

## BAB 2 PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

### 2.1 Preliminary Design

#### 2.1.1 Balok Induk

Balok induk adalah elemen struktur utama yang menghubungkan dua kolom. Balok induk berfungsi untuk menyalurkan beban ke kolom secara langsung. Perhitungan awal untuk balok induk didasarkan pada Tabel 9.3.1.1 SNI 2847:2019 mengenai tinggi minimum balok nonprategang. Berdasarkan tabel tersebut, diambil perkiraan tinggi dan lebar balok induk sebesar:

$$H = \frac{L}{15} \text{ dan } B = \frac{H}{2}$$

di mana, H adalah tinggi balok, B adalah lebar balok, dan L adalah panjang bentang balok. Hasil perhitungan *preliminary design* balok induk tertera pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 *Preliminary Design* Balok Induk

Panjang Bentang, L (mm)	Lebar Balok, B (mm)	Tinggi Balok, H (mm)	Dimensi yang digunakan	
3890,90	129,70	259,39	Balok Induk 1 (BI1) = 400 x 750 mm	
5000,00	166,67	333,33		
9000,00	300,00	600,00		
6000,00	200,00	400,00		
7000,00	233,33	466,67		
8000,00	266,67	533,33		
9500,00	316,67	633,33		
4501,30	150,04	300,09		Balok Induk 2 (BI2) = 400 x 650 mm
7828,30	260,94	521,89		
7127,98	237,60	475,20		
6007,47	200,25	400,50		
5027,02	167,57	335,13		
4186,64	139,55	279,11		
3346,25	111,54	223,08		
2505,87	83,53	167,06		
1245,29	41,51	83,02		

#### 2.1.2 Balok Anak

Balok anak adalah elemen struktur yang menghubungkan dua balok induk. Balok anak berfungsi untuk menyalurkan beban pelat ke balok induk

secara langsung. Perhitungan awal untuk balok anak didasarkan pada tabel 9.3.1.1 SNI 2847:2019 dan dianggap sebagai balok dengan tumpuan sederhana sehingga perkiraan tinggi dan lebar balok anak sebesar:

$$H = \frac{L}{16} \text{ dan } B = \frac{H}{2}$$

di mana, H adalah tinggi balok, B adalah lebar balok, dan L adalah panjang bentang balok. Hasil perhitungan *preliminary design* balok anak setiap lantai tertera pada tabel 2.2, tabel 2.3, tabel 2.4, dan tabel 2.5.

Tabel 2.2 *Preliminary Design* Balok Anak Lantai 1

Panjang Bentang, L (mm)	Lebar Balok, B (mm)	Tinggi Balok, H (mm)
895,1	28	55,9
1875,6	58,6	117,2
1945,45	60,8	121,6
2000	62,5	125
2500	78,1	156,3
2926,1	91,4	182,9
3000	93,8	187,5
3500	109,4	218,8
3766,5	117,7	235,4
4466,8	139,6	279,2
4501,3	140,7	281,3
4746,9	148,3	296,7
5307,2	165,8	331,7
5657,3	176,8	353,6
6007,5	187,7	375,5
6287,6	196,5	393
6707,8	209,6	419,2
7000	218,8	437,5
7478,1	233,7	467,4
9500	296,9	593,8

Tabel 2.3 *Preliminary Design* Balok Anak Lantai 2

Panjang Bentang, L (mm)	Lebar Balok, B (mm)	Tinggi Balok, H (mm)
895,13	28,0	55,9
1665,49	52,0	104,1
2000	62,5	125,0
2225,74	69,6	139,1
2500	78,1	156,3
2501,30	78,2	156,3
2926,06	91,4	182,9
3000	93,8	187,5
3222,70	100,7	201,4
3485,09	108,9	217,8
3766,45	117,7	235,4
4000	125,0	250,0
4255,44	133,0	266,0
4501,30	140,7	281,3
4606,83	144,0	287,9
5000	156,3	312,5
5517,24	172,4	344,8
6287,60	196,5	393,0
7000	218,8	437,5
9500	296,9	593,8

Tabel 2.4 *Preliminary Design* Balok Anak Lantai 3

Panjang Bentang, L (mm)	Lebar Balok, B (mm)	Tinggi Balok, H (mm)
895,13	28	55,9
1500	46,9	93,8
1665,49	52	104,1
2000	62,5	125
2225,74	69,6	139,1
2500	78,1	156,3
2926,06	91,4	182,9
3000	93,8	187,5
3222,70	100,7	201,4
3485,09	108,9	217,8
3500	109,4	218,8
3766,45	117,7	235,4
4000	125	250
4255,44	133	266
4500	140,6	281,3
4501,3	140,7	281,3
4816,93	150,5	301,1
5000	156,3	312,5
5500	171,9	343,8
5517,24	172,4	344,8
6000	187,5	375
6287,60	196,5	393
7000	218,8	437,5
9500	296,9	593,8

Tabel 2.5 *Preliminary Design* Balok Anak Lantai 4

Panjang Bentang, L (mm)	Lebar Balok, B (mm)	Tinggi Balok, H (mm)
895,13	28	55,9
1665,49	52	104,1
2000	62,5	125
2225,74	69,6	139,1
2500	78,1	156,3
2926,06	91,4	182,9
3000	93,8	187,5
3222,7	100,7	201,4
3485,09	108,9	217,8
3766,45	117,7	235,4
4000	125	250
4255,44	133	266
4500	140,6	281,3
4501,3	140,7	281,3
4606,83	144	287,9
5000	156,3	312,5
5517,24	172,4	344,8
6287,6	196,5	393
7000	218,8	437,5
9500	296,9	593,8

Dari hasil perhitungan di atas, didapatkan enam jenis balok anak dengan masing-masing ukuran yang tertera pada tabel 2.6

Tabel 2.6 Dimensi Balok Anak

Nama Balok	Lebar Balok, B (mm)	Tinggi Balok, H (mm)
Balok Anak 1 (BA1)	300	600
Balok Anak 2 (BA2)	250	450
Balok Anak 3 (BA3)	200	350

### 2.1.3 Kolom

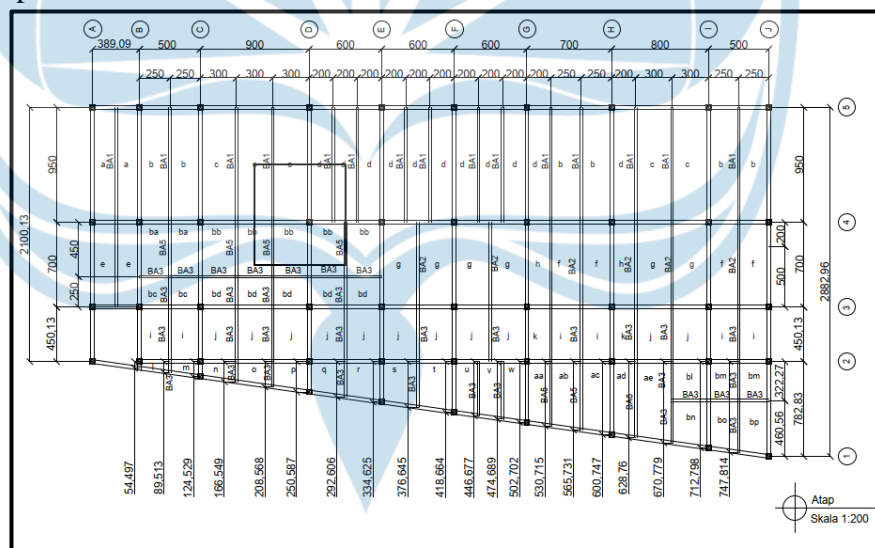
Kolom adalah elemen struktur vertikal yang berfungsi menyalurkan beban ke fondasi. Perhitungan awal kolom menggunakan cara *tributary area*. Lokasi *tributary area* dipilih pada area terbesar di semua lantai. Area yang dipilih berukuran 7500 mm x 8250 mm. Kemudian, beban mati dan beban hidup setiap lantai dihitung agar didapatkan beban terfaktor ( $P_u$ ). Melalui beban terfaktor, luas kolom yang dibutuhkan bisa diperoleh melalui rumus sebagai berikut:

$$A = \frac{3 P_u}{0,85 \cdot f'c}$$

di mana, A adalah luas kolom,  $P_u$  adalah beban terfaktor, dan  $f'c$  adalah kuat tekan beton. Rumus tersebut dianggap pada saat terjadi beban aksial murni.

Perhitungan *tributary area* dimulai dari atap dan dilanjutkan lantai di bawahnya sampai lantai 1. Dengan  $f'c$  sebesar 30 MPa dan estimasi dimensi kolom sebesar 600 x 600 mm, perhitungan diuraikan sebagai berikut:

#### a. Atap



Gambar 2.1 Tampak Atas Atap

#### Beban mati (DL)

- Kolom =  $1,75 \times 0,6 \times 0,6 \times 24 = 15,12 \text{ kN}$
- Balok Induk 1 =  $8,25 \times 0,4 \times 0,75 \times 24 = 59,4 \text{ kN}$
- Balok Induk 2 =  $7,5 \times 0,4 \times 0,65 \times 24 = 46,80 \text{ kN}$
- Balok Anak 1 =  $4,75 \times 0,3 \times 0,6 \times 24 \times 2 = 41,04 \text{ kN}$
- Balok Anak 3 =  $3,5 \times 0,2 \times 0,45 \times 24 \times 1,5 = 11,34 \text{ kN}$

- Pelat Atap =  $7,5 \times 8,25 \times 0,125 \times 24 = 185,625 \text{ kN}$
  - Plafon+penggantung =  $7,5 \times 8,25 \times 0,18 = 11,14 \text{ kN}$
  - Dinding bata ringan lt 4 =  $(7,5 + 4,75) \times \left(\frac{3,5}{2}\right) \times 0,8 = 17,15 \text{ kN}$
  - MEP =  $1 \text{ kN}$
- Beban mati total =  $388,61 \text{ kN}$

### Beban hidup (LL)

Berdasarkan tabel 4.3-1 SNI 1727:2020, beban hidup atap untuk tempat berkumpul sebesar  $4,79 \text{ kN/m}^2$ .

$$LL = 4,79 \times 7,5 \times 8,25 = 296,38 \text{ kN}$$

### Beban terfaktor ( $P_u$ )

Berdasarkan SNI 1727:2020, kombinasi beban untuk desain kekuatan dihitung dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned} P_u &= 1,2 DL + 1,6 LL \\ &= 1,2 (388,61) + 1,6 (296,38) \\ &= 940,55 \text{ kN} \end{aligned}$$

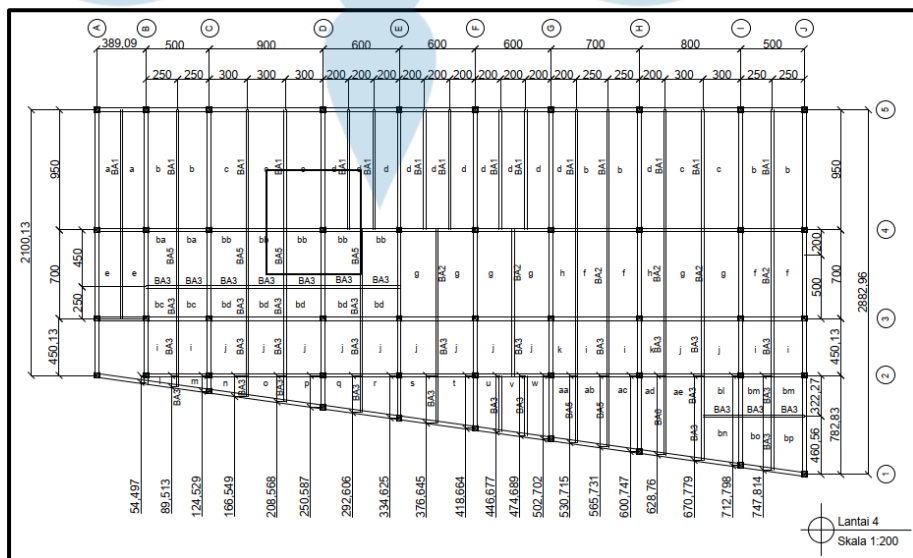
### Dimensi kolom

$$A = \frac{3 P_u}{0,85 \cdot f'c} = \frac{3(940,55)(10^3)}{0,85(30)} = 110652,35 \text{ mm}^2$$

$$B = H = \sqrt{110652,35} = 332,644 \text{ mm}$$

Dari hasil tersebut, dimensi kolom yang digunakan sebesar  $800 \times 800 \text{ mm}$ .

### b. Lantai 4



Gambar 2.2 Tampak Atas Lantai 4

### Beban mati (DL)

• Kolom	$= 3,5 \times 0,6 \times 0,6 \times 24$	$= 30,24 \text{ kN}$
• Balok Induk 1	$= 8,25 \times 0,4 \times 0,75 \times 24$	$= 59,4 \text{ kN}$
• Balok Induk 2	$= 7,5 \times 0,4 \times 0,65 \times 24$	$= 46,80 \text{ kN}$
• Balok Anak 1	$= 4,75 \times 0,3 \times 0,6 \times 24 \times 2$	$= 41,04 \text{ kN}$
• Balok Anak 3	$= 3,5 \times 0,2 \times 0,45 \times 24 \times 1,5$	$= 11,34 \text{ kN}$
• Pelat Lantai	$= 7,5 \times 8,25 \times 0,12 \times 24$	$= 178,2 \text{ kN}$
• Pasir	$= 7,5 \times 8,25 \times 0,05 \times 17$	$= 52,60 \text{ kN}$
• Spesi	$= 7,5 \times 8,25 \times 0,03 \times 21$	$= 38,98 \text{ kN}$
• Plafon+penggantung	$= 7,5 \times 8,25 \times 0,18$	$= 11,14 \text{ kN}$
• Ubin	$= 7,5 \times 8,25 \times 0,02 \times 21$	$= 25,99 \text{ kN}$
• Dinding bata ringan lt. 4	$= (7,5 + 4,75) \times \left(\frac{3,5}{2}\right) \times 0,8$	$= 17,15 \text{ kN}$
• Dinding bata ringan lt. 3	$= 7,5 \times \left(\frac{3,5}{2}\right) \times 0,8$	$= 10,5 \text{ kN}$
• MEP		$= 1 \text{ kN}$
Beban mati total		$= 524,37 \text{ kN}$

### Beban hidup (LL)

Berdasarkan tabel 4.3-1 SNI 1727:2020, beban hidup lantai 4 untuk ruang pertemuan sebesar  $4,79 \text{ kN/m}^2$ .

$$LL = 4,79 \times 7,5 \times 8,25 = 296,38 \text{ kN}$$

### Beban terfaktor (Pu)

Berdasarkan SNI 1727:2020, kombinasi beban untuk desain kekuatan dihitung dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned} P_u &= 1,2 DL + 1,6 LL + P_u \text{ atap} \\ &= 1,2 (524,37) + 1,6 (296,38) + 940,55 \\ &= 2044 \text{ kN} \end{aligned}$$

### Dimensi kolom

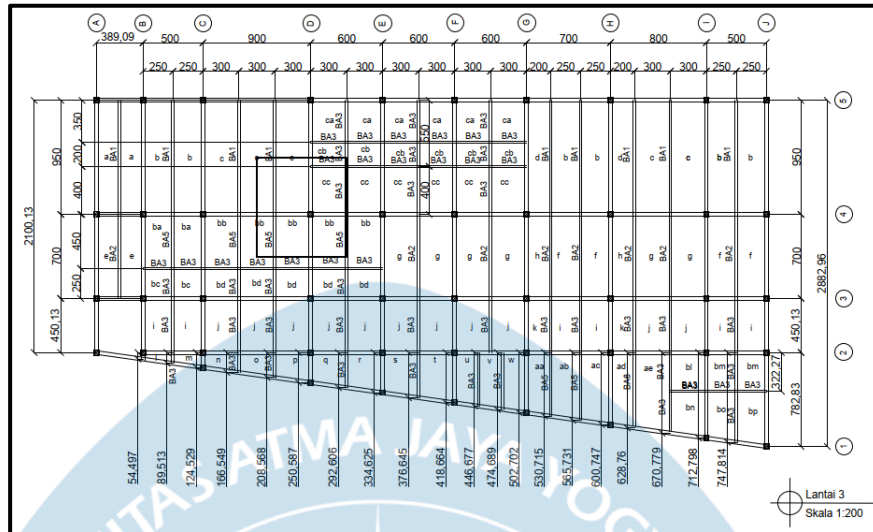
$$A = \frac{3 P_u}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{3(2044)(10^3)}{0,85(30)} = 240470,47 \text{ mm}^2$$

$$B = H = \sqrt{240470,47} = 490,378 \text{ mm}$$

Dari hasil tersebut, dimensi kolom yang digunakan sebesar  $800 \times 800 \text{ mm}$



c. Lantai 3



Gambar 2.3 Tampak Atas Lantai 3

Beban mati (DL)

- Kolom =  $3,5 \times 0,6 \times 0,6 \times 24 = 30,24 \text{ kN}$
- Balok Induk 1 =  $8,25 \times 0,4 \times 0,75 \times 24 = 59,4 \text{ kN}$
- Balok Induk 2 =  $7,5 \times 0,4 \times 0,65 \times 24 = 46,80 \text{ kN}$
- Balok Anak 1 =  $4,75 \times 0,3 \times 0,6 \times 24 = 20,52 \text{ kN}$
- Balok Anak 2 =  $4,75 \times 0,25 \times 0,45 \times 24 \times 0,5 = 6,41 \text{ kN}$
- Balok Anak 3 =  $3,5 \times 0,3 \times 0,35 \times 24 \times 1 = 8,82 \text{ kN}$
- Pelat Lantai =  $7,5 \times 8,25 \times 0,12 \times 24 = 178,2 \text{ kN}$
- Pasir =  $7,5 \times 8,25 \times 0,05 \times 17 = 52,60 \text{ kN}$
- Spesi =  $7,5 \times 8,25 \times 0,03 \times 21 = 38,98 \text{ kN}$
- Plafon+pengantung =  $7,5 \times 8,25 \times 0,18 = 11,14 \text{ kN}$
- Ubin =  $7,5 \times 8,25 \times 0,02 \times 21 = 25,99 \text{ kN}$
- Dinding bata ringan lt. 3 =  $7,5 \times \left(\frac{3,5}{2}\right) \times 0,8 = 10,5 \text{ kN}$
- Dinding bata ringan lt. 2 =  $7,5 \times \left(\frac{3,5}{2}\right) \times 0,8 = 10,5 \text{ kN}$
- MEP =  $1 \text{ kN}$
- Beban mati total =  $501,09 \text{ kN}$

Beban hidup (LL)

Berdasarkan tabel 4.3-1 SNI 1727:2020, beban hidup lantai 3 untuk ruang pertemuan sebesar  $4,79 \text{ kN/m}^2$ .

$$LL = 4,79 \times 7,5 \times 8,25 = 296,38 \text{ kN}$$

### Beban terfaktor ( $P_u$ )

Berdasarkan SNI 1727: 2020, kombinasi beban untuk desain kekuatan dihitung dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned} P_u &= 1,2 DL + 1,6 LL + P_u \text{ lt } 4 \\ &= 1,2 (501,09) + 1,6 (296,38) + 2044 \\ &= 3119,52 \text{ kN} \end{aligned}$$

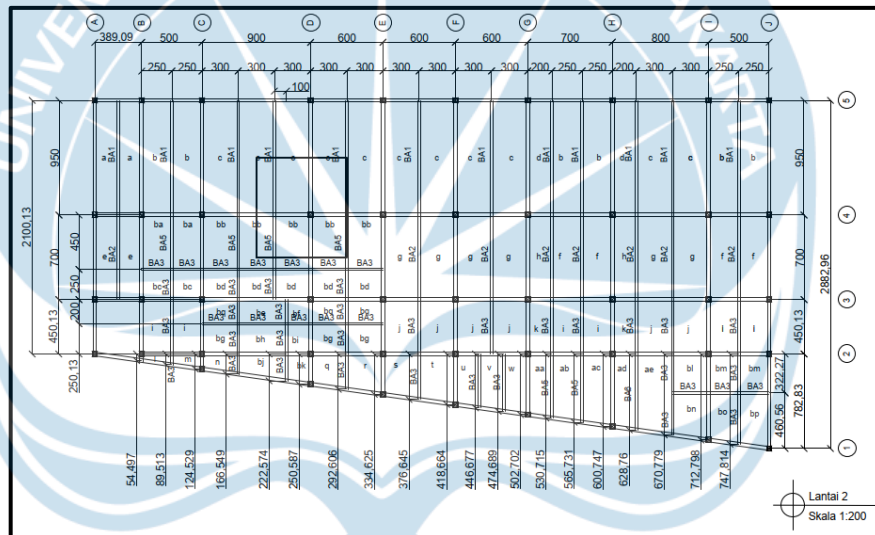
### Dimensi kolom

$$A = \frac{3 P_u}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{3(3119,52)(10^3)}{0,85(30)} = 367002,35 \text{ mm}^2$$

$$B = H = \sqrt{367002,35} = 605,807 \text{ mm}$$

Dari hasil tersebut, dimensi kolom yang digunakan sebesar 800 x 800 mm

d. Lantai 2



Gambar 2.4 Tampak Atas Lantai 2

### Beban mati (DL)

- Kolom =  $3,5 \times 0,6 \times 0,6 \times 24$  = 30,24 kN
- Balok Induk 1 =  $8,25 \times 0,4 \times 0,75 \times 24$  = 59,4 kN
- Balok Induk 2 =  $7,5 \times 0,4 \times 0,65 \times 24$  = 46,80 kN
- Balok Anak 1 =  $4,75 \times 0,3 \times 0,6 \times 24 \times 1,5$  = 30,78 kN
- Balok Anak 3 =  $3,5 \times 0,2 \times 0,35 \times 24 \times 1,5$  = 8,82 kN
- Pelat Lantai =  $7,5 \times 8,25 \times 0,12 \times 24$  = 178,2 kN
- Pasir =  $7,5 \times 8,25 \times 0,05 \times 17$  = 52,60 kN
- Spesi =  $7,5 \times 8,25 \times 0,03 \times 21$  = 38,98 kN
- Plafon+penggantung =  $7,5 \times 8,25 \times 0,18$  = 11,14 kN

- Ubin  $= 7,5 \times 8,25 \times 0,02 \times 21 = 25,99 \text{ kN}$
  - Dinding bata ringan lt. 2  $= 7,5 \times \left(\frac{3,5}{2}\right) \times 0,8 = 10,5 \text{ kN}$
  - Dinding bata ringan lt. 1  $= (7,5 + 4,75) \times \left(\frac{3,5}{2}\right) \times 0,8 = 17,15 \text{ kN}$
  - MEP  $= 1 \text{ kN}$
- Beban mati total  $= 511,59 \text{ kN}$

#### Beban hidup (LL)

Berdasarkan tabel 4.3-1 SNI 1727:2020, beban hidup lantai 2 untuk ruang pertemuan sebesar  $4,79 \text{ kN/m}^2$ .

$$LL = 4,79 \times 7,5 \times 8,25 = 296,38 \text{ kN}$$

#### Beban terfaktor ( $P_u$ )

Berdasarkan SNI 1727:2020, kombinasi beban untuk desain kekuatan dihitung dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned} P_u &= 1,2 DL + 1,6 LL + P_u \text{ lt } 3 \\ &= 1,2 (511,59) + 1,6 (296,38) + 3119,52 \\ &= 4207,638 \text{ kN} \end{aligned}$$

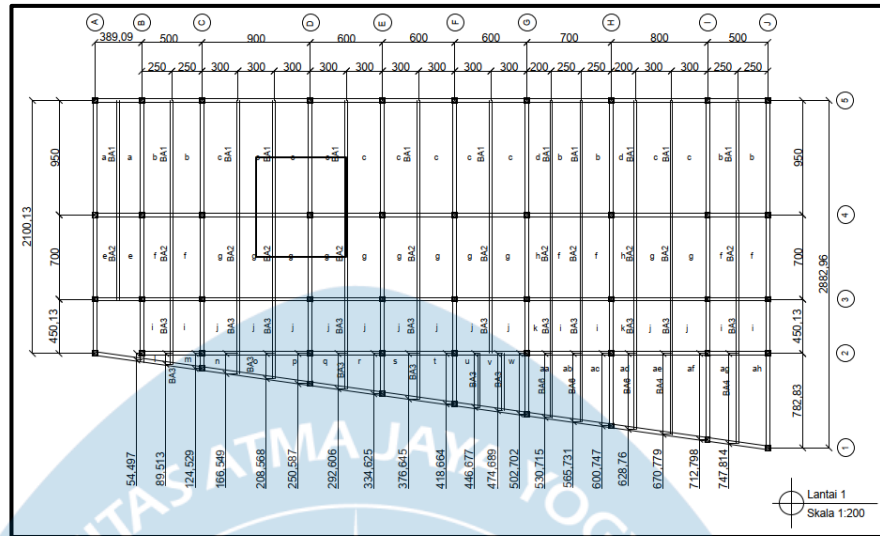
#### Dimensi kolom

$$A = \frac{3 P_u}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{3(4207,638)(10^3)}{0,85(30)} = 495016,2 \text{ mm}^2$$

$$B = H = \sqrt{495016,2} = 703,574 \text{ mm}$$

Dari hasil tersebut, dimensi kolom yang digunakan sebesar  $800 \times 800 \text{ mm}$

e. Lantai 1



Gambar 2.5 Tampak Atas Lantai 1

Beban mati (DL)

- Kolom =  $3,5 \times 0,6 \times 0,6 \times 24 = 30,24 \text{ kN}$
  - Balok Induk 1 =  $8,25 \times 0,4 \times 0,75 \times 24 = 59,4 \text{ kN}$
  - Balok Induk 2 =  $7,5 \times 0,4 \times 0,65 \times 24 = 46,80 \text{ kN}$
  - Balok Anak 1 =  $4,75 \times 0,3 \times 0,6 \times 24 \times 1,5 = 30,78 \text{ kN}$
  - Balok Anak 2 =  $3,5 \times 0,25 \times 0,45 \times 24 \times 1,5 = 14,18 \text{ kN}$
  - Pelat Lantai =  $7,5 \times 8,25 \times 0,12 \times 24 = 178,2 \text{ kN}$
  - Pasir =  $7,5 \times 8,25 \times 0,05 \times 17 = 52,60 \text{ kN}$
  - Spesi =  $7,5 \times 8,25 \times 0,03 \times 21 = 38,98 \text{ kN}$
  - Plafon + penggantung =  $7,5 \times 8,25 \times 0,18 = 11,14 \text{ kN}$
  - Ubin =  $7,5 \times 8,25 \times 0,02 \times 21 = 25,99 \text{ kN}$
  - Dinding bata ringan lt. 1 =  $(7,5 + 4,75) \times \left(\frac{3,5}{2}\right) \times 0,8 = 17,15 \text{ kN}$
  - MEP = 1 kN
- Beban mati total = 506,445 kN

Beban hidup (LL)

Berdasarkan tabel 4.3-1 SNI 1727:2020, beban hidup lantai 2 untuk ruang pertemuan sebesar  $4,79 \text{ kN/m}^2$ .

$$LL = 4,79 \times 7,5 \times 8,25 = 296,38 \text{ kN}$$

### Beban terfaktor ( $P_u$ )

Berdasarkan SNI 1727:2020, kombinasi beban untuk desain kekuatan dihitung dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned}P_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} + P_u \text{ lt } 2 \\ &= 1,2 (506,445) + 1,6 (296,38) + 4207,638 \\ &= 5289,582 \text{ kN}\end{aligned}$$

### Dimensi kolom

$$A = \frac{3 P_u}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{3(5289,582)(10^3)}{0,85(30)} = 622303,765 \text{ mm}^2$$

$$B = H = \sqrt{622303,765} = 788,862 \text{ mm}$$

Dari hasil tersebut, dimensi kolom yang digunakan sebesar 800 x 800 mm

## 2.2 Interpretasi Data Tanah dan Penentuan Kelas Situs

Pengujian tanah dilakukan di Kompleks Citra Green Dago, Bandung. Pengujian dilakukan dengan metode bor (SPT), dimana nilai N diperoleh setiap interval 2,0 m dari permukaan tanah hingga kedalaman 40,00 m. Berdasarkan pengujian diatas, diperoleh hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 2.7 Perhitungan Nilai SPT

Kedalaman dari permukaan (meter)	N1	Kedalaman (meter)	di	$\frac{d_i}{N_i}$
	0	0		
0 s.d. 2			2	0,286
	7	2		
2 s.d. 4			2	0,250
	8	4		
4 s.d. 6			2	0,250
	8	6		
6 s.d. 8			2	0,200
	10	8		
8 s.d. 10			2	0,222
	9	10		
10 s.d. 12			2	0,167
	12	12		
12 s.d. 14			2	0,167
	12	14		
14 s.d. 16			2	0,143
	14	16		
16 s.d. 18			2	0,143
	14	18		
18 s.d. 20			2	0,143
	14	20		

Tabel 2.7 Perhitungan Nilai SPT (lanjutan)

Kedalaman dari permukaan (meter)	N1	Kedalaman (meter)	di	$\frac{di}{N_i}$
20 s.d. 22			2	0,063
	32	22		
22 s.d. 24			2	0,063
	32	24		
24 s.d. 26			2	0,057
	35	26		
26 s.d. 28			2	0,047
	43	28		
28 s.d. 30			2	0,044
	45	30		
30 s.d. 32			2	0,042
	48	32		
32 s.d. 34			2	0,036
	55	34		
34 s.d. 36			2	0,036
	55	36		
36 s.d. 38			2	0,035
	57	38		
38 s.d. 40			2	0,034
	58	40		
		$\Sigma$	40	2,427

Dari Tabel 2.7, nilai tahanan penetrasi standar rata-rata ( $\bar{N}$ ) dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\bar{N} = \frac{\text{Kedalaman}}{\Sigma \frac{di}{N_i}} = \frac{40}{2,427} = 16,482$$

Berdasarkan Tabel 5 SNI 1726:2019, nilai  $\bar{N}$  sama dengan 16,482 termasuk kelas situs SD atau tanah sedang.

### 2.3 Pembebanan Struktur

Pembebanan setiap lantai pada bangunan diuraikan sebagai berikut:

#### a. Atap

- Kolom =  $48 \times 1,75 \times 0,8 \times 0,8 \times 24 = 1290,24 \text{ kN}$
- Balok Induk 1 =  $291,995 \times 0,4 \times 0,75 \times 24 = 2102,36 \text{ kN}$
- Balok Induk 2 =  $276,1092 \times 0,4 \times 0,65 \times 24 = 1722,92 \text{ kN}$
- Balok Anak 1 =  $15 \times 9,5 \times 0,3 \times 0,6 \times 24 = 615,50 \text{ kN}$
- Balok Anak 2 =  $8 \times 62,2876 \times 0,25 \times 0,45 \times 24 = 1345,41 \text{ kN}$
- Balok Anak 3 =  $160,2715 \times 0,2 \times 0,35 \times 24 = 269,26 \text{ kN}$
- Pelat Atap =  $1392,55 \times 0,125 \times 24 = 4177,64 \text{ kN}$

- Plafon+penggantung =  $1392,55 \times 0,18$  = 250,66 kN
- Dinding bata ringan =  $422,013 \times 1,75 \times 0,8$  = 590,82 kN
- MEP = 1 kN
- Tangga 1 =  $2 \times 3,4731 \times 1,94545 \times 0,226 \times 24$  = 73,16 kN
- Bordes 1a =  $2 \times 3,9835 \times 0,15 \times 0,15 \times 24$  = 28,68 kN
- Bordes 1b =  $3,8909 \times 0,75 \times 0,15 \times 24$  = 10,51 kN
- Tangga 2 =  $2 \times 3,4731 \times 2,2507 \times 0,226 \times 24$  = 84,64 kN
- Bordes 2 =  $3 \times 4,5012 \times 1 \times 0,15 \times 24$  = 48,61 kN
- Lift =  $35,3 + 19,6$  = 54,9 kN
- Balok Lift =  $5,7409 \times 0,2 \times 0,35 \times 24$  = 9,64 kN
- Kolom L =  $3 \times 1,75 \times 0,1375 \times 24$  = 17,33 kN
- Kolom T =  $1,75 \times 0,1375 \times 24$  = 5,78 kN
- Beban total = 12598,28 kN

Berdasarkan perhitungan, diperoleh beban total atap sebesar 12598,28 kN.

b. Lantai 4

- Kolom =  $48 \times 3,5 \times 0,8 \times 0,8 \times 24$  = 2580,48 kN
- Balok Induk 1 =  $291,995 \times 0,4 \times 0,75 \times 24$  = 2102,36 kN
- Balok Induk 2 =  $276,1092 \times 0,4 \times 0,65 \times 24$  = 1722,92 kN
- Balok Anak 1 =  $15 \times 9,5 \times 0,3 \times 0,6 \times 24$  = 615,50 kN
- Balok Anak 2 =  $8 \times 62,2876 \times 0,25 \times 0,45 \times 24$  = 1345,41 kN
- Balok Anak 3 =  $160,2715 \times 0,2 \times 0,35 \times 24$  = 269,26 kN
- Pelat Lantai =  $1392,55 \times 0,125 \times 24$  = 4177,64 kN
- Plafon+penggantung =  $1392,55 \times 0,18$  = 250,66 kN
- Pasir =  $1392,55 \times 0,05 \times 17$  = 1183,66 kN
- Spesi =  $1392,55 \times 0,03 \times 21$  = 877,30 kN
- Ubin =  $1392,55 \times 0,02 \times 21$  = 584,87 kN
- Dinding bata ringan =  $422,013 \times 3,5 \times 0,8$  = 1181,64 kN
- MEP = 1 kN
- Tangga 1 =  $2 \times 3,4731 \times 1,94545 \times 0,226 \times 24$  = 73,16 kN
- Bordes 1a =  $2 \times 3,9835 \times 0,15 \times 0,15 \times 24$  = 28,68 kN
- Bordes 1b =  $3,8909 \times 0,75 \times 0,15 \times 24$  = 10,51 kN

- Tangga 2 =  $2 \times 3,4731 \times 2,2507 \times 0,226 \times 24 = 84,64 \text{ kN}$
- Bordes 2 =  $3 \times 4,5012 \times 1 \times 0,15 \times 24 = 48,61 \text{ kN}$
- Balok Lift =  $5,7409 \times 0,2 \times 0,35 \times 24 = 9,64 \text{ kN}$
- Kolom L =  $3 \times 3,5 \times 0,1375 \times 24 = 34,65 \text{ kN}$
- Kolom T =  $3,5 \times 0,1375 \times 24 = 11,55 \text{ kN}$
- Beban total =  $17194,25 \text{ kN}$

Maka, diperoleh beban total lantai 4 sebesar 17194,25 kN.

c. Lantai 3

- Kolom =  $48 \times 3,5 \times 0,8 \times 0,8 \times 24 = 2580,48 \text{ kN}$
- Balok Induk 1 =  $291,995 \times 0,4 \times 0,75 \times 24 = 2102,36 \text{ kN}$
- Balok Induk 2 =  $276,1092 \times 0,4 \times 0,65 \times 24 = 1722,92 \text{ kN}$
- Balok Anak 1 =  $9 \times 9,5 \times 0,3 \times 0,6 \times 24 = 369,36 \text{ kN}$
- Balok Anak 2 =  $8 \times 62,2876 \times 0,25 \times 0,45 \times 24 = 1345,41 \text{ kN}$
- Balok Anak 3 =  $224,7715 \times 0,2 \times 0,35 \times 24 = 377,62 \text{ kN}$
- Pelat Lantai =  $1392,55 \times 0,125 \times 24 = 4177,64 \text{ kN}$
- Plafon+penggantung =  $1392,55 \times 0,18 = 250,66 \text{ kN}$
- Pasir =  $1392,55 \times 0,05 \times 17 = 1183,66 \text{ kN}$
- Spesi =  $1392,55 \times 0,03 \times 21 = 877,30 \text{ kN}$
- Ubin =  $1392,55 \times 0,02 \times 21 = 584,87 \text{ kN}$
- Dinding bata ringan =  $404,520 \times 3,5 \times 0,8 = 1132,66 \text{ kN}$
- MEP =  $1 \text{ kN}$
- Tangga 1 =  $2 \times 3,4731 \times 1,94545 \times 0,226 \times 24 = 73,16 \text{ kN}$
- Bordes 1a =  $2 \times 3,9835 \times 0,15 \times 0,15 \times 24 = 28,68 \text{ kN}$
- Bordes 1b =  $3,8909 \times 0,75 \times 0,15 \times 24 = 10,51 \text{ kN}$
- Tangga 2 =  $2 \times 3,4731 \times 2,2507 \times 0,226 \times 24 = 84,64 \text{ kN}$
- Bordes 2 =  $3 \times 4,5012 \times 1 \times 0,15 \times 24 = 48,61 \text{ kN}$
- Balok Lift =  $5,7409 \times 0,2 \times 0,35 \times 24 = 9,64 \text{ kN}$
- Kolom L =  $3 \times 3,5 \times 0,1375 \times 24 = 34,65 \text{ kN}$
- Kolom T =  $3,5 \times 0,1375 \times 24 = 11,55 \text{ kN}$
- Beban total =  $17007,39 \text{ kN}$

Maka, diperoleh beban total lantai 3 sebesar 17007,39 kN.



d. Lantai 2

• Kolom	$= 48 \times 3,5 \times 0,8 \times 0,8 \times 24$	$= 2580,48 \text{ kN}$
• Balok Induk 1	$= 291,995 \times 0,4 \times 0,75 \times 24$	$= 2102,36 \text{ kN}$
• Balok Induk 2	$= 276,1092 \times 0,4 \times 0,65 \times 24$	$= 1722,92 \text{ kN}$
• Balok Anak 1	$= 12 \times 9,5 \times 0,3 \times 0,6 \times 24$	$= 492,48 \text{ kN}$
• Balok Anak 2	$= 62,2876 \times 0,25 \times 0,45 \times 24$	$= 168,18 \text{ kN}$
• Balok Anak 3	$= 166,3571 \times 0,2 \times 0,35 \times 24$	$= 279,48 \text{ kN}$
• Pelat Lantai	$= 1392,55 \times 0,125 \times 24$	$= 4177,64 \text{ kN}$
• Plafon+penggantung	$= 1392,55 \times 0,18$	$= 250,66 \text{ kN}$
• Pasir	$= 1392,55 \times 0,05 \times 17$	$= 1183,66 \text{ kN}$
• Spesi	$= 1392,55 \times 0,03 \times 21$	$= 877,30 \text{ kN}$
• Ubin	$= 1392,55 \times 0,02 \times 21$	$= 584,87 \text{ kN}$
• Dinding bata ringan	$= 445,1241 \times 3,5 \times 0,8$	$= 1246,35 \text{ kN}$
• MEP		$= 1 \text{ kN}$
• Tangga 1	$= 2 \times 3,4731 \times 1,94545 \times 0,226 \times 24$	$= 73,16 \text{ kN}$
• Bordes 1a	$= 2 \times 3,9835 \times 0,15 \times 0,15 \times 24$	$= 28,68 \text{ kN}$
• Bordes 1b	$= 3,8909 \times 0,75 \times 0,15 \times 24$	$= 10,51 \text{ kN}$
• Tangga 2	$= 2 \times 3,4731 \times 2,2507 \times 0,226 \times 24$	$= 84,64 \text{ kN}$
• Bordes 2	$= 3 \times 4,5012 \times 1 \times 0,15 \times 24$	$= 48,61 \text{ kN}$
• Balok Lift	$= 5,7409 \times 0,2 \times 0,35 \times 24$	$= 9,64 \text{ kN}$
• Kolom L	$= 3 \times 3,5 \times 0,1375 \times 24$	$= 34,65 \text{ kN}$
• Kolom T	$= 3,5 \times 0,1375 \times 24$	$= 11,55 \text{ kN}$
Beban total		$= 15968,83 \text{ kN}$

Maka, diperoleh beban total lantai 2 sebesar 15968,83 kN.

e. Lantai 1

• Kolom	$= 48 \times 3,5 \times 0,8 \times 0,8 \times 24$	$= 2580,48 \text{ kN}$
• Balok Induk 1	$= 291,995 \times 0,4 \times 0,75 \times 24$	$= 2102,36 \text{ kN}$
• Balok Induk 2	$= 276,1092 \times 0,4 \times 0,65 \times 24$	$= 1722,92 \text{ kN}$
• Balok Anak 1	$= 128,1859 \times 0,3 \times 0,6 \times 24$	$= 553,76 \text{ kN}$
• Balok Anak 2	$= 101,2521 \times 0,25 \times 0,45 \times 24$	$= 273,38 \text{ kN}$
• Balok Anak 3	$= 70,20673 \times 0,2 \times 0,35 \times 24$	$= 117,95 \text{ kN}$

• Pelat Lantai	= 1392,55 x 0,125 x 24	= 4177,64 kN
• Plafon+penggantung	= 1392,55 x 0,18	= 250,66 kN
• Pasir	= 1392,55 x 0,05 x 17	= 1183,66 kN
• Spesi	= 1392,55 x 0,03 x 21	= 877,30 kN
• Ubin	= 1392,55 x 0,02 x 21	= 584,87 kN
• Dinding bata ringan	= 392,55 x 3,5 x 0,8	= 1099,14 kN
• MEP		= 1 kN
• Tangga 1	= 2 x 3,4731 x 1,94545 x 0,226 x 24	= 73,16 kN
• Bordes 1a	= 2 x 3,9835 x 0,15 x 0,15 x 24	= 28,68 kN
• Bordes 1b	= 3,8909 x 0,75 x 0,15 x 24	= 10,51 kN
• Tangga 2	= 2 x 3,4731 x 2,2507 x 0,226 x 24	= 84,64 kN
• Bordes 2	= 3 x 4,5012 x 1 x 0,15 x 24	= 48,61 kN
• Balok Lift	= 5,7409 x 0,2 x 0,35 x 24	= 9,64 kN
• Kolom L	= 3 x 3,5 x 0,1375 x 24	= 34,65 kN
• Kolom T	= 3,5 x 0,1375 x 24	= 11,55 kN
Beban total		= 15826,58 kN

Maka, diperoleh beban total lantai 1 sebesar 15826,58 kN.

f. Lantai Basement

• Kolom	= 48 x 1,75 x 0,8 x 0,8 x 24	= 1290,24 kN
• Balok Induk 1	= 291,995 x 0,4 x 0,75 x 24	= 2102,36 kN
• Balok Induk 2	= 276,1092 x 0,4 x 0,65 x 24	= 1722,92 kN
• Dinding bata ringan	= 23,68 x 3,5 x 0,8	= 66,30 kN
• MEP		= 1 kN
• Tangga 1	= 3,47311 x 1,94545 x 0,226 x 1	= 36,58 kN
• Bordes 1a	= 3,9835 x 0,15 x 1 x 24	= 28,68 kN
• Bordes 1b	= 3,8909 x 0,75 x 0,15 x 24	= 10,51 kN
• Balok Lift	= 5,7409 x 0,2 x 0,35 x 24	= 9,64 kN
• Kolom L	= 3 x 1,75 x 0,1375 x 24	= 17,33 kN
• Kolom T	= 1,75 x 0,1375 x 24	= 5,78 kN
Beban total		= 5291,34 kN

Maka, diperoleh beban total basement sebesar 5291,34 kN.

## 2.4 Simpangan Antar Lantai

a. Data:

- KDS = D
- Kategori risiko = III
- $C_d$  = 5,5
- $I_e$  = 1,25
- $\rho$  = 1,3

b. Analisa simpangan antar lantai arah x

Simpangan pusat massa di tingkat-x ( $\delta_x$ ) didapatkan dengan rumus sebagai berikut.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e}$$

Simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi antar tingkat izin ( $\Delta_a$ ). Berdasarkan SNI 1726: 2019 tabel 20,  $\Delta_a$  untuk kategori risiko II sebesar  $0,02h_{sx}$ .  $h_{sx}$  merupakan tinggi tingkat di bawah tingkat-x.

Perhitungan simpangan antar lantai arah x ditunjukkan pada tabel 2.8.

Tabel 2.8 Simpangan Antar Lantai arah X

Lantai	$h_i$ (mm)	$\delta_{xe}$ (mm)	$\delta_x$ (mm)	$\Delta$ (mm)	$\Delta_a$ (mm)	$\Delta_a/\rho$ (mm)	Kondisi
Atap	3500	54,709	240,720	46,328	70	53,846	OK
4	3500	44,180	194,392	51,564	70	53,846	OK
3	3500	32,461	142,828	49,456	70	53,846	OK
2	3500	21,221	93,372	40,454	70	53,846	OK
1	3500	12,027	52,918	52,919	70	53,846	OK

Contoh perhitungan simpangan di lantai 4:

$$\delta_{xe} = 44,180 \text{ mm (hasil output Midas)}$$

$$\begin{aligned} \delta_x &= \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \\ &= \frac{(5,5)(44,180)}{1,25} \\ &= 194,392 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta &= \delta_{x\_It.4} - \delta_{x\_It.3} \\ &= 194,392 - 142,828 \\ &= 51,564 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_a &= 0,02 h_{sx} \\ &= (0,02)(3500) \\ &= 70 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{\Delta_a}{\rho} &= \frac{70}{1,3} \\ &= 53,846 \text{ mm}\end{aligned}$$

Karena  $\Delta$  lebih kecil daripada  $\frac{\Delta_a}{\rho}$ , maka simpangan antar lantai aman.

c. Analisa simpangan antar lantai arah y

Perhitungan simpangan antar lantai arah y ditunjukkan pada tabel 2.9.

Tabel 2.9 Simpangan Antar Lantai arah Y

Lantai	hi (mm)	$\delta_{xe}$ (mm)	$\delta_x$ (mm)	$\Delta$ (mm)	$\Delta_a$ (mm)	$\Delta_a/\rho$ (mm)	Kondisi
Atap	3500	10,596	46,623	4,154	70	53,846	OK
4	3500	9,652	42,469	5,810	70	53,846	OK
3	3500	8,332	36,659	3,325	70	53,846	OK
2	3500	7,576	33,334	5,973	70	53,846	OK
1	3500	6,219	27,362	27,362	70	53,846	OK

## 2.5 Penentuan Sistem Struktur

Untuk membuat Grafik Desain Spektra diperlukan perhitungan beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019 dengan uraian sebagai berikut:

Berdasarkan web <https://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>, kota Bandung memiliki parameter sebagai berikut:

$$S_s : 1,3121 \text{ g}$$

$$S_1 : 0,5498 \text{ g}$$

$$T_L : 6 \text{ detik}$$

### 2.5.1 Menentukan nilai $F_a$ dan $F_v$

- Nilai koefisien situs,  $F_a$  didasarkan pada kelas situs dan nilai  $S_s$  yang diperoleh. Berdasarkan tabel 6, didapatkan nilai  $F_a$  sebesar 1 karena kelas situs tanah termasuk tanah sedang (SD) dan nilai  $S_s \geq 1,5$ .

- Nilai koefisien situs,  $F_v$  didasarkan pada kelas situs dan nilai  $S_1$  yang diperoleh. Berdasarkan tabel 7, didapatkan nilai  $F_v$  sebesar 1,7502 karena kelas situs tanah termasuk tanah sedang (SD) dan nilai  $0,5 \leq S_1 \leq 0,6$ . Nilai  $F_v$  diperoleh dengan interpolasi sebagai berikut:

$$\frac{F_v - 1,8}{1,7 - 1,8} = \frac{0,5498 - 0,5}{0,6 - 0,5}$$

$$F_v = 1,7502$$

#### 2.5.2 Menentukan nilai $S_{MS}$ dan $S_{M1}$

- Nilai parameter respons spektral percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) didasarkan pada data  $F_a$  dan  $S_s$ . Perhitungan  $S_{MS}$  diperoleh dari persamaan (7) SNI 1726:2019.

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1 \times 1,3121 = 1,3121 \text{ g}$$

- Nilai parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) didasarkan pada data  $F_v$  dan  $S_1$ . Perhitungan  $S_{M1}$  diperoleh dari persamaan (8) SNI 1726:2019.

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 1,7502 \times 0,5498 = 0,9623 \text{ g}$$

#### 2.5.3 Menentukan nilai $S_{DS}$ dan $S_{D1}$

- Nilai parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek ( $S_{DS}$ ) diperoleh berdasarkan nilai  $S_{MS}$ . Perhitungan  $S_{DS}$  menggunakan persamaan (9) SNI 1726:2019.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1,3121 = 0,8747 \text{ g}$$

- Nilai parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik ( $S_{D1}$ ) diperoleh berdasarkan nilai  $S_{M1}$ . Perhitungan  $S_{D1}$  menggunakan persamaan (10) SNI 1726:2019.

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,9623 = 0,6415 \text{ g}$$

#### 2.5.4 Menentukan nilai $T_0$ dan $T_s$

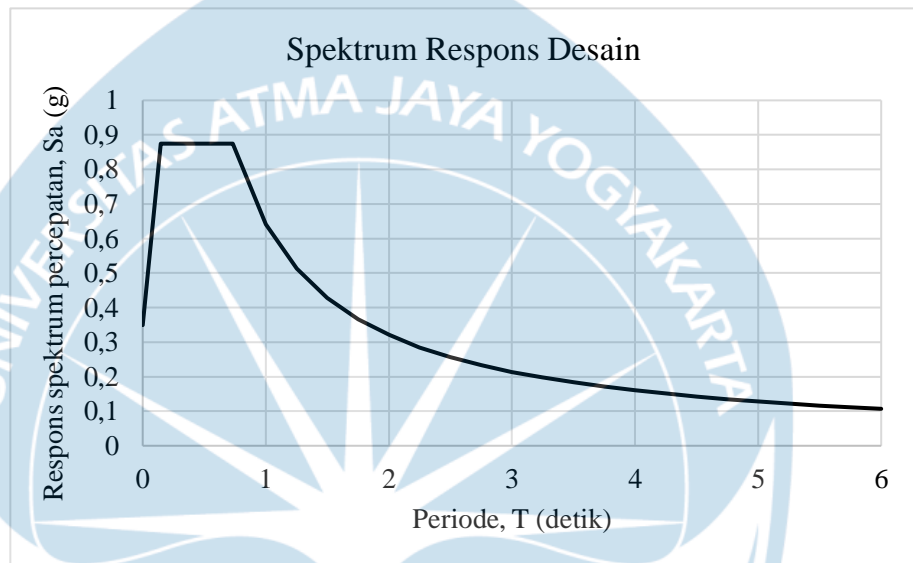
Nilai  $T_0$  diperoleh berdasarkan nilai  $S_{DS}$ , sedangkan nilai  $T_s$  diperoleh berdasarkan nilai  $S_{D1}$ . Perhitungan  $T_0$  dan  $T_s$  menggunakan persamaan 6.4 SNI 1726:2019 dan dihitung sebagai berikut:

$$T_0 = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times \frac{0,6415}{0,8747} = 0,1467 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{SD1}{SDS} = \frac{0,6415}{0,8747} = 0,7334 \text{ detik}$$

### 2.5.5 Gambar spektrum respons desain

Gambar spektrum respons desain adalah plot spektrum yang menggambarkan hubungan antara periode (T) dan respons spektrum percepatan ( $S_a$ ). Nilai T diambil selama 6 detik dengan kelipatan 0,25 detik.



Gambar 2.6 Spektrum Respons Desain

### 2.5.6 Menentukan kategori risiko

Berdasarkan Tabel 3 mengenai kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa, *co-working space* termasuk struktur yang difungsikan sebagai gedung pertemuan sehingga masuk ke dalam kategori risiko III. Berdasarkan Tabel 4 mengenai faktor keutamaan gempa, kategori risiko III memiliki faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) sebesar 1,25.

### 2.5.7 Menentukan kategori desain seismik (KDS)

- Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai  $S_{DS}$  sebesar 0,8747 g, sedangkan untuk kategori risiko bangunan menurut fungsinya, *co-working space* termasuk kategori risiko III. Berdasarkan Tabel 8 mengenai kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek, nilai  $S_{DS} \geq 0,50$  dan kategori risiko III termasuk kategori desain seismik D.

- Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai  $S_{DI}$  sebesar 0,6415 g, sedangkan untuk kategori risiko bangunan menurut fungsinya, co-working space termasuk kategori risiko III. Berdasarkan Tabel 9 mengenai kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik, nilai  $S_{DI} \geq 0,20$  dan kategori risiko III termasuk kategori desain seismik D.
- Berdasarkan kedua kategori yang diperoleh dari Tabel 8 dan Tabel 9, kategori desain seismik yang digunakan adalah kategori desain seismik D.

2.5.8 Menentukan sistem struktur dan parameter struktur berdasarkan KDS  
Sistem pemikul gaya seismik yang digunakan adalah rangka beton bertulang pemikul momen khusus. Berdasarkan Tabel 12 mengenai faktor R,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  untuk sistem pemikul gaya seismik memiliki nilai koefisien modifikasi respons (R) sebesar 8, faktor kuat lebih sistem ( $\Omega_0$ ) sebesar 3, dan faktor pemeriksaan defleksi ( $C_d$ ) sebesar 5,5. Untuk kategori desain seismik D, batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur ( $h_n$ ) tidak dibatasi.

2.5.9 Menentukan Periode Fundamental Pendekatan

Jenis struktur yang dipakai untuk bangunan *Co-Working Space* ini adalah rangka beton pemikul momen dengan ketinggian total bangunan sebesar 17,5 m. Untuk itu, menentukan periode natural (T) menggunakan perbandingan dari tiga rumus yang diuraikan sebagai berikut:

1. *Approximate Periods of Vibration*

Berdasarkan Tabel 18 SNI 1726:2019 tentang Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $\alpha$ , didapatkan nilai  $C_t$  sebesar 0,0466 dan nilai  $\alpha$  sebesar 0,9. Untuk itu nilai  $T_a$  dapat dihitung dengan persamaan 30 SNI 1726:2019 sebagai berikut:

$$T_a = C_t \times h_n^\alpha$$

$$T_a = 0,0466 \times 17,5^{(0,9)}$$

$$T_a = 0,6125 \text{ sekon}$$

2. Untuk menentukan  $T_a$  dalam detik dari struktur yang memiliki ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dengan sistem pemikul gaya seismik dari rangka pemikul momen beton atau seluruhnya baja dan rata-rata tingginya sekurang-kurangnya 3 m adalah sebagai berikut:

Keterangan:

$N$  adalah jumlah tingkat

$$T_a = 0,1N$$

$$T_a = 0,1 \times 5$$

$$T_a = 0,5$$

### 3. Adjustment Factor

Nilai  $T_{maks}$  diperoleh dari perkalian  $T_a$  dan  $C_u$ , kemudian dibandingkan dengan nilai  $T_{comp}$ . Bila nilai  $T_{comp}$  tidak diketahui, maka dianggap 0. Nilai  $C_u$  diperoleh dari Tabel 17 SNI 1726:2019 tentang koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung dengan mempertimbangkan nilai  $SD1$ . Karena nilai  $SD1 \geq 0,4$  maka diperoleh koefisien  $C_u$  sebesar 1,4. Berdasarkan pasal 7.8.2 hal 71 SNI 1726:2019 didapatkan ketentuan sebagai berikut:

$$T_{maks} = T_a \times C_u \leq T_{computed}$$

$$T_{maks} = 0,6125 \times 1,4$$

$$T_{maks} = 0,8575 \text{ sekon}$$

Ketiga hasil  $T$  yang diperoleh dibandingkan lalu didapatkan periode natural ( $T$ ) dengan ketentuan sebagai berikut:

$$T_{comp} > C_u \times T_a \quad \rightarrow T = C_u \times T_a$$

$$T_a < T_{comp} < C_u \times T_a \quad \rightarrow T = T_{comp}$$

$$T_c < T_a \quad \rightarrow T = T_a$$

Berdasarkan hasil perbandingan, dipilih  $T = 0,6125$  sekon.

#### 2.5.10 Menentukan Faktor Respons Gempa ( $C_s$ )

Koefisien respons seismik ( $C_s$ ) harus ditentukan sesuai dengan persamaan 31 SNI 1726:2019 sebagai berikut:

- Untuk  $T \leq T_s$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,8747}{\left(\frac{8}{1,25}\right)} = 0,1367$$



- Untuk  $T \leq T_L$ , nilai  $C_s$  tidak boleh melebihi nilai  $C_s$  dari persamaan 32

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{(0,6415)}{(0,6125)\left(\frac{8}{1,25}\right)} = 0,1636$$

- Untuk  $T > T_L$ , nilai  $C_s$  tidak boleh melebihi nilai  $C_s$  dari persamaan 33

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{(0,6415)(6)}{(0,6125)^2\left(\frac{8}{1,25}\right)} = 0,2672$$

$C_s$  harus tidak kurang dari persamaan 34 yaitu:

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

$$C_s = 0,044 \times 0,8747 \times 1,25 = 0,0481 \geq 0,01 \rightarrow \text{OK}$$

Maka digunakan nilai  $C_s$  terkecil yaitu 0,1367.

#### 2.5.11 Menentukan Gaya Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik ( $V$ ) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan dengan persamaan 30 SNI 1726:2019 sebagai berikut:

Dengan  $W$  adalah berat seismik total struktur.

$$V = C_s \times W$$

$$V = 0,1367 \times 78595,34$$

$$V = 10742,18 \text{ kN}$$

#### 2.5.12 Menentukan Distribusi Vertikal Gaya Gempa Arah Horizontal dan Vertikal

- Gaya seismik lateral ( $F_x$ ) pada sembarang tingkat ditentukan dari persamaan 40 dan 41 SNI 1726:2019 dengan rumus:

$$F_x = C_{vx} \times V$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \text{ dengan penentuan nilai } k \text{ dari pasal 7.8.3 sebagai}$$

berikut:

Jika  $T$  antara 0,5 – 2,5 detik, nilai  $k$ :

$$k = 0,75 + 0,5T$$

$$k = 0,75 + (0,5 \times 0,6125)$$

$$k = 1,0563$$

Contoh perhitungan pada Atap

$$C_{vx} = \frac{258989,64}{926226,66} = 0,28$$

$$F_x = 0,28 \times 10742,18 \text{ kN}$$

- Distribusi horizontal gaya gempa arah vertikal dapat diperoleh dari persamaan 42 SNI 1726:2019:

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i$$

Contoh perhitungan pada LT4

$$V_x = 3003,71 + 3238,68 = 6242,38 \text{ kN}$$

Tabel 2.10 Distribusi Gaya Gempa Lateral dan Gaya Gempa Vertikal

Lantai	w (kN)	h (m)	w.h <sup>k</sup> (kN.m)	C <sub>vx</sub>	F <sub>x</sub>	V <sub>x</sub>
Atap	12598,28	17,5	258989,64	0,28	3003,71	3003,71
LT 4	17194,25	14	279249,51	0,30	3238,68	6242,38
LT 3	17007,39	10,5	203835,16	0,22	2364,04	8606,42
LT 2	15968,83	7	124714,33	0,13	1446,41	10052,83
LT 1	15826,58	3,5	59438,03	0,06	689,35	10742,18
Σ	78595,34		926226,66	1,00	10742,18	

2.6 Penulangan Pelat Lantai

2.6.1 Pelat lantai a

a. Data:

- Bentang pendek (la) = 1945,45 mm
- Bentang panjang (lb) = 9500 mm
- Berat jenis beton = 24 kN/m<sup>3</sup>
- f'c = 30 MPa
- Diameter tulangan pokok = 10 mm
- Diameter tulangan susut = 10 mm
- fy D10 = 280 MPa
- λ untuk beton normal = 1
- selimut beton = 20 mm

b. Penentuan alur beban satu arah atau dua arah

Berdasarkan SNI 8900:2020, alur beban pelat ditentukan dengan menghitung nilai perbandingan antara bentang pelat yang panjang

dengan bendang pelat yang pendek. Jika nilainya lebih dari dua, maka pelat dianggap satu arah. Jika nilainya kurang atau sama dengan dua, maka pelat dianggap dua arah. Pelat a merupakan pelat satu arah karena didapatkan nilai perbandingan sebagai berikut:

$$\frac{B_y}{B_x} = \frac{9500}{1945,45} = 4,88 > 2$$

c. Perhitungan tebal pelat lantai (h minimum)

Pelat a termasuk tipe pelat satu ujung menerus. Berdasarkan Tabel 6.5.2.2 SNI 8900:2020 tentang tebal minimum h untuk slab solid satu arah yang menumpu elemen nonstruktural yang tidak sensitif terhadap lendutan diperoleh rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{tebal min } h &= \frac{l_s}{24} \\ &= \frac{1945,45}{24} \\ &= 81,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

di mana,  $l_s$  merupakan bentang pelat yang pendek. Tebal pelat yang digunakan sebesar 125 mm.

d. Perhitungan beban pelat lantai

- Beban mati ( $q_{DL}$ )

Pelat lantai	= 1 x 0,125 x 24	= 3 kN/m
Pasir	= 1 x 0,05 x 17	= 0,85 kN/m
Spesi	= 1 x 0,02 x 21	= 0,42 kN/m
Keramik	= 1 x 0,03 x 21	= 0,63 kN/m
MEP	= 1 x 0,2	= 0,2 kN/m
Beban mati total		= 5,28 kN/m

- Beban hidup ( $q_{LL}$ )

Beban hidup untuk ruang pertemuan sebesar 4,79 kN/m.

- Beban terfaktor ( $q_u$ )

Berdasarkan SNI 1727:2020, kombinasi beban untuk desain kekuatan dihitung dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL} \\ &= 1,2 (5,28) + 1,6 (4,79) \\ &= 14 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

e. Perhitungan penulangan pelat lantai

- Momen Ultimit

Berdasarkan tabel 7.8.2 SNI 8900:2020, perhitungan untuk pelat satu arah dengan dua bentang atau lebih adalah sebagai berikut

$$M^- \text{ x ki} = \frac{q_u \cdot l_n^2}{24} = \frac{(14) (1,94545)^2}{24} = 2,21 \text{ kN.m}$$

$$M^+ \text{ x} = \frac{q_u \cdot l_n^2}{11} = \frac{(14) (1,94545)^2}{11} = 4,82 \text{ kN.m}$$

$$M^- \text{ x ka} = \frac{q_u \cdot l_n^2}{10} = \frac{(14) (1,94545)^2}{10} = 5,30 \text{ kN.m}$$

- Rasio penulangan

Berdasarkan SNI 8900:2020, rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ ) sebesar 0,002, sedangkan rasio tulangan maksimum dihitung menggunakan interpolasi dari tabel 5.11.4.2. Kuat tekan beton sebesar 30 MPa dan kuat leleh tulangan baja D10 sebesar 280 MPa, maka:

$$\frac{\rho_{\max} - 0,025}{0,027 - 0,025} = \frac{30 - 28}{32 - 28}$$
$$\rho_{\max} = 0,026$$

Perhitungan rasio penulangan yang dibutuhkan sebagai berikut:

Koefisien tahanan

Diasumsikan nilai  $\phi$  sebesar 0,9

$$d = 125 - 20 - \frac{10}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen negatif kiri} \rightarrow k &= \frac{M^- \text{ x}}{\phi b d^2} \\ &= \frac{(2,21) (10^6)}{(0,9) (1000) (100)^2} \\ &= 0,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen positif} \rightarrow k &= \frac{M^+ \text{ x}}{\phi b d^2} \\ &= \frac{(4,82) (10^6)}{(0,9) (1000) (100)^2} \\ &= 0,54 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen negatif kanan} \rightarrow k &= \frac{M^- x}{\phi b d^2} \\ &= \frac{(5,30) (10^6)}{(0,9) (1000) (100)^2} \\ &= 0,59 \end{aligned}$$

Rasio penulangan ( $\rho_{used}$ )

$$\begin{aligned} \text{Momen negatif kiri} \rightarrow \rho &= \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f'c}} \right) \\ &= \frac{(0,85)(30)}{(280)} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2(0,25)}{(0,85)(30)}} \right) \\ &= 0,0009 \end{aligned}$$

Karena  $\rho$  yang didapat lebih kecil dari  $\rho_{min}$ , maka rasio penulangan yang digunakan sebesar 0,002.

$$\begin{aligned} \text{Momen positif} \rightarrow \rho &= \frac{(0,85)(30)}{(280)} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2(0,54)}{(0,85)(30)}} \right) \\ &= 0,00019 \end{aligned}$$

Karena  $\rho$  yang didapat lebih kecil dari  $\rho_{min}$ , maka rasio penulangan yang digunakan sebesar 0,002.

$$\begin{aligned} \text{Momen negatif kanan} \rightarrow \rho &= \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f'c}} \right) \\ &= \frac{(0,85)(30)}{(280)} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2(0,59)}{(0,85)(30)}} \right) \\ &= 0,0021 \end{aligned}$$

Karena  $\rho$  yang didapat lebih kecil dari  $\rho_{max}$  dan lebih besar dari  $\rho_{min}$ , maka rasio penulangan yang digunakan sebesar 0,0021.

- Tulangan pokok

Tulangan pokok di tumpuan kiri (momen negatif)

Luas tulangan minimum ( $A_{min}$ ) dihitung menggunakan  $\rho$  sebesar 0,002.

$$\begin{aligned} A_{min} &= \rho \cdot b \cdot h \\ &= (0,002)(1000)(125) \\ &= 250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan pokok yang dibutuhkan ( $A_{req}$ ) dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_{req} &= \rho_{used} \cdot b \cdot d \\ &= (0,002)(1000)(100) \\ &= 200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan pokok yang dibutuhkan sebesar  $250 \text{ mm}^2$ .

Digunakan D10, maka jarak antar tulangan ( $s$ ) dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} s &= \frac{(0,25)\pi(10)^2(1000)}{250} \\ &= 314,16 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{maks} &= 3h \text{ atau } 450 \text{ mm} \\ &= 3(125) \text{ atau } 450 \text{ mm} \\ &= 375 \text{ mm atau } 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, jarak antar tulangan diambil 300 mm dan sudah sesuai dengan syarat maksimumnya.

Jumlah tulangan yang dibutuhkan ( $n$ ) dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} n &= \frac{250}{(0,25)\pi(10)^2} \\ &= 3,18 \approx 4 \text{ buah tulangan} \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan pokok 4D10-300

#### Tulangan pokok di tumpuan kanan (momen negatif)

Luas tulangan minimum ( $A_{min}$ ) dihitung menggunakan  $\rho$  sebesar 0,002.

$$\begin{aligned} A_{min} &= \rho \cdot b \cdot h \\ &= (0,002)(1000)(125) \\ &= 250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan pokok yang dibutuhkan ( $A_{req}$ ) dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_{req} &= \rho_{used} \cdot b \cdot d \\ &= (0,002)(1000)(100) \\ &= 200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan pokok yang dibutuhkan sebesar  $250 \text{ mm}^2$ .

Digunakan D10, maka jarak antar tulangan (s) dihitung sebagai berikut:

$$s = \frac{(0,25)\pi(10)^2(1000)}{250}$$
$$= 314,16 \text{ mm}$$

$$s_{\text{maks}} = 3h \text{ atau } 450 \text{ mm}$$
$$= 3(125) \text{ atau } 450 \text{ mm}$$
$$= 375 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Maka, jarak antar tulangan diambil 300 mm sehingga digunakan tulangan pokok 4D10-300

- Tulangan susut

Digunakan D10, maka jarak antar tulangan (s) dihitung sebagai berikut:

$$s = \frac{(0,25)\pi(10)^2(1000)}{250}$$
$$= 314,16 \text{ mm}$$

$$s_{\text{maks}} = 5h \text{ atau } 450 \text{ mm}$$
$$= 5(125) \text{ atau } 450 \text{ mm}$$
$$= 625 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Maka, jarak antar tulangan diambil 300 mm sehingga digunakan tulangan susut D10-300

- Cek regangan

$$A_s = \frac{(4)(\pi)(10)^2}{4} = 314,16 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{(314,16)(280)}{(0,85)(30)(1000)} = 3,450 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{f'_c - 28}{7} \cdot 0,05$$

$$= 0,85 - \frac{30 - 28}{7} \cdot 0,05$$

$$= 0,836$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{3,450}{0,836} = 4,128 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \cdot 0,003 \\ &= \frac{100-4,128}{4,128} \cdot 0,003 \\ &= 0,0697 > 0,005\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, diperoleh nilai  $\epsilon_t$  sebesar 0,0697 dan lebih besar dari 0,005. Maka, nilai  $\phi$  sebesar 0,9 sudah sesuai.

- Cek gaya geser

Berdasarkan tabel 7.8.4 persamaan 7.8.4b SNI 8900:2020, kekuatan geser perlu ( $V_u$ ) untuk pelat satu arah dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$l_n = 1,94545 - (0,5)(0,4) - (0,5)(0,3) = 1,59545 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}V_u &= 1,15 \cdot \frac{q_u \cdot l_n}{2} \\ &= 1,15 \cdot \frac{(14)(1,59545)}{2} \\ &= 12,84 \text{ kN}\end{aligned}$$

Perhitungan kuat geser beton ( $\phi V_c$ )

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi \cdot 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \\ &= (0,75) (0,17) (1) \sqrt{30} (1000) (100) \\ &= 69834,63 \text{ N} \\ &= 69,83 \text{ kN}\end{aligned}$$

Karena  $V_u < \phi V_c$ , maka pelat a aman terhadap gaya geser.

## 2.6.2 Pelat lantai j

### a. Data:

- Bentang pendek ( $l_a$ ) = 3000 mm
- Bentang panjang ( $l_b$ ) = 4501,3 mm
- Berat jenis beton = 24 kN/m<sup>3</sup>
- $f'_c$  = 30 MPa
- Diameter tulangan pokok = 10 mm
- Diameter tulangan susut = 10 mm
- $f_y$  D10 = 280 MPa
- $\lambda$  untuk beton normal = 1
- selimut beton = 20 mm



b. Penentuan alur beban satu arah atau dua arah

Berdasarkan SNI 8900:2020, pelat j merupakan pelat dua arah karena didapatkan nilai perbandingan sebagai berikut:

$$\frac{B_y}{B_x} = \frac{4501,3}{3000} = 1,5 \leq 2$$

c. Perhitungan tebal pelat lantai (h minimum)

Berdasarkan SNI 8900:2020, tebal pelat dua arah yang ditumpu pada semua sisi dapat dihitung dengan cara berikut:

$$\text{tebal min } h = \frac{l_n}{30+3\beta}$$

di mana,  $l_n$  merupakan bentang bersih dalam arah memanjang dan  $\beta$  merupakan rasio bentang bersih yang panjang terhadap bentang bersih yang pendek.

$$\begin{aligned} \text{Bentang bersih yang panjang } (l_n) &= 4501,3 - B_{BI2} \\ &= 4501,3 - 400 \\ &= 4101,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bentang bersih yang pendek} &= 3000 - 0,5B_{BI1} - 0,5B_{BA3} \\ &= 3000 - 0,5(400) - 0,5(200) \\ &= 2700 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{tebal min } h &= \frac{4501,3}{30+3\left(\frac{4101,3}{2700}\right)} \\ &= 118,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, tebal pelat yang digunakan sebesar 125 mm.

d. Perhitungan beban pelat lantai

• Beban mati (q<sub>DL</sub>)

Pelat lantai	= 1 x 0,125 x 24	= 3 kN/m
Pasir	= 1 x 0,05 x 17	= 0,85 kN/m
Spesi	= 1 x 0,02 x 21	= 0,42 kN/m
Keramik	= 1 x 0,03 x 21	= 0,63 kN/m
MEP	= 1 x 0,2	= 0,2 kN/m
Beban mati total		= 5,28 kN/m

- Beban hidup ( $q_{LL}$ )

Beban hidup untuk ruang pertemuan sebesar 4,79 kN/m.

- Beban terfaktor ( $q_u$ )

Berdasarkan SNI 1727:2020, kombinasi beban untuk desain kekuatan dihitung dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL} \\ &= 1,2 (5,28) + 1,6 (4,79) \\ &= 14 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

e. Perhitungan penulangan pelat lantai

- Momen Ultimit

Berdasarkan tabel 7.9.2a SNI 8900:2020, perhitungan untuk pelat interior dua arah adalah sebagai berikut

Arah pendek,  $l_a$

Karena  $\beta = 1,505$ , nilai koefisien pembagi didapatkan melalui interpolasi. Koefisien untuk  $M^-$  a sebesar 13 dan  $M^+$  a sebesar 22,95.

$$M^- a = \frac{q_u \cdot l_a^2}{13} = \frac{(14)(2,7)^2}{13} = 7,85 \text{ kN.m}$$

$$M^+ a = \frac{q_u \cdot l_a^2}{22,81} = \frac{(14)(2,7)^2}{22,81} = 4,47 \text{ kN.m}$$

Arah panjang,  $l_b$

Karena  $\beta = 1,505$ , nilai koefisien pembagi didapatkan melalui interpolasi. Koefisien untuk  $M^-$  b sebesar 66,01 dan  $M^+$  b sebesar 121,27.

$$M^- b = \frac{q_u \cdot l_b^2}{68,8} = \frac{(14)(4,1013)^2}{68,61} = 3,42 \text{ kN.m}$$

$$M^+ b = \frac{q_u \cdot l_b^2}{124,75} = \frac{(14)(4,1013)^2}{124,75} = 1,89 \text{ kN.m}$$

- Rasio penulangan

Berdasarkan SNI 8900:2020, rasio tulangan minimum ( $\rho_{min}$ ) sebesar 0,002, sedangkan rasio tulangan maksimum dihitung menggunakan interpolasi dari tabel 5.11.4.2. Kuat tekan beton sebesar 30 MPa dan kuat leleh tulangan baja D10 sebesar 280 MPa, maka:

$$\frac{\rho_{\max} - 0,025}{0,027 - 0,025} = \frac{30 - 28}{32 - 28}$$

$$\rho_{\max} = 0,026$$

Perhitungan rasio penulangan yang dibutuhkan sebagai berikut:

Koefisien tahanan

Diasumsikan  $\phi$  sebesar 0,9

$$d = 125 - 20 - \frac{10}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$M^- a \rightarrow k = \frac{M^- a}{\phi b d^2}$$

$$= \frac{(7,85) (10^6)}{(0,9) (1000) (100)^2}$$

$$= 0,87$$

$$M^+ a \rightarrow k = \frac{M^+ a}{\phi b d^2}$$

$$= \frac{(4,47) (10^6)}{(0,9) (1000) (100)^2}$$

$$= 0,50$$

$$M^- b \rightarrow k = \frac{M^- b}{\phi b d^2}$$

$$= \frac{(3,42) (10^6)}{(0,9) (1000) (100)^2}$$

$$= 0,38$$

$$M^+ b \rightarrow k = \frac{M^+ b}{\phi b d^2}$$

$$= \frac{(1,89) (10^6)}{(0,9) (1000) (100)^2}$$

$$= 0,21$$

Rasio penulangan ( $\rho_{\text{used}}$ )

$$M^- a \rightarrow \rho = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{\frac{2k}{0,85 \cdot f'c}} \right)$$

$$= \frac{(0,85)(30)}{(280)} \left( 1 - \sqrt{\frac{2(0,87)}{(0,85) (30)}} \right)$$

$$= 0,00317$$

Karena  $\rho$  yang didapat lebih besar dari  $\rho_{\min}$  dan lebih kecil dari  $\rho_{\max}$ , maka rasio penulangan yang digunakan sebesar 0,0032.

$$\begin{aligned} M^+ a \rightarrow \rho &= \frac{(0,85)(30)}{(280)} \left( 1 - \sqrt{\frac{2(0,50)}{(0,85)(30)}} \right) \\ &= 0,0018 \end{aligned}$$

Karena  $\rho$  yang didapat lebih kecil dari  $\rho_{\min}$ , maka rasio penulangan yang digunakan sebesar 0,002.

$$\begin{aligned} M^- b \rightarrow \rho &= \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{\frac{2k}{0,85 \cdot f'c}} \right) \\ &= \frac{(0,85)(30)}{(280)} \left( 1 - \sqrt{\frac{2(0,38)}{(0,85)(30)}} \right) \\ &= 0,0014 \end{aligned}$$

Karena  $\rho$  yang didapat lebih kecil dari  $\rho_{\min}$ , maka rasio penulangan yang digunakan sebesar 0,002.

$$\begin{aligned} M^+ b \rightarrow \rho &= \frac{(0,85)(30)}{(280)} \left( 1 - \sqrt{\frac{2(0,21)}{(0,85)(30)}} \right) \\ &= 0,0008 \end{aligned}$$

Karena  $\rho$  yang didapat lebih kecil dari  $\rho_{\min}$ , maka rasio penulangan yang digunakan sebesar 0,002.

- Tulangan pokok

#### Tulangan pokok di tumpuan arah pendek ( $M^- a$ )

Luas tulangan minimum ( $A_{\min}$ ) dihitung menggunakan  $\rho$  sebesar 0,002.

$$\begin{aligned} A_{\min} &= \rho \cdot b \cdot h \\ &= (0,002)(1000)(125) \\ &= 250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan pokok yang dibutuhkan ( $A_{\text{req}}$ ) dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_{\text{req}} &= \rho_{\text{used}} \cdot b \cdot d \\ &= (0,00317)(1000)(100) \\ &= 317 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan pokok yang dibutuhkan sebesar 317 mm<sup>2</sup>.

Digunakan D10, maka jarak antar tulangan (s) dihitung sebagai berikut:

$$s = \frac{(0,25)\pi(10)^2(1000)}{317}$$
$$= 247,71 \text{ mm}$$

$$s_{\text{maks}} = 3h \text{ atau } 450 \text{ mm}$$
$$= 3(125) \text{ atau } 450 \text{ mm}$$
$$= 375 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Maka, jarak antar tulangan diambil 200 mm sehingga digunakan tulangan pokok D10-200.

Tulangan pokok di daerah lapangan arah pendek ( $M^+ a$ )

Luas tulangan minimum ( $A_{\text{min}}$ ) dihitung menggunakan  $\rho$  sebesar 0,002.

$$A_{\text{min}} = \rho \cdot b \cdot h$$
$$= (0,002)(1000)(125)$$
$$= 250 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan pokok yang dibutuhkan ( $A_{\text{req}}$ ) dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$A_{\text{req}} = \rho_{\text{used}} \cdot b \cdot d$$
$$= (0,002)(1000)(100)$$
$$= 200 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan pokok yang dibutuhkan sebesar  $250 \text{ mm}^2$ .

Digunakan D10, maka jarak antar tulangan (s) dihitung sebagai berikut:

$$s = \frac{(0,25)\pi(10)^2(1000)}{250}$$
$$= 314,16 \text{ mm}$$

$$s_{\text{maks}} = 3h \text{ atau } 450 \text{ mm}$$
$$= 3(125) \text{ atau } 450 \text{ mm}$$
$$= 375 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Maka, jarak antar tulangan diambil 300 mm dan sudah sesuai dengan syarat maksimumnya.

Jumlah tulangan yang dibutuhkan (n) dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$n = \frac{250}{(0,25)\pi(10)^2}$$
$$= 3,18 \approx 4 \text{ buah tulangan}$$

Maka, digunakan tulangan pokok 4D10-300

Tulangan pokok di daerah tumpuan arah panjang (M<sup>-</sup> b)

Luas tulangan minimum (A<sub>min</sub>) dihitung menggunakan ρ sebesar 0,002.

$$A_{\min} = \rho \cdot b \cdot h$$
$$= (0,002)(1000)(125)$$
$$= 250 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan pokok yang dibutuhkan (A<sub>req</sub>) dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$A_{\text{req}} = \rho_{\text{used}} \cdot b \cdot d$$
$$= (0,002)(1000)(100)$$
$$= 200 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan pokok yang dibutuhkan sebesar 250 mm<sup>2</sup>.

Digunakan D10, maka jarak antar tulangan (s) dihitung sebagai berikut:

$$s = \frac{(0,25)\pi(10)^2(1000)}{250}$$
$$= 314,16 \text{ mm}$$

$$s_{\text{maks}} = 3h \text{ atau } 450 \text{ mm}$$
$$= 3(125) \text{ atau } 450 \text{ mm}$$
$$= 375 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

Maka, jarak antar tulangan diambil 300 mm sehingga digunakan tulangan pokok D10-300.

Tulangan pokok di daerah lapangan arah panjang (M<sup>+</sup> b)

Luas tulangan minimum (A<sub>min</sub>) dihitung menggunakan ρ sebesar 0,002.

$$\begin{aligned}
 A_{\min} &= \rho \cdot b \cdot h \\
 &= (0,002)(1000)(125) \\
 &= 250 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas tulangan pokok yang dibutuhkan ( $A_{\text{req}}$ ) dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{req}} &= \rho_{\text{used}} \cdot b \cdot d \\
 &= (0,002)(1000)(100) \\
 &= 200 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas tulangan pokok yang dibutuhkan sebesar  $250 \text{ mm}^2$ .

Digunakan D10, maka jarak antar tulangan (s) dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{(0,25)\pi(10)^2(1000)}{250} \\
 &= 314,16 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s_{\text{maks}} &= 3h \text{ atau } 450 \text{ mm} \\
 &= 3(125) \text{ atau } 450 \text{ mm} \\
 &= 375 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, jarak antar tulangan diambil  $300 \text{ mm}$  sehingga digunakan tulangan pokok D10-300.

- Tulangan susut

Digunakan D10, maka jarak antar tulangan (s) dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{(0,25)\pi(10)^2(1000)}{391,16} \\
 &= 200,786 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s_{\text{maks}} &= 5h \text{ atau } 450 \text{ mm} \\
 &= 5(125) \text{ atau } 450 \text{ mm} \\
 &= 625 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan yang diambil sebesar  $200 \text{ mm}$  sehingga digunakan tulangan susut D10-200.

- Cek regangan

$$A_s = \frac{(5)(\pi)(10)^2}{4} = 392,7 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} = \frac{(392,7)(280)}{(0,85)(30)(1000)} = 4,312 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{f'_c - 28}{7} \cdot 0,05$$

$$= 0,85 - \frac{30 - 28}{7} \cdot 0,05$$

$$= 0,836$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{4,312}{0,836} = 5,16 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003$$

$$= \frac{100 - 5,16}{5,16} \cdot 0,003$$

$$= 0,0551 > 0,005$$

Berdasarkan perhitungan, diperoleh nilai  $\epsilon_t$  sebesar 0,0551 dan lebih besar dari 0,005. Maka, nilai  $\phi$  sebesar 0,9 sudah sesuai.

- Cek gaya geser

Berdasarkan persamaan 7.9.4a dan 7.9.4b SNI 8900:2020, kekuatan geser perlu ( $V_u$ ) untuk pelat dua arah dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

Karena  $\beta = 1,505$ , nilai fraksi beban ( $\alpha_a$  dan  $\alpha_b$ ) didapatkan melalui interpolasi. Nilai  $\alpha_a$  sebesar 0,84 dan  $\alpha_b$  sebesar 0,16.

Arah pendek ( $l_a$ )

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{\alpha_b q_u l_b}{2} \geq \frac{q_u l_a}{4} \\ &= \frac{(0,16)(14)(4,1013)}{2} \geq \frac{(14)(2,725)}{4} \\ &= 4,55 \text{ kN} \geq 9,54 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka, digunakan nilai  $V_u$  sebesar 9,54 kN

Arah panjang ( $l_b$ )

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{\alpha_a q_u l_a}{2} \geq q_u \left[ \frac{l_a}{2} - \frac{l_a^2}{4l_b} \right] \\ &= \frac{(0,84)(14)(2,725)}{2} \geq 14 \left[ \frac{2,725}{2} - \frac{(2,725)^2}{4(4,1013)} \right] \\ &= 16,05 \text{ kN} \geq 12,74 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka, digunakan nilai  $V_u$  sebesar 16,05 kN



Perhitungan kuat geser beton ( $\phi V_c$ )

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d \\ &= (0,75) (0,17) (1) \sqrt{30} (1000) (100) \\ &= 69.834,63 \text{ N} \\ &= 69,83 \text{ kN}\end{aligned}$$

Karena  $V_u < \phi V_c$ , maka pelat tangga aman terhadap gaya geser.

Tabel 2.11 Rekap Tulangan Pokok dan Tulangan Susut Pelat Lantai ( $t = 125 \text{ mm}$ )

Jenis Pelat	Dimensi (cm)		Alur beban 1 arah atau 2 arah	Tebal pelat minimum	Arah Momen	Tulangan Pokok	Tulangan Susut
	Arah pendek (lb)	Arah panjang (lb)					
a	194,545	950	1 arah	8,11	$M_x$ ki	D10 - 300	D10 - 300
					$M^+x$	D10 - 300	
					$M_x$ ka	D10 - 300	
b	250	950	1 arah	10,42	$M_x$ ki	D10 - 250	D10 - 300
					$M^+x$	D10 - 300	
					$M_x$ ka	D10 - 250	
b	250	950	1 arah	8,93	$M_x$ ki	D10 - 200	D10 - 300
					$M^+x$	D10 - 200	
					$M_x$ ka	D10 - 300	
c	300	950	1 arah	10,71	$M_x$ ki	D10 - 150	D10 - 300
					$M^+x$	D10 - 200	
					$M_x$ ka	D10 - 150	
d	200	950	1 arah	7,14	$M_x$ ki	D10 - 300	D10 - 300
					$M^+x$	D10 - 300	
					$M_x$ ka	D10 - 300	

Tabel 2.11 Rekap Tulangan Pokok dan Tulangan Susut Pelat Lantai (t = 125 mm) (lanjutan)

Jenis Pelat	Dimensi (cm)		Alur beban 1 arah atau 2 arah	Tebal pelat minimum	Arah Momen	Tulangan Pokok	Tulangan Susut
	Arah pendek (lb)	Arah panjang (lb)					
e	194,545	700	1 arah	6,95	M <sub>x</sub> ki	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>x</sub>	D10 - 300	
					M <sub>x</sub> ka	D10 - 300	
f	250	700	1 arah	10,42	M <sub>x</sub> ki	D10 - 250	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>x</sub>	D10 - 300	
					M <sub>x</sub> ka	D10 - 250	
f	250	700	1 arah	8,93	M <sub>x</sub> ki	D10 - 200	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>x</sub>	D10 - 200	
					M <sub>x</sub> ka	D10 - 300	
g	300	700	1 arah	10,71	M <sub>x</sub> ki	D10 - 150	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>x</sub>	D10 - 200	
					M <sub>x</sub> ka	D10 - 150	
h	200	700	1 arah	7,14	M <sub>x</sub> ki	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>x</sub>	D10 - 300	
					M <sub>x</sub> ka	D10 - 300	
i	250	450,13	2 arah	11,52	M <sub>a</sub>	D10 - 200	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>a</sub>	D10 - 300	
					M <sub>b</sub>	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> <sub>b</sub>	D10 - 300	
j	300	450,13	2 arah	11,87	M <sub>a</sub>	D10 - 200	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>a</sub>	D10 - 300	
					M <sub>b</sub>	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> <sub>b</sub>	D10 - 300	
k	200	450,13	1 arah	7,14	M <sub>x</sub> ki	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>x</sub>	D10 - 300	
					M <sub>x</sub> ka	D10 - 300	
l	89,513	250	1 arah	3,20	M <sub>x</sub> ki	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>x</sub>	D10 - 300	
					M <sub>x</sub> ka	D10 - 300	
m	124,529	250	1 arah	4,45	M <sub>x</sub> ki	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>x</sub>	D10 - 300	
					M <sub>x</sub> ka	D10 - 300	
n	166,549	300	2 arah	7,42	M <sub>a</sub>	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>a</sub>	D10 - 300	
					M <sub>b</sub>	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> <sub>b</sub>	D10 - 300	
o	208,568	300	2 arah	8	M <sub>a</sub>	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>a</sub>	D10 - 300	
					M <sub>b</sub>	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> <sub>b</sub>	D10 - 300	
p	250,587	300	2 arah	8,04	M <sub>a</sub>	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>a</sub>	D10 - 300	
					M <sub>b</sub>	D10 - 250	
					M <sup>+</sup> <sub>b</sub>	D10 - 300	

Tabel 2.11 Rekap Tulangan Pokok dan Tulangan Susut Pelat Lantai (t = 125 mm) (lanjutan)

Jenis Pelat	Dimensi (cm)		Alur beban 1 arah/ 2 arah	Tebal pelat minimum	Arah Momen	Tulangan Pokok	Tulangan Susut
	Arah pendek (lb)	Arah panjang (lb)					
q	292,606	300	2 arah	9,06	M <sup>-</sup> a	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> a	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> b	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> b	D10 - 300	
r	300	334,625	2 arah	8,84	M <sup>-</sup> a	D10 - 250	D10 - 300
					M <sup>+</sup> a	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> b	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> b	D10 - 300	
s	300	376,645	2 arah	9,97	M <sup>-</sup> a	D10 - 250	D10 - 300
					M <sup>+</sup> a	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> b	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> b	D10 - 300	
t	300	418,664	2 arah	11,08	M <sup>-</sup> a	D10 - 200	D10 - 300
					M <sup>+</sup> a	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> b	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> b	D10 - 300	
u	200	446,667	1 arah	7,14	M <sup>-</sup> x ki	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> x	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> x ka	D10 - 300	
v	200	474,689	1 arah	7,14	M <sup>-</sup> x ki	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> x	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> x ka	D10 - 300	
w	200	502,702	1 arah	7,14	M <sup>-</sup> x ki	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> x	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> x ka	D10 - 300	
aa	250	530,715	1 arah	7,14	M <sup>-</sup> x ki	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> x	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> x ka	D10 - 300	
ab	250	565,731	1 arah	8,93	M <sup>-</sup> x ki	D10 - 250	D10 - 300
					M <sup>+</sup> x	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> x ka	D10 - 250	
ac	250	600,747	1 arah	8,93	M <sup>-</sup> x ki	D10 - 250	D10 - 300
					M <sup>+</sup> x	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> x ka	D10 - 250	
ad	200	628,76	1 arah	7,14	M <sup>-</sup> x ki	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> x	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> x ka	D10 - 300	
ae	300	670,779	1 arah	10,71	M <sup>-</sup> x ki	D10 - 150	D10 - 300
					M <sup>+</sup> x	D10 - 200	
					M <sup>-</sup> x ka	D10 - 150	
af	300	712,798	1 arah	10,71	M <sup>-</sup> x ki	D10 - 150	D10 - 300
					M <sup>+</sup> x	D10 - 200	
					M <sup>-</sup> x ka	D10 - 150	
ag	250	747,814	1 arah	8,93	M <sup>-</sup> x ki	D10 - 250	D10 - 300
					M <sup>+</sup> x	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> x ka	D10 - 250	

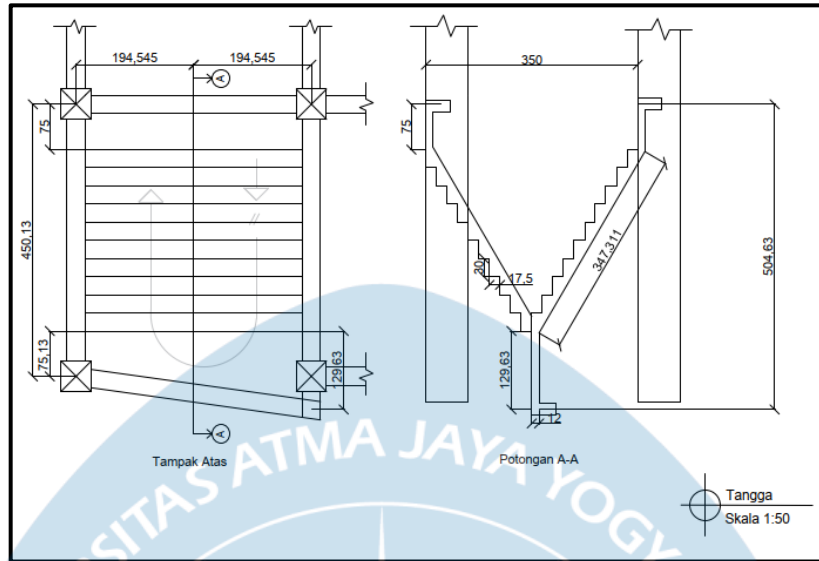
Tabel 2.11 Rekap Tulangan Pokok dan Tulangan Susut Pelat Lantai (t = 125 mm) (lanjutan)

Jenis Pelat	Dimensi (cm)		Alur beban 1 arah/ 2 arah	Tebal pelat minimum	Arah Momen	Tulangan Pokok	Tulangan Susut
	Arah pendek (lb)	Arah panjang (lb)					
ah	250	782,83	1 arah	8,93	M <sub>x ki</sub>	D10 - 200	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>x</sub>	D10 - 200	
					M <sub>x ka</sub>	D10 - 300	
ba	250	450	2 arah	11,86	M <sub>a</sub>	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>a</sub>	D10 - 300	
					M <sub>b</sub>	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> <sub>b</sub>	D10 - 300	
bb	300	450	2 arah	12,17	M <sub>a</sub>	D10 - 200	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>a</sub>	D10 - 300	
					M <sub>b</sub>	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> <sub>b</sub>	D10 - 300	
bc	250	250	2 arah	6,67	M <sub>a</sub>	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>a</sub>	D10 - 300	
					M <sub>b</sub>	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> <sub>b</sub>	D10 - 300	
bd	250	300	2 arah	8,33	M <sub>a</sub>	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>a</sub>	D10 - 300	
					M <sub>b</sub>	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> <sub>b</sub>	D10 - 300	
be	250	400	2 arah	10,92	M <sub>a</sub>	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>a</sub>	D10 - 300	
					M <sub>b</sub>	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> <sub>b</sub>	D10 - 300	
bf	200	200	2 arah	5,15	M <sub>a</sub>	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>a</sub>	D10 - 300	
					M <sub>b</sub>	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> <sub>b</sub>	D10 - 300	
bg	250,13	300	2 arah	8,04	M <sub>a</sub>	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>a</sub>	D10 - 300	
					M <sub>b</sub>	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> <sub>b</sub>	D10 - 300	
bh	250,13	400	2 arah	10,92	M <sub>a</sub>	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>a</sub>	D10 - 300	
					M <sub>b</sub>	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> <sub>b</sub>	D10 - 300	
bi	200	250,13	2 arah	6,52	M <sub>a</sub>	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>a</sub>	D10 - 300	
					M <sub>b</sub>	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> <sub>b</sub>	D10 - 300	
bj	222,574	400	2 arah	10,74	M <sub>a</sub>	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>a</sub>	D10 - 300	
					M <sub>b</sub>	D10 - 50	
					M <sup>+</sup> <sub>b</sub>	D10 - 300	
bk	200	250,587	2 arah	6,24	M <sub>a</sub>	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> <sub>a</sub>	D10 - 300	
					M <sub>b</sub>	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> <sub>b</sub>	D10 - 300	

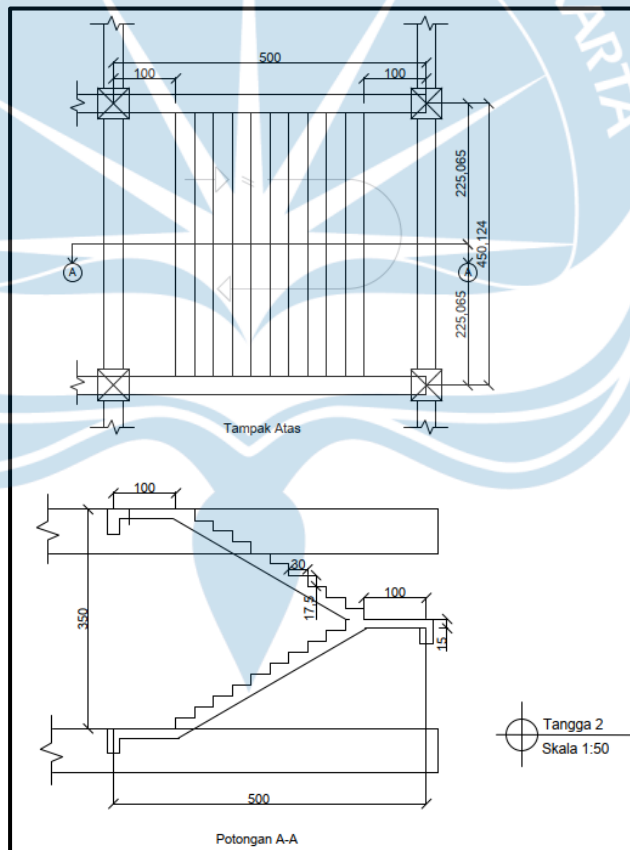
Tabel 2.11 Rekap Tulangan Pokok dan Tulangan Susut Pelat Lantai (t = 125 mm) (lanjutan)

Jenis Pelat	Dimensi (cm)		Alur beban 1 arah atau 2 arah	Tebal pelat minimum	Arah Momen	Tulangan Pokok	Tulangan Susut
	Arah pendek (lb)	Arah panjang (lb)					
bl	300	322,27	2 arah	8,8	M <sup>-</sup> a	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> a	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> b	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> b	D10 - 300	
bm	250	322,27	2 arah	8,63	M <sup>-</sup> a	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> a	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> b	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> b	D10 - 300	
bn	300	390,528	2 arah	10,63	M <sup>-</sup> a	D10 - 200	D10 - 300
					M <sup>+</sup> a	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> b	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> b	D10 - 300	
bo	250	425,544	2 arah	11,27	M <sup>-</sup> a	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> a	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> b	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> b	D10 - 300	
bp	250	460,56	2 arah	12,12	M <sup>-</sup> a	D10 - 250	D10 - 300
					M <sup>+</sup> a	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> b	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> b	D10 - 300	
bq	200	300	2 arah	8,40	M <sup>-</sup> a	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> a	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> b	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> b	D10 - 300	
ca	300	350	2 arah	9,55	M <sup>-</sup> a	D10 - 250	D10 - 300
					M <sup>+</sup> a	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> b	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> b	D10 - 300	
cb	200	300	2 arah	7,83	M <sup>-</sup> a	D10 - 300	D10 - 300
					M <sup>+</sup> a	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> b	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> b	D10 - 300	
cc	300	400	2 arah	10,88	M <sup>-</sup> a	D10 - 250	D10 - 300
					M <sup>+</sup> a	D10 - 300	
					M <sup>-</sup> b	D10 - 300	
					M <sup>+</sup> b	D10 - 300	

## 2.7 Perancangan Tangga Darurat



Gambar 2.7 Tampak Atas dan Potongan Tangga Darurat 1



Gambar 2.8 Tampak Atas dan Potongan Tangga Darurat 2

### 2.7.1 Momen dan Gaya Geser Tangga

#### a. Tangga 1

Tangga dimodelkan sebagai portal dengan tumpuan sendi – sendi.

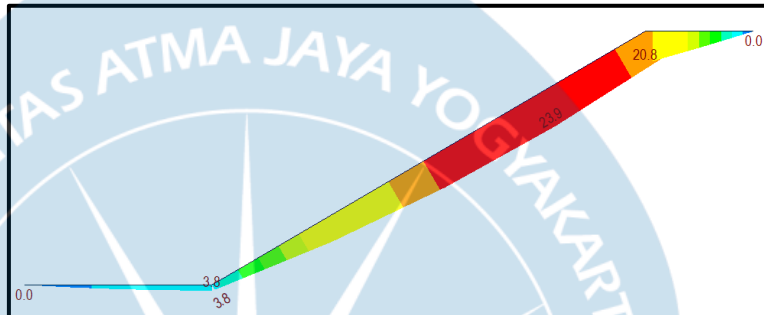
Hasil momen dan gaya geser dari Midas Gen adalah sebagai berikut:

$$M_{DL} = 23,859 \text{ kN.m}$$

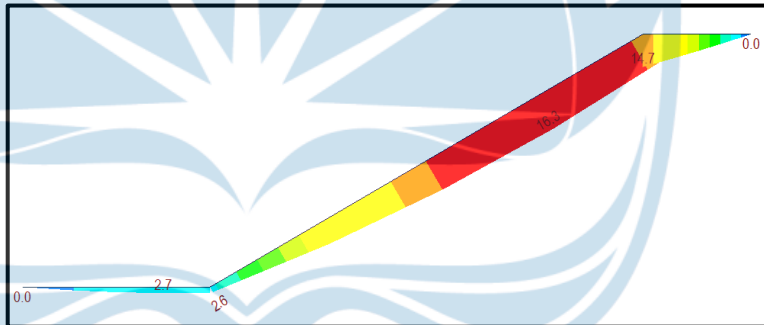
$$M_{LL} = 16,316 \text{ kN.m}$$

$$V_{DL} = 29,53 \text{ kN}$$

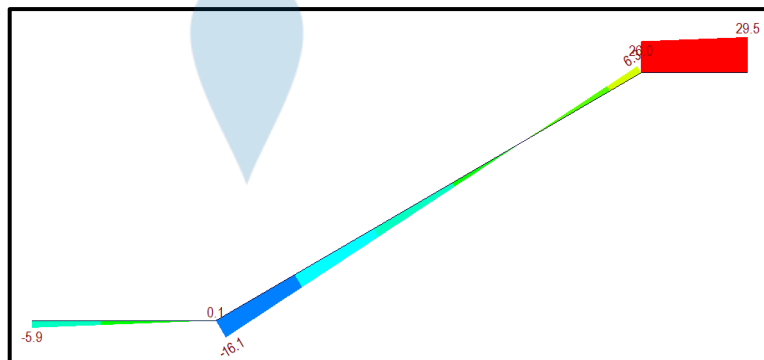
$$V_{LL} = 21,332 \text{ kN}$$



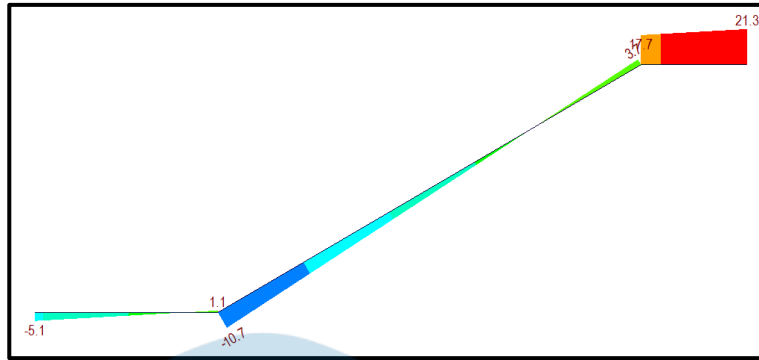
Gambar 2.10 BMD Tangga Darurat 1 Akibat Beban Mati (DL)



Gambar 2.11 BMD Tangga Darurat 1 Akibat Beban Hidup (LL)



Gambar 2.9 SFD Tangga Darurat 1 Akibat Beban Hidup (LL)



Gambar 2.12 SFD Tangga Darurat 1 Akibat Beban Mati (DL)  
 Dari hasil tersebut, didapatkan kombinasi momen dan gaya geser sebagai berikut:

Momen

$$1,4M_{DL} = 1,4 (23,859) = 33,4026 \text{ kN.m}$$

$$1,2M_{DL} + 1,6 M_{LL} = 1,2 (23,859) + 1,6 (16,316) = 54,7364 \text{ kN.m}$$

Gaya Geser

$$1,4V_{DL} = 1,4(29,53) = 41,342 \text{ kN}$$

$$1,2V_{DL} + 1,6 V_{LL} = 1,2 (29,53) + 1,6 (21,332) = 69,5672 \text{ kN}$$

Maka, momen maksimum tangga darurat 1 sebesar 54,7364 kN.m dan gaya geser maksimum sebesar 69,5672 kN.

b. Tangga 2

Tangga dimodelkan sebagai portal dengan tumpuan sendi – sendi.

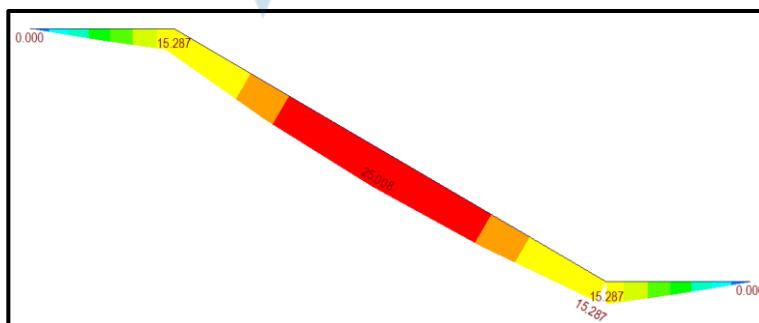
Hasil momen dan gaya geser dari Midas Gen adalah sebagai berikut:

$$MDL = 25,008 \text{ kN.m}$$

$$MLL = 16,952 \text{ kN.m}$$

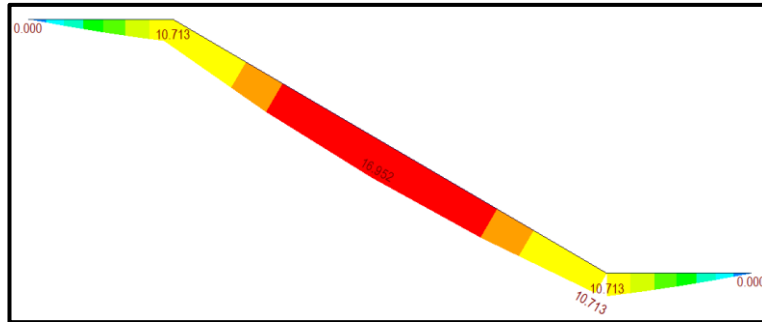
$$VDL = 17,612 \text{ kN}$$

$$VLL = 13,108 \text{ kN}$$

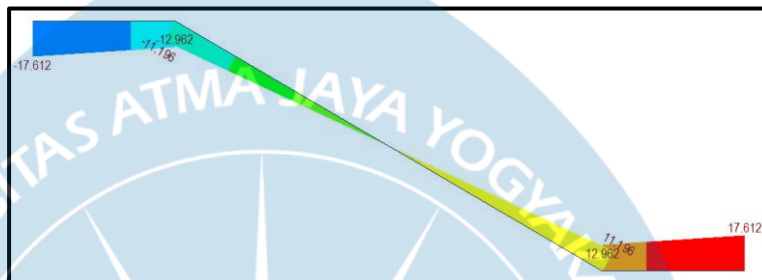


Gambar 2.13 BMD Tangga Darurat 2 Akibat Beban Mati (DL)

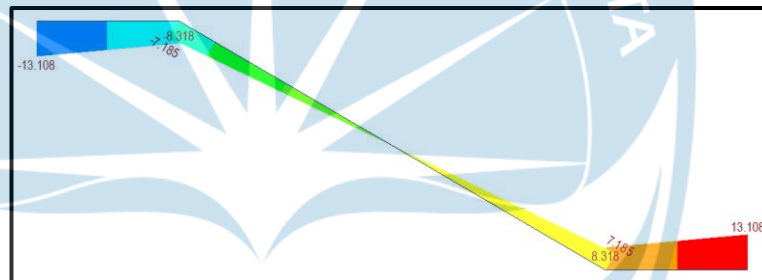




Gambar 2.16 BMD Tangga Darurat 2 Akibat Beban Hidup (LL)



Gambar 2.15 SFD Tangga Darurat 2 Akibat Beban Mati (DL)



Gambar 2.14 SFD Tangga Darurat 2 Akibat Beban Hidup (LL)

Dari hasil tersebut, didapatkan kombinasi momen dan gaya geser sebagai berikut:

Momen

$$1,4M_{DL} = 1,4 (25,008) = 35,0112 \text{ kN.m}$$

$$1,2M_{DL} + 1,6 M_{LL} = 1,2 (25,008) + 1,6 (16,952) = 57,1328 \text{ kN.m}$$

Gaya Geser

$$1,4V_{DL} = 1,4(17,612) = 24,6568 \text{ kN}$$

$$1,2V_{DL} + 1,6 V_{LL} = 1,2 (17,612) + 1,6 (13,108) = 42,1072 \text{ kN}$$

Maka, momen maksimum tangga darurat 2 sebesar 57,1328 kN.m dan gaya geser maksimum sebesar 42,1072 kN.

## 2.7.2 Penulangan Tangga 1

a. Data:

- Optrade (O) = 175 mm
- Antrade (A) = 300 mm
- Jumlah anak tangga (n) = 10
- Tebal tangga (h tangga) = 150 mm
- Lebar tangga (Bx tangga) = 1000 mm
- Panjang tangga (By tangga) = 3473,1 mm
- Berat jenis beton = 24 kN/m<sup>3</sup>
- $f_c$  = 30 MPa
- Diameter tulangan pokok = 13 mm
- Diameter tulangan susut = 10 mm
- $f_y$  D13 = 420 MPa
- $f_y$  D10 = 280 MPa
- $\lambda$  untuk beton normal = 1
- selimut beton = 20 mm
- $M_{max}$  = 27,3682 kN.m
- $V_{max}$  = 69,5672 kN

b. Perhitungan tebal tangga ekuivalen (h eq)

$$\begin{aligned}t_{eq} \text{ anak tangga} &= \frac{\frac{1}{2} \cdot O \cdot A}{\sqrt{O^2 + A^2}} \\&= \frac{\frac{1}{2} (175)(300)}{\sqrt{(175)^2 + (300)^2}} \\&= 75,581 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}h_{eq} &= t_{eq} + h_{tangga} \\&= 75,581 + 150 \\&= 225,58 \text{ mm}\end{aligned}$$

c. Perhitungan beban tangga

- Beban mati ( $q_{DL}$ )

$$\text{Tangga} = 1 \times 0,226 \times 24 = 5,414 \text{ kN/m}$$

$$\text{Keramik} = 1 \times 0,03 \times 21 = 0,63 \text{ kN/m}$$

$$\text{Spesi} = 1 \times 0,02 \times 21 = 0,42 \text{ kN/m}$$

$$\text{Railing} = 1 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban mati total} = 7,464 \text{ kN/m}$$

- Beban hidup ( $q_{LL}$ )

Beban hidup untuk tangga sebesar 4,79 kN/m.

- Beban terfaktor ( $q_u$ )

Berdasarkan SNI 1727:2020, kombinasi beban untuk desain kekuatan dihitung dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL} \\ &= 1,2 (7,464) + 1,6 (4,79) \\ &= 16,621 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

d. Perhitungan penulangan tangga

- Momen Ultimit

Momen ultimit untuk tangga diambil sebesar  $0,8M_{max}$ .

$$M_{ux} = 0,8 (54,7364) = 43,7891 \text{ kN.m}$$

- Rasio penulangan

Berdasarkan SNI 8900:2020, rasio tulangan minimum ( $\rho_{min}$ ) sebesar 0,002, sedangkan rasio tulangan maksimum dihitung menggunakan interpolasi dari tabel 5.11.4.2. Kuat tekan beton sebesar 30 MPa dan kuat leleh tulangan baja D13 sebesar 420 MPa, maka:

$$\frac{\rho_{max} - 0,014}{0,016 - 0,014} = \frac{30 - 28}{32 - 28}$$

$$\rho_{max} = 0,015$$

Perhitungan rasio penulangan yang dibutuhkan sebagai berikut:

Koefisien tahanan

$$d = 225,58 - 20 - \frac{13}{2} = 199,08 \text{ mm}$$

$\phi$  diasumsikan sebesar 0,9

$$\begin{aligned}
 k_{\text{tangga1}} &= \frac{M^{-x}}{\phi b d^2} \\
 &= \frac{(43,7891) (10^6)}{(0,9) (1000) (199,08)^2} \\
 &= 1,2276
 \end{aligned}$$

Rasio penulangan ( $\rho_{\text{used}}$ )

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f'c}} \right) \\
 &= \frac{(0,85)(30)}{(420)} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2(1,2276)}{(0,85) (30)}} \right) \\
 &= 0,003
 \end{aligned}$$

Karena  $\rho$  yang didapat lebih besar dari  $\rho_{\text{min}}$  dan lebih kecil dari  $\rho_{\text{max}}$ , maka rasio penulangan yang digunakan sebesar 0,003.

- Tulangan pokok

Luas tulangan pokok yang dibutuhkan ( $A_{\text{req}}$ ) dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{req}} &= \rho_{\text{used}} \cdot b \cdot d \\
 &= (0,003)(1000)(199,08) \\
 &= 596,62 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan D13, maka jarak antar tulangan ( $s$ ) dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{(0,25)\pi(13)^2(1000)}{596,62} \\
 &= 222,473 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s_{\text{maks}} &= 3h \text{ atau } 450 \text{ mm} \\
 &= 3(225,58) \text{ atau } 450 \text{ mm} \\
 &= 676,742 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan pokok D13-200.

- Tulangan susut

Digunakan D10, maka jarak antar tulangan ( $s$ ) dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{(0,25)\pi(10)^2(1000)}{(0,002)(1000)(225,58)} \\
 &= 174,084 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &= 5h \text{ atau } 450 \text{ mm} \\
 &= 5(225,58) \text{ atau } 450 \text{ mm} \\
 &= 1127,9 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan susut D10-150

- Cek gaya geser

$$V_u = 69,5672 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \phi 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \\
 &= (0,75) (0,17) (1) \sqrt{30} (1000) (199,08) \\
 &= 139.027 \text{ N} \\
 &= 139,027 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Karena  $V_u < \phi V_c$ , maka pelat tangga aman terhadap gaya geser.

### 2.7.3 Penulangan Bordes 1

a. Data:

- Tebal bordes (h bordes) = 150 mm
- Lebar bordes (Bx bordes) = 1000 mm
- Panjang bordes (By bordes) = 1296,3 mm
- Berat jenis beton = 24 kN/m<sup>3</sup>
- $f'_c$  = 30 MPa
- Diameter tulangan pokok = 13 mm
- Diameter tulangan susut = 10 mm
- $f_y$  D13 = 420 MPa
- $f_y$  D10 = 280 MPa
- $\lambda$  untuk beton normal = 1
- selimut beton = 20 mm
- $M_{\text{max}}$  = 27,3682 kN.m
- $V_{\text{max}}$  = 69,5672 kN

b. Perhitungan beban bordes

- Beban mati ( $q_{DL}$ )

$$\text{Bordes} = 1 \times 0,15 \times 24 = 3,6 \text{ kN/m}$$

$$\text{Keramik} = 1 \times 0,03 \times 21 = 0,63 \text{ kN/m}$$

$$\text{Spesi} = 1 \times 0,02 \times 21 = 0,42 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban mati total} = 4,65 \text{ kN/m}$$

- Beban hidup ( $q_{LL}$ )

Beban hidup untuk bordes sebesar 4,79 kN/m.

- Beban terfaktor ( $q_u$ )

Berdasarkan SNI 1727:2020, kombinasi beban untuk desain kekuatan dihitung dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL} \\ &= 1,2 (4,65) + 1,6 (4,79) \\ &= 13,244 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

c. Perhitungan penulangan bordes

- Momen Ultimit

Momen ultimit untuk bordes diambil sebesar  $0,5M_{\max}$ .

$$M_{ux} = 0,5 (54,7364) = 27,3682 \text{ kN.m}$$

- Rasio penulangan

Berdasarkan SNI 8900:2020, rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ ) sebesar 0,002, sedangkan rasio tulangan maksimum dihitung menggunakan interpolasi dari tabel 5.11.4.2. Kuat tekan beton sebesar 30 MPa dan kuat leleh tulangan baja D13 sebesar 420 MPa, maka:

$$\frac{\rho_{\max} - 0,014}{0,016 - 0,014} = \frac{30 - 28}{32 - 28}$$
$$\rho_{\max} = 0,015$$

Perhitungan rasio penulangan yang dibutuhkan sebagai berikut:

Koefisien tahanan

$$d = 150 - 20 - \frac{13}{2} = 123,5 \text{ mm}$$

$\phi$  diasumsikan sebesar 0,9

$$\begin{aligned}
 k_{bordes1} &= \frac{M-x}{\phi b d^2} \\
 &= \frac{(27,3682) (10^6)}{(0,9) (1000) (123,5)^2} \\
 &= 1,9937
 \end{aligned}$$

Rasio penulangan ( $\rho_{used}$ )

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f'c}} \right) \\
 &= \frac{(0,85)(30)}{(420)} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2(1,9937)}{(0,85) (30)}} \right) \\
 &= 0,0049
 \end{aligned}$$

Karena  $\rho$  yang didapat lebih besar dari  $\rho_{min}$  dan lebih kecil dari  $\rho_{max}$ , maka rasio penulangan yang digunakan sebesar 0,0049.

- Tulangan pokok

Luas tulangan pokok yang dibutuhkan ( $A_{req}$ ) dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_{req} &= \rho_{used} \cdot b \cdot d \\
 &= (0,0049)(1000)(123,5) \\
 &= 611,16 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan D13, maka jarak antar tulangan ( $s$ ) dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{(0,25)\pi(13)^2(1000)}{611,16} \\
 &= 217,18 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s_{maks} &= 3h \text{ atau } 450 \text{ mm} \\
 &= 3(150) \text{ atau } 450 \text{ mm} \\
 &= 450 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan pokok D13-200

- Tulangan susut

Digunakan D10, maka jarak antar tulangan ( $s$ ) dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{(0,25)\pi(10)^2(1000)}{(0,002)(1000)(150)} \\
 &= 261,800 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &= 5h \text{ atau } 450 \text{ mm} \\
 &= 5(150) \text{ atau } 450 \text{ mm} \\
 &= 750 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan susut D10-250

- Cek gaya geser

$$V_u = 69,5672 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \phi 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \\
 &= (0,75) (0,17) (1) \sqrt{30} (1000) (123,5) \\
 &= 86.246 \text{ N} \\
 &= 86,246 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Karena  $V_u < \phi V_c$ , maka pelat bordes 1 aman terhadap gaya geser.

#### 2.7.4 Penulangan Tangga 2

a. Data:

- Optrade (O) = 175 mm
- Antrade (A) = 300 mm
- Jumlah anak tangga (n) = 10
- Tebal tangga (h tangga) = 150 mm
- Lebar tangga (Bx tangga) = 1000 mm
- Panjang tangga (By tangga) = 3473,1 mm
- Berat jenis beton = 24 kN/m<sup>3</sup>
- $f'_c$  = 30 MPa
- Diameter tulangan pokok = 13 mm
- Diameter tulangan susut = 10 mm
- $f_y$  D13 = 420 MPa
- $f_y$  D10 = 280 MPa
- $\lambda$  untuk beton normal = 1
- selimut beton = 20 mm
- $M_{\text{max}}$  = 57,1328 kN.m
- $V_{\text{max}}$  = 42,1072 kN
- $h_{\text{eq}}$  = 225,58 mm



b. Perhitungan beban tangga

- Beban mati ( $q_{DL}$ )

Beban mati total sebesar 7,464 kN/m

- Beban hidup ( $q_{LL}$ )

Beban hidup untuk tangga sebesar 4,79 kN/m.

- Beban terfaktor ( $q_u$ )

Berdasarkan SNI 1727:2020, kombinasi beban untuk desain kekuatan dihitung dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned}q_u &= 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL} \\ &= 1,2 (7,464) + 1,6 (4,79) \\ &= 16,621 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

c. Perhitungan penulangan tangga

- Momen Ultimit

Momen ultimit untuk tangga diambil sebesar  $0,8M_{\max}$ .

$$M_{ux} = 0,8 (57,1328) = 45,7062 \text{ kN.m}$$

- Rasio penulangan

Berdasarkan SNI 8900:2020, rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ ) sebesar 0,002, sedangkan rasio tulangan maksimum dihitung menggunakan interpolasi dari tabel 5.11.4.2. Kuat tekan beton sebesar 30 MPa dan kuat leleh tulangan baja D13 sebesar 420 MPa, maka:

$$\begin{aligned}\frac{\rho_{\max} - 0,014}{0,016 - 0,014} &= \frac{30 - 28}{32 - 28} \\ \rho_{\max} &= 0,015\end{aligned}$$

Perhitungan rasio penulangan yang dibutuhkan sebagai berikut:

Koefisien tahanan

$$d = 225,58 - 20 - \frac{13}{2} = 199,08 \text{ mm}$$

$\phi$  diasumsikan sebesar 0,9

$$\begin{aligned}k_{\text{tangga2}} &= \frac{M_{\max}}{\phi b d^2} \\ &= \frac{(45,7062) (10^6)}{(0,9) (1000) (199,08)^2} \\ &= 1,2814\end{aligned}$$

Rasio penulangan ( $\rho_{used}$ )

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f'c}} \right) \\ &= \frac{(0,85)(30)}{(420)} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2(1,2814)}{(0,85)(30)}} \right) \\ &= 0,0031\end{aligned}$$

Karena  $\rho$  yang didapat lebih besar dari  $\rho_{min}$  dan lebih kecil dari  $\rho_{max}$ , maka rasio penulangan yang digunakan sebesar 0,0031.

- Tulangan pokok

Luas tulangan pokok yang dibutuhkan ( $A_{req}$ ) dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned}A_{req} &= \rho_{used} \cdot b \cdot d \\ &= (0,0031)(1000)(199,08) \\ &= 623,45 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan D13, maka jarak antar tulangan (s) dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}s &= \frac{(0,25)\pi(13)^2(1000)}{623,45} \\ &= 212,899 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_{maks} &= 3h \text{ atau } 450 \text{ mm} \\ &= 3(225,58) \text{ atau } 450 \text{ mm} \\ &= 676,742 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan pokok D13-200.

- Tulangan susut

Digunakan D10, maka jarak antar tulangan (s) dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}s &= \frac{(0,25)\pi(10)^2(1000)}{(0,002)(1000)(225,58)} \\ &= 174,084 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_{maks} &= 5h \text{ atau } 450 \text{ mm} \\ &= 5(225,58) \text{ atau } 450 \text{ mm} \\ &= 1127,9 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan susut D10-150.

- Cek gaya geser

$$V_u = 42,107 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \\ &= (0,75) (0,17) (1) \sqrt{30} (1000) (199,08) \\ &= 139.027 \text{ N} \\ &= 139,027 \text{ kN} \end{aligned}$$

Karena  $V_u < \phi V_c$ , maka pelat tangga 2 aman terhadap gaya geser.

### 2.7.5 Penulangan Bordes 2

#### a. Data:

- Tebal bordes (h bordes) = 150 mm
- Lebar bordes (Bx bordes) = 1000 mm
- Panjang bordes (By bordes) = 1000 mm
- Berat jenis beton = 24 kN/m<sup>3</sup>
- $f'_c$  = 30 MPa
- Diameter tulangan pokok = 13 mm
- Diameter tulangan susut = 10 mm
- $f_y$  D13 = 420 MPa
- $f_y$  D10 = 280 MPa
- $\lambda$  untuk beton normal = 1
- selimut beton = 20 mm
- $M_{\max}$  = 27,3682 kN.m
- $V_{\max}$  = 69,5672 kN

#### b. Perhitungan beban bordes

- Beban mati ( $q_{DL}$ )

$$\text{Bordes} = 1 \times 0,15 \times 24 = 3,6 \text{ kN/m}$$

$$\text{Keramik} = 1 \times 0,03 \times 21 = 0,63 \text{ kN/m}$$

$$\text{Spesi} = 1 \times 0,02 \times 21 = 0,42 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban mati total} = 4,65 \text{ kN/m}$$

- Beban hidup ( $q_{LL}$ )

Beban hidup untuk bordes sebesar 4,79 kN/m.

- Beban terfaktor ( $q_u$ )

Berdasarkan SNI 1727:2020, kombinasi beban untuk desain kekuatan dihitung dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL} \\ &= 1,2 (4,65) + 1,6 (4,79) \\ &= 13,244 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

c. Perhitungan penulangan bordes

- Momen Ultimit

Momen ultimit untuk bordes diambil sebesar  $0,5M_{\max}$ .

$$M_{ux} = 0,5 (57,1328) = 28,5664 \text{ kN.m}$$

- Rasio penulangan

Berdasarkan SNI 8900:2020, rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ ) sebesar 0,002, sedangkan rasio tulangan maksimum dihitung menggunakan interpolasi dari tabel 5.11.4.2. Kuat tekan beton sebesar 30 MPa dan kuat leleh tulangan baja D13 sebesar 420 MPa, maka:

$$\frac{\rho_{\max} - 0,014}{0,016 - 0,014} = \frac{30 - 28}{32 - 28}$$

$$\rho_{\max} = 0,015$$

Perhitungan rasio penulangan yang dibutuhkan sebagai berikut:

Koefisien tahanan

$$d = 150 - 20 - \frac{13}{2} = 123,5 \text{ mm}$$

$\phi$  diasumsikan sebesar 0,9

$$\begin{aligned} k_{\text{bordes1}} &= \frac{M_{\max}}{\phi b d^2} \\ &= \frac{(28,5664) (10^6)}{(0,9) (1000) (123,5)^2} \\ &= 2,081 \end{aligned}$$

Rasio penulangan ( $\rho_{\text{used}}$ )

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \\ &= \frac{(0,85)(30)}{(420)} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2(2,081)}{(0,85) (30)}} \right) \\ &= 0,0052 \end{aligned}$$

Karena  $\rho$  yang didapat lebih besar dari  $\rho_{\min}$  dan lebih kecil dari  $\rho_{\max}$ , maka rasio penulangan yang digunakan sebesar 0,0052.

- Tulangan pokok

Luas tulangan pokok yang dibutuhkan ( $A_{\text{req}}$ ) dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_{\text{req}} &= \rho_{\text{used}} \cdot b \cdot d \\ &= (0,0052)(1000)(123,5) \\ &= 639,165 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan D13, maka jarak antar tulangan ( $s$ ) dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} s &= \frac{(0,25)\pi(13)^2(1000)}{639,165} \\ &= 207,665 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\text{maks}} &= 3h \text{ atau } 450 \text{ mm} \\ &= 3(150) \text{ atau } 450 \text{ mm} \\ &= 450 \text{ mm atau } 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan pokok D13-200

- Tulangan susut

Digunakan D10, maka jarak antar tulangan ( $s$ ) dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} s &= \frac{(0,25)\pi(10)^2(1000)}{(0,002)(1000)(150)} \\ &= 261,800 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} s_{\text{maks}} &= 5h \text{ atau } 450 \text{ mm} \\ &= 5(150) \text{ atau } 450 \text{ mm} \\ &= 750 \text{ mm atau } 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan susut D10-250

- Cek gaya geser

$$V_u = 42,1072 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= \phi 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \\ &= (0,75) (0,17) (1) \sqrt{30} (1000) (123,5) \\ &= 86.246 \text{ N} = 86,246 \text{ kN} \end{aligned}$$

Karena  $V_u < \phi V_c$ , maka pelat bordes 2 aman terhadap gaya geser.

## 2.8 Penulangan Balok

### 2.8.1 Perhitungan Tulangan Balok

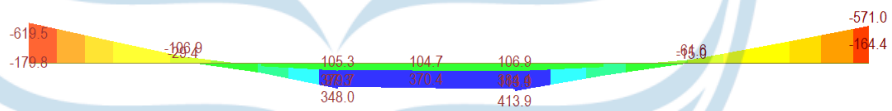
Contoh perhitungan untuk balok induk 1 (BI1)

a. Data:

- Lebar balok (B) = 400 mm
- Panjang balok (H) = 750 mm
- Berat jenis beton = 24 kN/m<sup>3</sup>
- $f'_c$  = 30 MPa
- Diameter tulangan pokok = 25 mm
- Diameter tulangan susut = 10 mm
- $f_y$  D25 = 420 MPa
- $f_y$  D10 = 280 Mpa
- $\lambda$  untuk beton normal = 1
- selimut beton = 40 mm

b. Momen

Hasil momen envelope balok induk 1 dari Midas Gen ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Momen Envelope Balok Induk 1 (400x750)

Berdasarkan hasil tersebut diperoleh momen daerah tumpuan dan lapangan sebagai berikut

- Daerah Tumpuan  
Momen negatif ( $Mu^-$ ) = 619,5 kN.m  
Momen positif ( $Mu^+$ ) = 0 kN.m
- Daerah Lapangan  
Momen negatif ( $Mu^-$ ) = 0 kN.m  
Momen positif ( $Mu^+$ ) = 413,9 kN.m
- Cek syarat momen  
 $Mu^+_{tump} \geq 0,5 Mu^-_{tump}$   
 $0 \geq (0,5)(619,5)$   
 $309,75 \text{ kN.m} \leq 309,75 \text{ kN.m}$

Maka, momen positif daerah tumpuan yang dipakai sebesar 309,75 kN.m.

$$Mu_{lap} \geq 0,25 Mu_{tump}$$

$$Mu_{lap} \geq (0,25)(619,5)$$

$$Mu_{lap} \geq 154,875 \text{ kN.m}$$

Maka, momen negatif daerah lapangan sebesar 154,875 kN.m.

c. Perhitungan tulangan longitudinal balok

Tulangan di daerah tumpuan ( $M_u^-$ )

- Momen nominal diasumsikan sebesar momen desain dengan penampang terkendali tarik ( $\phi = 0,9$ )

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu^-}{0,9} \\ &= \frac{619,5}{0,9} \\ &= 688,333 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- Nilai a dan c

$$d = 750 - 40 - 10 - \frac{25}{2} = 687,5 \text{ mm}$$

Nilai a diperoleh dari persamaan momen nominal

$$\begin{aligned} Mn &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \cdot d - \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a^2 \cdot b}{2} \\ \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot b}{2} a^2 - (0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot d)a + Mn &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= d - \sqrt{d^2 - \frac{2|M_{n,req}|}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}} \\ &= 687,5 - \sqrt{687,5^2 - \frac{2(688,333 \cdot 10^6)}{(0,85)(30)(400)}} \\ &= 106,390 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena  $f'_c > 28 \text{ MPa}$ , maka nilai  $\beta_1$  didapatkan melalui rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} \\ &= 0,85 - \frac{0,05(30 - 28)}{7} \\ &= 0,836 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{106,390}{0,836} \\
 &= 127,304 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Cek regangan tulangan

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= \frac{0,003(d-c)}{c} \\
 &= \frac{0,003(687,5-127,304)}{127,304} \\
 &= 0,0132
 \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut, dapat diperoleh kesimpulan:

$\epsilon_s \geq 0,005 \rightarrow$  penampang terkendali tarik ( $\phi = 0,9$ )

$\epsilon_s \geq 0,004 \rightarrow$  regangan minimum terpenuhi dan menggunakan tulangan tunggal

Tulangan sudah leleh ( $f_s = f_y$ )

- Tulangan yang dibutuhkan

Perhitungan luas tulangan menggunakan persamaan gaya tekan dan tarik  $C_c = T_s$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = A_{s,req} \cdot f_y$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,req} &= \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} \\
 &= \frac{(0,85)(30)(106,390)(400)}{420} \\
 &= 2583,755 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan (n) dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s,req} \cdot 4}{\pi(D_{tul})^2} \\
 &= \frac{(2583,755)(4)}{\pi(25)^2} \\
 &= 5,264 \text{ buah} \approx 6 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan longitudinal 6D25

- Kontrol kebutuhan luas tulangan

$$\begin{aligned}
 A_{s,use} &= 6 \cdot \frac{\pi(25)^2}{4} \\
 &= 2945,243 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 A_{s,\min 1} &= \frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{0,25\sqrt{30}}{420} (400)(687,5) \\
 &= 896,570 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,\min 2} &= \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{1,4}{420} (400)(687,5) \\
 &= 916,667 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,\max} &= \frac{0,36 \cdot \beta_1 \cdot f_c \cdot b \cdot d}{f_y} \\
 &= \frac{(0,36)(0,836)(30)(400)(687,5)}{420} \\
 &= 5909,694 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas tulangan yang digunakan lebih besar daripada luas tulangan minimum dan lebih kecil daripada luas tulangan maksimum, maka luas tulangan dapat digunakan.

- Cek spasi tulangan

Tulangan dirangkai dalam satu lapis

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \frac{b - 2 \cdot \text{selimut beton} - 2 \cdot D_{\text{senggang}} - n \cdot D_{\text{tul. longitudinal}}}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - 2(40) - 2(10) - 6(25)}{6 - 1} \\
 &= 30 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\min} = 25 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 f_s &= \frac{2}{3} f_y \\
 &= \frac{2}{3} (420) \\
 &= 280 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\max 1} &= 380 \cdot \frac{280}{f_s} - 2,5 \cdot c_c \\
 &= 380 \cdot \frac{280}{280} - (2,5)(40) \\
 &= 280 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\max 2} &= 300 \cdot \frac{280}{f_s} \\
 &= 300 \cdot \frac{280}{280} \\
 &= 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jarak spasi tulangan lebih besar dari jarak spasi minimum dan lebih kecil dari jarak spasi maksimum, maka tulangan dapat digunakan.

- Cek kapasitas lentur (momen nominal) balok

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_{s, \text{use}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \\
 &= \frac{(2945,243)(420)}{(0,85)(30)(400)} \\
 &= 121,275 \text{ mm} \\
 c &= \frac{121,275}{0,836} \\
 &= 145,115 \text{ mm} \\
 \epsilon_{s2} &= \frac{0,003(d-c)}{c} \\
 &= \frac{0,003(687,5-145,115)}{145,115} \\
 &= 0,011 \geq 0,005 \rightarrow \text{terkendali tarik } (\phi = 0,9) \\
 M_n &= 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= (0,85)(30)(121,275)(400) \left( 687,5 - \frac{121,275}{2} \right) \\
 &= 775430409 \text{ N.mm} \\
 &= 775,430 \text{ kN.m} \\
 \phi M_n &= (0,9)(775,430) \\
 &= 697,887 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen nominal lebih besar daripada momen ultimit ( $M_u^- = 619,5$  kN.m), maka balok induk 1 dapat menahan momen ultimit.

#### Tulangan di daerah tumpuan ( $M_u^+$ )

- Momen nominal diasumsikan sebesar momen desain dengan penampang terkendali tarik ( $\phi = 0,9$ )

$$\begin{aligned}
 M_{n, \text{req}} &= \frac{M_u^+}{0,9} \\
 &= \frac{309,75}{0,9} \\
 &= 344,167 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

- Nilai a dan c

$$d = 750 - 40 - 10 - \frac{25}{2} = 687,5 \text{ mm}$$

Nilai a diperoleh dari persamaan momen nominal

$$\begin{aligned} a &= d - \sqrt{d^2 - \frac{2|M_{n,req}|}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}} \\ &= 687,5 - \sqrt{(687,5)^2 - \frac{2(344,167 \cdot 10^6)}{(0,85)(30)(400)}} \\ &= 50,968 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,836$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{50,968}{0,836} \\ &= 60,988 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Cek regangan tulangan

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{0,003(d-c)}{c} \\ &= \frac{0,003(687,5-60,988)}{60,988} \\ &= 0,0308 \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut, dapat diperoleh kesimpulan:

$$\epsilon_s \geq 0,005 \rightarrow \text{penampang terkendali tarik } (\phi = 0,9)$$

$\epsilon_s \geq 0,004 \rightarrow$  regangan minimum terpenuhi dan menggunakan tulangan tunggal

Tulangan sudah leleh ( $f_s = f_y$ )

- Tulangan yang dibutuhkan

Perhitungan luas tulangan menggunakan persamaan gaya tekan dan tarik

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = A_{s,req} \cdot f_y$$

$$\begin{aligned} A_{s,req} &= \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} \\ &= \frac{(0,85)(30)(50,968)(400)}{420} \\ &= 1237,802 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan (n) dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s,\text{req}} \cdot 4}{\pi(D_{\text{tul}})^2} \\ &= \frac{(1237,802) (4)}{\pi(25)^2} \\ &= 2,522 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah} \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan longitudinal 3D25

- Kontrol kebutuhan luas tulangan

$$\begin{aligned} A_{s,\text{use}} &= 3 \cdot \frac{\pi(25)^2}{4} \\ &= 1472,622 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s,\text{min1}} &= \frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{0,25\sqrt{30}}{420} (400)(687,5) \\ &= 896,570 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s,\text{min2}} &= \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1,4}{420} (400)(687,5) \\ &= 916,667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s,\text{max}} &= \frac{0,36 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot d}{f_y} \\ &= \frac{(0,36)(0,836)(30)(400)(687,5)}{420} \\ &= 5909,694 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan yang digunakan lebih besar daripada luas tulangan minimum dan lebih kecil daripada luas tulangan maksimum, maka luas tulangan dapat digunakan.

- Cek spasi tulangan

Tulangan dirangkai dalam satu lapis

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{b - 2 \cdot \text{selimut beton} - 2 \cdot D_{\text{senggang}} - n \cdot D_{\text{tul,longitudinal}}}{n-1} \\ &= \frac{400 - 2(40) - 2(10) - 3(25)}{3-1} \\ &= 112,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{min}} = 25 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 f_s &= \frac{2}{3} f_y \\
 &= \frac{2}{3} (420) \\
 &= 280 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\max 1} &= 380 \cdot \frac{280}{f_s} - 2,5 \cdot c_c \\
 &= 380 \cdot \frac{280}{280} - (2,5)(40) \\
 &= 280 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\max 2} &= 300 \cdot \frac{280}{f_s} \\
 &= 300 \cdot \frac{280}{280} \\
 &= 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jarak spasi tulangan lebih besar dari jarak spasi minimum dan lebih kecil dari jarak spasi maksimum, maka tulangan dapat digunakan.

- Cek kapasitas lentur (momen nominal) balok

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_{s, \text{use}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \\
 &= \frac{(1472,622)(420)}{(0,85)(30)(400)} \\
 &= 60,637 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{60,637}{0,836} \\
 &= 72,558 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_{s2} &= \frac{0,003(d-c)}{c} \\
 &= \frac{0,003(639-72,558)}{72,558} \\
 &= 0,025 \geq 0,005 \rightarrow \text{terkendali tarik } (\phi = 0,9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 0,85 \cdot f'c \cdot a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= (0,85)(30)(60,637)(400) \left( 687,5 - \frac{60,637}{2} \right) \\
 &= 406467339 \text{ N.mm} \\
 &= 406,467 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= (0,9)(406,467) \\
 &= 365,821 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen nominal lebih besar daripada momen ultimit ( $M_u^+ = 309,75$  kN.m), maka balok induk 1 dapat menahan momen ultimit.

Tulangan di daerah lapangan ( $M_u^-$ )

- Momen nominal diasumsikan sebesar momen desain dengan penampang terkendali tarik ( $\phi = 0,9$ )

$$\begin{aligned} M_{n.req} &= \frac{M_u^+}{0,9} \\ &= \frac{154,875}{0,9} \\ &= 172,083 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- Nilai a dan c

$$d = 750 - 40 - 10 - \frac{22}{2} = 687,5 \text{ mm}$$

Nilai a diperoleh dari persamaan momen nominal

$$\begin{aligned} a &= d - \sqrt{d^2 - \frac{2|M_{n.req}|}{0,85.f'_c.b}} \\ &= 687,5 - \sqrt{687,5^2 - \frac{2(172,083 \cdot 10^6)}{(0,85)(30)(400)}} \\ &= 24,994 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,836$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{24,994}{0,836} \\ &= 29,907 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Cek regangan tulangan

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{0,003(d-c)}{c} \\ &= \frac{0,003(639-29,907)}{29,907} \\ &= 0,066 \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut, dapat diperoleh kesimpulan:

$\epsilon_s \geq 0,005 \rightarrow$  penampang terkendali tarik ( $\phi = 0,9$ )

$\epsilon_s \geq 0,004 \rightarrow$  regangan minimum terpenuhi dan menggunakan tulangan tunggal

Tulangan sudah leleh ( $f_s = f_y$ )

- Tulangan yang dibutuhkan

Perhitungan luas tulangan menggunakan persamaan gaya tekan dan tarik

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = A_{s,req} \cdot f_y$$

$$\begin{aligned} A_{s,req} &= \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} \\ &= \frac{(0,85)(30)(24,994)(400)}{420} \\ &= 606,993 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan (n) dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s,req} \cdot 4}{\pi(D_{tul})^2} \\ &= \frac{(606,993)(4)}{\pi(25)^2} \\ &= 1,237 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan longitudinal 2D25

- Kontrol kebutuhan luas tulangan

$$\begin{aligned} A_{s,use} &= 2 \cdot \frac{\pi(25)^2}{4} \\ &= 981,748 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s,min1} &= \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{0,25\sqrt{30}}{420} (400)(687,5) \\ &= 896,570 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s,min2} &= \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1,4}{420} (400)(687,5) \\ &= 916,667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s,max} &= \frac{0,36 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot b \cdot d}{f_y} \\ &= \frac{(0,36)(0,836)(30)(400)(687,5)}{420} \\ &= 5909,694 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan yang digunakan lebih besar daripada luas tulangan minimum dan lebih kecil daripada luas tulangan maksimum, maka luas tulangan dapat digunakan.

- Cek spasi tulangan

Tulangan dirangkai dalam satu lapis

$$S_1 = \frac{b - 2 \cdot \text{selimut beton} - 2 \cdot D_{\text{sengkang}} - n \cdot D_{\text{tul. longitudinal}}}{n - 1}$$

$$= \frac{400 - 2(40) - 2(10) - 2(25)}{2 - 1}$$

$$= 250 \text{ mm}$$

$$S_{\text{min}} = 25 \text{ mm}$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y$$

$$= \frac{2}{3} (420)$$

$$= 280 \text{ MPa}$$

$$S_{\text{max1}} = 380 \cdot \frac{280}{f_s} - 2,5 \cdot c_c$$

$$= 380 \cdot \frac{280}{280} - (2,5)(40)$$

$$= 280 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max2}} = 300 \cdot \frac{280}{f_s}$$

$$= 300 \cdot \frac{280}{280}$$

$$= 300 \text{ mm}$$

Jarak spasi tulangan lebih besar dari jarak spasi minimum dan lebih kecil dari jarak spasi maksimum, maka tulangan dapat digunakan.

- Cek kapasitas lentur (momen nominal) balok

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

$$= \frac{(981,748)(420)}{(0,85)(30)(400)}$$

$$= 40,425 \text{ mm}$$

$$c = \frac{40,425}{0,836}$$

$$= 48,372 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned}\epsilon_{s2} &= \frac{0,003(d-c)}{c} \\ &= \frac{0,003(687,5-48,372)}{48,372} \\ &= 0,040 \geq 0,005 \rightarrow \text{terkendali tarik } (\phi = 0,9)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= (0,85)(30)(40,425)(400) \left( 687,5 - \frac{40,425}{2} \right) \\ &= 275145367 \text{ N.mm} \\ &= 275,145 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= (0,9)(275,145) \\ &= 247,631 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Momen nominal lebih besar daripada momen ultimit ( $M_u^- = 154,875 \text{ kN.m}$ ), maka balok induk 1 dapat menahan momen ultimit.

#### Tulangan di daerah lapangan ( $M_u^+$ )

- Momen nominal diasumsikan sebesar momen desain dengan penampang terkendali tarik ( $\phi = 0,9$ )

$$\begin{aligned}M_{n.req} &= \frac{M_u^+}{0,9} \\ &= \frac{413,9}{0,9} \\ &= 459,889 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

- Nilai a dan c

$$d = 750 - 40 - 10 - \frac{25}{2} = 687,5 \text{ mm}$$

Nilai a diperoleh dari persamaan momen nominal

$$\begin{aligned}a &= d - \sqrt{d^2 - \frac{2|M_{n.req}|}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}} \\ &= 687,5 - \sqrt{687,5^2 - \frac{2(459,889 \cdot 10^6)}{(0,85)(30)(400)}} \\ &= 69,049 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,836$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{69,049}{0,836} \\
 &= 82,622 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Cek regangan tulangan

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= \frac{0,003(d-c)}{c} \\
 &= \frac{0,003(639-82,622)}{82,622} \\
 &= 0,0220
 \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut, dapat diperoleh kesimpulan:

$\epsilon_s \geq 0,005 \rightarrow$  penampang terkendali tarik ( $\phi = 0,9$ )

$\epsilon_s \geq 0,004 \rightarrow$  regangan minimum terpenuhi dan menggunakan tulangan tunggal

Tulangan sudah leleh ( $f_s = f_y$ )

- Tulangan yang dibutuhkan

Perhitungan luas tulangan menggunakan persamaan gaya tekan dan tarik

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = A_{s,req} \cdot f_y$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,req} &= \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} \\
 &= \frac{(0,85)(30)(69,049)(400)}{420} \\
 &= 1676,898 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan (n) dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s,req} \cdot 4}{\pi(D_{tul})^2} \\
 &= \frac{(1676,898)(4)}{\pi(25)^2} \\
 &= 3,416 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan longitudinal 4D25

- Kontrol kebutuhan luas tulangan

$$\begin{aligned}
 A_{s,use} &= 4 \cdot \frac{\pi(25)^2}{4} \\
 &= 1963,495 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,\min 1} &= \frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{0,25\sqrt{30}}{420} (400)(687,5) \\
 &= 896,570 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,\min 2} &= \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{1,4}{420} (400)(687,5) \\
 &= 916,667 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,\max} &= \frac{0,36 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot d}{f_y} \\
 &= \frac{(0,36)(0,836)(30)(400)(687,5)}{420} \\
 &= 5909,694 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas tulangan yang digunakan lebih besar daripada luas tulangan minimum dan lebih kecil daripada luas tulangan maksimum, maka luas tulangan dapat digunakan.

- Cek spasi tulangan

Tulangan dirangkai dalam satu lapis

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \frac{b - 2 \cdot \text{selimut beton} - 2 \cdot D_{\text{senggang}} - n \cdot D_{\text{tul. longitudinal}}}{n - 1} \\
 &= \frac{400 - 2(40) - 2(10) - 4(25)}{4 - 1} \\
 &= 66,667 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\min} = 25 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 f_s &= \frac{2}{3} f_y \\
 &= \frac{2}{3} (420) \\
 &= 280 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\max 1} &= 380 \cdot \frac{280}{f_s} - 2,5 \cdot c_c \\
 &= 380 \cdot \frac{280}{280} - (2,5)(40) \\
 &= 280 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\max 2} &= 300 \cdot \frac{280}{f_s} \\
 &= 300 \cdot \frac{280}{280} \\
 &= 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jarak spasi tulangan lebih besar dari jarak spasi minimum dan lebih kecil dari jarak spasi maksimum, maka tulangan dapat digunakan.

- Cek kapasitas lentur (momen nominal) balok

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_{s, \text{use}} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\
 &= \frac{(1963,495)(420)}{(0,85)(30)(400)} \\
 &= 80,850 \text{ mm} \\
 c &= \frac{80,850}{0,836} \\
 &= 96,743 \text{ mm} \\
 \epsilon_{s2} &= \frac{0,003(d-c)}{c} \\
 &= \frac{0,003(639-96,743)}{96,743} \\
 &= 0,018 \geq 0,005 \rightarrow \text{terkendali tarik } (\phi = 0,9) \\
 M_n &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= (0,85)(30)(80,850)(400) \left( 687,5 - \frac{80,850}{2} \right) \\
 &= 533622170 \text{ N.mm} \\
 &= 533,622 \text{ kN.m} \\
 \phi M_n &= (0,9)(533,622) \\
 &= 480,260 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen nominal lebih besar daripada momen ultimit ( $M_u^+ = 413,9$  kN.m), maka balok induk 1 dapat menahan momen ultimit.

- d. Perhitungan tulangan geser balok

Rekap penulangan longitudinal balok 1 ditunjukkan pada Tabel 2.12

Tabel 2.12 Rekap Momen Ultimit dan Tulangan Longitudinal Balok Induk 1

Lokasi	Mu (kN.m)	Tulangan
Tumpuan (-)	619,5	6D25
Tumpuan (+)	309,75	3D25
Lapangan (-)	154,875	2D25
Lapangan (+)	413,9	4D25

- Momen Probabilitas

Tumpuan kiri (-)

$$A_s = 6 \cdot \frac{\pi(25)^2}{4}$$

$$= 2945,24 \text{ mm}^2$$

$$a_{pr} = \frac{1,25 \cdot f_y \cdot A_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$= \frac{(1,25)(420)(2945,24)}{(0,85)(30)(400)}$$

$$= 151,59 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = 1,25 \cdot f_y \cdot A_s \left( d - \frac{a_{pr}}{2} \right)$$

$$= (1,25)(420)(2945,24) \left( 687,5 - \frac{151,59}{2} \right)$$

$$= 945847842 \text{ N.mm}$$

$$= 945,85 \text{ kN.m}$$

Tumpuan kiri (+)

$$A_s = 3 \cdot \frac{\pi(25)^2}{4}$$

$$= 1472,62 \text{ mm}^2$$

$$a_{pr} = \frac{(1,25)(420)(1472,62)}{(0,85)(30)(400)}$$

$$= 75,80 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = (1,25)(420)(1472,62) \left( 687,5 - \frac{75,80}{2} \right)$$

$$= 502224132 \text{ N.mm}$$

$$= 502,22 \text{ kN.m}$$

Tumpuan kanan (-)

Perhitungan momen probabilitas tumpuan kanan (-) sama dengan tumpuan kiri (-)

$$A_s = 2945,24 \text{ mm}^2$$

$$a_{pr} = 151,59 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = 945,85 \text{ kN.m}$$

### Tumpuan kanan (+)

Perhitungan momen probabilitas tumpuan kanan (+) sama dengan tumpuan kiri (+)

$$A_s = 1472,62 \text{ mm}^2$$

$$a_{pr} = 75,80 \text{ mm}$$

$$M_{pr} = 502,22 \text{ kN.m}$$

- Gaya Geser Desain

Dari hasil output Midas Gen, didapatkan gaya gravitasi dan gaya geser maksimum sebagai berikut:

$$V_{G.kiri} = 300,3 \text{ kN}$$

$$V_{G.kanan} = 263,2 \text{ kN}$$

Gaya geser desain didapatkan dengan rumus sebagai berikut:

Diasumsikan nomor 1 merupakan tumpuan kiri dan nomor 2 merupakan tumpuan kanan

$$V_{E.kiri} = \frac{M_{pr1}(-) + M_{pr2}(+)}{l_n}$$

$$V_{E.kanan} = \frac{M_{pr1}(+) + M_{pr2}(-)}{l_n}$$

$$V_{e1.gempa.kiri} = V_{G1} - V_{E1}$$

$$V_{e2.gempa.kiri} = V_{G2} + V_{E2}$$

$$V_{e1.gempa.kanan} = V_{G1} + V_{E1}$$

$$V_{e2.gempa.kanan} = V_{G2} - V_{E2}$$

Hasil perhitungan gaya geser desain dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 2.13 Gaya Geser Desain

Gaya (kN) dan Momen (kN.m)	Tumpuan kiri (1)	Tumpuan kanan (2)
M <sub>pr</sub> (-)	945,85	945,85
M <sub>pr</sub> (+)	502,22	502,22
V <sub>E</sub>	164,554	164,554
V <sub>G</sub>	300,3	263,2
V <sub>e.gempa.kiri</sub>	135,746	427,754
V <sub>e.gempa.kanan</sub>	464,854	98,646

$$V_u = 464,854 \text{ kN}$$

$$0,5V_u = 0,5(464,854)$$

$$= 232,427 \text{ kN}$$

$$V_e = 464,854 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847: 2019 ps 18.6.5.2, tulangan transversal harus di desain untuk menahan geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$  apabila terpenuhi syarat:

$$V_e > 0,5 V_u$$

$$464,854 > 232,427$$

Maka,  $V_c = 0 \text{ kN}$

- **Kebutuhan Tulangan Geser**

Daerah Tumpuan

$$d = 687,5 \text{ mm}$$

Digunakan 3D10

$$A_v = 3 \cdot \frac{\pi(10)^2}{4}$$
$$= 235,62 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{\phi A_v f_{yt} d}{V_e}$$
$$= \frac{(0,75)(235,62)(280)(687,5)}{464854}$$
$$= 73,18 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm}$$

Cek jarak maksimum tulangan (SNI 2847: 2019 ps 18.6.4.4)

Jarak tulangan geser tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

- $\frac{d}{4} = \frac{687,5}{4} = 171,875 \text{ mm}$

- $6D_{tul.longitudinal} = 6(25) = 150 \text{ mm}$

- $150 \text{ mm}$

Karena jarak tulangan yang dipakai ( $s = 50 \text{ mm}$ ) lebih kecil daripada jarak maksimum tulangan, maka tulangan geser 3D10-50 dapat digunakan.

### Daerah Lapangan

$$d = 687,5 \text{ mm}$$

Nilai  $V_e$  di lapangan diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$V_{e.gki.max} = 427,754 \text{ kN}$$

$$V_{e.gki.min} = 135,746 \text{ kN}$$

$$V_{e.gka.max} = 464,854 \text{ kN}$$

$$V_{e.gka.min} = 98,646 \text{ kN}$$

$$l_n = 9500 - 350 - 350 = 8800 \text{ mm} =$$

$$8,8 \text{ m}$$

$$h = 750 \text{ mm} = 0,75 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} V_{e.lap.gki} &= \frac{l_n - 2h}{l_n} (V_{e.gki.max} - V_{e.gki.min}) + V_{e.gki.min} \\ &= \frac{8,8 - 2(0,7)}{8,8} (427,754 - 135,746) + 135,746 \\ &= 377,980 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{e.lap.gka} &= \frac{l_n - 2h}{l_n} (V_{e.gka.max} - V_{e.gka.min}) + V_{e.gka.min} \\ &= \frac{8,8 - 2(0,7)}{8,8} (464,854 - 98,646) + 98,646 \\ &= 402,432 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{e.lap} = 402,432 \text{ kN}$$

$$= 402432 \text{ N}$$

Cek kebutuhan tulangan geser

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \\ &= (0,17) (1) \sqrt{30} (400) (687,5) \\ &= 251039,506 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= (0,75)(251039,506) \\ &= 188279,63 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena  $V_{e.lap} > \phi V_c$ , maka tulangan geser dibutuhkan.

Cek syarat batasan dimensi

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_{e.lap}}{\phi} - V_c \\ &= \frac{402432}{0,75} - 251039,506 \\ &= 285536,41 \text{ N} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 V_{s,max} &= 0,66\sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \\
 &= (0,66)\sqrt{30}(400)(687,5) \\
 &= 994116,44 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena  $V_s \leq V_{s,max}$ , maka syarat batasan dimensi terpenuhi

Kebutuhan tulangan geser

Digunakan 2D10

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \cdot \frac{\pi(10)^2}{4} \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2 \\
 s &= \frac{\phi A_v f_{yt} d}{V_s} \\
 &= \frac{(0,75)(157,08)(280)(687,5)}{230355,89} \\
 &= 105,90 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek jarak maksimum tulangan

$$\begin{aligned}
 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d &= 0,33 \sqrt{30} (400)(687,5) \\
 &= 497058,2209 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Karena  $V_s \leq 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$ , maka jarak maksimum tulangan dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \circ \frac{d}{2} &= \frac{687,5}{2} = 343,75 \text{ mm} \\
 \circ 600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jarak tulangan yang digunakan ( $s = 100 \text{ mm}$ ) lebih kecil daripada jarak maksimum tulangan sehingga digunakan tulangan geser 2D10-100.

e. Perhitungan tulangan torsi balok

$$V_u = 300,3 \text{ kN}$$

$$T_u = 28,8 \text{ kN.m}$$

• Cek Keperluan

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b \cdot h \\
 &= (400)(750) \\
 &= 300000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\
 &= 2 \times (400 + 750) \\
 &= 2300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned}
 \phi T_{th} &= (0,75) \cdot 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= (0,75)(0,083)(1)(\sqrt{30}) \left( \frac{(300000)^2}{2300} \right) \\
 &= 13341807,080 \text{ N.mm} \\
 &= 13,342 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Karena nilai  $\phi T_{th} < T_u$ , maka torsi tidak boleh diabaikan.

- Parameter Penampang Balok

$$\begin{aligned}
 x_1 &= b - 2 \times \left( C_c + \frac{d_{tul \text{ geser}}}{2} \right) \\
 &= 400 - 2 \times \left( 40 + \frac{10}{2} \right) \\
 &= 310 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_1 &= b - 2 \times \left( C_c + \frac{d_{tul \text{ geser}}}{2} \right) \\
 &= 750 - 2 \times \left( 40 + \frac{10}{2} \right) \\
 &= 660 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= x_1 \cdot y_1 \\
 &= (310)(660) \\
 &= 204600 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_o &= 0,85 A_{oh} \\
 &= (0,85)(204600) \\
 &= 173910 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 (x_1 + y_1) \\
 &= 2 \times (310 + 660) \\
 &= 1940 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Batasan Dimensi Penampang

$$d = 750 - 40 - 10 - \frac{25}{2} = 687,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \\ &= (0,17) (1) \sqrt{30} (400) (687,5) \\ &= 256060,296 \text{ N} \\ &= 256,060 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d}\right) + 0,66 \sqrt{f'_c}$$

$$\sqrt{\left(\frac{300,3}{400(687,5)}\right)^2 + \left(\frac{(28,8)(1940)}{1,7(204600)^2}\right)^2} \leq 0,75 \left(\frac{256,060}{400(687,5)}\right) + 0,66 \sqrt{30}$$

$$1,54 \text{ N/mm}^2 \leq 3,41 \text{ N/mm}^2$$

Perhitungan memenuhi syarat → OK

- Kebutuhan Tulangan Torsi Transversal

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= \frac{28,8 \times 10^6}{0,75} \\ &= 38400000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Diasumsikan  $\theta = 45^\circ$

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yt}}{s} \cot \theta$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \cdot A_o \cdot f_{yt} \cdot \cot \theta} \\ &= \frac{38400000}{(2)(173910)(280)(\cot 45^\circ)} \end{aligned}$$

$$= 0,394 \text{ mm}^2 / \text{mm} \text{ untuk 1 kaki sengkang}$$

- Kebutuhan Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_u &= 300,3 \text{ kN} \\ 0,5 \phi V_c &= (0,5)(0,75)(256,060) \\ &= 96,023 \text{ kN} \end{aligned}$$

Karena nilai  $V_u > 0,5 \phi V_c$ , maka tulangan geser diperlukan.

$$\begin{aligned} \phi V_s &= V_u - \phi V_c \\ &= 300,3 - (0,75)(256,060) \\ &= 108,255 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{\phi V_s}{\phi} \\
 &= \frac{108,255}{0,75} \\
 &= 144,340 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt}d} \\
 &= \frac{144,340 \times 10^3}{(280)(687,5)} \\
 &= 0,750 \text{ mm}^2 / \text{mm} \text{ untuk 2 kaki sengkang}
 \end{aligned}$$

- Kebutuhan Total Sengkang

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{A_{sk}}{s}\right)_{req} &= 2\frac{A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \\
 &= (2)(0,394) + (0,750) \\
 &= 1,538 \text{ mm}^2 / \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sk,use} &= \frac{\pi(D_{tul geser})^2}{4} \\
 &= \frac{\pi(10)^2}{4} \\
 &= 78,540 \text{ mm}^2 \text{ untuk 1 kaki Sengkang}
 \end{aligned}$$

Untuk 2 kaki sengkang

$$\left(\frac{A_{sk}}{s}\right)_{req} \leq \left(\frac{A_{sk}}{s}\right)_{use}$$

Ditetapkan sengkang d10 ( $A_{sk,use} = 78,540 \text{ mm}^2$  untuk 1 kaki sengkang)

$$\begin{aligned}
 1,538 \leq \left(\frac{A_{sk}}{s}\right)_{use} &\rightarrow s_{use} = \frac{2(78,540)}{1,538} \\
 &= 102,106 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Spasi maksimum} = \frac{P_h}{8} = \frac{1940}{8} = 242,5 \text{ mm}$$

Digunakan  $s = 100 \text{ mm}$

Luas minimum sengkang:

$$A_{v,min} = 0,062 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_{yt}} \geq \frac{0,35b_w \cdot s}{f_{yt}}$$

$$\begin{aligned}
 A_v + 2A_t &= 0,062\sqrt{30} \frac{(400)(100)}{280} \\
 &= 48,513 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$0,35 \frac{b_w \cdot s}{f_y} = 0,35 \frac{(400)(100)}{280}$$

$$= 50 \text{ mm}^2$$

$$A_v + 2A_t \leq 50 \rightarrow \text{OK}$$

Digunakan  $A_{sk,min} = 50 \text{ mm}^2$

$$A_{sk,use} = (2)(78,540)$$

$$= 157,080 \text{ mm}^2 \geq A_{sk,use} \rightarrow \text{OK}$$

- Tulangan Torsi Longitudinal Tambahan

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y} \cdot \cot^2 \theta$$

$$= (0,394)(1940) \left( \frac{280}{420} \right) \times \cot^2 45^\circ$$

$$= 509,952 \text{ mm}^2$$

$$A_{l,min} = \frac{0,42 \cdot \sqrt{f'c} \cdot A_{cp}}{f_y} - \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$= \frac{(0,42)\sqrt{30}(300000)}{420} - (0,394)(1940) \left( \frac{280}{420} \right)$$

$$= 1133,216 \text{ mm}^2$$

Karena nilai  $A_l \leq A_{l,min}$ , maka digunakan  $A_l = 1133,216 \text{ mm}^2$ .

Tulangan torsi longitudinal tambahan disebar pada bagian atas balok, bagian bawah, dan di sisi-sisi samping balok. Diasumsikan sebagai berikut:

- Seperempat di sisi atas

$$= \frac{1133,216}{4} = 283,304 \text{ mm}^2$$

Digunakan 2D25 dengan  $A_s = 981,748 \text{ mm}^2$

- Seperempat menambahkan tulangan bawah

$$= \frac{1133,216}{4} + 2583,755 = 7194,451 \text{ mm}^2$$

Digunakan 6D25 dengan  $A_s = 2945,243 \text{ mm}^2$

- Setengah di sisi samping

$$= \frac{1133,216}{2} = 636,893 \text{ mm}^2$$

Digunakan 6D13 dengan  $A_s = 796,394 \text{ mm}^2$

### 2.8.2 Rekap Tulangan Balok

Berdasarkan perhitungan tulangan balok seperti pada 2.8.1, maka didapatkan tulangan untuk setiap jenis balok seperti pada Tabel 2.14.

Tabel 2.14 Rekap Tulangan Longitudinal, Transversal dan Torsi Balok

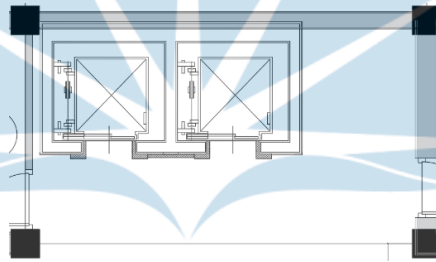
Jenis Balok	Letak	Tulangan Longitudinal	Tulangan Transversal	Tulangan Torsi
BI 1 (400 x 750)	Tumpuan (-)	6D25	3D10-50	6D13
	Tumpuan (+)	3D25		
	Lapangan (-)	2D25	2D10-100	6D13
	Lapangan (+)	4D25		
BI 2 (400 x 650)	Tumpuan (-)	10D25	4D10-50	6D13
	Tumpuan (+)	5D25		
	Lapangan (-)	2D25	3D10-100	6D13
	Lapangan (+)	3D25		
BA 1 (300 x 600)	Tumpuan (-)	2D25	2D10-100	-
	Tumpuan (+)	2D25		
	Lapangan (-)	2D25	2D10-200	-
	Lapangan (+)	2D25		
BA 2 (250 x 450)	Tumpuan (-)	2D25	2D10-100	-
	Tumpuan (+)	2D25		
	Lapangan (-)	2D25	2D10-150	-
	Lapangan (+)	2D25		
BA 3 (200 x 350)	Tumpuan (-)	2D25	2D10-150	-
	Tumpuan (+)	2D25		
	Lapangan (-)	2D25	2D10-200	-
	Lapangan (+)	2D25		

## 2.9 Perencanaan Lift

Pada Gedung *Co-Working Space* ini direncanakan 2 buah lift dengan kapasitas angkut 6 orang untuk masing-masing lift dengan data perencanaan sebagai berikut:

### Beban elevator

- Tipe lift : Hyundai
- Kapasitas : 6 orang atau 450 kg
- Kecepatan : 1 m/s<sup>2</sup>
- Lebar pintu : 800 mm
- Dimensi sangkar (Car Size)
- Car wide (CW) : 1400 mm
  - Car depth (CB) : 850 mm
- Dimensi ruang luncur (Hoistway Size)
- Hoistway width (HW): 3700 mm
  - Hoistway depth (HD) : 1430 mm

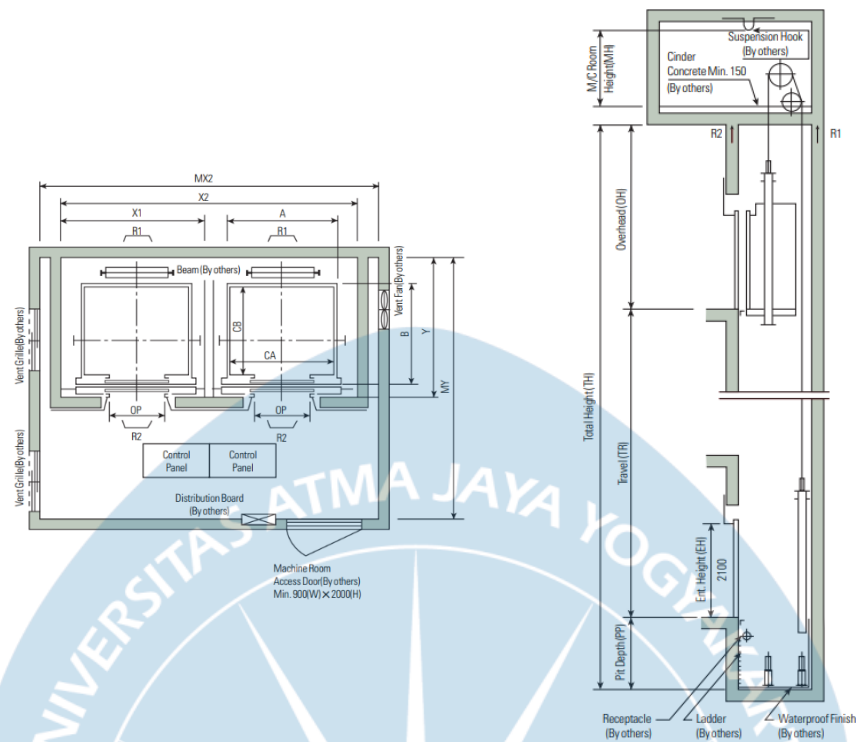


Gambar 2.18 Sketsa Hoistway

Perhitungan balok penggantung lift dengan kapasitas angkut 6 orang menggunakan spesifikasi berikut:

Speed (m/sec)	Capacity		Clear Opening	Car			Hoistway				M/C Room				M/C Room Reaction (kg)		Pit Reaction (kg)	
	Persons	kg		Internal	External	1Car	2Cars	3Cars	Depth	1Car	2Cars	3Cars	Depth	R1	R2	R3	R4	
	OP	CA × CB	A × B	X1	X2	X3	Y	MX1	MX2	MX3	MY							
1	6	450	800	1400 × 850	1460 × 1005	1800	3700	5600	1430	2000	4000	6000	3200	3600	2000	5200	4300	
	8	550	800	1400 × 1030	1460 × 1185	1800	3700	5600	1610	2000	4000	6000	3400	4050	2250	5800	4700	
	9	600	800	1400 × 1130	1460 × 1285	1800	3700	5600	1710	2000	4000	6000	3500	4100	2450	6100	4900	
	10	700	800	1400 × 1250	1460 × 1405	1800	3700	5600	1830	2000	4000	6000	3600	4200	2700	6600	5200	
	11	750	800	1400 × 1350	1460 × 1505	1800	3700	5600	1930	2000	4000	6000	3700	4550	2800	6900	5400	
1.5	13	900	900	1600 × 1350	1660 × 1505	2050	4200	6350	1980	2300	4400	6800	3750	5100	3750	7900	6100	
	15	1000	900	1600 × 1500	1660 × 1655	2050	4200	6350	2130	2300	4400	6800	3850	5450	4300	8400	6400	
1.75	17	1150	1000	1800 × 1500	1900 × 1670	2350	4800	7250	2180	2600	4900	7500	3900	6600	5100	10800	8500	
			1100	2000 × 1350	2100 × 1520	2550	5200	7850	2030	2800	5250	8300	3800					
	20	1350	1000	1800 × 1700	1900 × 1870	2350	4800	7250	2380	2600	4900	7500	4200	7800	6000	11800	9100	
			1100	2000 × 1500	2100 × 1670	2550	5200	7850	2180	2800	5250	8300	4000					
24	1600	1100	2000 × 1750	2100 × 1920	2550	5200	7850	2430	2900	5400	8300	4300	8500	6800	13100	9900		
			1100	2150 × 1600	2250 × 1770	2700	5500	8300	2280	3000	5650	8700	4200					

Gambar 2.19 Spesifikasi Lift Hyundai Hyundai



Gambar 2.20 Sketsa Spesifikasi Lift Hyundai

Berdasarkan spesifikasi lift di atas, didapatkan reaksi beban *counter weight* dan beban ruang lift sebagai berikut:

$$R1 = 3600 \text{ kg}$$

$$R2 = 2000 \text{ kg}$$

### Pembebanan Lift

Digunakan dimensi balok lift 200 x 350 mm

Beban Mati

- Beban terpusat R1 = 3600 kg = 35,3 kN

- Beban terpusat R2 = 2000 kg = 19,6 kN

- Beban hook = 5600 kg = 54,91 kN

- Beban Hidup = 450 kg = 4,413 kN



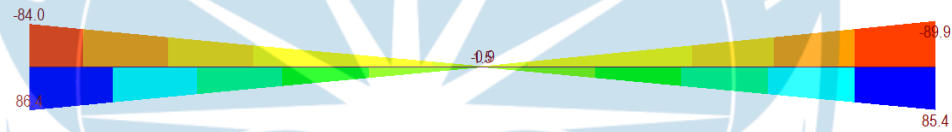
### Kebutuhan tulangan balok lift

a. Data:

- Lebar balok (B) = 200 mm
- Panjang balok (H) = 350 mm
- Berat jenis beton = 24 kN
- $f'_c$  = 30 MPa
- Diameter tulangan pokok = 25 mm
- Diameter tulangan susut = 10 mm
- $f_y$  D25 = 420 MPa
- $f_y$  D10 = 280 MPa
- $\lambda$  untuk beton normal = 1
- Selimut beton = 40 mm

b. Momen

Hasil momen balok lift dari Midas Gen ditunjukkan pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Momen Envelope Balok Lift (250x350)

Berdasarkan hasil tersebut diperoleh momen daerah tumpuan dan lapangan sebagai berikut:

- Daerah Tumpuan  
Momen negatif ( $Mu^-$ ) = 89,9 kN.m  
Momen positif ( $Mu^+$ ) = 86,4 kN.m
- Daerah Lapangan  
Momen negatif ( $Mu^-$ ) = 1,5 kN.m  
Momen positif ( $Mu^+$ ) = 0,9 kN.m

- Cek syarat momen

$$Mu^+_{tump} \geq 0,5 Mu^-_{tump}$$

$$86,4 \geq (0,5)(89,9)$$

$$86,4 \text{ kN.m} \leq 44,95 \text{ kN.m}$$

Maka, momen positif daerah tumpuan yang dipakai sebesar 86,4 kN.m.

$$Mu_{lap} \geq 0,25 Mu_{tump}$$

$$Mu_{lap} \geq (0,25)(89,9)$$

$$Mu_{lap} \geq 22,475 \text{ kN.m}$$

Maka, momen negatif daerah lapangan sebesar 22,475 kN.m.

c. Perhitungan tulangan longitudinal balok lift

Tulangan di daerah tumpuan ( $M_u^-$ )

- Momen nominal diasumsikan sebesar momen desain dengan penampang terkendali tarik ( $\phi = 0,9$ )

$$\begin{aligned} M_{n.req} &= \frac{M_u^+}{0,9} \\ &= \frac{89,9}{0,9} \\ &= 99,889 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

- Nilai a dan c

$$d = 350 - 40 - 10 - \frac{25}{2} = 287,5 \text{ mm}$$

Nilai a diperoleh dari persamaan momen nominal

$$\begin{aligned} a &= d - \sqrt{d^2 - \frac{2|M_{n.req}|}{0,85.f'_c.b}} \\ &= 287,5 - \sqrt{287,5^2 - \frac{2(99,889 \cdot 10^6)}{(0,85)(30)(350)}} \\ &= 78,971 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,836$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{78,971}{0,836}$$

$$= 94,496 \text{ mm}$$

- Cek regangan tulangan

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{0,003(d-c)}{c} \\ &= \frac{0,003(287,5-94,496)}{94,496} \\ &= 0,0061 \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut, dapat diperoleh kesimpulan:

$$\epsilon_s \geq 0,005 \rightarrow \text{penampang terkendali tarik } (\phi = 0,9)$$

$\epsilon_s \geq 0,004 \rightarrow$  regangan minimum terpenuhi dan menggunakan tulangan tunggal

Tulangan sudah leleh ( $f_s = f_y$ )

- Tulangan yang dibutuhkan

Perhitungan luas tulangan menggunakan persamaan gaya tekan dan tarik

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = A_{s.req} \cdot f_y$$

$$\begin{aligned} A_{s.req} &= \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} \\ &= \frac{(0,85)(30)(78,971)(200)}{420} \\ &= 958,940 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan (n) dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s.req} \cdot 4}{\pi(D_{tul})^2} \\ &= \frac{(958,940)(4)}{\pi(25)^2} \\ &= 1,954 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan longitudinal 2D25

- Kontrol kebutuhan luas tulangan

$$\begin{aligned} A_{s.use} &= 2 \cdot \frac{\pi(25)^2}{4} \\ &= 981,748 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s.min1} &= \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{0,25\sqrt{30}}{420} (200)(287,5) \\ &= 187,465 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s.min2} &= \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1,4}{420} (200)(287,5) \\ &= 191,667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s.max} &= \frac{0,36 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot b \cdot d}{f_y} \\ &= \frac{(0,36)(0,836)(30)(200)(287,5)}{420} \\ &= 1235,663 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan yang digunakan lebih besar daripada luas tulangan minimum dan lebih kecil daripada luas tulangan maksimum, maka luas tulangan dapat digunakan.

- Cek spasi tulangan

Tulangan dirangkai dalam satu lapis

$$S_1 = \frac{b - 2 \cdot \text{selimut beton} - 2 \cdot D_{\text{senggang}} - n \cdot D_{\text{tul. longitudinal}}}{n - 1}$$

$$= \frac{200 - 2(40) - 2(10) - 2(25)}{2 - 1}$$

$$= 50 \text{ mm}$$

$$S_{\text{min}} = 25 \text{ mm}$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y$$

$$= \frac{2}{3} (420)$$

$$= 280 \text{ MPa}$$

$$S_{\text{max1}} = 380 \cdot \frac{280}{f_s} - 2,5 \cdot c_c$$

$$= 380 \cdot \frac{280}{280} - (2,5)(40)$$

$$= 280 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max2}} = 300 \cdot \frac{280}{f_s}$$

$$= 300 \cdot \frac{280}{280}$$

$$= 300 \text{ mm}$$

Jarak spasi tulangan lebih besar dari jarak spasi minimum dan lebih kecil dari jarak spasi maksimum, maka tulangan dapat digunakan.

- Cek kapasitas lentur (momen nominal) balok

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

$$= \frac{(981,748)(420)}{(0,85)(30)(200)}$$

$$= 80,850 \text{ mm}$$

$$c = \frac{80,850}{0,836}$$

$$= 96,743 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_{s2} &= \frac{0,003(d-c)}{c} \\ &= \frac{0,003(287,5-96,743)}{96,743} \\ &= 0,006 \geq 0,005 \rightarrow \text{terkendali tarik } (\phi = 0,9)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= (0,85)(30)(80,850)(200) \left( 287,5 - \frac{80,850}{2} \right) \\ &= 101877471 \text{ N.mm} \\ &= 101,877 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= (0,9)(101,877) \\ &= 91,690 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Momen nominal lebih besar daripada momen ultimit ( $M_u^+ = 89,9 \text{ kN.m}$ ), maka balok lift dapat menahan momen ultimit.

#### Tulangan di daerah tumpuan ( $M_u^+$ )

- Momen nominal diasumsikan sebesar momen desain dengan penampang terkendali tarik ( $\phi = 0,9$ )

$$\begin{aligned}M_{n,req} &= \frac{M_u^+}{0,9} \\ &= \frac{86,4}{0,9} \\ &= 96 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

- Nilai a dan c

$$d = 350 - 40 - 10 - \frac{25}{2} = 287,5 \text{ mm}$$

Nilai a diperoleh dari persamaan momen nominal

$$\begin{aligned}a &= d - \sqrt{d^2 - \frac{2|M_{n,req}|}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}} \\ &= 287,5 - \sqrt{287,5^2 - \frac{2(96 \cdot 10^6)}{(0,85)(30)(200)}} \\ &= 75,346 \text{ mm} \\ \beta_1 &= 0,836 \\ c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{75,346}{0,836} \\ &= 90,158 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Cek regangan tulangan

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &= \frac{0,003(d-c)}{c} \\ &= \frac{0,003(639-90,158)}{90,158} \\ &= 0,0066\end{aligned}$$

Dari hasil tersebut, dapat diperoleh kesimpulan:

$$\varepsilon_s \geq 0,005 \rightarrow \text{penampang terkendali tarik } (\phi = 0,9)$$

$\varepsilon_s \geq 0,004 \rightarrow$  regangan minimum terpenuhi dan menggunakan tulangan tunggal

Tulangan sudah leleh ( $f_s = f_y$ )

- Tulangan yang dibutuhkan

Perhitungan luas tulangan menggunakan persamaan gaya tekan dan tarik

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = A_{s,req} \cdot f_y$$

$$\begin{aligned}A_{s,req} &= \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} \\ &= \frac{(0,85)(30)(75,346)(200)}{420} \\ &= 914,919 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan (n) dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_{s,req} \cdot 4}{\pi(D_{tul})^2} \\ &= \frac{(914,919)(4)}{\pi(25)^2} \\ &= 1,864 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}\end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan longitudinal 2D25

- Kontrol kebutuhan luas tulangan

$$\begin{aligned}A_{s,use} &= 2 \cdot \frac{\pi(25)^2}{4} \\ &= 981,748 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s,min1} &= \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{0,25\sqrt{30}}{420} (200)(287,5) \\ &= 187,465 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,\min 2} &= \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{1,4}{420} (200)(287,5) \\
 &= 191,667 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,\max} &= \frac{0,36 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot b \cdot d}{f_y} \\
 &= \frac{(0,36)(0,836)(30)(200)(287,5)}{420} \\
 &= 1235,663 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas tulangan yang digunakan lebih besar daripada luas tulangan minimum dan lebih kecil daripada luas tulangan maksimum, maka luas tulangan dapat digunakan.

- Cek spasi tulangan

Tulangan dirangkai dalam satu lapis

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \frac{b - 2 \cdot \text{selimut beton} - 2 \cdot D_{\text{senggang}} - n \cdot D_{\text{tul.longitudinal}}}{n - 1} \\
 &= \frac{200 - 2(40) - 2(10) - 2(25)}{2 - 1} \\
 &= 50 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\min} = 25 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 f_s &= \frac{2}{3} f_y \\
 &= \frac{2}{3} (420) \\
 &= 280 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\max 1} &= 380 \cdot \frac{280}{f_s} - 2,5 \cdot c_c \\
 &= 380 \cdot \frac{280}{280} - (2,5)(40) \\
 &= 280 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\max 2} &= 300 \cdot \frac{280}{f_s} \\
 &= 300 \cdot \frac{280}{280} \\
 &= 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jarak spasi tulangan lebih besar dari jarak spasi minimum dan lebih kecil dari jarak spasi maksimum, maka tulangan dapat digunakan.

- Cek kapasitas lentur (momen nominal) balok

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_{s,use} \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\
 &= \frac{(981,748)(420)}{(0,85)(30)(200)} \\
 &= 80,850 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{80,850}{0,836} \\
 &= 96,743 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_{s2} &= \frac{0,003(d-c)}{c} \\
 &= \frac{0,003(287,5-96,743)}{96,743} \\
 &= 0,006 \geq 0,005 \rightarrow \text{terkendali tarik } (\phi = 0,9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= (0,85)(30)(80,850)(200) \left( 287,5 - \frac{80,850}{2} \right) \\
 &= 101877471 \text{ N.mm} \\
 &= 101,877 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= (0,9)(101,877) \\
 &= 91,690 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen nominal lebih besar daripada momen ultimit ( $M_u^+ = 86,4 \text{ kN.m}$ ), maka balok induk 1 dapat menahan momen ultimit.

#### Tulangan di daerah lapangan ( $M_u^-$ )

- Momen nominal diasumsikan sebesar momen desain dengan penampang terkendali tarik ( $\phi = 0,9$ )

$$\begin{aligned}
 M_{n,req} &= \frac{M_u^+}{0,9} \\
 &= \frac{22,475}{0,9} \\
 &= 24,972 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$



- Nilai a dan c

$$d = 200 - 40 - 10 - \frac{25}{2} = 287,5 \text{ mm}$$

Nilai a diperoleh dari persamaan momen nominal

$$\begin{aligned} a &= d - \sqrt{d^2 - \frac{2|M_{n.req}|}{0,85 \cdot f'_c \cdot b}} \\ &= 287,5 - \sqrt{287,5^2 - \frac{2(24,972 \cdot 10^6)}{(0,85)(30)(200)}} \\ &= 17,568 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\beta_1 = 0,836$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{17,568}{0,836} \\ &= 21,022 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Cek regangan tulangan

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{0,003(d-c)}{c} \\ &= \frac{0,003(287,5-21,022)}{21,022} \\ &= 0,0380 \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut, dapat diperoleh kesimpulan:

$$\epsilon_s \geq 0,005 \rightarrow \text{penampang terkendali tarik } (\phi = 0,9)$$

$\epsilon_s \geq 0,004 \rightarrow$  regangan minimum terpenuhi dan menggunakan tulangan tunggal

Tulangan sudah leleh ( $f_s = f_y$ )

- Tulangan yang dibutuhkan

Perhitungan luas tulangan menggunakan persamaan gaya tekan dan tarik

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = A_{s.req} \cdot f_y$$

$$\begin{aligned} A_{s.req} &= \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} \\ &= \frac{(0,85)(30)(17,568)(200)}{420} \\ &= 213,327 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan (n) dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s,req} \cdot 4}{\pi(D_{tul})^2} \\ &= \frac{(213,327) (4)}{\pi(25)^2} \\ &= 0,435 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan longitudinal 2D25

- Kontrol kebutuhan luas tulangan

$$\begin{aligned} A_{s,use} &= 2 \cdot \frac{\pi(25)^2}{4} \\ &= 981,748 \text{ mm}^2 \\ A_{s,min1} &= \frac{0,25\sqrt{f_c}}{f_y} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{0,25\sqrt{30}}{420} (200)(287,5) \\ &= 187,465 \text{ mm}^2 \\ A_{s,min2} &= \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1,4}{420} (200)(287,5) \\ &= 191,667 \text{ mm}^2 \\ A_{s,max} &= \frac{0,36 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot d}{f_y} \\ &= \frac{(0,36)(0,836)(30)(200)(287,5)}{420} \\ &= 1235,663 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan yang digunakan lebih besar daripada luas tulangan minimum dan lebih kecil daripada luas tulangan maksimum, maka luas tulangan dapat digunakan.

- Cek spasi tulangan

Tulangan dirangkai dalam satu lapis

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{b - 2 \cdot \text{selimut beton} - 2 \cdot D_{senggang} - n \cdot D_{tul.longitudinal}}{n - 1} \\ &= \frac{200 - 2(40) - 2(10) - 2(25)}{2 - 1} \\ &= 50 \text{ mm} \\ S_{min} &= 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_s &= \frac{2}{3} f_y \\
 &= \frac{2}{3} (420) \\
 &= 280 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s_{\max 1} &= 380 \cdot \frac{280}{f_s} - 2,5 \cdot c_c \\
 &= 380 \cdot \frac{280}{280} - (2,5)(40) \\
 &= 280 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s_{\max 2} &= 300 \cdot \frac{280}{f_s} \\
 &= 300 \cdot \frac{280}{280} \\
 &= 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jarak spasi tulangan lebih besar dari jarak spasi minimum dan lebih kecil dari jarak spasi maksimum, maka tulangan dapat digunakan.

- Cek kapasitas lentur (momen nominal) balok

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\
 &= \frac{(981,748)(420)}{(0,85)(30)(200)} \\
 &= 80,850 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{80,850}{0,836} \\
 &= 96,743 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_{s2} &= \frac{0,003(d-c)}{c} \\
 &= \frac{0,003(639-96,743)}{96,743} \\
 &= 0,006 \geq 0,005 \rightarrow \text{terkendali tarik } (\phi = 0,9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= (0,85)(30)(80,850)(200) \left( 287,5 - \frac{80,850}{2} \right) \\
 &= 101877471 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$= 101,877 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= (0,9)(101,877) \\
 &= 91,690 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Momen nominal lebih besar daripada momen ultimit ( $M_u^+ = 22,475$  kN.m), maka balok induk 1 dapat menahan momen ultimit.

### Tulangan di daerah lapangan ( $M_u^+$ )

- Momen nominal diasumsikan sebesar momen desain dengan penampang terkendali tarik ( $\phi = 0,9$ )

$$\begin{aligned}M_{n.req} &= \frac{M_u^+}{0,9} \\ &= \frac{0,9}{0,9} \\ &= 1 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

- Nilai a dan c

$$d = 200 - 40 - 10 - \frac{25}{2} = 287,5 \text{ mm}$$

Nilai a diperoleh dari persamaan momen nominal

$$\begin{aligned}a &= d - \sqrt{d^2 - \frac{2|M_{n.req}|}{0,85.f'_c.b}} \\ &= 287,5 - \sqrt{287,5^2 - \frac{2(1 \cdot 10^6)}{(0,85)(30)(200)}} \\ &= 0,683 \text{ mm} \\ \beta_1 &= 0,836 \\ c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{0,683}{0,836} \\ &= 0,817 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Cek regangan tulangan

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{0,003(d-c)}{c} \\ &= \frac{0,003(287,5-0,817)}{0,817} \\ &= 1,0526\end{aligned}$$

Dari hasil tersebut, dapat diperoleh kesimpulan:

$\epsilon_s \geq 0,005 \rightarrow$  penampang terkendali tarik ( $\phi = 0,9$ )

$\epsilon_s \geq 0,004 \rightarrow$  regangan minimum terpenuhi dan menggunakan tulangan tunggal

Tulangan sudah leleh ( $f_s = f_y$ )

- Tulangan yang dibutuhkan

Perhitungan luas tulangan menggunakan persamaan gaya tekan dan tarik

$$C_c = T_s$$

$$0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b = A_{s.req} \cdot f_y$$

$$\begin{aligned} A_{s.req} &= \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} \\ &= \frac{(0,85)(30)(0,683)(200)}{420} \\ &= 8,291 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang dibutuhkan (n) dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s.req} \cdot 4}{\pi(D_{tul})^2} \\ &= \frac{(8,291) (4)}{\pi(25)^2} \\ &= 0,017 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan longitudinal 4D22

- Kontrol kebutuhan luas tulangan

$$\begin{aligned} A_{s.use} &= 2 \cdot \frac{\pi(25)^2}{4} \\ &= 981,748 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s.min1} &= \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{0,25\sqrt{30}}{420} (200)(287,5) \\ &= 187,465 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s.min2} &= \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \\ &= \frac{1,4}{420} (200)(287,5) \\ &= 191,667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s.max} &= \frac{0,36 \cdot \beta_1 \cdot f'_c \cdot b \cdot d}{f_y} \\ &= \frac{(0,36)(0,836)(30)(200)(287,5)}{420} \\ &= 1235,663 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan yang digunakan lebih besar daripada luas tulangan minimum dan lebih kecil daripada luas tulangan maksimum, maka luas tulangan dapat digunakan.

- Cek spasi tulangan

Tulangan dirangkai dalam satu lapis

$$S_1 = \frac{b - 2 \cdot \text{selimut beton} - 2 \cdot D_{\text{senggang}} - n \cdot D_{\text{tul. longitudinal}}}{n - 1}$$

$$= \frac{200 - 2(40) - 2(10) - 2(25)}{2 - 1}$$

$$= 50 \text{ mm}$$

$$S_{\text{min}} = 25 \text{ mm}$$

$$f_s = \frac{2}{3} f_y$$

$$= \frac{2}{3} (420)$$

$$= 280 \text{ MPa}$$

$$S_{\text{max1}} = 380 \cdot \frac{280}{f_s} - 2,5 \cdot c_c$$

$$= 380 \cdot \frac{280}{280} - (2,5)(40)$$

$$= 280 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max2}} = 300 \cdot \frac{280}{f_s}$$

$$= 300 \cdot \frac{280}{280}$$

$$= 300 \text{ mm}$$

Jarak spasi tulangan lebih besar dari jarak spasi minimum dan lebih kecil dari jarak spasi maksimum, maka tulangan dapat digunakan.

- Cek kapasitas lentur (momen nominal) balok

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

$$= \frac{(981,748)(420)}{(0,85)(30)(200)}$$

$$= 80,850 \text{ mm}$$

$$c = \frac{80,850}{0,836}$$

$$= 96,743 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_{s2} &= \frac{0,003(d-c)}{c} \\ &= \frac{0,003(287,5-96,743)}{96,743} \\ &= 0,006 \geq 0,005 \rightarrow \text{terkendali tarik } (\phi = 0,9)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= (0,85)(30)(80,850)(200) \left(287,5 - \frac{80,850}{2}\right) \\ &= 101877471 \text{ N.mm} \\ &= 101,877 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= (0,9)(101,877) \\ &= 91,690 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Momen nominal lebih besar daripada momen ultimit ( $M_u^+ = 0,9 \text{ kN.m}$ ), maka balok induk 1 dapat menahan momen ultimit.

d. Perhitungan tulangan geser balok lift

Rekap penulangan longitudinal balok lift ditunjukkan pada Tabel 2.15

Tabel 2.15 Rekap Momen Ultimit dan Tulangan Longitudinal Balok Lift

Lokasi	Mu (kN.m)	Tulangan
Tumpuan (-)	89,9	2D25
Tumpuan (+)	86,4	2D25
Lapangan (-)	1,5	2D25
Lapangan (+)	0,9	2D25

• Momen Probabilitas

Tumpuan kiri (-)

$$\begin{aligned}A_s &= 2 \cdot \frac{\pi(25)^2}{4} \\ &= 981,75 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a_{pr} &= \frac{1,25 \cdot f_y \cdot A_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \\ &= \frac{(1,25)(420)(981,75)}{(0,85)(30)(200)} \\ &= 101,06 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{pr} &= 1,25 \cdot f_y \cdot A_s \left(d - \frac{a_{pr}}{2}\right) \\ &= (1,25)(420)(981,75) \left(287,5 - \frac{101,06}{2}\right) \\ &= 122137912 \text{ N.mm} \\ &= 122,14 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

### Tumpuan kiri (+)

$$\begin{aligned} A_s &= 2 \cdot \frac{\pi(25)^2}{4} \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_{pr} &= \frac{(1,25)(420)(981,75)}{(0,85)(30)(200)} \\ &= 101,06 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr} &= (1,25)(420)(981,75) \left( 287,5 - \frac{101,06}{2} \right) \\ &= 122137912 \text{ N.mm} \\ &= 122,14 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

### Tumpuan kanan (-)

Perhitungan momen probabilitas tumpuan kanan (-) sama dengan tumpuan kiri (-)

$$\begin{aligned} A_s &= 981,75 \text{ mm}^2 \\ a_{pr} &= 101,06 \text{ mm} \\ M_{pr} &= 122,14 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

### Tumpuan kanan (+)

Perhitungan momen probabilitas tumpuan kanan (+) sama dengan tumpuan kiri (+)

$$\begin{aligned} A_s &= 981,75 \text{ mm}^2 \\ a_{pr} &= 101,06 \text{ mm} \\ M_{pr} &= 122,14 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

### Gaya Geser Desain

Dari hasil output Midas Gen, didapatkan gaya gravitasi dan gaya geser maksimum sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{G.kiri} &= 14 \text{ kN} \\ V_{G.kanan} &= 30 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser desain didapatkan dengan rumus sebagai berikut:

Diasumsikan nomor 1 merupakan tumpuan kiri dan nomor 2 merupakan tumpuan kanan

$$V_{E.kiri} = \frac{M_{pr1}(-) + M_{pr2}(+)}{l_n}$$



$$V_{E.kanan} = \frac{M_{pr1}(+) + M_{pr2}(-)}{l_n}$$

$$V_{e1.gempa_kiri} = V_{G1} - V_{E1}$$

$$V_{e2.gempa_kiri} = V_{G2} + V_{E2}$$

$$V_{e1.gempa_kanan} = V_{G1} + V_{E1}$$

$$V_{e2.gempa_kanan} = V_{G2} - V_{E2}$$

Hasil perhitungan gaya geser desain dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.16 Gaya Geser Desain

Gaya (kN) dan Momen (kN.m)	Tumpuan kiri (1)	Tumpuan kanan (2)
Mpr (-)	122,14	122,14
Mpr (+)	122,14	122,14
V <sub>E</sub>	158,061	158,061
V <sub>G</sub>	14	30
V <sub>e.gempa_kiri</sub>	-144,061	188,061
V <sub>e.gempa_kanan</sub>	172,061	-128,061

$$V_u = 188,061 \text{ kN}$$

$$0,5V_u = 0,5(188,061)$$

$$= 94,031 \text{ kN}$$

$$V_e = 188,061 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847: 2019 ps 18.6.5.2, tulangan transversal harus di desain untuk menahan geser dengan mengasumsikan  $V_c = 0$  apabila terpenuhi syarat:

$$V_e > 0,5 V_u$$

$$188,061 > 94,031$$

Maka,  $V_c = 0 \text{ kN}$

- Kebutuhan Tulangan Geser

Daerah Tumpuan

$$d = 287,5 \text{ mm}$$

Digunakan 2D10

$$A_v = 2 \cdot \frac{\pi(10)^2}{4}$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
s &= \frac{\phi A_v f_y t d}{V_e} \\
&= \frac{(0,75)(157,08)(280)(287,5)}{169950} \\
&= 67,24 \text{ mm} \approx 50 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Cek jarak maksimum tulangan (SNI 2847: 2019 ps 18.6.4.4)

Jarak tulangan geser tidak boleh melebihi nilai terkecil dari:

- $\frac{d}{4} = \frac{287,5}{4} = 71,875 \text{ mm}$
- $6D_{tul.longitudinal} = 6(25) = 150 \text{ mm}$
- 150 mm

Karena jarak tulangan yang dipakai ( $s = 50 \text{ mm}$ ) lebih kecil daripada jarak maksimum tulangan, maka tulangan geser 2D10-50 dapat digunakan.

#### Daerah Lapangan

$$d = 287,5 \text{ mm}$$

Nilai  $V_e$  di lapangan diperoleh dengan cara sebagai berikut:

$$V_{e.gki.max} = 188,061 \text{ kN}$$

$$V_{e.gki.min} = -144,061 \text{ kN}$$

$$V_{e.gka.max} = 172,061 \text{ kN}$$

$$V_{e.gka.min} = -128,061 \text{ kN}$$

$$l_n = 1,94545 - 0,2 - 0,2 = 1,54545 \text{ m}$$

$$h = 350 \text{ mm} = 0,35 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
V_{e.lap.gki} &= \frac{l_n - 2h}{l_n} (V_{e.gki.max} - V_{e.gki.min}) + V_{e.gki.min} \\
&= \frac{1,54545 - 2(0,35)}{1,54545} (188,061 - (-144,061)) + (-144,061) \\
&= 37,629 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{e.lap.gka} &= \frac{l_n - 2h}{l_n} (V_{e.gka.max} - V_{e.gka.min}) + V_{e.gka.min} \\
&= \frac{1,54545 - 2(0,35)}{1,54545} (172,061 - (-128,061)) + (-128,061) \\
&= 36,123 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{e.lap} &= 37,628856 \text{ kN} \\
&= 37628,856 \text{ N}
\end{aligned}$$

Cek kebutuhan tulangan geser

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \\ &= (0,17) (1) \sqrt{30} (200) (287,5) \\ &= 52490,078 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= (0,75)(52490,078) \\ &= 39367,559 \text{ N}\end{aligned}$$

Karena  $V_{e.lap} < \phi V_c$ , maka tulangan geser tidak dibutuhkan secara teoritis dan nilai  $V_s$  tidak perlu diperhitungkan.

Digunakan tulangan geser 2D10.

Cek jarak maksimum tulangan

$$\begin{aligned}0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d &= 0,33 \sqrt{30} (200)(287,5) \\ &= 103930,355 \text{ N}\end{aligned}$$

Karena  $V_s \leq 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$ , maka jarak maksimum tulangan dihitung sebagai berikut:

- $\frac{d}{2} = \frac{287,5}{2} = 143,75 \text{ mm}$
- 600 mm

Jarak tulangan yang digunakan ( $s = 100 \text{ mm}$ ) lebih kecil daripada jarak maksimum tulangan sehingga digunakan tulangan geser 2D10-100.

## 2.10 Perhitungan Penulangan Kolom

### 2.10.1 Kolom 1

#### a. Data:

- Lebar kolom (B) = 800 mm
- Tinggi kolom (H) = 800 mm
- Berat jenis beton = 24 kN/m<sup>3</sup>
- $f'_c$  = 30 MPa
- Diameter tulangan pokok = 25 mm
- Diameter tulangan susut = 13 mm
- $f_y$  D25 = 420 MPa
- $f_y$  D13 = 420 MPa
- $\lambda$  untuk beton normal = 1
- selimut beton = 40 mm

#### b. Momen dan Gaya Geser

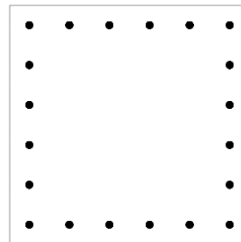
Berdasarkan hasil output Midas, kolom 1 memiliki gaya geser ( $V_u$ ) sebesar 247,62 kN dan momen seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.17 Momen Kolom 1 (800x800) akibat  $P_u$  maksimum dan  $P_u$  minimum

Kondisi	$P_u$ (kN)	$M_x$ (kN.m)	$M_y$ (kN.m)
$P_{u \max}$	6942,4	77,17	118,9
$P_{u \min}$	279,44	102,06	-173,7

#### c. Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI 2847: 2019 pasal 18.7.4.1, luas tulangan kolom untuk struktur tahan gempa sebesar  $0,01A_g$  sampai  $0,06A_g$  atau rasio penulangan ( $\rho$ ) sebesar 0,01 sampai 0,06. Tulangan yang digunakan untuk kolom 1 sebanyak 20D25 yang disusun seperti Gambar 2.22.



Gambar 2.22 Tulangan Longitudinal Kolom 1 (800x800)

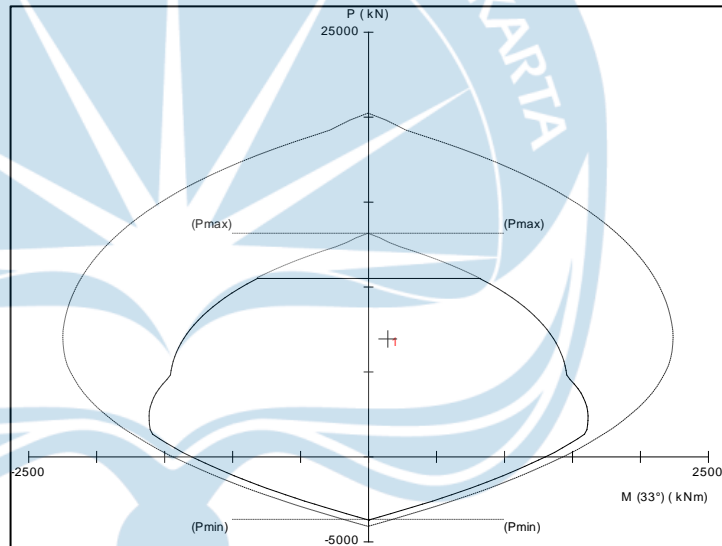
### Rasio tulangan

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_{st}}{A_g} \\ &= \frac{(20)(0,25)\pi(25)^2}{(800)(800)} \\ &= 0,01534\end{aligned}$$

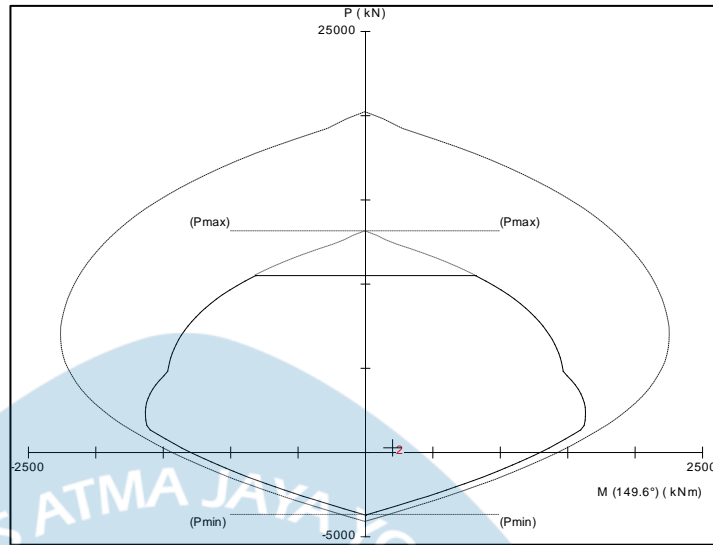
Karena rasio penulangan kolom 1 lebih besar dari 0,01 dan lebih kecil dari 0,06, maka tulangan longitudinal 20D25 dapat digunakan.

#### d. Diagram Interaksi

Diagram interaksi kolom 1 diperoleh dengan bantuan aplikasi spColumn. Hasil diagram interaksi ditunjukkan pada Gambar 2.23 dan Gambar 2.24.



Gambar 2.23 Diagram Interaksi Kolom 1 akibat  $P_u$  max,  $M_x$ , dan  $M_y$



Gambar 2.24 Diagram Interaksi Kolom 1 akibat  $P_u$  min,  $M_x$ , dan  $M_y$

e. Cek Strong Column – Weak Beam (SCWB)

Berdasarkan SNI 2847: 2019 pasal 18.7.3.2, kekuatan lentur minimum balok harus memenuhi syarat sebagai berikut.

$$\sum M_{nc} \geq (1,2)\sum M_{nb}$$

dengan  $\sum M_{nc}$  adalah jumlah kekuatan lentur nominal kolom-kolom yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint dan  $\sum M_{nb}$  adalah jumlah kekuatan lentur nominal balok yang merangka ke dalam joint, yang dievaluasi di muka-muka joint.

Hasil output  $\phi M_n$  untuk kolom 1 dari spColumn ditunjukkan pada tabel 2.18.

Tabel 2.18 Output  $\phi M_n$  Kolom 1 (800x800) dari spColumn

Kondisi	$\phi M_{nx}$ (kN.m)	$\phi M_{ny}$ (kN.m)	$\phi$
$P_u$ max	1142,33	741,41	0,65
$P_u$ min	-1176,64	691,35	0,9

Dari hasil tersebut, momen nominal kolom diperoleh dengan cara membagi  $\phi M_n$  dengan  $\phi$  sehingga diperoleh nilai seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.19 Momen Nominal Kolom 1 (800x800)

Kondisi	$\phi M_{nx}$ (kN.m)	$\phi M_{ny}$ (kN.m)	$\phi$	$M_{nx}$ (kN.m)	$M_{ny}$ (kN.m)
$P_u$ max	1142,33	741,41	0,65	1757,431	1140,6308
$P_u$ min	-1176,64	691,35	0,9	-1307,378	768,167

### Cek syarat

$M_{nc,a} = 1140,6308 \text{ kN.m}$  (nilai terkecil dari Mn pada kondisi Pu max)

$M_{nc,b} = 768,167 \text{ kN.m}$  (nilai terkecil dari Mn pada kondisi Pu min)

Dari hasil perhitungan momen probabilitas balok induk didapatkan nilai sebagai berikut.

$$M_{prb, ki (-)} = 945,85 \text{ kN.m}$$

$$M_{prb, ki (+)} = 502,22 \text{ kN.m}$$

$$M_{prb, ka (-)} = 945,85 \text{ kN.m}$$

$$M_{prb, ka (+)} = 502,22 \text{ kN.m}$$

$$\Sigma M_{nc} \geq (1,2)\Sigma M_{nb}$$

$$(M_{nc,a} + M_{nc,b}) \geq (1,2)(M_{prb,ki} + M_{prb,ka})$$

$$(1140,6308 + 768,167) \geq (1,2)(945,85 + 502,22)$$

$$1908,797 \geq 1737,686$$

Maka, kekuatan lentur kolom 1 telah memenuhi syarat sesuai dengan SNI dan tulangan longitudinal 20D25 dapat digunakan.

#### f. Tulangan Transversal

Perhitungan tulangan transversal kolom didasarkan pada kuat geser kolom dan pengekanan inti beton.

#### Berdasarkan kuat geser kolom

$$V_u = 247,62 \text{ kN (hasil Midas)}$$

$$M_{prk} = 0,5[M_{prb (-)} + M_{prb (+)}]$$

$$= 0,5[945,85+502,22]$$

$$= 724,036 \text{ kN.m}$$

$$V_e = \frac{M_{prk}+M_{prk}}{l_n}$$

$$= \frac{724,036+724,036}{3,5-0,75}$$

$$= 526,572 \text{ kN}$$

$$V_{u,used} = 526,572 \text{ kN}$$

Karena  $V_e$  lebih besar daripada  $V_u$ , maka kuat geser beton diabaikan.

$$V_c = 0 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} - 0 \\ &= \frac{(526,572)10^3}{0,75} \\ &= 702095,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d &= 800 - 40 - 13 - \frac{25}{2} \\ &= 734,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} &= \frac{V_s}{f_{yt} \cdot d} \\ &= \frac{702095,5}{(420)(734,5)} \\ &= 2,2759 \text{ mm}^2/\text{mm} \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

Berdasarkan pengekangan inti kolom

Berdasarkan SNI 2847: 2019 tabel 18.7.5.4, persamaan yang digunakan dalam menentukan tulangan transversal untuk kolom sistem rangka pemikul momen khusus didasarkan pada beberapa kondisi.

$$\begin{aligned} P_u &= 6942400 \text{ N} \\ 0,3A_g f'_c &= (0,3)(800)(800)(30) \\ &= 5760000 \text{ N} \end{aligned}$$

Karena  $P_u > 0,3A_g f'_c$ , maka persamaan-persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

- a.  $\frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} = 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$
- b.  $\frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} = 0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$
- c.  $\frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} = 0,2 k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$

Parameter yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} b_c &= \text{lebar kolom} - \text{selimut beton} \\ &= 800 - 2(40) \\ &= 720 \text{ mm} \\ A_g &= (800)(800) \\ &= 640000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 A_{ch} &= (B - 2 \cdot \text{cover})(H - 2 \cdot \text{cover}) \\
 &= (800 - 2(40))(800 - 2(40)) \\
 &= 518400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Persamaan a

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} &= 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \\
 &= 0,3 \left( \frac{640000}{518400} - 1 \right) \frac{30}{420} \\
 &= 0,005
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh}}{s} &= (0,005)(720) \\
 &= 3,619 \text{ mm}^2 / \text{mm} \dots \dots \dots (2)
 \end{aligned}$$

Persamaan b

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} &= 0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}} \\
 \frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} &= 0,09 \left( \frac{30}{420} \right) \\
 &= 0,006
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh}}{s} &= (0,01)(720) \\
 &= 4,629 \text{ mm}^2 / \text{mm} \dots \dots \dots (3)
 \end{aligned}$$

Persamaan c

$$\begin{aligned}
 k_f &= \frac{f'_c}{175} + 0,6 \geq 1 \\
 k_f &= \frac{30}{175} + 0,6 \\
 &= 0,771
 \end{aligned}$$

Karena nilai  $k_f < 1$ , maka digunakan  $k_f = 1$

$$\begin{aligned}
 k_n &= \frac{nl}{nl-2} \\
 &= \frac{20}{20-2} \\
 &= 1,1111
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} &= 0,2 k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}} \\
 \frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} &= (0,2)(0,771)(1,111) \left( \frac{6942400}{(420)(518400)} \right) \\
 &= 0,0071
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} &= (0,0106)(720) \\ &= 5,1017 \text{ mm}^2 / \text{mm} \dots \dots \dots (4)\end{aligned}$$

Dari hasil (1), (2), (3), dan (4), digunakan nilai  $\frac{A_{sh}}{s}$  terbesar yaitu 5,1017 mm<sup>2</sup>/mm

Tulangan transversal di daerah sepanjang l<sub>0</sub>

Misal digunakan sengkang diameter 13 mm dengan 6 kaki, maka:

$$\begin{aligned}A_{sh} &= 6 \times \frac{1}{4} \pi \times 13^2 \\ &= 796,394 \text{ mm}^2 \\ s &= \frac{796,394}{5,1017} \\ &= 156,103 \text{ mm}\end{aligned}$$

Digunakan s = 100 mm

Cek spasi maksimum

- a.  $\frac{1}{4}$  dimensi kolom terkecil = 200 mm
- b. 6 kali diameter tulangan longitudinal = 150 mm
- c.  $S_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right)$

$$\begin{aligned}x_1 &= \frac{800 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 2 \times \frac{1}{2} \times 25}{5 - 1} \\ &= 167,25 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H_x &= x_1 \\ &= 167,25 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_o &= 100 + \left( \frac{350 - 167,25}{3} \right) \\ &= 167,25 \text{ mm} > 150 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$S_o = 150 \text{ mm}$$

Jarak tulangan transversal 100 mm memenuhi syarat.

Maka, tulangan transversal di daerah l<sub>0</sub> sebanyak 6D13-100 dapat digunakan.

Tulangan transversal di luar daerah  $l_0$

$$d = 734,5 \text{ mm}$$

$$V_e = 526,5716 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{30} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 800 \times 734,5 \\ &= 547131 \text{ N} \\ &= 547,131 \text{ kN} \end{aligned}$$

Karena  $V_c > V_e$ , maka syarat terpenuhi.

Misal  $s = 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{v,\min} &= 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{bs}{f_{yt}} \\ &= 0,062 \sqrt{30} \left( \frac{800 \times 150}{420} \right) \\ &= 97,025 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v,\min} &= 0,35 \frac{bs}{f_{yt}} \\ &= 0,35 \frac{(800)(150)}{420} \\ &= 100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan 6D13 dengan nilai  $A_v$ :

$$\begin{aligned} A_v &= 6 \times \frac{1}{4} \pi \times 13^2 \\ &= 796,394 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai  $A_v > A_{v,\min}$ , maka syarat terpenuhi dan tulangan transversal di luar daerah  $l_0$  sebanyak 6D13-150 dapat digunakan.

g. Cek spasi tulangan longitudinal

Berdasarkan SNI 2847: 2019 pasal 18.7.5.2, saat  $P_u > 0,3A_g f_c'$  atau  $f_c' > 70 \text{ MPa}$ , jarak  $h_x$  tidak boleh lebih dari 200 mm.  $h_x$  merupakan jarak as ke as antar tulangan longitudinal.

$$\begin{aligned} h_x &= \frac{400 - 2(40) - 2(13) - 25}{6 - 1} \\ &= 133,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena  $h_x$  lebih kecil dari 200 mm, maka jumlah tulangan longitudinal sudah memenuhi syarat.

## 2.10.2 Kolom T

### a. Data:

- Lebar kolom (B) = 400 mm
- Tinggi kolom (H) = 400 mm
- Lebar sayap = 250 mm
- Berat jenis beton = 24 kN/m<sup>3</sup>
- $f'_c$  = 30 MPa
- Diameter tulangan pokok = 22 mm
- Diameter tulangan susut = 10 mm
- $f_y$  D22 = 420 MPa
- $f_y$  D10 = 280 Mpa
- $\lambda$  untuk beton normal = 1
- selimut beton = 40 mm

### b. Momen dan Gaya Geser

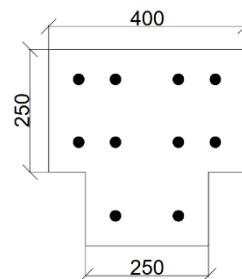
Berdasarkan hasil output Midas, kolom T memiliki gaya geser ( $V_u$ ) sebesar 12,11 kN dan momen seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.20 Momen Kolom T (400x400) akibat  $P_u$  maksimum dan  $P_u$  minimum

Kondisi	$P_u$ (kN)	$M_x$ (kN.m)	$M_y$ (kN.m)
$P_{u \max}$	298,76	-1,74	5,67
$P_{u \min}$	82,79	22,41	37,75

### c. Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI 2847: 2019 pasal 18.7.4.1, luas tulangan kolom untuk struktur tahan gempa sebesar  $0,01A_g$  sampai  $0,06A_g$  atau rasio penulangan ( $\rho$ ) sebesar 0,01 sampai 0,06. Tulangan yang digunakan untuk kolom T sebanyak 10D22 yang disusun seperti Gambar 2.25.



Gambar 2.25 Tulangan Longitudinal Kolom T

$$\rho = \frac{A_{st}}{A_g}$$

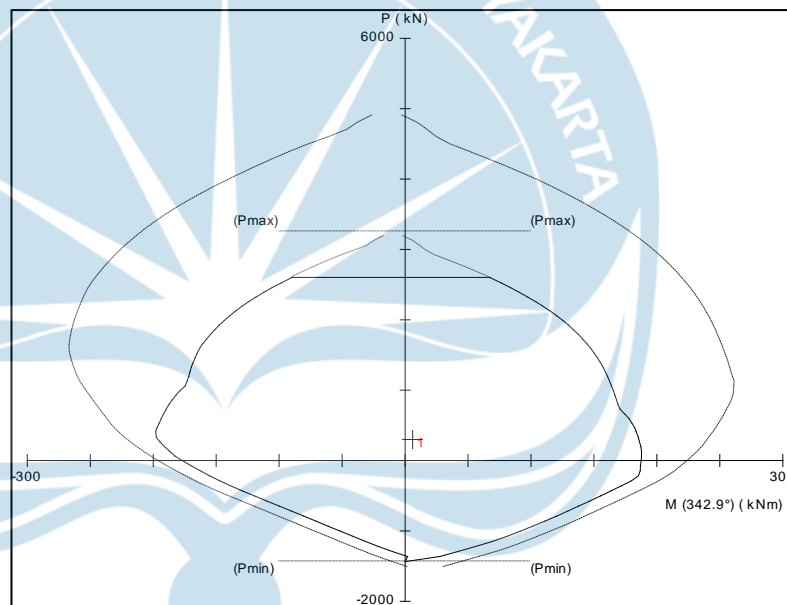
$$= \frac{(10)(0,25)\pi(22)^2}{(400)(400) - (150)(150)}$$

$$= 0,02765$$

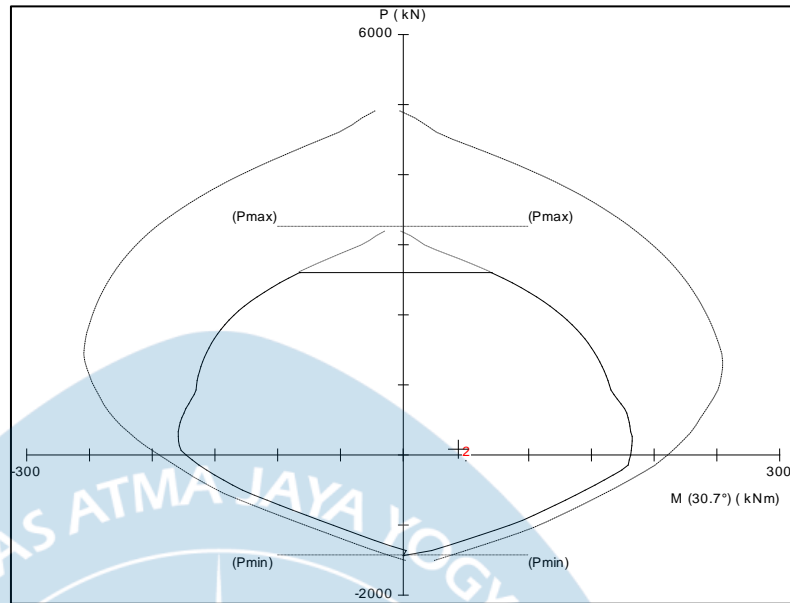
Karena rasio penulangan kolom T lebih besar dari 0,01 dan lebih kecil dari 0,06, maka tulangan longitudinal 10D22 dapat digunakan.

d. Diagram Interaksi

Diagram interaksi kolom T diperoleh dengan bantuan aplikasi spColumn. Hasil diagram interaksi ditunjukkan pada Gambar 2.26 dan Gambar 2.27.



Gambar 2.26 Diagram Interaksi Kolom T akibat Pu max, Mx, dan My



Gambar 2.27 Diagram Interaksi Kolom T akibat  $P_u$  min,  $M_x$ , dan  $M_y$

e. Tulangan Transversal

Perhitungan tulangan transversal kolom didasarkan pada kuat geser kolom dan pengekanan inti beton.

Berdasarkan kuat geser kolom

$$V_u = 12,11 \text{ kN}$$

$$V_c = 0 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - 0$$

$$= \frac{(12,11)10^3}{0,75}$$

$$= 16146,7 \text{ N}$$

$$d = 400 - 40 - 10 - \frac{22}{2}$$

$$= 339 \text{ mm}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_{yt} \cdot d}$$

$$= \frac{16146,7}{(280)(339)}$$

$$= 0,17011 \text{ mm}^2/\text{mm} \dots\dots\dots(1)$$

Berdasarkan pengeangan inti kolom

Berdasarkan SNI 2847: 2019 tabel 18.7.5.4, persamaan yang digunakan dalam menentukan tulangan transversal untuk kolom sistem rangka pemikul momen khusus didasarkan pada beberapa kondisi.

$$P_u = 298760 \text{ N}$$

$$0,3A_g f'_c = (0,3)(400)(400)(30) \\ = 1440000 \text{ N}$$

Karena  $P_u \leq 0,3A_g f'_c$  dan  $f'_c \leq 30 \text{ MPa}$ , maka persamaan-persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$a. \frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} = 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

$$b. \frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} = 0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

Parameter yang dibutuhkan

$$b_c = \text{lebar kolom} - \text{selimut beton} \\ = 250 - 2(40) \\ = 170 \text{ mm}$$

$$A_g = (400)(400) - (150)(150) \\ = 137500 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = (400 - 2(40))(250 - 2(40)) + (150)(250 - 2(40)) \\ = 79900 \text{ mm}^2$$

Persamaan a

$$\frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} = 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ = 0,3 \left( \frac{137500}{79900} - 1 \right) \frac{30}{280} \\ = 0,023$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = (0,023)(170) \\ = 3,939 \text{ mm}^2 / \text{mm} \dots \dots \dots (2)$$

Persamaan b

$$\frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} = 0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

$$\frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} = 0,09 \left( \frac{30}{280} \right)$$

$$= 0,01$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = (0,01)(170)$$

$$= 1,639 \text{ mm}^2 / \text{mm} \dots \dots \dots (3)$$

Dari hasil (1), (2), dan (3), digunakan nilai  $\frac{A_{sh}}{s}$  terbesar yaitu 3,9392 mm<sup>2</sup>/mm.

Tulangan transversal di daerah sepanjang l<sub>0</sub>

Misal digunakan sengkang diameter 13 mm dengan 4 kaki, maka:

$$A_{sh} = 4 \times \frac{1}{4} \pi \times 10^2$$

$$= 314,159 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{314,159}{3,9392}$$

$$= 79,752 \text{ mm}$$

Digunakan s = 50 mm

Cek spasi maksimum

- a.  $\frac{1}{4}$  dimensi kolom terkecil = 100 mm
- b. 6 kali diameter tulangan longitudinal = 150 mm
- c.  $S_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right)$

$$x_1 = \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 2 \times \frac{22}{2}}{4 - 1}$$

$$= 92,67 \text{ mm}$$

$$H_x = x_1$$

$$= 92,67 \text{ mm}$$

$$S_o = 100 + \left( \frac{350 - 92,67}{3} \right)$$

$$= 185,78 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$$

$$S_o = 150 \text{ mm}$$

Jarak tulangan transversal 50 mm memenuhi syarat.



Maka, tulangan transversal di daerah  $l_0$  sebanyak 4D10-50 dapat digunakan.

Tulangan transversal di luar daerah  $l_0$

$$d = 339 \text{ mm}$$

$$V_u = 12,11 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{30} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 400 \times 339 \\ &= 126261 \text{ N} \\ &= 126,261 \text{ kN} \end{aligned}$$

Karena  $V_c > V_u$ , maka syarat terpenuhi.

Misal  $s = 100 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{v,\min} &= 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{bs}{f_{yt}} \\ &= 0,062 \sqrt{30} \left( \frac{400 \times 100}{280} \right) \\ &= 48,513 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v,\min} &= 0,35 \frac{bs}{f_{yt}} \\ &= 0,35 \frac{(400)(100)}{280} \\ &= 50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

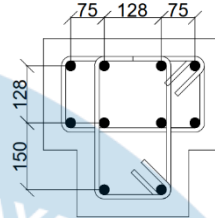
Digunakan 6D13 dengan nilai  $A_v$ :

$$\begin{aligned} A_v &= 4 \times \frac{1}{4} \pi \times 10^2 \\ &= 314,159 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai  $A_v > A_{v,\min}$ , maka syarat terpenuhi dan tulangan transversal di luar daerah  $l_0$  sebanyak 4D10-100 dapat digunakan.

f. Cek spasi tulangan longitudinal

Berdasarkan SNI 2847: 2019 pasal 18.7.5.2, saat  $P_u \leq 0,3A_g f'_c$  atau  $f'_c \leq 70 \text{ MPa}$ , jarak  $h_x$  tidak boleh lebih dari 350 mm.  $h_x$  merupakan jarak as ke as antar tulangan longitudinal. Jarak antar tulangan longitudinal ditunjukkan pada Gambar 2.28.



Gambar 2.28 Jarak antar Tulangan Longitudinal Kolom T  
Karena  $h_x$  lebih kecil dari 350 mm, maka jumlah tulangan longitudinal sudah memenuhi syarat.

2.10.3 Kolom L

a. Data:

- Lebar kolom (B) = 400 mm
- Tinggi kolom (H) = 400 mm
- Lebar sayap = 250 mm
- Berat jenis beton = 24 kN/m<sup>3</sup>
- $f'_c$  = 30 MPa
- Diameter tulangan pokok = 25 mm
- Diameter tulangan susut = 10 mm
- $f_y$  D25 = 420 MPa
- $f_y$  D10 = 280 MPa
- $\lambda$  untuk beton normal = 1
- selimut beton = 40 mm

b. Momen dan Gaya Geser

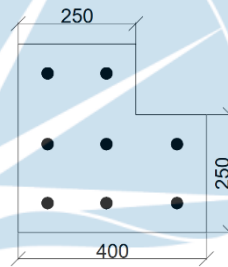
Berdasarkan hasil output Midas, kolom L memiliki gaya geser ( $V_u$ ) sebesar 37,69 kN dan momen seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.21 Momen Kolom L (400x400) akibat  $P_u$  maksimum dan  $P_u$  minimum

Kondisi	$P_u$ (kN)	$M_x$ (kN.m)	$M_y$ (kN.m)
$P_u$ max	1689,56	65,9	22,61
$P_u$ min	50,03	-43,43	38,61

c. Tulangan Longitudinal

Berdasarkan SNI 2847: 2019 pasal 18.7.4.1, luas tulangan kolom untuk struktur tahan gempa sebesar  $0,01A_g$  sampai  $0,06A_g$  atau rasio penulangan ( $\rho$ ) sebesar 0,01 sampai 0,06. Tulangan yang digunakan untuk kolom L sebanyak 8D25 yang disusun seperti gambar 2.29.



Gambar 2.29 Tulangan Longitudinal Kolom L

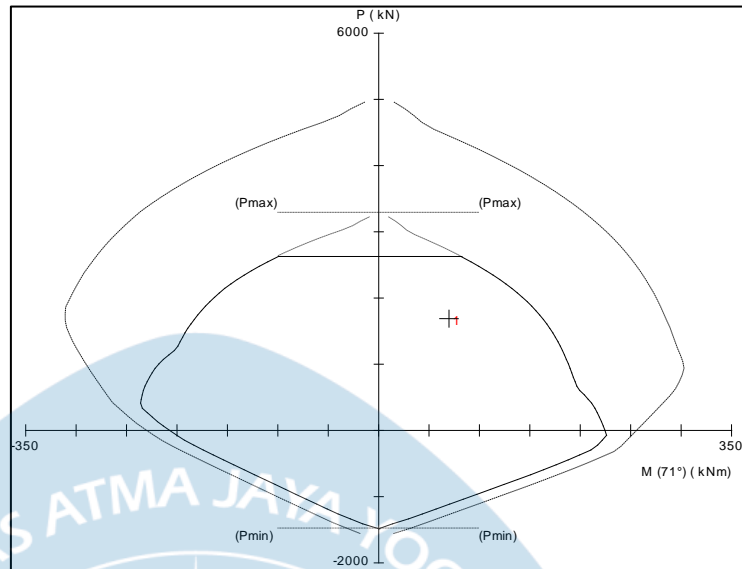
Rasio tulangan

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_{st}}{A_g} \\ &= \frac{(8)(0,25)\pi(25)^2}{(400)(400)-(150)(150)} \\ &= 0,02856\end{aligned}$$

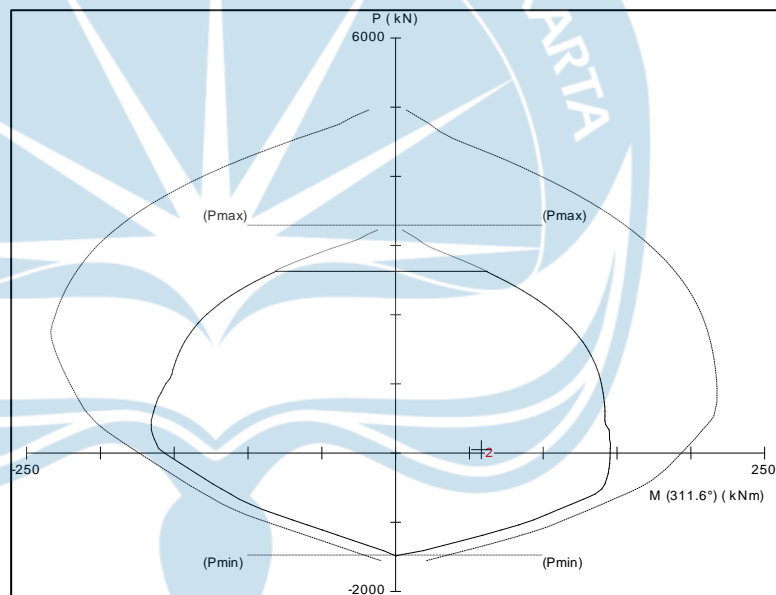
Karena rasio penulangan kolom L lebih besar dari 0,01 dan lebih kecil dari 0,06, maka tulangan longitudinal 8D25 dapat digunakan.

d. Diagram Interaksi

Diagram interaksi kolom L diperoleh dengan bantuan aplikasi spColumn. Hasil diagram interaksi ditunjukkan pada Gambar 2.30 dan Gambar 2.31.



Gambar 2.30 Diagram Interaksi Kolom L akibat  $P_u$  max,  $M_x$ , dan  $M_y$



Gambar 2.31 Diagram Interaksi Kolom L akibat  $P_u$  min,  $M_x$ , dan  $M_y$

#### e. Tulangan Transversal

Perhitungan tulangan transversal kolom didasarkan pada kuat geser kolom dan pengekanan inti beton.

Berdasarkan kuat geser kolom

$$V_u = 37,69 \text{ kN}$$

$$V_c = 0 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - 0$$

$$= \frac{(37,69)10^3}{0,75}$$

$$= 50253,33 \text{ N}$$

$$d = 400 - 40 - 10 - \frac{25}{2}$$

$$= 337,5 \text{ mm}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_{yt} \cdot d}$$

$$= \frac{50253,33}{(280)(337,5)}$$

$$= 0,5318 \text{ mm}^2/\text{mm} \dots\dots\dots(1)$$

Berdasarkan pengekangan inti kolom

Berdasarkan SNI 2847: 2019 tabel 18.7.5.4, persamaan yang digunakan dalam menentukan tulangan transversal untuk kolom sistem rangka pemikul momen khusus didasarkan pada beberapa kondisi.

$$P_u = 1689560 \text{ N}$$

$$0,3A_g f'_c = (0,3)(400)(400)(30)$$

$$= 1440000 \text{ N}$$

Karena  $P_u \leq 0,3A_g f'_c$  dan  $f'_c \leq 30 \text{ MPa}$ , maka persamaan-persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$a. \frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} = 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

$$b. \frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} = 0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

$$c. \frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} = 0,2 k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}}$$

Parameter yang dibutuhkan

$$b_c = \text{lebar kolom} - \text{selimut beton}$$

$$= 250 - 2(40)$$

$$= 170 \text{ mm}$$

$$A_g = (400)(400) - (150)(150)$$

$$= 137500 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = (400 - 2(40))(250 - 2(40)) + (150)(250 - 2(40))$$

$$= 79900 \text{ mm}^2$$

Persamaan a

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} &= 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ &= 0,3 \left( \frac{137500}{79900} - 1 \right) \frac{30}{280} \\ &= 0,023 \\ \frac{A_{sh}}{s} &= (0,023)(170) \\ &= 3,939 \text{ mm}^2 / \text{mm} \dots \dots \dots (2)\end{aligned}$$

Persamaan b

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} &= 0,09 \frac{f'_c}{f_{yt}} \\ \frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} &= 0,09 \left( \frac{30}{280} \right) \\ &= 0,01 \\ \frac{A_{sh}}{s} &= (0,01)(170) \\ &= 1,639 \text{ mm}^2 / \text{mm} \dots \dots \dots (3)\end{aligned}$$

Persamaan c

$$\begin{aligned}k_f &= \frac{f'_c}{175} + 0,6 \geq 1 \\ k_f &= \frac{30}{175} + 0,6 \\ &= 0,771\end{aligned}$$

Karena nilai  $k_f < 1$ , maka digunakan  $k_f = 1$

$$\begin{aligned}k_n &= \frac{nl}{nl-2} \\ &= \frac{8}{8-2} \\ &= 1,333\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} &= 0,2 k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}} \\ \frac{A_{sh}}{s \cdot b_c} &= (0,2)(0,771)(1,333) \left( \frac{1689560}{(280)(79900)} \right) \\ &= 0,0201\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{A_{sh}}{s} &= (0,0201)(170) \\ &= 3,4236 \text{ mm}^2 / \text{mm} \dots \dots \dots (4)\end{aligned}$$

Dari hasil (1), (2), (3), dan (4), digunakan nilai  $\frac{A_{sh}}{s}$  terbesar yaitu 3,9392 mm<sup>2</sup>/mm.

Tulangan transversal di daerah sepanjang  $l_0$

Misal digunakan sengkang diameter 13 mm dengan 4 kaki, maka:

$$\begin{aligned}A_{sh} &= 3 \times \frac{1}{4} \pi \times 10^2 \\ &= 235,619 \text{ mm}^2 \\ s &= \frac{235,619}{3,9392} \\ &= 59,814 \text{ mm}\end{aligned}$$

Digunakan  $s = 50 \text{ mm}$

Cek spasi maksimum

- $\frac{1}{4}$  dimensi kolom terkecil = 100 mm
- 6 kali diameter tulangan longitudinal = 150 mm

c.  $S_o = 100 + \left(\frac{350-h_x}{3}\right)$

$$\begin{aligned}x_1 &= \frac{400-2 \times 40-2 \times 13-2 \times \frac{55}{2}}{3-1} \\ &= 137,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H_x &= x_1 \\ &= 137,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_o &= 100 + \left(\frac{350-137,5}{3}\right) \\ &= 170,83 \text{ mm} > 150 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$S_o = 150 \text{ mm}$$

Jarak tulangan transversal 50 mm memenuhi syarat.

Maka, tulangan transversal di daerah  $l_0$  sebanyak 3D10-50 dapat digunakan.

Tulangan transversal di luar daerah  $l_0$

$$d = 337,5 \text{ mm}$$

$$V_u = 37,69 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \times \sqrt{30} \times b_w \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 400 \times 337,5 \\ &= 125702,3 \text{ N} \\ &= 125,702 \text{ kN}\end{aligned}$$

Karena  $V_c > V_u$ , maka syarat terpenuhi.

Misal  $s = 100$  mm

$$\begin{aligned} A_{v,\min} &= 0,062\sqrt{f_c'} \frac{bs}{f_{yt}} \\ &= 0,062\sqrt{30} \left( \frac{400 \times 100}{280} \right) \\ &= 48,513 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{v,\min} &= 0,35 \frac{bs}{f_{yt}} \\ &= 0,35 \frac{(400)(100)}{280} \\ &= 50 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

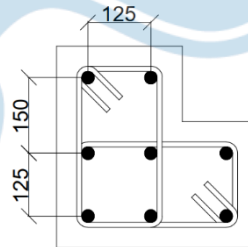
Digunakan 6D13 dengan nilai  $A_v$ :

$$\begin{aligned} A_v &= 3 \times \frac{1}{4} \pi \times 10^2 \\ &= 235,619 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai  $A_v > A_{v,\min}$ , maka syarat terpenuhi dan tulangan transversal di luar daerah lo sebanyak 3D10-100 dapat digunakan.

f. Cek spasi tulangan longitudinal

Berdasarkan SNI 2847: 2019 pasal 18.7.5.2, saat  $P_u > 0,3A_g f_c'$  atau  $f_c' > 70$  MPa, jarak  $h_x$  tidak boleh lebih dari 200 mm.  $h_x$  merupakan jarak as ke as antar tulangan longitudinal. Jarak antar tulangan longitudinal ditunjukkan pada Gambar 2.32.



Gambar 2.32 Jarak antar Tulangan Longitudinal Kolom L  
Karena  $h_x$  lebih kecil dari 200 mm, maka jumlah tulangan longitudinal sudah memenuhi syarat.



## 2.11 Hubungan Balok Kolom

### a. Data:

- $f'_c$  = 30 MPa
- Diameter tulangan pokok = 25 mm
- $f_y$  D25 = 420 MPa
- Lebar balok (B) = 400 mm
- Tinggi balok (H) = 750 mm
- Lebar kolom (B) = 800 mm
- Tinggi kolom (H) = 800 mm
- Bentang bersih kolom ( $l_u$ ) =  $800 - (0,5)(750) - (0,5)(750)$   
= 2750 mm  
= 2,75 m
- Data momen probabilitas  
Mpr1 (-) = 945,85 kN.m  
Mpr1 (+) = 502,22 kN.m  
Mpr2 (-) = 945,85 kN.m  
Mpr2 (+) = 502,22 kN.m
- Data penulangan  
Tumpuan (-) → 6D25  
Tumpuan (+) → 3D25  
Lapangan (-) → 2D25  
Lapangan (+) → 4D25

### b. Penentuan Dimensi *Joint*

#### Cek syarat dimensi kolom

Berdasarkan SNI 2847: 2019 pasal 18.8.2.3, dimensi kolom yang paralel dengan tulangan longitudinal balok yang diteruskan melalui *joint* balok-kolom tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar balok.

$$20db = (20)(25)$$

$$= 500 \text{ mm}$$

Karena nilai  $20db < 800 \text{ mm}$  (lebar balok), maka syarat terpenuhi.

### Tinggi joint (h)

Berdasarkan pasal 18.8.2.4, tinggi *joint* h tidak boleh kurang dari setengah tinggi balok-balok yang merangka pada *joint* tersebut. Nilai h diambil sebesar tinggi kolom.

$$h > (0,5)(H_{\text{balok}})$$

$$800 \text{ mm} > (0,5)(750)$$

$$800 \text{ mm} > 375 \text{ mm}$$

Karena nilai  $h > 375 \text{ mm}$ , maka syarat terpenuhi.

### Lebar joint efektif

Berdasarkan pasal 18.8.4.3, lebar *joint* efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil dari lebar balok ditambah tinggi *joint* atau dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.

$$b + h = 400 + 750$$

$$= 1150 \text{ mm}$$

$$b + 2x = 400 + (2)((800 - 400)/2)$$

$$= 800 \text{ mm}$$

Digunakan lebar efektif 800 mm sehingga luas efektif dihitung sebagai berikut:

$$A_j = \text{tinggi joint} \times \text{lebar efektif joint}$$

$$= (800)(800)$$

$$= 640000 \text{ mm}^2$$

### c. Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847: 2019 pasal 18.8.3.1, tulangan transversal *joint* dihitung sesuai perhitungan penulangan kolom yang telah dijelaskan pada 2.10. Pada pasal 18.8.3.2 dijelaskan apabila empat buah balok merangka pada keempat sisi hubungan balok kolom, maka tulangan transversal dapat direduksi setengahnya dan spasi tulangan transversal sebesar 150 mm.

$$B_{\text{balok}} = 400 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{4} B_{\text{kolom}} = \frac{3}{4} (800) = 600 \text{ mm}$$

Karena  $B_{\text{balok}} < B_{\text{kolom}}$ , maka tulangan transversal di hubungan balok kolom diambil sebesar 6D13-150.

d. Gaya Geser pada *Joint*

Karena kekakuan kolom atas dan bawah dianggap sama, maka faktor distribusi diambil sebesar 0,5. Momen dan gaya geser desain kolom dihitung sebagai berikut:

$$M_e = \frac{M_{pr(-)} + M_{pr(+)}}{2} = \frac{945,85 + 502,22}{2} = 724,036 \text{ kN.m}$$

$$V_e = \frac{M_e + M_e}{l_u} = \frac{724,036 + 724,036}{2,75} = 526,572 \text{ kN}$$

Diasumsikan arah goyangan kolom ke kanan

Gaya tarik tulangan dan gaya tekan beton sisi kanan

Luas tulangan  $A_{s\_3D25} = 1472,622 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,25A_s f_y \\ &= (1,25)(1472,622)(420) \\ &= 773126,317 \text{ N} \\ &= 773,126 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$C_1 = T_1 = 773,126 \text{ kN}$$

Gaya tarik tulangan dan gaya tekan beton sisi kiri

Luas tulangan  $A_{s\_6D25} = 2945,243 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} T_2 &= 1,25A_s f_y \\ &= (1,25)(2945,243)(420) \\ &= 1546252,634 \text{ N} \\ &= 1546,253 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$C_2 = T_2 = 1546,253 \text{ kN}$$

Gaya geser pada joint ( $V_j$ )

$$\begin{aligned} V_j &= V_e - T_2 - C_1 \\ &= 526,572 - 1546,253 - 773,126 \\ &= -1792,807 \text{ kN} \end{aligned}$$

e. Kekuatan Geser *Joint*

Berdasarkan tabel 18.8.4.1, konfigurasi *joint* yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}V_n &= 1,7\lambda\sqrt{f'_c}A_j \\V_n &= (1,7)(1)\sqrt{30}(640000) \\&= 5959221,43 \text{ N} \\&= 5959,221 \text{ kN} \\ \phi V_n &= (0,75)(5959,221) \\&= 4469,416 \text{ kN}\end{aligned}$$

Karena nilai  $\phi V_n > V_j$ , maka syarat terpenuhi.

2.12 Panjang Penyaluran Tulangan

a. Data:

- $f'_c$  = 30 MPa
- $f_y$  = 420 Mpa
- D tulangan longitudinal = 25 mm
- D tulangan geser = 13 mm
- Selimut beton = 40 mm

b. Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir dalam Kondisi Tarik

Berdasarkan SNI 2847: 2019 pasal 25.4.2.3, panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik ( $l_d$ ) dihitung dengan rumus berikut.

$$l_d = \left( \frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)} \right) d_b$$

Dengan nilai  $\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)$  tidak boleh lebih besar dari 2,5 dan  $K_{tr}$  dianggap 0 sebagai penyederhanaan.

$$C_b = 40 + 13 + \frac{25}{2} = 65,5 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b}\right) = \left(\frac{65,5 + 0}{25}\right) = 2,62 > 2,5$$

Berdasarkan SNI 2847: 2019 tabel 25.4.2.4, faktor modifikasi untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik didapatkan seperti gambar 2.33.

Tabel 25.4.2.4 – Faktor modifikasi untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi Tarik

Faktor modifikasi	Kondisi	Faktor
Beton ringan $\lambda$	Beton ringan	0,75
	Beton ringan, bila $f_{cr}$ ditentukan	Sesuai dengan 19,2,4.3
	Beton normal	1,0
Epoksi $\Psi_e$	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan selimut bersih kurang dari $3d_b$ atau spasi kurang dari $6d_b$	1,5
	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan kondisi lainnya	1,2
	Tulangan tanpa pelapis atau pelapis seng (galvanis)	1,0
Ukuran $\Psi_s$	Batang D22 dan yang lebih besar	1,0
	Batang D19 dan yang lebih kecil dan kawat ulir	0,8
Posisi pengecoran <sup>(1)</sup> $\Psi_c$	Lebih dari 30 mm beton segar diletakkan di bawah tulangan horizontal	1,3
	lainnya	1,0

<sup>(1)</sup> Hasil dari  $\Psi_c$  tidak boleh melebihi 1,7

Gambar 2.33 Faktor Modifikasi untuk Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir dalam Kondisi Tarik yang Digunakan

$$\begin{aligned}
 l_d &= \left( \frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f_{c'}}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left( \frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b \\
 &= \left( \frac{420}{(1,1)(1)(\sqrt{30})} \frac{(1,3)(1)(1)}{(2,5)} \right) (25) \\
 &= 992,727 \text{ mm} \\
 &\approx 995 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

c. Penyaluran Kait Standar dalam Kondisi Tarik

Berdasarkan SNI 2847: 2019 pasal 25.4.3.1, panjang penyaluran tarik batang ulir yang diakhiri dengan suatu kait standar ( $l_{dh}$ ) harus diambil terbesar dari tiga syarat berikut.

- $\left( \frac{0,24f_y \Psi_e \Psi_c \Psi_r}{\lambda\sqrt{f_{c'}}} \right) d_b$
- $8d_b$
- 150 mm

Berdasarkan SNI 2847: 2019 tabel 25.4.3.2, nilai  $\Psi_e$ ,  $\Psi_c$ , dan  $\Psi_r$  didapatkan berdasarkan gambar 2.34.

**Tabel 25.4.3.2 – Faktor modifikasi untuk panjang penyaluran batang dengan kait dalam kondisi Tarik**

Faktor Modifikasi	Kondisi	Nilai faktor
Bobot beton $\lambda$	Beton ringan	0,75
	Beton normal	1,0
Epoksi $\Psi_e$	Tulangan dengan pelapis epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi	1,2
	Tulangan tanpa pelapis atau pelapis seng (galvanis)	1,0
Selimut $\Psi_c$	Untuk batang D36 dan yang lebih kecil dengan tebal selimut samping (normal terhadap bidang kait) $\geq 65$ mm dan untuk kait 90 derajat dengan tebal selimut pada perpanjangan batang di luar kait $\geq 50$ mm	0,7
	Lainnya	1,0

Faktor Modifikasi	Kondisi	Nilai faktor
Tulangan pengekokang $\Psi_r$	Untuk kait 90 derajat batang D36 dan yang lebih kecil 1. dilingkupi sepanjang $l_{dh}$ sengkang ikat atau sengkang <sup>[1]</sup> yang tegak lurus terhadap $l_{dh}$ pada $s \leq 3d_b$ , atau 2. dilingkupi sepanjang perpanjangan tulangan melewati kait termasuk bengkokan dengan sengkang ikat atau sengkang <sup>[1]</sup> yang tegak lurus terhadap $l_{ext}$ pada $s \leq 3d_b$	0,8
	Untuk kait 180 derajat D36 dan yang lebih kecil dilingkupi sepanjang $l_{dh}$ dengan sengkang ikat atau sengkang <sup>[1]</sup> yang tegak lurus terhadap $l_{dh}$ pada $s \leq 3d_b$	
	Lainnya	1,0

Gambar 2.34 Faktor Modifikasi untuk Panjang Penyaluran Batang dengan Kait dalam Kondisi Tarik yang Digunakan

Maka,  $l_{dh}$  dapat diitung dengan cara sebagai berikut.

- $\left( \frac{0,24f_y\Psi_e\Psi_c\Psi_r}{\lambda\sqrt{f_{c'}}} \right) d_b = \left( \frac{(0,24)(420)(1)(1)(1)}{(1)(\sqrt{30})} \right) (25) = 460,087 \text{ mm}$

- $8d_b = (8)(25) = 200 \text{ mm}$

- $150 \text{ mm}$

$l_{dh}$  yang digunakan adalah nilai yang terbesar yaitu  $460,087 \text{ mm} \approx 465 \text{ mm}$ .

$$l_{ext} = 12d_b = (12)(25) = 300 \text{ mm}$$

d. Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir dalam Kondisi Tekan

Berdasarkan SNI 2847: 2019 pasal 25.4.9.1 dan 25.4.9.2, panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan yang terbesar dari ketiga syarat berikut.

- $\left( \frac{0,24f_y\Psi_r}{\lambda\sqrt{f_{c'}}} \right) d_b$

- $0,043f_y\Psi_r d_b$

- $200 \text{ mm}$

Berdasarkan SNI 2847: 2019 pasal 25.4.9.3, nilai  $\Psi_r$  diizinkan untuk diambil sebesar 1.

Maka, nilai  $l_{dc}$  dapat dihitung dengan cara sebagai berikut.

- $\left(\frac{0,24f_y\Psi_r}{\lambda\sqrt{f_c'}}\right) d_b = \left(\frac{(0,24)(420)(0,75)}{(1)(\sqrt{30})}\right) (25) = 345,0652 \text{ mm}$
- $0,043f_y\Psi_r d_b = (0,043)(420)(0,75)(25) = 338,625 \text{ mm}$
- 200 mm

$l_{dc}$  yang digunakan adalah nilai yang terbesar yaitu  $345,0652 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$ .

