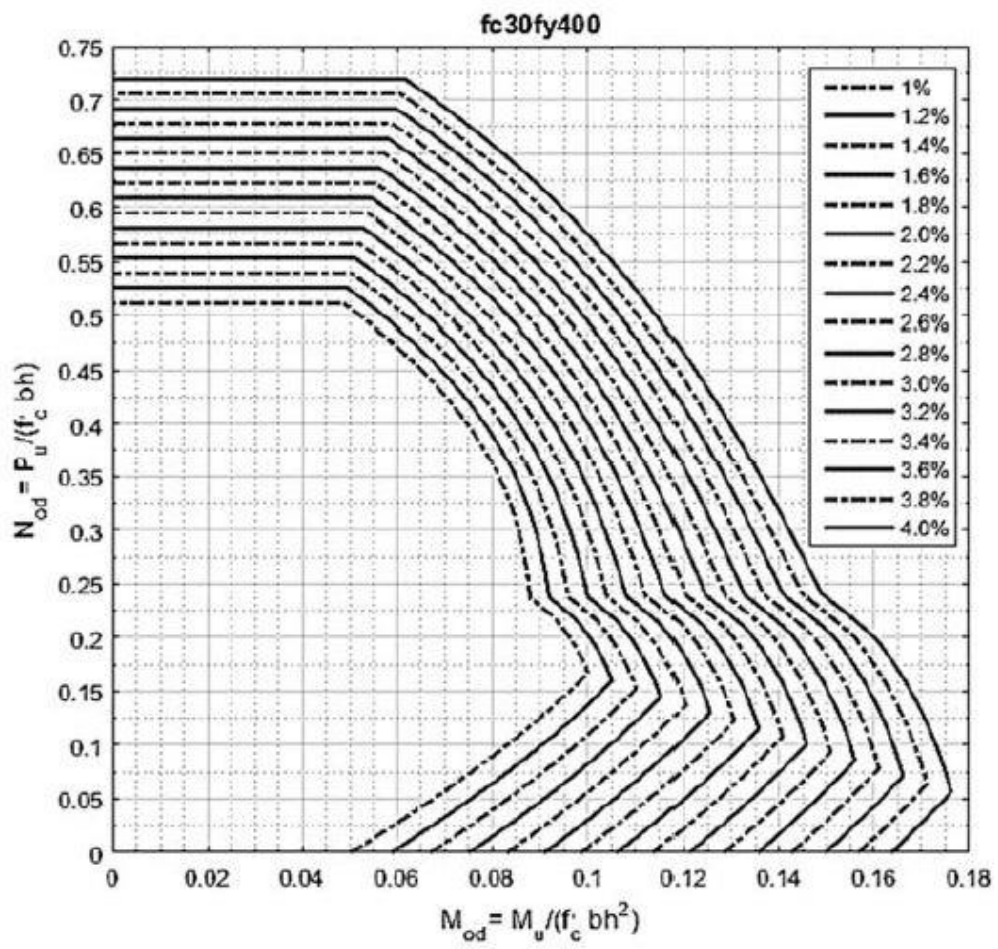
Lampiran 11. *Output* Data Kolom C20 dari Program *ETABS*

Story	Beam	Load	Loc	P	V2	V3	T	M2	M3
STORY2	B3	ENVE MA	0	0	405,06	0	4,949	0	642,105
STORY2	B3	ENVE MA	1,525	0	430,21	0	4,949	0	20,556
STORY2	B3	ENVE MA	3,05	0	467,83	0	4,949	0	668,067
STORY2	B3	ENVE MIN	0	0	-493,63	0	-4,317	0	-703,53
STORY2	B3	ENVE MIN	1,525	0	-449,7	0	-4,317	0	3,525
STORY2	B3	ENVE MIN	3,05	0	-418,24	0	-4,317	0	-670,046

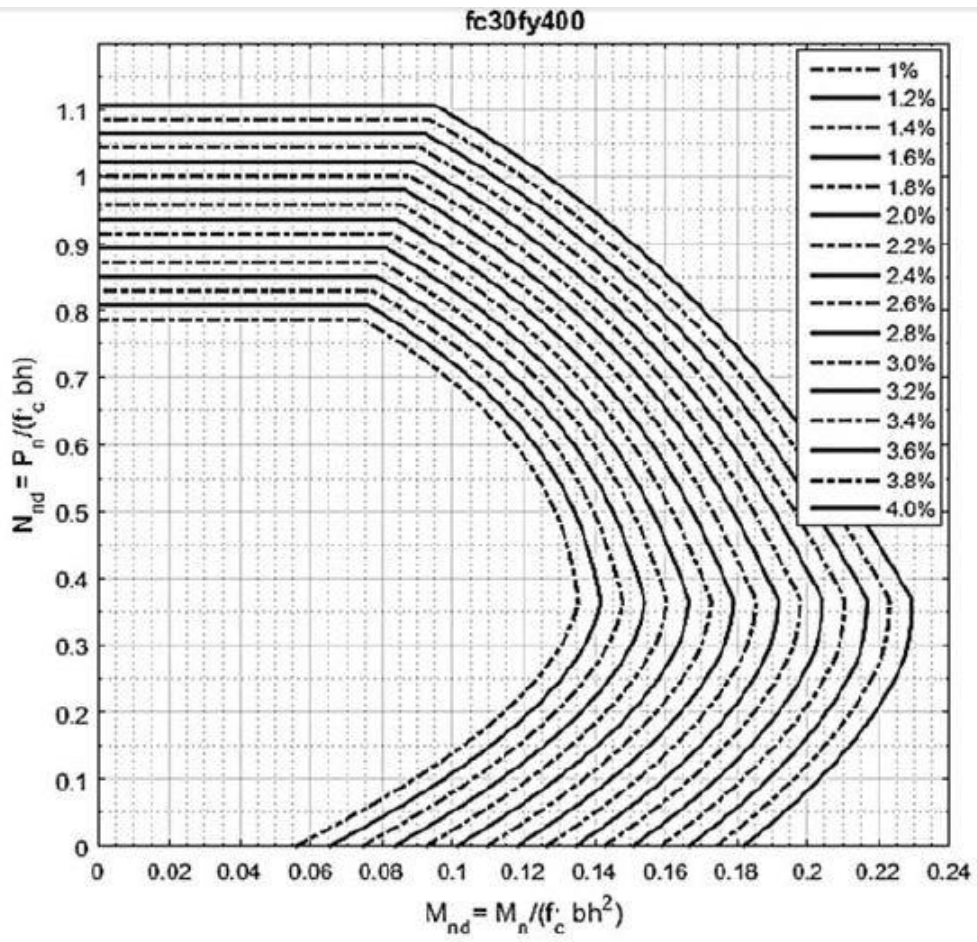
Lampiran 12. *Output* Data Balok B3 dari Program *ETABS*

STORY2	B202	ENVE MAX	0	0,59	0	0,71	0	0	0
STORY2	B202	ENVE MAX	1,75	0,59	67,19	0,71	0	1,227	-31,298
STORY2	B202	ENVE MAX	3,4	0,59	130,54	0,71	0	2,384	-118,142
STORY2	B202	ENVE MAX	3,4	0,58	-2,04	0,7	0	0,07	-0,102
STORY2	B202	ENVE MAX	3,5	0,58	0	0,7	0	0	0
STORY2	B202	ENVE MIN	0	-0,58	0	-0,7	0	0	0
STORY2	B202	ENVE MIN	1,75	-0,58	35,77	-0,7	0	-1,239	-58,789
STORY2	B202	ENVE MIN	3,4	-0,58	69,5	-0,7	0	-2,407	-221,911
STORY2	B202	ENVE MIN	3,4	-0,59	-3,84	-0,7	0	-0,07	-0,192
STORY2	B202	ENVE MIN	3,5	-0,59	0	-0,7	0	0	0

Lampiran 13. *Output* Data Balok B3 dari Program *ETABS*

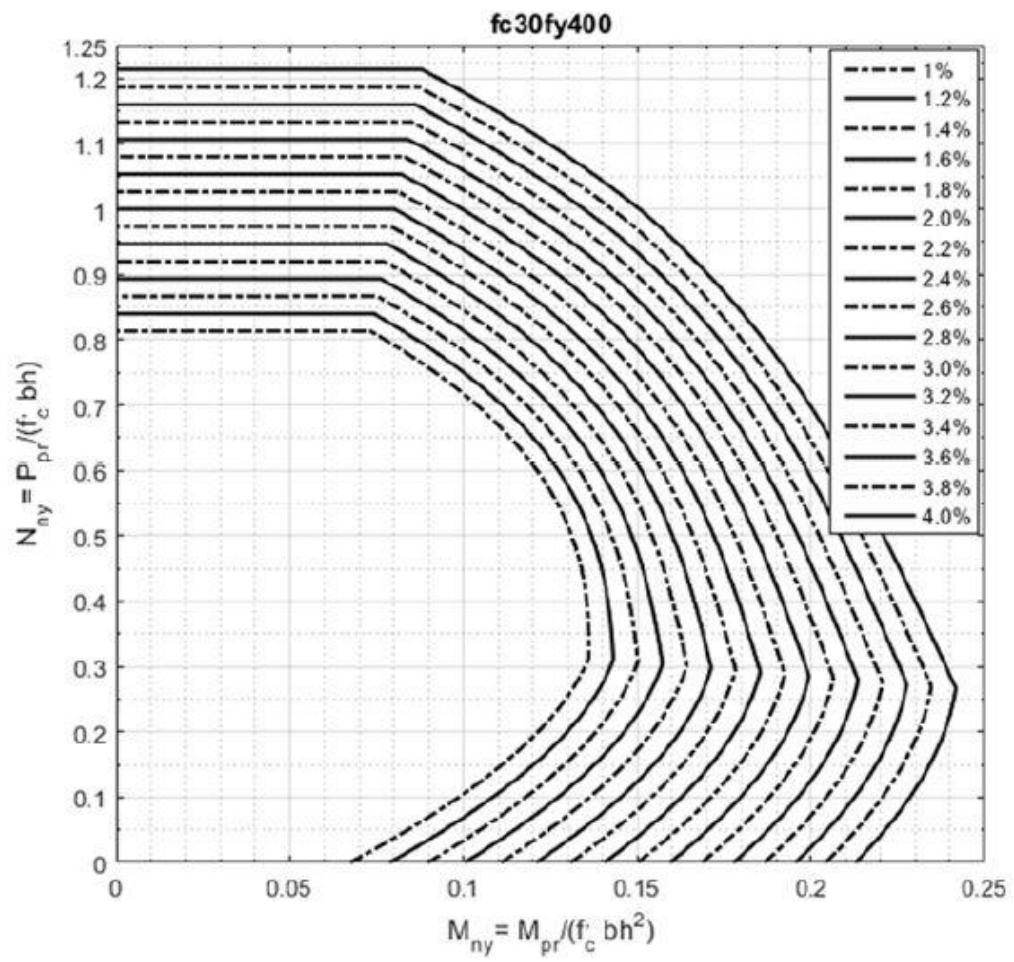


Lampiran 14. Diagram Interaksi  $\Phi M_n - \Phi P_n$



Lampiran 15. Diagram Interaksi  $M_n - P_n$





Lampiran 16. Diagram Interaksi  $M_{pr} - P_{pr}$

## Lampiran 17. Perhitungan Balok Induk dengan bentang 8,1 m

### 1.1.1. Data Perencanaan

1. Lebar Balok ( $b_w$ ) = 500 mm
2. Tinggi Balok ( $h$ ) = 750 mm
3. Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 Mpa
4. Mutu tulangan baja,  $f_y = f_{yt} = 400$  MPa
5. Selimut beton = 40 mm
6. Tulangan pokok = 25 mm dengan luas tulangan ( $A_b$ ) = 380,13 mm<sup>2</sup>.
7. Tulangan sengkang = 10 mm dengan luas tulangan ( $A_b$ ) = 78.54 mm<sup>2</sup>.
8. Bentang Balok = 8100 mm
9.  $D_{\text{efektif}} = 750 - 40 - (0.5 \times 25) - 10 = 687,5$ mm.

**Tabel 5.13 Data Gaya Momen dan Geser Balok B3 Lantai 2**

Balok Induk B3	Tumpuan	Lapangan
Mu <sup>-</sup> maks (kN.m)	587,055	331,496
Mu <sup>+</sup> maks (kN.m)	555,948	111,56
Vu (kN)	328,57	

### 1.1.2. Perhitungan Tulangan Longitudinal Tumpuan (Momen Negatif)

$$Mu^- \text{ maks} = 587,055 \text{ kN.m}$$

$$Rn = \frac{Mn}{0,9 \times b \times d^2} = \frac{587,055 \times 10^6}{0,9 \times 500 \times 687,5^2} = 2,76 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f_c'}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times 30}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 3,308}{0,85 \times 30}} \right) = 0,00732$$

$$A_{s\text{ perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$A_{s\text{ perlu}} = 0,00732 \times 500 \times 687,5 = 2516,421 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b \cdot d$$

$$A_{s\text{ min}} = \frac{1,4}{400} 500 \cdot 687,5 = 1203,125 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{ min}} = \frac{\sqrt{f'_c}}{4 \cdot f_y} b \cdot d$$

$$A_{s\text{ min}} = \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 400} 500 \cdot 687,5 = 1176,748 \text{ mm}^2$$

$A_{s\text{ min}}$  yang digunakan adalah  $1176,748 \text{ mm}^2$ .

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1, rasio tulangan tidak boleh melebihi 0,025.

$\rho_{\text{maks}} = 0,025$ , maka:

$$A_{s\text{ maks}} = \rho_{\text{maks}} \times b \times d$$

$$A_{s\text{ maks}} = 0,025 \times 500 \times 687,5 = 8593,75 \text{ mm}^2$$

$A_{s\text{ min}} < A_{s\text{ perlu}} < A_{s\text{ maks}}$ , maka yang digunakan adalah  $A_s = 2516,421 \text{ mm}^2$ .

$$n = \frac{A_s}{A_{b\text{ longitudinal}}} b \cdot d$$

$$n = \frac{2516,421}{490,87} 500 \cdot 687,5 = 5,126 \approx 6$$

$$A_{s\text{ pakai}} = n \cdot A_{b\text{ longitudinal}}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 6 \cdot 490,87 = 2945,243 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$  , maka yang digunakan adalah  $A_{s \text{ pakai}}$ .

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 7.6.1, jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih dari 25 mm.

$$X = \frac{b - (2 \cdot S_{\text{beton}}) - (2 \cdot \phi_{\text{senggang}}) - (n \cdot \phi_{\text{longitudinal}})}{n - 1}$$

$$X = \frac{500 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (6 \cdot 25)}{6 - 1} = 50 \text{ mm} > 25 \text{ mm}, \text{ maka digunakan 1 lapis tulangan.}$$

Periksa momen nominal:

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

$$a = \frac{2516,421 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 500} = 92,399 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{92,399}{0,84} = 109,99 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003 = \frac{687,5 - 109,99}{109,99} \cdot 0,003 = 0,0158 > 0,005 \text{ (memenuhi syarat)}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_{s \text{ pakai}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 2516,421 \cdot 400 \left(687,5 - \frac{92,399}{2}\right) = 679,962 \text{ kN.m} > M_U \text{ , maka}$$

rancangan tulangan yang direncanakan aman.

### 1.1.3. Perhitungan Tulangan Longitudal Tumpuan (Momen Positif)

$$Mu^+ \text{ maks} = 555,948 \text{ kN.m}$$

$$Rn = \frac{Mn}{0,9 \times b \times d^2} = \frac{555,948 \times 10^6}{0,9 \times 500 \times 687,5^2} = 2,614 \text{ MPa}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f_c'}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times 30}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,6141}{0,85 \times 30}} \right) = 0,00614$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 0,00614 \times 500 \times 687,5 = 2374,948 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b \cdot d$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{400} 500 \cdot 687,5 = 1203,125 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} b \cdot d$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 400} 500 \cdot 687,5 = 1176,748 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ min}}$  yang digunakan adalah  $1176,748 \text{ mm}^2$ .

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1, rasio tulangan tidak boleh melebihi 0,025.

$\rho_{\text{maks}} = 0,025$ , maka:

$$A_{s \text{ maks}} = \rho_{\text{maks}} \times b \times d$$

$$A_{s \text{ maks}} = 0,025 \times 500 \times 687,5 = 8593,75 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ min}} < A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ maks}}$ , maka yang digunakan adalah  $A_s = 2374,948 \text{ mm}^2$ .

$$n = \frac{A_s}{A_{b \text{ longitudinal}}} \cdot b \cdot d$$

$$n = \frac{2374,948}{490,87} \cdot 500 \cdot 687,5 = 4,83 \approx 5$$

$$A_{s \text{ pakai}} = n \cdot A_{b \text{ longitudinal}}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 5 \cdot 490,87 = 2454,369 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$ , maka yang digunakan adalah  $A_{s \text{ pakai}}$ .

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 7.6.1, jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih dari 25 mm.

$$X = \frac{b - (2 \cdot S_{\text{beton}}) - (2 \cdot \emptyset_{\text{sengkang}}) - (n \cdot \emptyset_{\text{longitudinal}})}{n - 1}$$

$$X = \frac{500 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (5 \cdot 25)}{5 - 1} = 68,75 \text{ mm} > 25 \text{ mm}, \text{ maka digunakan 1 lapis tulangan.}$$

Periksa momen nominal:

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

$$a = \frac{2454,369 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 500} = 76,99 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{76,99}{0,84} = 91,67 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003 = \frac{687,5 - 91,67}{91,67} \cdot 0,003 = 0,0195 > 0,005 \text{ (memenuhi syarat)}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \text{ pakai} \cdot f_y \cdot (d - \frac{a}{2})$$

$\phi M_n = 0,9 \cdot 2454,369 \cdot 400(687,5 - \frac{76,99}{2}) = 573,439 \text{ kN.m} > M_U$  , maka rancangan tulangan yang direncanakan aman.

#### 1.1.4. Perhitungan Tulangan Longitudal Lapangan (Momen Negatif)

$M_u^-$  maks tumpuan = 587,055 kN.m

$M_U^- \text{ Lapangan} \geq 0,25 M_U \text{ min}$

331,496 kN.m > 146,76 kN.m

Gunakan  $M_U \text{ Lapangan}$  yaitu 331,496 kN.m.

$$R_n = \frac{M_n}{0,9 \times b \times d^2} = \frac{331,496 \times 10^6}{0,9 \times 500 \times 687,5^2} = 1,559 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right)$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times 30}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,559}{0,85 \times 30}} \right) = 0,004023$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 0,004023 \times 500 \times 687,5 = 1383,02 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b \cdot d$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{400} 500 \cdot 687,5 = 1203,125 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} b \cdot d$$

$$A_{s \min} = \frac{\sqrt{30}}{4.400} 500.687,5 = 1176,748 \text{ mm}^2$$

$A_{s \min}$  yang digunakan adalah 1176,748 mm<sup>2</sup>.

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1, rasio tulangan tidak boleh melebihi 0,025.

$\rho_{\max} = 0,025$ , maka:

$$A_{s \max} = \rho_{\max} \times b \times d$$

$$A_{s \max} = 0,025 \times 500 \times 687,5 = 8593,75 \text{ mm}^2$$

$A_{s \min} < A_{s \text{ perlu}} < A_{s \max}$ , maka yang digunakan adalah  $A_{s \text{ perlu}} = 1383,02 \text{ mm}^2$ .

$$n = \frac{A_s}{A_{b \text{ longitudinal}}} \times b \times d$$

$$n = \frac{1383,02}{490,87} \times 300.439 = 2,817 \approx 3$$

$$A_{s \text{ pakai}} = n \cdot A_{b \text{ longitudinal}}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 3 \cdot 490,87 = 1472,622 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$ , maka yang digunakan adalah  $A_{s \text{ pakai}}$ .

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 7.6.1, jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih dari 25 mm.

$$X = \frac{b - (2 \cdot S_{\text{beton}}) - (2 \cdot \phi_{\text{senggang}}) - (n \cdot \phi_{\text{longitudinal}})}{n - 1}$$



$$X = \frac{500 - (2.40) - (2.10) - (3.25)}{3 - 1} = 162,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm}, \text{ maka digunakan 1 lapis}$$

tulangan.

Periksa momen nominal:

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

$$a = \frac{1472,622 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 500} = 46,2 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{107,79}{0,84} = 54,99 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003 = \frac{687,5 - 54,99}{54,99} \cdot 0,003 = 0,0345 > 0,005 \text{ (memenuhi syarat)}$$

$$\phi M_n = \phi \cdot A_s \text{ pakai} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 1472,622 \cdot 400 \left(687,5 - \frac{46,2}{2}\right) = 352,231 \text{ kN.m} > M_U, \text{ maka}$$

rancangan tulangan yang direncanakan aman.

### 1.1.5. Perhitungan Tulangan Longitudal Lapangan (Momen Positif)

$$M_u^+ \text{ maks tumpuan} = 555,948 \text{ kN.m}$$

$$M_U^+ \text{ Lapangan} \geq 0,25 M_U^+ \text{ tumpuan}$$

$$111,56 \text{ kN.m} < 138,987 \text{ kN.m}$$

Gunakan  $M_U \text{ Lapangan}$  baru yaitu 138,987 kN.m.

$$R_n = \frac{M_n}{0,9 \cdot b \cdot d^2} = \frac{138,987 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 500 \cdot 687,5^2} = 0,653 \text{ MPa}$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right)$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times 30}{400} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,653}{0,85 \times 30}} \right) = 0,001655$$

$$A_{s\ perlu} = \rho_{perlu} \times b \times d$$

$$A_{s\ perlu} = 0,001655 \times 500 \times 687,5 = 568,949 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\ min} = \frac{1,4}{f_y} b \cdot d$$

$$A_{s\ min} = \frac{1,4}{400} 500 \cdot 687,5 = 1203,125 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\ min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} b \cdot d$$

$$A_{s\ min} = \frac{\sqrt{30}}{4 \cdot 400} 500 \cdot 687,5 = 1176,748 \text{ mm}^2$$

$A_{s\ min}$  yang digunakan adalah 1176,748 mm<sup>2</sup>.

Berdasarkan SNI 2847:2013 pasal 21.5.2.1, rasio tulangan tidak boleh melebihi 0,025.

$\rho_{maks} = 0,025$ , maka:

$$A_{s\ maks} = \rho_{maks} \times b \times d$$

$$A_{s\ maks} = 0,025 \times 500 \times 687,5 = 8593,75 \text{ mm}^2$$

$A_{s\ perlu} < A_{s\ min} < A_{s\ maks}$ , maka yang digunakan adalah  $A_{s\ pakai\ baru} = 1176,748 \text{ mm}^2$ .

$$n = \frac{A_s}{A_{b \text{ longitudinal}}} b \cdot d$$

$$n = \frac{1176,748}{490,87} 500.687,5 = 2,397 \approx 3$$

$$A_{s \text{ pakai}} = n \cdot A_{b \text{ longitudinal}}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = 3 \cdot 490,87 = 1472,622 \text{ mm}^2$$

$A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$  , maka yang digunakan adalah  $A_{s \text{ pakai}}$ .

Sesuai dengan SNI 2847:2013 pasal 7.6.1, jarak bersih antar tulangan sejajar harus lebih dari 25 mm.

$$X = \frac{b - (2 \cdot S_{\text{beton}}) - (2 \cdot \emptyset_{\text{sengkang}}) - (n \cdot \emptyset_{\text{longitudinal}})}{n - 1}$$

$$X = \frac{500 - (2 \cdot 40) - (2 \cdot 10) - (3 \cdot 25)}{3 - 1} = 162,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm}, \text{ maka digunakan 1 lapis}$$

tulangan.

Periksa momen nominal:

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

$$a = \frac{1472,622 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 500} = 46,2 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{107,79}{0,84} = 54,99 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003 = \frac{687,5 - 54,99}{54,99} \cdot 0,003 = 0,0345 > 0,005 \text{ (memenuhi syarat)}$$

$$\emptyset M_n = \emptyset \cdot A_{s \text{ pakai}} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$\phi M_n = 0,9 \cdot 1472,622 \cdot 400 \left( 687,5 - \frac{46,2}{2} \right) = 352,231 \text{ kN.m} > M_U$  , maka rancangan tulangan yang direncanakan aman.

### 1.1.6. Perhitungan Tulangan Transversal

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.4, gaya geser rencana akibat beban gempa ditentukan dengan mengasumsikan tegangan tulangan tarik tulangan longitudinal pada tiap ujung balok memiliki tegangan lentur minimal sebesar  $1,25 \cdot f_y$  dan faktor reduksi sebesar 1.

Menghitung momen kapasitas negatif  $M_{pr}^-$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan atas 6.D25

$$a_{pr}^- = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$a_{pr}^- = \frac{1,25 \cdot 2945,243 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 500} = 115,5 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^- = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a_{pr}^-}{2} \right)$$

$$M_{pr}^- = 1,25 \cdot 2945,243 \cdot 400 \left( 687,5 - \frac{115,5}{2} \right) = 927,38 \text{ kN.m}$$

Menghitung momen kapasitas positif  $M_{pr}^+$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan bawah 5.D25

$$a_{pr}^+ = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$a_{pr}^+ = \frac{1,25 \cdot 2454,369 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 500} = 96,25 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^+ = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a_{pr}^+}{2} \right)$$

$$M_{pr}^+ = 1,25.2454,369.400 \left( 687,5 - \frac{96,25}{2} \right) = 784,63 \text{ kN.m}$$

Perhitungan gaya geser akibat gravitasi dihitung dengan pendekatan menggunakan ETABS dengan kombinasi beban 1,2DL + 1,6 LL.

$$V_g = 328,57 \text{ kN.}$$

Perhitungan gaya geser akibat gempa:

$$V_e = \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{ln} + V_g$$

$$V_e = \frac{927,38 + 784,63}{7,3} + 328,57 = 501,5 \text{ kN}$$

$$V_{U \text{ ETABS}} = 328,57 \text{ kN}$$

$V_e > V_{U \text{ ETABS}}$  maka gaya geser akibat gempa yang baru yaitu  $V_U = 501,5 \text{ kN}$ .

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.2, nilai  $V_C$  diabaikan jika memenuhi dua syarat, yaitu gaya geser yang ditimbulkan gempa mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam panjang tersebut dan gaya tekan aksial terfaktor ( $P_U$ ) termasuk pengaruh gempa kurang dari  $\frac{A_g f'_c}{20}$ .

$$V_e \geq 0,5V_U$$

$164,285 \text{ kN} < 250,75 \text{ kN}$ , maka tidak memenuhi syarat.

Maka digunakan rumus sesuai SNI 2847:2013 pasal 11.2.1.1 :

$$V_C = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$V_C = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 500 \cdot 687,5 = 320,08 \text{ kN}$$

$$\Phi_{\text{Geser}} = 0,75$$

$$V_s = \frac{V_U}{\phi} - V_C$$

$$V_s = \frac{524,56}{0,75} - 320,08 = 379,34 \text{ kN}$$

Cek  $V_{s \text{ maks}}$  ( SNI 2847:2013 pasal 11.4.7.9):

$$V_{s \text{ maks}} = 0,66 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

$$V_{s \text{ maks}} = 0,66 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \cdot 500 \cdot 687,5 = 1242,65 \text{ kN}$$

Gunakan 2P10 :

$$S = \frac{A_v f_y \cdot d}{V_s}$$

$$S = \frac{157.400 \cdot 687,5}{379,34} = 113,87 \text{ mm}$$

$$S = \frac{d}{4} = \frac{687,5}{4} = 171,875 \text{ mm}$$

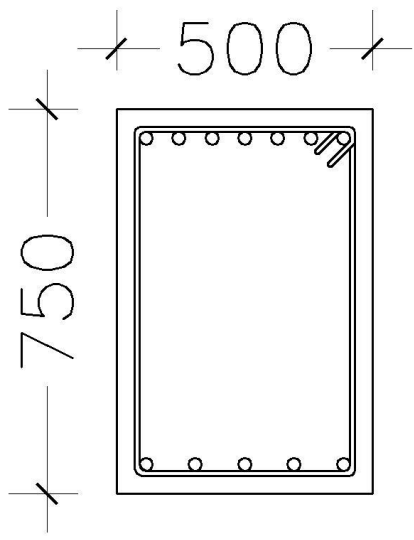
$$S = 6 \cdot D_{\text{Longitudinal}} = 6 \cdot 25 = 150 \text{ mm}$$

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.3.2, spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi tiga persyaratan diatas, maka spasi diambil yang terkecil yaitu 113,87 mm.

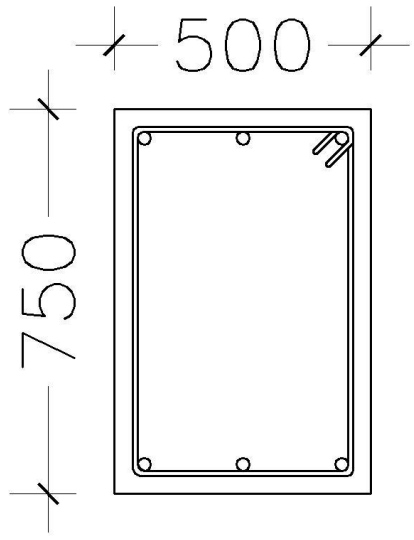
Sengkang yang digunakan pada tumpuan adalah 2P10 – 100.

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.3.4.3, diluar sendi plastis spasi tulangan sengkang tidak boleh melebihi:

$$\frac{d}{2} = \frac{687,5}{2} = 343,75 \text{ mm, maka spasi lapangan yang digunakan 2P10-200.}$$



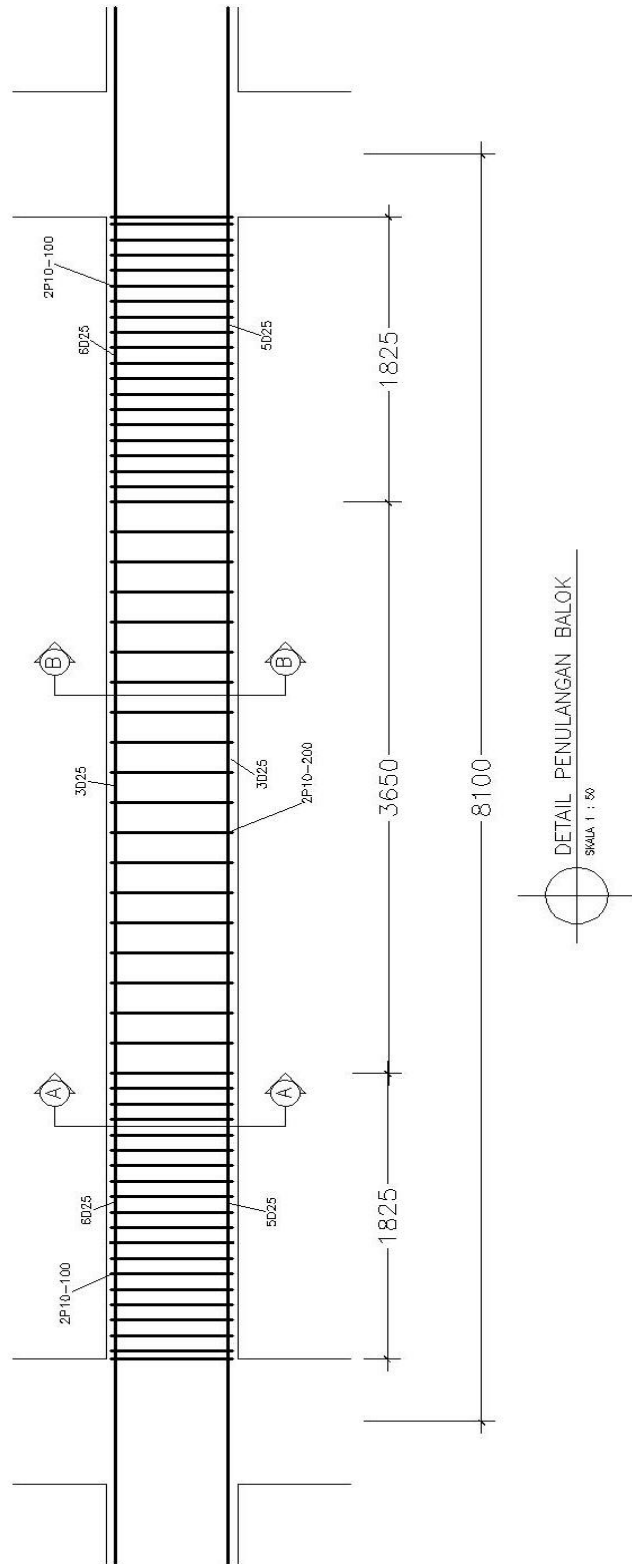
POTONGAN A - A



POTONGAN B - B



Lampiran 18. Potongan Penulangan Balok dengan bentang 8,1 m



Lampiran 19. Detail Penulangan Balok dengan bentang 8,1 m