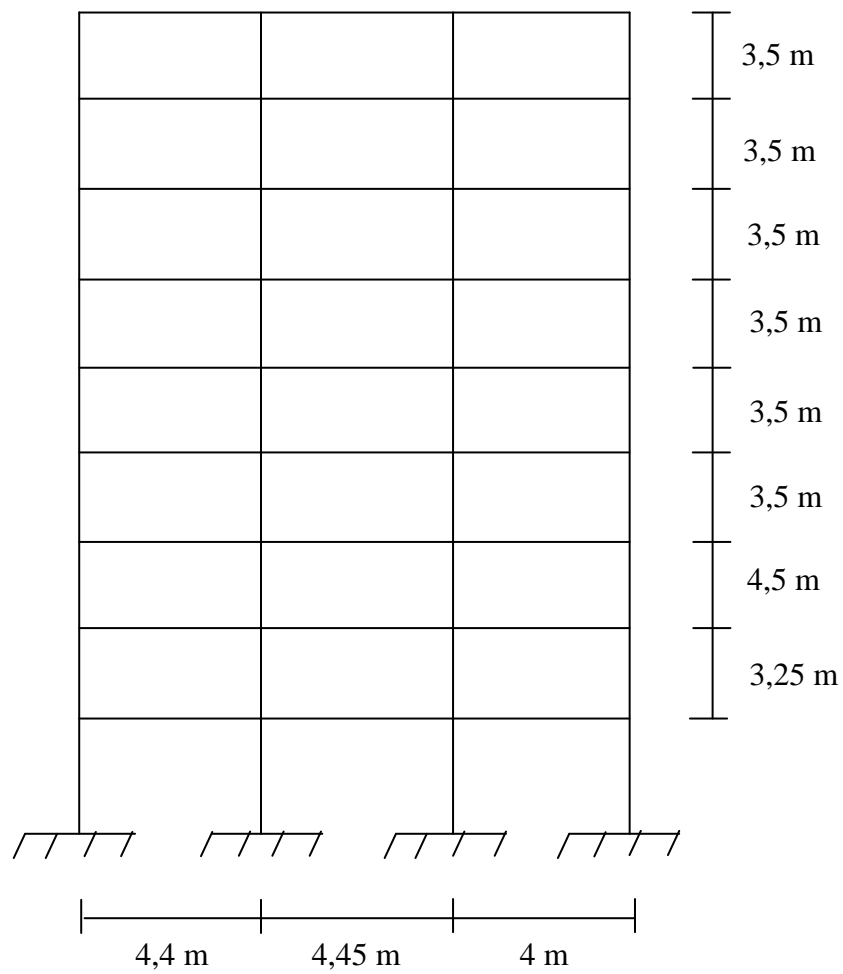


BAB V

ANALISIS PEMBEBANAN

Analisis pembebanan pada penelitian ini berupa beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa.



Gambar 5.1. Struktur portal balok-kolom

A. Beban mati, beban hidup, beban angin

1. Pelat Atap

a. Beban Mati

$$\text{Pelat lantai (12 cm)} = 0,12 \times 24 \text{ KN/m}^3 = 2,88 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Water proofing} = 0,50 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Plafon dan penggantung} = 0,18 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{M \& E} = 0,20 \text{ KN/m}^2$$

$$qDL = 0,88 \text{ KN/m}^2$$

b. Beban hidup pelat fungsi hotel

$$qLL = 2,5 \text{ KN/m}^2$$

2. Pelat Lantai S12

a. Beban Mati

$$\text{Pelat lantai (12 cm)} = 0,12 \times 24 \text{ KN/m}^3 = 2,88 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Spesi penutup lantai (2cm)} = 2 \times 0,21 \text{ KN/m}^2 = 0,42 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Plafon dan penggantung} = 0,18 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Beban keramik} = 0,24 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{M \& E} = 0,20 \text{ KN/m}^2$$

$$qDL = 1,04 \text{ KN/m}^2$$

b. Beban hidup pelat fungsi hotel

$$qLL = 2,5 \text{ KN/m}^2$$

3. Pelat Lantai S15

a. Beban Mati

$$\text{Pelat lantai (15 cm)} = 0,15 \times 24 \text{ KN/m}^3 = 3,60 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Spesi penutup lantai (2cm)} = 2 \times 0,21 \text{ KN/m}^2 = 0,42 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Plafon dan penggantung} = 0,18 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{Beban keramik} = 0,24 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{M \& E} = 0,20 \text{ KN/m}^2$$

$$qDL = 1,04 \text{ KN/m}^2$$

b. Beban hidup pelat fungsi hotel

$$qLL = 2,5 \text{ KN/m}^2$$

4. Pelat Lantai S20

a. Beban Mati

$$\text{Pelat lantai (20 cm)} = 0,20 \times 24 \text{ KN/m}^3 = 4,80 \text{ KN/m}^2$$

Spesi penutup lantai (2cm)	$= 2 \times 0,21 \text{ KN/m}^2$	$= 0,42 \text{ KN/m}^2$
Plafon dan penggantung		$= 0,18 \text{ KN/m}^2$
Beban keramik		$= 0,24 \text{ KN/m}^2$
M & E		$= 0,20 \text{ KN/m}^2$
	qDL	$= 1,04 \text{ KN/m}^2$
b. Beban hidup pelat fungsi hotel	qLL	$= 2,5 \text{ KN/m}^2$

5. Pelat Tangga

a. Beban Mati

Pelat tangga (20 cm)	$= 0,20 \times 24 \text{ KN/m}^3$	$= 4,80 \text{ KN/m}^2$
Spesi (2cm)	$= (0,175 + 0,3) \times 2,857 \times 2 \times 0,21 \text{ KN/m}^2$	$= 0,57 \text{ KN/m}$
Keramik	$= (0,175 + 0,3) \times 2,857 \times 0,24 \text{ KN/m}^2$	$= 0,33 \text{ KN/m}$
Anak tangga	$= 0,5 \times (0,175 \times 0,3) \times 2,857 \times 24 \text{ KN/m}^3$	$= 1,80 \text{ KN/m}$
	qDL	$= 2,70 \text{ KN/m}$
b. Beban hidup pelat tangga fungsi hotel	qLL	$= 3,0 \text{ KN/m}^2$

6. Pelat Bordes

a. Beban Mati

Pelat bordes (20 cm)	$= 0,20 \times 24 \text{ KN/m}^3$	$= 4,80 \text{ KN/m}^2$
Spesi penutup lantai (2cm)	$= 2 \times 0,21 \text{ KN/m}^2$	$= 0,42 \text{ KN/m}^2$
Beban keramik		$= 0,24 \text{ KN/m}^2$
	qDL	$= 0,66 \text{ KN/m}^2$
b. Beban hidup pelat bordes fungsi hotel	qLL	$= 3,0 \text{ KN/m}^2$

7. Balok lantai dasar

a. Beban mati

1) Berat sendiri balok:

Balok S1	$= (0,6 \times 0,2) \times 56 \times 24$	$= 161,28 \text{ KN/ m}^2$
Balok S2	$= (0,6 \times 0,2) \times 25,7 \times 24$	$= 74,016 \text{ KN/ m}^2$
Balok S3	$= (0,6 \times 0,2) \times 2,15 \times 24$	$= 6,192 \text{ KN/ m}^2$
Balok S4	$= (0,6 \times 0,2) \times 9,25 \times 24$	$= 26,64 \text{ KN/ m}^2$
Balok B3f	$= (0,4 \times 0,2) \times 25,75 \times 24$	$= 49,44 \text{ KN/ m}^2$
Balok B3g	$= (0,4 \times 0,2) \times 13,2 \times 24$	$= 25,344 \text{ KN/ m}^2$
Balok B3h	$= (0,4 \times 0,2) \times 8,45 \times 24$	$= 16,224 \text{ KN/ m}^2$

$$\text{Balok B0d} = (0,6 \times 0,25) \times 14 \times 24 = 50,4 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B0e} = (0,6 \times 0,25) \times 14 \times 24 = 50,4 \text{ KN/ m}^2$$

2) Berat dinding pada balok:

$$\text{Balok S1} = (3,25 - 0,5) \times 2 = 5,5 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok S2} = (3,25 - 0,5) \times 2 = 5,5 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok S3} = (3,25 - 0,4) \times 2 = 5,7 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok S4} = (3,25 - 0,3) \times 2 = 5,9 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B3f} = (3,25 - 0,4) \times 2 = 5,7 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B3g} = (3,25 - 0,12) \times 2 = 6,26 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B3h} = (3,25 - 0,4) \times 2 = 5,7 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B0d} = (3,25 - 0,5) \times 2 = 5,5 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B0e} = (3,25 - 0,6) \times 2 = 5,3 \text{ KN/ m}^2$$

8. Balok lantai 1

a. Beban mati

1) Berat sendiri balok:

$$\text{Balok B1a} = (0,5 \times 0,2) \times 21 \times 24 = 50,4 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B1b} = (0,5 \times 0,2) \times 14 \times 24 = 33,6 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B1c} = (0,5 \times 0,2) \times 58,4 \times 24 = 140,16 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B0a} = (0,6 \times 0,25) \times 35 \times 24 = 126 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B0c} = (0,6 \times 0,25) \times 7 \times 24 = 25,2 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B3c} = (0,4 \times 0,2) \times 12,85 \times 24 = 24,672 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B3d} = (0,4 \times 0,2) \times 30,1 \times 24 = 57,792 \text{ KN/ m}^2$$

2) Berat dinding pada balok:

$$\text{Balok B1a} = (4,5 - 0,5) \times 2 = 8 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B1b} = (4,5 - 0,5) \times 2 = 8 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B1c} = (4,5 - 0,5) \times 2 = 8 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B0a} = (4,5 - 0,6) \times 2 = 7,8 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B0c} = (4,5 - 0,6) \times 2 = 7,8 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B3c} = (4,5 - 0,4) \times 2 = 8,2 \text{ KN/ m}^2$$

$$\text{Balok B3d} = (4,5 - 0,4) \times 2 = 8,2 \text{ KN/ m}^2$$

9. Balok lantai 2 – lantai 6

a. Beban mati

1) Berat sendiri balok

$$\begin{aligned} \text{Balok B1a} &= (0,5 \times 0,2) \times 21 \times 24 && = 50,4 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B1b} &= (0,5 \times 0,2) \times 14 \times 24 && = 33,6 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B1c} &= (0,5 \times 0,2) \times 58,4 \times 24 && = 140,16 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B0a} &= (0,6 \times 0,25) \times 35 \times 24 && = 126 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B0c} &= (0,6 \times 0,25) \times 7 \times 24 && = 25,2 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B3c} &= (0,4 \times 0,2) \times 12,85 \times 24 && = 24,672 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B3d} &= (0,4 \times 0,2) \times 30,1 \times 24 && = 57,792 \text{ KN/ m}^2 \end{aligned}$$

2) Berat dinding pada balok:

$$\begin{aligned} \text{Balok B1a} &= (3,5 - 0,5) \times 2 && = 6 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B1b} &= (3,5 - 0,5) \times 2 && = 6 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B1c} &= (3,5 - 0,5) \times 2 && = 6 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B0a} &= (3,5 - 0,6) \times 2 && = 5,8 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B0c} &= (3,5 - 0,6) \times 2 && = 5,8 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B3c} &= (3,5 - 0,4) \times 2 && = 6,2 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B3d} &= (3,5 - 0,4) \times 2 && = 6,2 \text{ KN/ m}^2 \end{aligned}$$

10. Balok lantai 7

a. Beban mati

1) Berat sendiri balok

$$\begin{aligned} \text{Balok B1a} &= (0,5 \times 0,2) \times 21 \times 24 && = 50,4 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B1b} &= (0,5 \times 0,2) \times 14 \times 24 && = 33,6 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B1c} &= (0,5 \times 0,2) \times 58,4 \times 24 && = 140,16 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B0a} &= (0,6 \times 0,25) \times 35 \times 24 && = 126 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B0c} &= (0,6 \times 0,25) \times 7 \times 24 && = 25,2 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B3c} &= (0,4 \times 0,2) \times 12,85 \times 24 && = 24,672 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B3d} &= (0,4 \times 0,2) \times 30,1 \times 24 && = 57,792 \text{ KN/ m}^2 \end{aligned}$$

2) Berat dinding pada balok:

$$\begin{aligned} \text{Balok B1a} &= (3,5 - 0,4) \times 2 && = 6,2 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B1b} &= (3,5 - 0,4) \times 2 && = 6,2 \text{ KN/ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Balok B1c} &= (3,5 - 0,4) \times 2 &= 6,2 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B0a} &= (3,5 - 0,6) \times 2 &= 5,8 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B0c} &= (3,5 - 0,6) \times 2 &= 5,8 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B3c} &= (3,5 - 0,4) \times 2 &= 6,2 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B3d} &= (3,5 - 0,4) \times 2 &= 6,2 \text{ KN/ m}^2 \end{aligned}$$

11. Balok lantai atap

a. Beban mati

1) Berat sendiri balok

$$\begin{aligned} \text{Balok B1b} &= (0,5 \times 0,2) \times 14 \times 24 &= 33,6 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B1c} &= (0,5 \times 0,2) \times 25,7 \times 24 &= 61,68 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B0a} &= (0,6 \times 0,25) \times 14 \times 24 &= 50,4 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B0b} &= (0,6 \times 0,25) \times 21 \times 24 &= 75,6 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B0c} &= (0,6 \times 0,25) \times 7 \times 24 &= 25,2 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B3b} &= (0,4 \times 0,2) \times 14 \times 24 &= 26,88 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B3c} &= (0,4 \times 0,2) \times 14 \times 24 &= 26,88 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B3d} &= (0,4 \times 0,2) \times 55,8 \times 24 &= 107,136 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B3e} &= (0,4 \times 0,2) \times 11 \times 24 &= 21,12 \text{ KN/ m}^2 \\ \text{Balok B4} &= (0,3 \times 0,2) \times 8,5 \times 24 &= 12,24 \text{ KN/ m}^2 \end{aligned}$$

B. Beban Angin

Besarnya beban angin yang bekerja pada struktur bangunan tergantung dari kecepatan angin, rapat massa udara, letak geografis, bentuk dan ketinggian bangunan serta kekakuan struktur. Ketentuan beban angin yang bekerja pada struktur bangunan dapat dilihat pada PPPURG 1987 pasal 2.1.3

P1	$= 0,9 \times 12,25 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 275,625 \text{ kg}$	(Desak)
	$= 0,4 \times 12,25 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 122,5 \text{ kg}$	(Hisap)
P2	$= 0,9 \times 14 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 315 \text{ kg}$	(Desak)
	$= 0,4 \times 14 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 140 \text{ kg}$	(Hisap)
P3	$= 0,9 \times 13,56 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 305,16 \text{ kg}$	(Desak)
	$= 0,4 \times 13,56 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 135,625 \text{ kg}$	(Hisap)
P4	$= 0,9 \times 5,69 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 127,97 \text{ kg}$	(Desak)
	$= 0,4 \times 5,69 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 56,875 \text{ kg}$	(Hisap)
P5	$= 0,9 \times 11,375 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 255,94 \text{ kg}$	(Desak)
	$= 0,4 \times 11,375 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 113,75 \text{ kg}$	(Hisap)
P6	$= 0,9 \times 27,125 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 610,31 \text{ kg}$	(Desak)
	$= 0,4 \times 27,125 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 271,25 \text{ kg}$	(Hisap)
P7	$= 0,9 \times 28 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 630 \text{ kg}$	(Desak)
	$= 0,4 \times 28 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 280 \text{ kg}$	(Hisap)
P8	$= 0,9 \times 24,5 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 551,25 \text{ kg}$	(Desak)
	$= 0,4 \times 24,5 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 245 \text{ kg}$	(Hisap)
P9	$= 0,9 \times 12,25 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 275,625 \text{ kg}$	(Desak)
	$= 0,4 \times 12,25 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 122,5 \text{ kg}$	(Hisap)
P10	$= 0,9 \times 6,125 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 137,81 \text{ kg}$	(Desak)
	$= 0,4 \times 6,125 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 61,25 \text{ kg}$	(Hisap)

C. Beban Gempa

1. Klasifikasi Situs Tanah

Pembuatan respon spektrum rencana, harus mengetahui terlebih dahulu jenis situs tanah. Penentuan jenis tanah berdasarkan dari Penyelidikan Tanah yang telah dilakukan di lokasi proyek tersebut, dari laporan tersebut dapat dihitung nilai \bar{N} seperti dibawah ini.

Tabel 5. 1 Nilai Penetrasi Standart

No	Kedalaman (m)	SPT Value (N)	d_i (Contact Depth)(m)	d_i / N_v
1	0	0	-	-
2	2	36	2,5	0,069
3	4	32	3,5	0,109
4	6	29	3,5	0,121
5	8	25	3	0,120
6	10	21	2,5	0,119
7	12	28	2,5	0,089
8	14	30	3,5	0,117
9	16	41	3	0,073
10	18	42	3	0,071
11	20	46	2	0,043
$\sum d_i$			29	
$\sum d_i / N_v$				0,931

Sumber: Laporan Penyelidikan Geoteknik Proyek, 2015.

Nilai \bar{N} didapat dengan menggunakan persamaan (3. 63):

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

$$\bar{N} = \frac{29}{0,931} = 31,149$$

Berdasarkan Tabel 5.2 pada SNI 1726:2012 pasal 5.3, untuk nilai $N = 31,149$ klasifikasi tanah situs termasuk jenis **Tanah Sedang**.

2. Respon Spektrum Desain

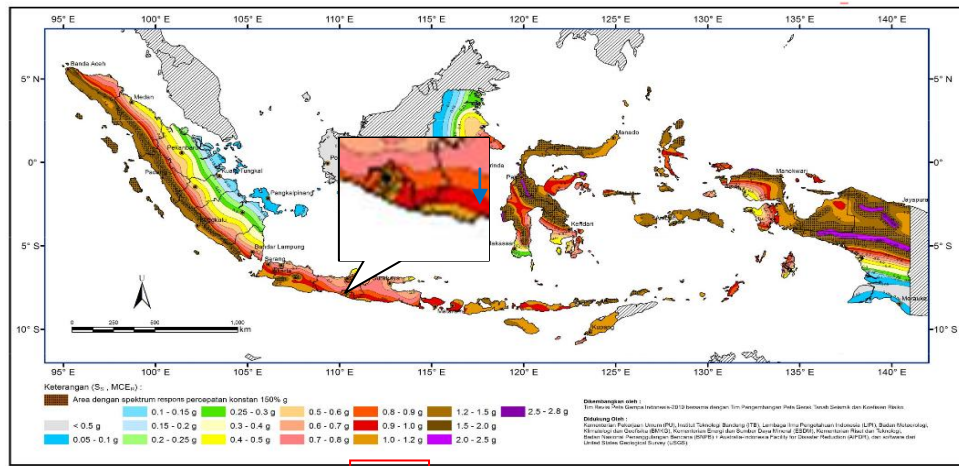
Analisis respon spektrum dalam disain akan menampilkan spektrum respon disain SNI 1726:2012.

a. Spektrum respon desain SNI 1726:2012

Berdasarkan Gambar 9 dan Gambar 10 pada SNI 1726:2012 didapatkan nilai S_s dan S_1 .

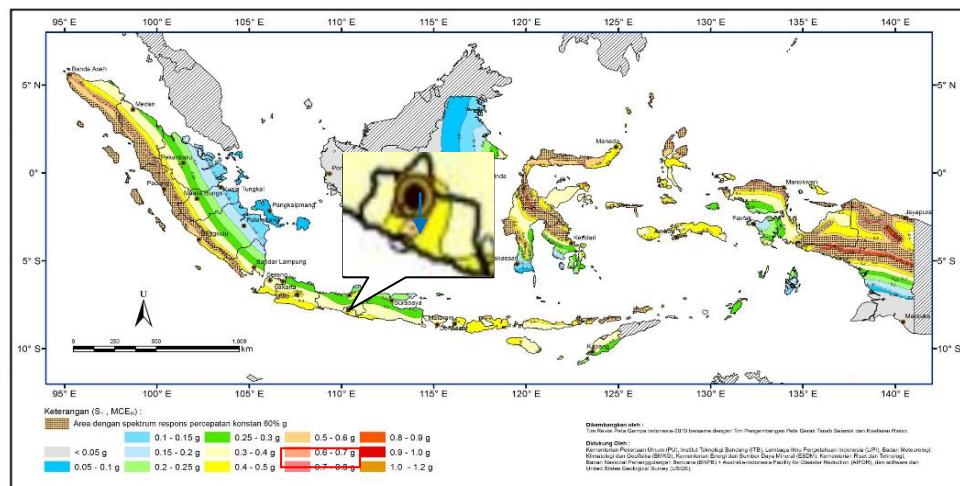
$$S_s = 0,95$$

$$S_1 = 0,55$$



Gambar 5. 2 Peta wilayah nilai S_s

(Sumber: SNI 1726:2012)



Gambar 5. 3 Peta wilayah nilai S_1

(Sumber: SNI 1726:2012)

Koefisien situs F_a dan F_v dapat diketahui pada Tabel 5. 3 dan Tabel 5. 4 pada SNI 1726:2012, nilainya adalah:

$$F_a = 1,12$$

$$F_v = 1,5$$

Tabel 5. 2 Nilai koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T=0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

Sumber: SNI 1726:2012 pasal 6. 2

CATATAN:

- Untuk nilai-nilai antara S_s dapat dilakukan interpolasi linier
- SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respon situs-spesifik, lihat pada pasal 6. 10. 1 SNI 1726:2012

Tabel 5. 3 Nilai koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Sumber: SNI 1726 : 2012 pasal 6. 2

CATATAN:

- Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
- SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respon situs-spesifik, lihat pada pasal 6. 10. 1 SNI 1726:2012.

Parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek (S_{MS}) menggunakan persamaan (3.66), didapat nilai S_{MS} sebagai berikut:

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

$$S_{MS} = 1,12 \times 0,95 = 1,064$$

Parameter spektrum percepatan pada periode 1 detik (S_{MI}) menggunakan persamaan (3.67), didapat nilai S_{MI} sebagai berikut:

$$S_{MI} = F_v \times S_I$$

$$S_{MI} = 1,5 \times 0,55 = 0,825$$

Parameter percepatan spektral disain untuk periode pendek (S_{DS}) ditentukan dengan Persamaan (3.68) dan pada periode 1 detik (S_{DI}) ditentukan dengan Persamaan (3.69). Nilai S_{DS} dan S_{DI} sebagai berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} 1,064 = 0,709$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI}$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} 0,825 = 0,55$$

Karena $0,50 \leq S_{DS}$ dan $0,20 \leq S_{DI}$ maka berdasarkan tabel 6 dan tabel 7 kategori desain seismik SNI 1726:2012 daerah Yogyakarta termasuk dalam kategori seismik D.

Tabel 5. 4 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gaya gempa

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_s (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5%	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4%	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2%	TB	TI	TI	TI	TI

Berdasarkan Tabel 5.4 didapatkan koefisien modifikasi respon (R) sebesar 8 karena struktur rangka beton bertulang pemikul momen khusus yang berada di Yogyakarta termasuk dalam kategori seismik D maka:

$$SF = g \cdot \frac{I}{R}$$

$$SF = 9,81 \cdot \frac{1}{8}$$

$$SF = 1,23$$

Penentuan percepatan spektrum desain (S_a) mengacu pada Gambar 3.3 dengan persyaratan yang telah dibahas di Bab III.G.2. Sebelum menentukan S_a harus diketahui nilai T_0 dan T_s sebagai berikut:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{Ds}}$$

$$T_0 = 0,2 \frac{0,55}{0,709} = 0,155$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{Ds}}$$

$$T_s = \frac{0,55}{0,709} = 0,776$$

Contoh perhitungan percepatan spektrum desain (S_a) pada periode (T) = 2 detik sebagai berikut:

$T = 2$ (Nilai $T > T_s = 0,776$), sehingga nilai S_a ,

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

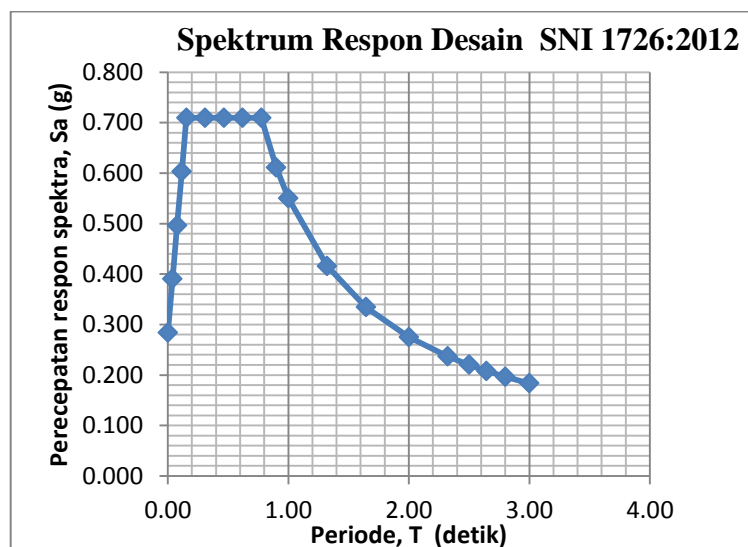
$$S_a = \frac{0,55}{2} = 0,275$$

hasil perhitungan nilai S_a dari tiap periode (T) dapat dilihat pada Tabel 5. 5 dan gambar spektrum respon ditunjukkan pada Gambar 5. 3.

Tabel 5. 5 Koordinat spektrum respon

T (Periode)	Sa (Spektrum Percepatan)	Keterangan
0,00	0,284	T<T₀
0,04	0,390	
0,08	0,497	
0,12	0,603	
0,16	0,709	T₀<T<T_s
0,31	0,709	
0,47	0,709	
0,62	0,709	
0,78	0,709	
0,90	0,611	T>T_s
1,00	0,550	
1,32	0,416	
1,64	0,334	
2,00	0,275	
2,32	0,237	
2,50	0,220	
2,64	0,208	
2,80	0,196	
3,00	0,183	

Sumber: Hasil perhitungan, 2016



Gambar 5. 4 Respon spektrum gempa rencana SNI 1726:2012

3. Berat Seismik (W)

Perhitungan berat seismik (W) mengacu pada ketentuan SNI 1726:2012 pasal 7.7.2. Perhitungan berat seismik (W) meliputi berikut ini.

a) Berat struktur

Nilai besaran berat dinding di struktur dapat dilihat pada Tabel 5.6 dengan menggunakan nilai berat dinding 200 Kg/m^2 untuk bangunan hotel (mengacu Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983) dan berat keseluruhan struktur dapat dilihat pada Tabel 5.7 dengan berat volume beton bertulang 24 KN/m^3 (2400 Kg/m^3). Dan untuk lebih rincinya dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 5.6 Hasil perhitungan berat dinding pada gedung

Lantai	Beban dinding (kg/m^2)	Panjang (m)	Tinggi (m)	Berat (kg)
1	200	141,529	4,5	127376,1
2	200	147,697	3,5	103387,9
3	200	147,697	3,5	103387,9
4	200	147,697	3,5	103387,9
5	200	147,697	3,5	103387,9
6	200	147,697	3,5	103387,9
7	200	16,9	3,5	116130
Total berat dinding				760445,6

Sumber : Hasil perhitungan, 2016

Tabel 5.7 Hasil perhitungan beban struktur mati pada gedung

Lantai	Berat Jenis Konstruksi (Kg)			Jumlah (kg)
	Pelat	Kolom	Balok	
1	72298,08	50155,2		122453,28
2	72298,08	36187,2	45782,4	154267,68
3	72298,08	36187,2	45782,4	154267,68
4	72298,08	36187,2	45782,4	154267,68
5	72298,08	30139,2	45782,4	148219,68
6	72298,08	30139,2	45782,4	148219,68
7	72298,08	24091,2	45782,4	142171,68
Atap	53518,464	5191,2	45782,4	104492,064
Berat dinding				76044,6
Total Beban Struktur, W_1 (Kg)				1888805,024

Sumber : Hasil perhitungan, 2016

b) Perhitungan beban lantai akibat beban gravitasi

i. Beban mati

Perhitungan beban mati akibat beban gravitasi pada tiap lantai (W_2) ditunjukkan pada tabel 5.8.

Tabel 5.8 Beban mati akibat beban gravitasi pada tiap lantai

Lantai	Beban Mati (Kg/m^2)	Luasan Plat (m^2)	Berat Mati (Kg)
1	104	251,035	26107,64
2	104	251,035	26107,64
3	104	251,035	26107,64
4	104	251,035	26107,64
5	104	251,035	26107,64
6	104	251,035	26107,64
7	104	251,035	26107,64
Atap	88	185,828	16352,864
Total (W_2)			199106,344

Sumber : Hasil perhitungan, 2016

ii. Beban hidup

Menurut PPIUG 1983 (Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung) beban hidup pada pelat lantai sebesar 250 kg/m^2 karena fungsi gedung adalah kampus dan pelat tangga/bordes sebesar 300 kg/m^2 . Hasil perhitungan beban hidup pelat lantai ditunjukkan pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Beban hidup sebesar 250 kg/m^2 tiap lantai

Lantai	Beban Hidup (Kg/m^2)	Luasan Plat (m^2)	Berat Mati (Kg)
1	250	251,035	62758,75
2	250	251,035	62758,75
3	250	251,035	62758,75
4	250	251,035	62758,75
5	250	251,035	62758,75
6	250	251,035	62758,75
7	250	251,035	62758,75
Atap	100	185,828	18582,8
Total (W_3)			457894,05

Sumber : Hasil perhitungan, 2016

Perhitungan beban hidup pada pelat tangga dan bordes pada tiap-tiap lantai ditunjukkan pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10. Beban hidup pada pelat bordes dan tangga

Lantai	Beban Hidup Hotel (Kg/m^2)	Luasan Plat (m^2)	Berat Mati (Kg)
1	300	12,43	3729
2	300	12,43	3729
3	300	12,43	3729
4	300	12,43	3729
5	300	12,43	3729
6	300	12,43	3729
7	300	12,43	3729
atap	-	-	-
Total (W_4)			26103

Sumber : Hasil perhitungan, 2016

$$\begin{aligned}
 \text{Berat seismik (W)} &= W1 + W2 + W3 + W4 \\
 &= 1888805,02 + 199106,34 + 457894,05 + 26103 \\
 &= 2571908,41 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

4. Gaya Dasar Seismik

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7. 8. 2, nilai periode fundamental struktur (T_a) dapat diketahui menggunakan persamaan (3. 77).

$$T_a = C_t h_n^x$$

$$T_a = 0,0466 \cdot 21,4^{0,9}$$

$$T_a = 0,734 \text{ detik}$$

untuk nilai parameter perioda pendekatan C_t dan x dapat dilihat pada tabel berikut:

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Sumber: SNI 1726:2012 pasal 7. 8. 2. 1 (Tabel 15)

Setelah nilai periode fundamental (T_a) ditentukan, langkah selanjutnya menentukan nilai koefisien respons seismik C_s ditentukan sebagai berikut:

$$C_{s(\text{maks})} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0,55}{0,734 \left(\frac{8}{1} \right)} = 0,094$$

$$C_{s(\text{hitungan})} = \frac{S_1}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0,55}{\left(\frac{8}{1} \right)} = 0,069$$

$$C_{s(\text{min})} = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e = 0,044 \cdot 0,709 \cdot 1 = 0,0312$$

nilai $C_{s(\text{hitungan})}$ yang akan digunakan karena nilainya diantara $C_{s(\text{maks})}$ dan $C_{s(\text{min})}$.

Perhitungan gaya dasar seismik dengan menggunakan SNI 1726:2012 seperti persamaan (3.73).

$$V_x (\text{portal arah } X) = C_s \cdot W$$

$$V_x (\text{portal arah } X) = 0,069 \cdot 2571908,41 = 177461,68 \text{ Kg}$$

$$V_y (\text{portal arah } Y) = 0,3 \cdot (C_s \cdot W)$$

$$V_y (\text{portal arah } Y) = 0,3 \cdot (0,069 \cdot 2571908,41) = 53238,50 \text{ Kg}$$

5. Distribusi gaya lateral (F_i)

Distribusi gaya lateral pada tiap lantai mengacu pada SNI 1726:2012 pasal 7.8.3.

A) Portal arah X

Gaya gempa lateral arah X (F_x) yang timbul disemua tingkat harus ditentukan dengan persamaan di bawah ini:

$$F_x = C_{vx} \cdot V_x$$

dengan,

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

mencari nilai k menggunakan interpolasi,

$$T = 0,734 \text{ nilai } k = 1 + x,$$

mencari nilai x :

$$\frac{x}{0,734 - 0,5} = \frac{1}{2,5 - 0,5}$$

$$\frac{x}{0,234} = \frac{1}{2}$$

$$x = 0,117$$

$$\text{jadi, } k = 1 + 0,117 = 1,117$$

Perhitungan distribusi gaya lateral arah X (F_x) pada tiap lantai dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 5. 11. Distribusi gaya lateral arah X

Lantai	Beban Efektif (Kg/m ²)	hx (m)	k	Wx.hx ^k (Kg/m)	Cv	Fi (ton)
1	215048,67	3,25	1,117	802251,38	0,020	3,54
2	246863,07	7,75	1,117	2431118,49	0,061	10,74
3	246863,07	11,25	1,117	3686323,91	0,092	16,28
4	246863,07	14,75	1,117	4988808,26	0,124	22,03
5	240815,07	18,25	1,117	6173255,98	0,154	27,27
6	240815,07	21,75	1,117	7509753,05	0,187	33,17
7	234767,07	25,25	1,117	8648945,17	0,215	38,20
atap	139427,73	28,75	1,117	5938101,65	0,148	26,23
				40178557,9		

Sumber: Hasil Perhitungan, 2016

B) Portal arah Y

Gaya gempa lateral arah Y (F_y) yang timbul disemua tingkat harus ditentukan dengan persamaan di bawah ini:

$$F_y = C_{Vy} \cdot V_y$$

dengan,

$$C_{Vy} = \frac{W_y h_y^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

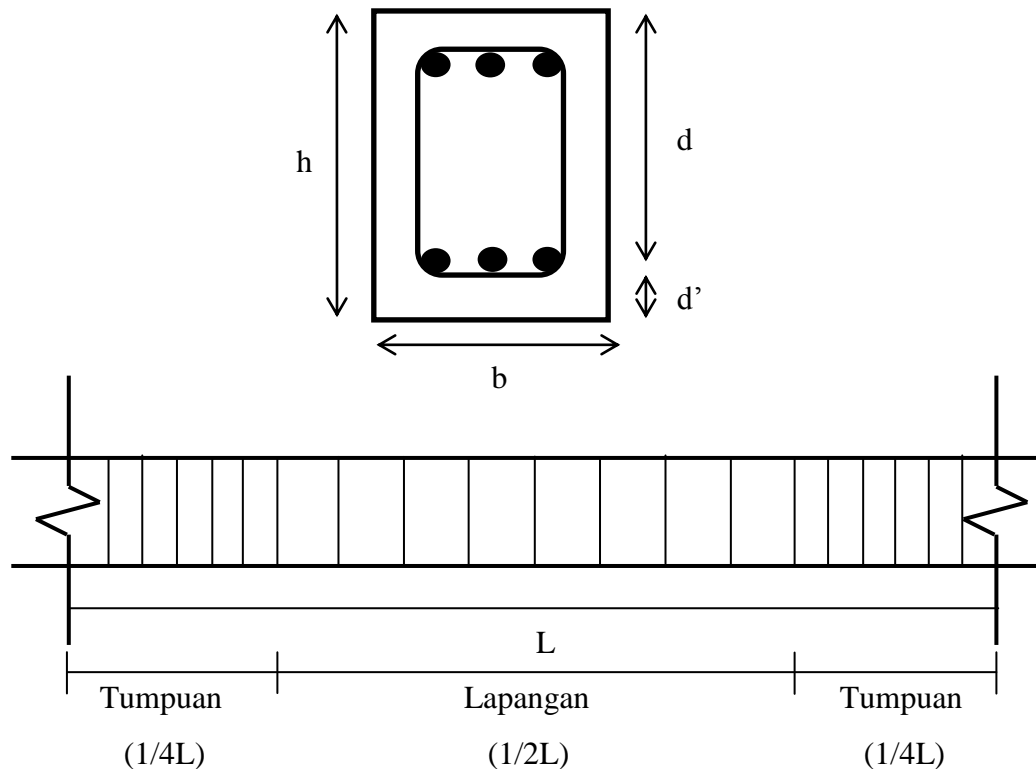
Perhitungan distribusi gaya lateral arah Y (F_y) pada tiap lantai dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 5. 12. Distribusi gaya lateral arah Y

Lantai	Beban Efektif (Kg/m ²)	hx (m)	k	Wx.hx ^k (Kg/m)	Cv	Fi (ton)
1	215048,67	3,25	1,117	802251,38	0,020	1,063
2	246863,07	7,75	1,117	2431118,49	0,061	3,221
3	246863,07	11,25	1,117	3686323,91	0,092	4,885
4	246863,07	14,75	1,117	4988808,26	0,124	6,610
5	240815,07	18,25	1,117	6173255,98	0,154	8,180
6	240815,07	21,75	1,117	7509753,05	0,187	9,951
7	234767,07	25,25	1,117	8648945,17	0,215	11,460
atap	139427,73	28,75	1,117	5938101,65	0,148	7,868
				40178557.9		

Sumber: Hasil Perhitungan, 2016

D. Perhitungan tulangan balok (SNI 03 – 2847 – 2002)



Gambar 5.5 Penampang Balok B0a

Balok B0a

Lebar bawah (b) : 250 mm

Tinggi balok (h) : 600 mm

Tinggi efektif (d) : 549 mm

Selimit beton (d') : 30 mm

f_y : 390 Mpa

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

f_c' = 30 Mpa

1. Penulangan terhadap lentur

a. Tulangan Tumpuan

Analisis lentur balok B0a 60/25

$M_u = 216,93$ KNm

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{0,8} \\ &= \frac{216,93}{0,8} \\ &= 271,16 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{390}{0,85 \cdot 30} \\ &= 15,29 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{271,16 \cdot 10^6}{250 \cdot 549^2} \\ &= 3,60 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{390} \\ &= 0,0036 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,29 \cdot 3,60}{390}} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0099 > \rho_{\min} &= 0,0036 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) \\
 &= 0,034 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,034 \\
 &= 0,025
 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan $\rho_{\text{perlu}} = 0,0099$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\
 &= 0,0099 \cdot 250 \cdot 549 \\
 &= 1371,22 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D22

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi \cdot 22^2 \\
 &= 380,13 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan (n)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{st}} \\
 &= \frac{1371,22}{380,13} \\
 &= 3,61 \approx \text{dipangkas menggunakan 5 tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pakai}}} &= n \cdot A_{st} \\
 &= 5 \cdot 380,13 \\
 &= 1900,66 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan yang dibutuhkan harus memenuhi syarat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_s' &> 0,5 A_{s_{\text{perlu}}} \\
 0,5 \cdot 1371,22 &= 685,61 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menggunakan 3D22

$$A_s' = 1140,39$$

Kontrol kelelahan:

asumsi tulangan tarik leleh dan tekan belum

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{c-d'}{c} 0,003 \cdot E \\ &= \frac{c-30}{c} 0,003 \cdot 200000 \\ &= \frac{c-30}{c} \cdot 600 \end{aligned}$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_{s_{pakai}} \cdot f_y$$

$$0,85 \cdot 30 \cdot (0,85 \cdot c) 250 + 1140,39 \cdot \frac{c-30}{c} \cdot 600 = 1900,66 \cdot 390$$

$$5418,75c^2 + 57019,91c - 20527166,4 = 0$$

Nilai c dicari dengan menggunakan rumus ABC

$$\begin{aligned} c &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-57019,91 + \sqrt{-57019,91^2 - 4 \cdot 5418,75 \cdot -20527166,4}}{2 \cdot 5418,75} \\ &= 67,03 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= 0,85 \cdot c \\ &= 0,85 \cdot 67,03 \\ &= 56,98 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{c-30}{c} \cdot 600 \\ &= \frac{67,03 - 30}{67,03} \cdot 600 \\ &= 331,48 \text{ Mpa} < f_y = 390 \text{ Mpa} \dots \text{Asumsi benar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \cdot 0,003 \\ &= \frac{549-67,03}{67,03} \cdot 0,003 \\ &= 0,021 > \epsilon_y = 0,002 \text{ (reg.baja leleh) ... OK} \end{aligned}$$

Kapasitas balok terhadap momen

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 56,98 \cdot 250 \\ &= 363240,29 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' \cdot f_s' \\ &= 1140,39 \cdot 331,48 \end{aligned}$$

$$= 378018,49 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} M1 &= Cc \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 363240,29 \left(549 - \frac{56,98}{2} \right) \\ &= 189,07 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2 &= Cs (d - d') \\ &= 378018,49 (549 - 30) \\ &= 196,19 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Momen nominal

$$\begin{aligned} M_{kap} &= (Mn1 + Mn2) \cdot 0,8 \\ &= (189,07 + 196,19) \cdot 0,8 \\ &= 308,21 \text{ KNm} > Mn = 216,93 \text{ KNm} \dots \text{ OK} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas , maka balok pada tumpuan aman terhadap lentur

b. Analisis Lapangan

$$M_u = 177,42 \text{ KNm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{0,8} \\ &= \frac{177,42}{0,8} \\ &= 221,77 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{c'} } \\ &= \frac{390}{0,85 \cdot 30} \\ &= 15,29 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{221,77 \cdot 10^6}{300 \cdot 540,5^2} \\ &= 2,94 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{390} \\ &= 0,0036 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,29 \cdot 2,94}{390}} \right) \\ &= 0,0080 > \rho_{\min} = 0,0036\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{fy} \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) \\ &= 0,034\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,034 \\ &= 0,025\end{aligned}$$

Sehingga digunakan $\rho_{perlu} = 0,0080$

$$\begin{aligned}A_{Sperlu} &= \rho_{perlu} \cdot b \cdot d \\ &= 0,080 \cdot 250 \cdot 549 \\ &= 1103,67 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan D22

$$\begin{aligned}A_{st} &= \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi \cdot 22^2 \\ &= 380,13 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan (n)

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_{Sperlu}}{A_{st}} \\ &= \frac{1103,67}{380,13} \\ &= 2,90 \approx \text{dilapangan menggunakan 5 tulangan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{Spakai} &= n \cdot A_{st} \\ &= 5 \cdot 380,13 \\ &= 1900,66 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan yang dibutuhkan harus memenuhi syarat sebagai berikut:

$$A_s' > 0,5 A_{Sperlu}$$

$$0,5 \cdot 1103,67 = 551,83 \text{ mm}^2$$

Menggunakan 3D22

$$A_s' = 1140,39$$

Kontrol kelelahan:

asumsi tulangan tarik leleh dan tekan belum

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{c-d'}{c} 0,003 \cdot E \\ &= \frac{c-30}{c} 0,003 \cdot 200000 \\ &= \frac{c-30}{c} \cdot 600 \end{aligned}$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_{s_{pakai}} \cdot f_y$$

$$0,85 \cdot 30 \cdot (0,85 \cdot c) 250 + 1140,39 \cdot \frac{c-30}{c} \cdot 600 = 1520,53 \cdot 390$$

$$5418,75c^2 + 57019,91 - 20527166,4 = 0$$

Nilai c dicari dengan menggunakan rumus ABC

$$\begin{aligned} c &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= 67,03 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= 0,85 \cdot c \\ &= 0,85 \cdot 67,03 \\ &= 56,98 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{c-30}{c} \cdot 600 \\ &= \frac{67,03-30}{67,03} \cdot 600 \\ &= 331,48 \text{ Mpa} < f_y = 390 \text{ Mpa} \dots \text{Asumsi benar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \cdot 0,003 \\ &= \frac{549-67,03}{67,03} \cdot 0,003 \\ &= 0,022 > \epsilon_y = 0,002 \text{ (reg.baja leleh) ... OK} \end{aligned}$$

Kapasitas balok terhadap momen

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 56,98 \cdot 250 \\ &= 363240,29 \text{ N} \end{aligned}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_s'$$

$$\begin{aligned}
 &= 1140,39 \cdot 331,48 \\
 &= 378018,49 \text{ N} \\
 M1 &= Cc \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 363240,29 \left(549 - \frac{56,98}{2} \right) \\
 &= 189,07 \text{ KNm} \\
 M2 &= Cs (d - d') \\
 &= 378018,49 (549 - 30) \\
 &= 196,19 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

Momen nominal

$$\begin{aligned}
 M_{kap} &= (M_{n1} + M_{n2}) \cdot 0,8 \\
 &= (189,07 + 196,19) \cdot 0,8 \\
 &= 308,21 \text{ KNm} > M_n = 221,77 \text{ KNm} \dots \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas , maka balok pada lapangan aman terhadap lentur.

2. Kontrol balok terhadap lendutan

Lendutan balok diperhitungkan pada sisi penulungan lapangan dengan data:

$$\begin{aligned}
 f_c' &= 30 \text{ Mpa} \\
 E_c &= 4700\sqrt{30} = 25742,960
 \end{aligned}$$

Pada lapangan balok diperhitungkan sebagai balok, persegi biasa dengan dimensi:

$$\begin{aligned}
 b &= 250 \text{ mm} \\
 h &= 600 \text{ mm} \\
 d' &= 30 \text{ mm} \\
 A_s &= 1520,53 \text{ mm}^2 \\
 A_s' &= 1140,39 \text{ mm}^2 \\
 M_{max} &= 177,42 \text{ KNm} \\
 M_{DL} &= 106,89 \text{ KNm} \\
 M_{LL} &= 36,7 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

Persamaan untuk mencari letak garis netral untuk balok penulungan rangkap :

$$0,5h \cdot y^2 + n \cdot A_s' \cdot y - n \cdot A_s' \cdot d' - n \cdot A_s \cdot d + n \cdot A_s \cdot y = 0$$

$$300 y^2 + 3421,19 y - 102635,83 - 5217321,46 + 9503,32 y = 0$$

$$300 y^2 + 12924,51 y - 5319957,29 = 0$$

Nilai y dicari menggunakan rumus ABC, maka didapat:

$$y = 113,36 \text{ mm}$$

Momen Inersia penampang retak transformasi (I_{cr})

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \frac{1}{3} \cdot b \cdot y^3 + n \cdot A_s \cdot (d - y)^2 + n \cdot A_s' \cdot (y - d')^2 \\ &= 1948745792 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Momen Inersia penampang utuh terhadap sumbu berat tampang (I_g)

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \\ &= 4500000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Momen pada saat timbul retak pertama (M_{cr})

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} \\ &= \frac{(0,7 \cdot \sqrt{30}) \cdot 4500000000}{0,5 \cdot 600} \\ &= 57,51 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Beban yang dianggap bekerja selama umur bangunan:

a. Beban mati (M_{DL})

b. Beban kombinasi II ($1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL}$)

Beban yang dianggap mengakibatkan lendutan seketika adalah kombinasi beban gempa yang maksimal (M_{max})

Inersia efektif (I_e)

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \cdot I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \cdot I_{cr}$$

Kondisi I

$$\begin{aligned} M_a &= 1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL} \\ &= 186,99 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_e &= \left(\frac{57,51}{186,99} \right)^3 \cdot 4500000000 + \left[1 - \left(\frac{57,51}{186,99} \right)^3 \right] \cdot 1948745792 \\ &= 2022972859 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Kondisi II

$$M_a = M_{max}$$

$$= 177,42$$

$$I_e = \left(\frac{57,51}{177,42}\right)^3 \cdot 450000000 + \left[1 - \left(\frac{57,51}{177,42}\right)^3\right] \cdot 1948745792$$

$$= 2035640992 \text{ mm}^4$$

Lendutan seketika akibat beban mati

$$\Delta_{DL} = \frac{5 \cdot M_{DL} \cdot l_n^2}{48 \cdot E_c \cdot I_{cr}}$$

$$= \frac{5 \cdot 106,89 \cdot 3500^2}{48 \cdot 25742,96 \cdot 1948745792}$$

$$= 2,72 \text{ mm}$$

Lendutan seketika akibat kondisi I

$$\Delta_{CI} = \frac{5 \cdot (1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL}) \cdot l_n^2}{48 \cdot E_c \cdot I_{e1}} - \Delta_{DL}$$

$$= \frac{5 \cdot 186,99 \cdot 3500^2}{48 \cdot 25742,96 \cdot 2022972859} - 2,72$$

$$= 1,86 \text{ mm}$$

Lendutan seketika akibat kondisi II

$$\Delta_{C2} = \frac{5 \cdot M_{max} \cdot l_n^2}{48 \cdot E_c \cdot I_{e2}}$$

$$= \frac{5 \cdot 177,42 \cdot 3500^2}{48 \cdot 25742,96 \cdot 2035640992}$$

$$= 1,63 \text{ mm}$$

Lendutan jangka panjang

$$\Delta_{LT} = \Delta_{DL} \left(\frac{\xi}{1+50 \cdot \rho}\right) + \Delta_{CI} \left(\frac{\xi}{1+50 \cdot \rho}\right) + \Delta_{C2}$$

Nilai faktor ξ untuk umur lebih dari 5 tahun yaitu 2 (SNI-03-2847 2002)

$$\rho = \frac{A_s'}{b \cdot d}$$

$$= \frac{1140,39}{250 \cdot 549}$$

$$= 0,0035$$

$$\Delta_{LT} = 2,72 \left(\frac{2}{1+50 \cdot 0,0035}\right) + 1,86 \left(\frac{2}{1+50 \cdot 0,0035}\right) + 1,63$$

$$= 9,44 \text{ mm}$$

Lendutan yang di izinkan peraturan SNI 03 – 2847 – 2002 pasal 11.5 yaitu :

$$\frac{l}{180} = \frac{3500}{180} = 19,44 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{360} = \frac{3500}{360} = 9,72 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{480} = \frac{3500}{480} = 7,29 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{240} = \frac{3500}{240} = 14,58 \text{ mm}$$

Berdasarkan nilai lendutan izin maksimum yang didapat, makas diketahui bahwa balok aman terhadap lendutan.

3. Penulangan terhadap geser

Perhitungan menggunakan balok B0a, untuk perhitungan yang lainnya dapat dilihat di lampiran.

Data perencanaan sebagai berikut :

$$F_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$\emptyset_{\text{sengkang}} = 10 \text{ mm}$$

$$n = 2 \text{ (Jumlah sengkang)}$$

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$d = 549 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,75 \text{ (sesuai SNI 03 2847 2002)}$$

a. Analisis Tumpuan (Balok B0a)

$$V_u = 129,29 \text{ KN}$$

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton sebesar

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$$

$$= 125,29 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 125,29$$

$$= 93,97 \text{ KN} < V_c = 125,29 \text{ KN} \dots \text{Perlu tulangan geser}$$

Kuat geser yang diterima sengkang sebesar :

$$V_c = 0 \text{ KN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$= 172,39 \text{ KN}$$

Menggunakan sengkang 2 ϕ 10:

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \\ &= 157,08 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{V_s} \\ &= 120,06 \approx 120 \text{ mm} \end{aligned}$$

S_{maksimum} tidak boleh melebihi dari :

$$d/4 = 549/4 = 137,25 \text{ mm}$$

$$8\phi 16 = 128 \text{ mm}$$

$$24\phi 10 = 240 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm}$$

Jadi, jarak sengkang yang digunakan (S_{pakai}) adalah 120 mm

$$\begin{aligned} V_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{S_{\text{pakai}}} \\ &= 172,47 \text{ KN} \end{aligned}$$

Kuat geser nominal

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_{S_{\text{pakai}}} \\ &= 125,29 + 172,47 \\ &= 297,76 \text{ KN} \end{aligned}$$

Cek kuat geser

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,75 \cdot 297,76 \\ &= 223,32 \text{ KN} > V_u = 129,29 \text{ KN} \dots \text{ Oke} \end{aligned}$$

b. Analisis Lapangan

$$V_u = 120,49 \text{ KN}$$

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton sebesar

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= 125,29 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \cdot 125,29 \\ &= 93,97 \text{ KN} < V_u = 129,29 \text{ KN} \dots \text{ **Perlu tulangan geser**} \end{aligned}$$

Kuat geser yang diterima sengkang sebesar :

$$V_c = 0 \text{ KN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$= 160,65 \text{ KN}$$

Menggunakan sengkang 4 ϕ 10:

$$A_v = 4 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2$$

$$= 314,16 \text{ mm}$$

$$S = \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{V_s}$$

$$= 257,66 \approx 260 \text{ mm}$$

S_{maksimum} tidak boleh melebihi dari :

$$d/4 = 549/4 = 137,25 \text{ mm}$$

$$8\phi 16 = 128 \text{ mm}$$

$$24\phi 10 = 240 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm}$$

Jadi, jarak sengkang yang digunakan (S_{pakai}) adalah 120 mm

$$V_{S_{\text{pakai}}} = \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= 323,39 \text{ KN}$$

Kuat geser nominal

$$V_n = V_c + V_{S_{\text{pakai}}}$$

$$= 125,29 + 323,39$$

$$= 448,68 \text{ KN}$$

Cek kuat geser

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 448,68$$

$$= 336,51 \text{ KN} > V_u = 120,49 \text{ KN} \dots \text{ Oke}$$

4. Penulangan balok torsi

Analisis tulangan torsi B0a, T_u didapat dari perhitungan SAP 2000 dan V_u diambil dari V_u maksimum dari analisis SAP 2000.

Data perencanaan tulangan torsi balok B0a

$$T_u = 27,43 \text{ KNm}$$

$$V_u = 129,29 \text{ KN}$$

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 f_c' &= 30 \text{ Mpa} \\
 f_y &= 390 \text{ Mpa} \\
 d' &= 30 \text{ mm} \\
 \text{Øsengkang} &= 10 \text{ mm} \\
 \text{Øtors} &= 19 \text{ mm} \\
 A_{cp} &= b \cdot h \\
 &= 250 \cdot 600 \\
 &= 150000 \text{ mm}^2 \\
 P_{cp} &= 2 \cdot (b \cdot h) \\
 &= 1700 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Cek kemampuan menahan puntir

$$\begin{aligned}
 \frac{\phi \cdot \sqrt{f_c'} \cdot (A_{cp}^2)}{12 \cdot P_{cp}} &= \frac{0,75 \cdot \sqrt{30}}{12} \cdot \left(\frac{150000^2}{1700} \right) \\
 &= 4,53 \text{ KNm} < T_u = 27,43 \text{ KNm} \dots \text{Perlu tulangan tors}
 \end{aligned}$$

Menghitung properti penampang:

$$\begin{aligned}
 x_i &= b - (2 \cdot d') - (\text{Øsengkang}) \\
 &= 180 \text{ mm} \\
 y_i &= h - (2 \cdot d') - (\text{Øsengkang}) \\
 &= 530 \text{ mm} \\
 A_{oh} &= (x_i \cdot y_i) \\
 &= 180 \cdot 530 \\
 &= 95400 \text{ mm}^2 \\
 P_h &= 2 (x_i + y_i) \\
 &= 2 (180 + 530) \\
 &= 1420 \text{ mm} \\
 V_c &= 125291,53 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek penampang

$$\sqrt{\left(\frac{129,29 \cdot 10^3}{250 \cdot 549} \right)^2 + \left(\frac{27,43 \cdot 10^3}{1,7 \cdot 95400^2} \right)^2} \leq \left(\frac{125291,535}{250 \cdot 549} + \frac{2\sqrt{30}}{3} \right)$$

$$2,66 \leq 3,42 \dots \text{ penampang kurang besar}$$

Menentukan tulangan sengkang untuk puntir

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= 36,57 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Menggunakan tulangan sengkang torsi $\phi 19$ dengan tegangan leleh baja $f_y = 390$

$$\begin{aligned} A_t &= 0,25 \cdot \pi \cdot 19^2 \\ &= 283,53 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yv}}{T_n} \cot \theta \dots \theta = 45^\circ \text{ (SNI 03 2847 2002 pasal 13.6.6a)}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{2 \cdot (0,85 \cdot 95400) \cdot 283,53 \cdot 390}{36,57 \cdot 10^6} \cot 45 \\ &= 490,34 \text{ mm} \\ &= 490 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hitungan diatas, maka balok B0a menggunakan tulangan sengkang torsi kaki $\phi 19 - 490 \text{ mm}$

Menghitung tulangan torsi longitudinal dengan tegangan leleh baja (f_y) = 390 Mpa

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{A_t}{s} \cdot p h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right) \cot^2 \theta \\ &= 0,58 \cdot 1420 \cdot \frac{390}{390} \cdot \cot^2 45 \\ &= 821,09 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{1\min} &= \frac{5\sqrt{f_c'} \cdot A_{cp}}{12 f_{yi}} - \frac{A_t}{s} \cdot p h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}} \right) \\ &= \frac{5\sqrt{30} \cdot 150000}{12 \cdot 390} - 0,58 \cdot 1420 \cdot 1 \\ &= 56,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

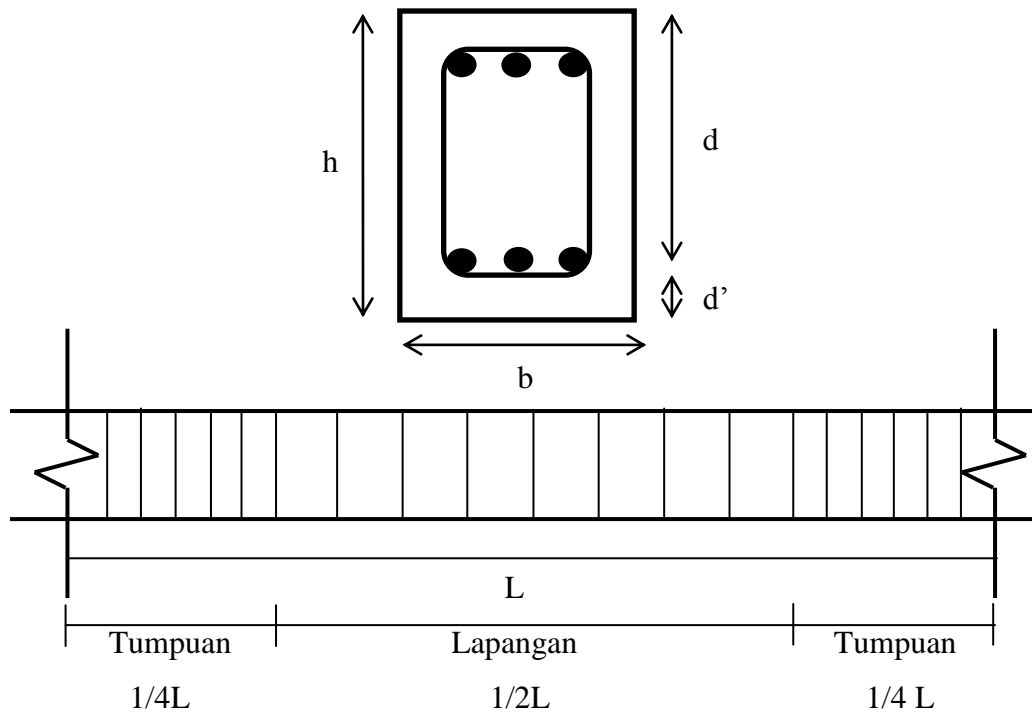
$$\frac{A_t}{s} = 0,58 \text{ mm} > \frac{b_w}{6 \cdot 390} = 0,11 \dots \text{OK}$$

Luas tulangan longitudinal total dua sisi yang digunakan adalah $821,09 \text{ mm}^2$

Dengan luas longitudinal untuk satu sisi adalah $410,54 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_t}{0,25 \cdot \pi \cdot 12^2} \\ &= 1,45 \approx 2 \dots \text{ok} \end{aligned}$$

E. Perhitungan tulangan balok (SNI 2847:2013)



Gambar 5.6 Penampang balok persegi

Balok B0a

Lebar bawah (b) : 250 mm

Tinggi balok (h) : 600 mm

Tinggi efektif (d) : 549 mm

Selimit beton (d') : 30 mm

f_y : 390 Mpa

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0036$$

f_c' = 30 Mpa

1. Penulangan terhadap lentur

a. Tulangan Tumpuan

Analisis lentur balok B0a 60/25

M_u = 216,93 KNm

$$M_n = \frac{M_u}{0,9}$$

$$= \frac{216,93}{0,9}$$

$$= 241,03 \text{ KNm}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \cdot f_{c'}} = \frac{390}{0,85 \cdot 30}$$

$$= 15,29$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{241,03 \cdot 10^6}{250 \cdot 549^2}$$

$$= 3,19 \text{ N/mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{390}$$

$$= 0,0036$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,29 \cdot 3,19}{390}} \right)$$

$$= 0,0088 > \rho_{\min} = 0,0036$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_{c'}}{fy} \left(\frac{600}{600 + fy} \right) = \frac{0,85 \cdot 0,86 \cdot 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right)$$

$$= 0,034$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,034 = 0,025$$

Sehingga digunakan $\rho_{\text{perlu}} = 0,0088$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d = 0,0088 \cdot 250 \cdot 549 = 1206,90 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D22

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi \cdot 22^2 \\
 &= 380,13 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan (n)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{st}} \\
 &= \frac{1206,90}{380,13} \\
 &= 3,17 \approx \text{dilapangan menggunakan 4 tulangan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{pakai}} &= n \cdot A_{st} \\
 &= 4 \cdot 380,13 \\
 &= 1520,53 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan yang dibutuhkan harus memenuhi syarat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 A_s' &> 0,5 A_{s_{perlu}} \\
 0,5 \cdot 1206,90 &= 603,45 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menggunakan 2D22

$$A_s' = 760,26$$

Kontrol kelelahan:

asumsi tulangan tarik leleh dan tekan belum

$$\begin{aligned}
 f_s' &= \frac{c-d'}{c} 0,003 \cdot E \\
 &= \frac{c-30}{c} 0,003 \cdot 200000 \\
 &= \frac{c-30}{c} \cdot 600
 \end{aligned}$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_{S_{pakai}} \cdot f_y$$

$$0,85 \cdot 30 \cdot (0,85 \cdot c) 250 + 760,26 \cdot \frac{c-30}{c} \cdot 600 = 1520,53 \cdot 390$$

$$5418,75c^2 + 136847,776c - 13684777,6 = 0$$

Nilai c dicari dengan menggunakan rumus ABC

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
 &= \frac{-136847,776 + \sqrt{-136847,776^2 - 4 \cdot 5418,75 \cdot -13684777,6}}{2 \cdot 5418,75}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 64,44 \text{ mm} \\
 a &= 0,85 \cdot c \\
 &= 0,85 \cdot 64,44 \\
 &= 54,78 \text{ mm} \\
 f_s' &= \frac{c-30}{c} \cdot 600 \\
 &= \frac{64,44 - 40}{64,44} \cdot 600 \\
 &= 320,68 \text{ Mpa} < f_y = 390 \text{ Mpa} \dots \text{ Asumsi benar} \\
 \epsilon_s &= \frac{d - c}{c} \cdot 0,003 \\
 &= \frac{549 - 64,44}{64,44} \cdot 0,003 \\
 &= 0,022 > \epsilon_y = 0,002 \text{ (reg. baja leleh) } \dots \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Kapasitas balok terhadap momen

$$\begin{aligned}
 C_c &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \\
 &= 0,85 \cdot 30 \cdot 54,78 \cdot 250 \\
 &= 349201,77 \text{ N} \\
 C_s &= A_s' \cdot f_s' \\
 &= 760,26 \cdot 320,68 \\
 &= 243805,26 \text{ N} \\
 M_1 &= C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 349201,77 \left(549 - \frac{54,78}{2} \right) \\
 &= 182,15 \text{ KNm} \\
 M_2 &= C_s (d - d') \\
 &= 243805,26 (549 - 30) \\
 &= 126,53 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

Momen nominal

$$\begin{aligned}
 M_{kap} &= (M_{n1} + M_{n2}) \cdot 0,8 \\
 &= (182,15 + 126,53) \cdot 0,8 \\
 &= 246,99 \text{ KNm} > M_n = 241,03 \text{ KNm} \dots \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas , maka balok pada tumpuan aman terhadap lentur

b. Analisis Lapangan

$$M_u = 177,42 \text{ KNm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{0,9} \\ &= \frac{177,42}{0,9} \\ &= 197,13 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{c'}} \\ &= \frac{390}{0,85 \cdot 30} \\ &= 15,29 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{197,13 \cdot 10^6}{250 \cdot 549^2} \\ &= 2,62 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{390} \\ &= 0,0036 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,29} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,29 \cdot 2,62}{390}} \right) \\ &= 0,0071 > \rho_{\min} = 0,0036 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_{c'}}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,86 \cdot 30}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) \\ &= 0,034 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,034 \\ &= 0,025 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan $\rho_{perlu} = 0,0071$

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= \rho_{perlu} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0071 \cdot 250 \cdot 549 \\ &= 973,51 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D22

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi \cdot 22^2 \\ &= 380,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan (n)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s_{perlu}}}{A_{st}} \\ &= \frac{973,51}{380,13} \\ &= 2,56 \approx \text{dilapangan menggunakan 4 tulangan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{pakai}} &= n \cdot A_{st} \\ &= 4 \cdot 380,13 \\ &= 1520,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan yang dibutuhkan harus memenuhi syarat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_s' &> 0,5 A_{s_{perlu}} \\ 0,5 \cdot 973,51 &= 486,76 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menggunakan 2D22

$$A_s' = 760,26$$

Kontrol kelelahan:

asumsi tulangan tarik leleh dan tekan belum

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{c-d'}{c} 0,003 \cdot E \\ &= \frac{c-30}{c} 0,003 \cdot 200000 \\ &= \frac{c-30}{c} \cdot 600 \end{aligned}$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b + A_s' \cdot f_s' = A_{s_{pakai}} \cdot f_y$$

$$0,85 \cdot 30 \cdot (0,85 \cdot c) \cdot 250 + 760,26 \cdot \frac{c-30}{c} \cdot 600 = 1520,53 \cdot 390$$

$$5418,75c^2 + 136847,78c - 13684777,6 = 0$$

Nilai c dicari dengan menggunakan rumus ABC

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= 64,44 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot c$$

$$= 0,85 \cdot 64,44$$

$$= 54,78 \text{ mm}$$

$$f_s' = \frac{c - 30}{c} \cdot 600$$

$$= \frac{64,44 - 30}{64,44} \cdot 600$$

$$= 320,68 \text{ Mpa} < f_y = 390 \text{ Mpa} \dots \text{Asumsi benar}$$

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

$$= \frac{549 - 64,44}{64,44} \cdot 0,003$$

$$= 0,022 > \epsilon_y = 0,002 \text{ (reg.baja leleh) } \dots \text{OK}$$

Kapasitas balok terhadap momen

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 54,78 \cdot 250$$

$$= 349201,77 \text{ N}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_s'$$

$$= 760,26 \cdot 320,68$$

$$= 243805,26 \text{ N}$$

$$M_1 = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 349201,77 \left(549 - \frac{54,78}{2} \right)$$

$$= 182,15 \text{ KNm}$$

$$M_2 = C_s (d - d')$$

$$= 243805,26 (549 - 30)$$

$$= 126,53 \text{ KNm}$$

Momen nominal

$$M_{kap} = (M_{n1} + M_{n2}) \cdot 0,8$$

$$= (182,15 + 126,53) \cdot 0,8$$

$$= 246,99 \text{ KNm} > M_n = 197,13 \text{ KNm} \dots \text{OK}$$

Berdasarkan perhitungan diatas , maka balok pada lapangan aman terhadap lentur.

2. Kontrol balok terhadap lendutan

Lendutan balok diperhitungkan pada sisi penulangan lapangan dengan data:

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$E_c = 4700\sqrt{30} = 25742,96$$

Pada lapangan balok diperhitungkan sebagai balok, persegi biasa dengan dimensi:

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$d' = 30 \text{ mm}$$

$$A_s = 1520,53 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 760,26 \text{ mm}^2$$

$$M_{max} = 177,42 \text{ KNm}$$

$$M_{DL} = 106,89 \text{ KNm}$$

$$M_{LL} = 36,7 \text{ KNm}$$

Persamaan untuk mencari letak garis netral untuk balok penulangan rangkap :

$$0,5h \cdot y^2 + n \cdot A_s' \cdot y - n \cdot A_s' \cdot d' - n \cdot A_s \cdot d + n \cdot A_s \cdot y = 0$$

$$300 y^2 + 1520,53 y - 45615,92 - 3339085,73 + 6082,12 y = 0$$

$$300 y^2 + 7602,65 y - 3384701,66 = 0$$

Nilai y dicari menggunakan rumus ABC, maka didapat:

$$y = 94,30 \text{ mm}$$

Momen Inersia penampang retak transformasi (I_{cr})

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot y^3 + n \cdot A_s \cdot (d - y)^2 + n \cdot A_s' \cdot (y - d')^2$$

$$= 1333657308 \text{ mm}^4$$

Momen Inersia penampang utuh terhadap sumbu berat tampang (I_g)

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

$$= 4500000000 \text{ mm}^4$$

Momen pada saat timbul retak pertama (M_{cr})

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \frac{f_r I_g}{y_t} \\ &= \frac{(0,7 \cdot \sqrt{30}) \cdot 4500000000}{0,5 \cdot 600} \\ &= 57,51 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Beban yang dianggap bekerja selama umur bangunan:

- a. Beban mati (M_{DL})
- b. Beban kombinasi II ($1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL}$)

Beban yang dianggap mengakibatkan lendutan seketika adalah kombinasi beban gempa yang maksimal (M_{max})

Inersia efektif (I_e)

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \cdot I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \cdot I_{cr}$$

Kondisi I

$$\begin{aligned} M_a &= 1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL} \\ &= 186,99 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_e &= \left(\frac{57,51}{186,99} \right)^3 \cdot 4500000000 + \left[1 - \left(\frac{57,51}{186,99} \right)^3 \right] \cdot 1333657308 \\ &= 1425779972 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Kondisi II

$$\begin{aligned} M_a &= M_{max} \\ &= 177,42 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_e &= \left(\frac{57,51}{177,42} \right)^3 \cdot 4500000000 + \left[1 - \left(\frac{57,51}{177,42} \right)^3 \right] \cdot 1333657308 \\ &= 1441502298 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Lendutan seketika akibat beban mati

$$\begin{aligned} \Delta_{DL} &= \frac{5 \cdot M_{DL} \cdot I_n^2}{48 \cdot E_c \cdot I_{cr}} \\ &= \frac{5 \cdot 106,89 \cdot 3500^2}{48 \cdot 25742,96 \cdot 1333657308} \\ &= 3,97 \text{ mm} \end{aligned}$$

Lendutan seketika akibat kondisi I

$$\begin{aligned}\Delta_{CI} &= \frac{5 \cdot (1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL}) I_n^2}{48 \cdot E_c \cdot I_{e1}} - \Delta_{DL} \\ &= \frac{5 \cdot 186,99 \cdot 3500^2}{48 \cdot 25742,96 \cdot 1425779972} - 3,97 \\ &= 2,53 \text{ mm}\end{aligned}$$

Lendutan seketika akibat kondisi II

$$\begin{aligned}\Delta_{C2} &= \frac{5 \cdot M_{max} \cdot I_n^2}{48 \cdot E_c \cdot I_{e2}} \\ &= \frac{5 \cdot 177,42 \cdot 3500^2}{48 \cdot 25742,96 \cdot 1441502298} \\ &= 2,19 \text{ mm}\end{aligned}$$

Lendutan jangka panjang

$$\Delta_{LT} = \Delta_{DL} \left(\frac{\xi}{1+50 \cdot \rho} \right) + \Delta_{CI} \left(\frac{\xi}{1+50 \cdot \rho} \right) + \Delta_{C2}$$

Nilai faktor ξ untuk umur lebih dari 5 tahun yaitu 2

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s'}{b \cdot d} \\ &= \frac{760,26}{250 \cdot 549} \\ &= 0,0023\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_{LT} &= 3,97 \left(\frac{2}{1+50 \cdot 0,0023} \right) + 2,53 \left(\frac{2}{1+50 \cdot 0,0023} \right) + 2,19 \\ &= 13,85 \text{ mm}\end{aligned}$$

Lendutan yang di izinkan yaitu :

$$\frac{l}{180} = \frac{3500}{180} = 19,44 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{360} = \frac{3500}{360} = 9,72 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{480} = \frac{3500}{480} = 7,29 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{240} = \frac{3500}{240} = 14,58 \text{ mm}$$

Berdasarkan nilai lendutan izin maksimum yang didapat, maka diketahui bahwa balok aman terhadap lendutan.

3. Penulangan terhadap geser

Perhitungan menggunakan balok B0a, untuk perhitungan yang lainnya dapat dilihat di lampiran.

Data perencanaan sebagai berikut :

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$\text{Øsengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$n = 2 \text{ (Jumlah sengkang)}$$

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$d = 549 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,75 \text{ (sesuai SNI 03 – 2847 – 2013)}$$

a. Analisis Tumpuan (Balok B0a)

$$V_u = 129,29 \text{ KN}$$

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton sebesar

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d$$

$$= 125,29 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 125,29$$

$$= 93,97 \text{ KN} < V_c = 125,29 \text{ KN} \dots \text{Perlu tulangan geser}$$

Kuat geser yang diterima sengkang sebesar :

$$V_c = 0 \text{ KN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$= 172,39 \text{ KN}$$

Menggunakan sengkang 2 Ø 10:

$$A_v = 2 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2$$

$$= 157,08 \text{ mm}$$

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s}$$

$$= 120,06 \approx 120 \text{ mm}$$

S_{maksimum} tidak boleh melebihi dari :

$$d/4 = 549/4 = 137,25 \text{ mm}$$

$$8\phi 16 = 128 \text{ mm}$$

$$24\phi 10 = 240 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm}$$

Jadi, jarak sengkang yang digunakan (S_{pakai}) adalah 120 mm

$$\begin{aligned} V_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{S_{\text{pakai}}} \\ &= 172,47 \text{ KN} \end{aligned}$$

Kuat geser nominal

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_{S_{\text{pakai}}} \\ &= 125,29 + 172,47 \\ &= 297,76 \text{ KN} \end{aligned}$$

Cek kuat geser

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,75 \cdot 297,76 \\ &= 223,32 \text{ KN} > V_u = 129,29 \text{ KN} \dots \text{ Oke} \end{aligned}$$

b. Analisis Lapangan

$$V_u = 120,49 \text{ KN}$$

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton sebesar

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\ &= 125,29 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \cdot 125,29 \\ &= 93,97 \text{ KN} < V_u = 129,29 \text{ KN} \dots \text{ **Perlu tulangan geser**} \end{aligned}$$

Kuat geser yang diterima sengkang sebesar :

$$V_c = 0 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= 160,65 \text{ KN} \end{aligned}$$

Menggunakan sengkang 4 ϕ 10:

$$\begin{aligned} A_v &= 4 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \\ &= 314,16 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{V_s} \\ &= 257,66 \approx 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

S_{maksimum} tidak boleh melebihi dari :

$$d/4 = 549/4 = 137,25 \text{ mm}$$

$$8\phi 16 = 128 \text{ mm}$$

$$24\phi 10 = 240 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm}$$

Jadi, jarak sengkang yang digunakan (S_{pakai}) adalah 120 mm

$$\begin{aligned} V_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{S_{\text{pakai}}} \\ &= 323,39 \text{ KN} \end{aligned}$$

Kuat geser nominal

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_{S_{\text{pakai}}} \\ &= 125,29 + 323,39 \\ &= 448,68 \text{ KN} \end{aligned}$$

Cek kuat geser

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,75 \cdot 448,68 \\ &= 336,51 \text{ KN} > V_u = 120,49 \text{ KN} \dots \text{ Oke} \end{aligned}$$

4. Penulangan balok torsi

Analisis tulangan torsi B0a, T_u didapat dari perhitungan SAP 2000 dan V_u diambil dari V_u maksimum dari analisis SAP 2000.

Data perencanaan tulangan torsi balok B0a

$$T_u = 27,43 \text{ KNm}$$

$$V_u = 129,29 \text{ KN}$$

$$b = 250 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$d' = 30 \text{ mm}$$

$$\phi_{\text{sengkang}} = 10 \text{ mm}$$

$$\phi_{\text{torsi}} = 19 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \cdot h \\ &= 250 \cdot 600 \\ &= 150000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \cdot (b \cdot h) \\ &= 1700 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek kemampuan menahan puntir

$$\frac{\phi \cdot \sqrt{f_c'} \cdot (A_{cp}^2)}{12 \cdot (P_{cp})} = \frac{0,75 \cdot \sqrt{30}}{12} \cdot \left(\frac{150000^2}{1700} \right)$$

$$= 4,53 \text{ KNm} < T_u = 27,43 \text{ KNm} \dots \text{Perlu tulangan torsi.}$$

Menghitung properti penampang:

$$x_i = b - (2 \cdot d') - (\phi \text{ sengkang})$$

$$= 180 \text{ mm}$$

$$y_i = h - (2 \cdot d') - (\phi \text{ sengkang})$$

$$= 530 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = (x_i \cdot y_i)$$

$$= 180 \cdot 530$$

$$= 95400 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 (x_i + y_i)$$

$$= 2 (180 + 530)$$

$$= 1420 \text{ mm}$$

$$V_c = 125291,53 \text{ N}$$

Cek penampang

$$\sqrt{\left(\frac{129,29 \cdot 10^3}{250 \cdot 549} \right)^2 + \left(\frac{27,43 \cdot 10^3}{1,7 \cdot 95400^2} \right)^2} \leq \left(\frac{125291,535}{250 \cdot 549} + \frac{2\sqrt{30}}{3} \right)$$

$$2,66 \leq 3,42 \dots \text{ penampang kurang besar}$$

Menentukan tulangan sengkang untuk puntir

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$= 36,57 \text{ KNm}$$

Menggunakan tulangan sengkang torsi $\phi 13$ dengan tegangan leleh baja $f_y = 390$

$$A_t = 0,25 \cdot \pi \cdot 19^2$$

$$= 283,53 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_y \cdot \cot \theta}{T_n} \quad \theta = 45^\circ \text{ (SNI 03 - 2847 - 2013)}$$

$$S = \frac{2 \cdot (0,85 \cdot 95400) \cdot 283,53 \cdot 390}{36,57 \cdot 10^6} \cot 45$$

$$= 490,34 \text{ mm}$$

$$= 490 \text{ mm}$$

Berdasarkan hitungan diatas, maka balok B0a menggunakan tulangan sengkang torsi kaki $\phi 19 - 490 \text{ mm}$

Menghitung tulangan torsi longitudinal dengan tegangan leleh baja (f_y) = 390 Mpa

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{At}{s} \cdot ph \left(\frac{fyv}{fyt} \right) \cot^2 \theta \\ &= 0,58 \cdot 1420 \cdot \frac{390}{390} \cdot \cot^2 45 \\ &= 821,09 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{1\min} &= \frac{5\sqrt{fc'} \cdot Acp}{12fyi} - \frac{At}{s} \cdot ph \left(\frac{fyv}{fyt} \right) \\ &= \frac{5\sqrt{30} \cdot 150000}{12 \cdot 390} - 0,58 \cdot 1420 \cdot 1 \\ &= 56,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

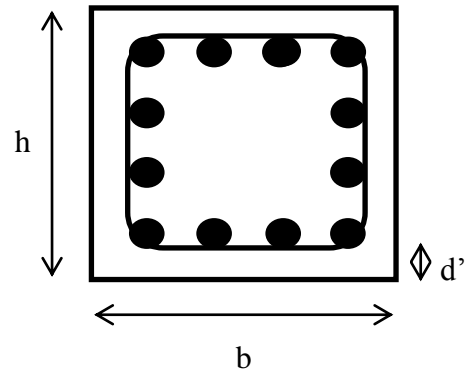
$$\frac{At}{s} = 0,58 \text{ mm} > \frac{bw}{6 \cdot 390} = 0,11 \dots \text{OK}$$

Luas tulangan longitudinal total dua sisi yang digunakan adalah $821,09 \text{ mm}^2$

Dengan luas longitudinal untuk satu sisi adalah $410,54 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} n &= \frac{At}{0,25 \cdot \pi \cdot 12^2} \\ &= 1,44 \approx 2 \dots \text{ok} \end{aligned}$$

F. Perhitungan tulangan kolom



Gambar 5.7 Penampang kolom K1 (60/40)

1. Penulangan lentur kolom

Contoh perhitungan hitungan perencanaan kolom tipe K1 (60/40). Hasil penulangan lentur kolom dapat dilihat pada lampiran 8.

Data perencanaan kolom K1 (60/40):

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$t_s = 30 \text{ mm (selimut beton)}$$

$$d = h - t_s - D_s - (0,5 \cdot D_p)$$

$$= 600 - 30 - 10 - (0,5 \cdot 16)$$

$$= 552 \text{ mm}$$

$$d' = t_s + D_s + (0,5 \cdot D_p)$$

$$= 30 + 10 + (0,5 \cdot 16)$$

$$= 48 \text{ mm}$$

a. Kontrol terhadap kelangsingan kolom

$$M1b = -264,03 \text{ KNm}$$

$$M2b = 271,96 \text{ KNm}$$

$$P_u = 1708,44 \text{ KN}$$

$$K = 1 \text{ (kedua ujung jepit)}$$

$$l_u = 3500 \text{ mm}$$

$$r = 0,3 \cdot h$$

$$= 0,3 \cdot 600$$

$$= 180 \text{ mm}$$

Goyangan struktur ditahan terhadap goyangan kesamping oleh plat lantai, sehingga rumus syarat kelangsingan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} < \left(34 - 12 \cdot \frac{M1b}{M2b} \right)$$

$$\frac{1 \cdot 3500}{180} < \left(34 - 12 \cdot \frac{-264,03}{271,96} \right)$$

$$19,44 < 45,65 \dots\dots\dots \mathbf{Kolom Pendek}$$

Berdasarkan hitungan diatas dapat disimpulkan bahwa efek dari kelangsingan dari kolom dapat diabaikan.

Menghitung eksentrisitas penampang kolom:

$$e = \frac{M2b}{P_u}$$

$$= \frac{271,96 \cdot 1000}{1708,44}$$

$$e = 159,19 \text{ mm}$$

$$e_{\min} = (15 + 0,03h)$$

$$= 15 + 0,03 \cdot 600$$

$$= 33 \text{ mm} < e = 159,19 \text{ mm} \dots \dots \dots \text{OK}$$

Menghitung P_{nb} dengan pendekatan:

$$C_b = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y}$$

$$= \frac{600 \cdot 552}{600 + 390}$$

$$= 334,54 \text{ mm}$$

$$A = \beta_1 \cdot C_b$$

$$= 0,85 \cdot 334,54$$

$$= 284,36 \text{ mm}$$

$$P_{nb} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 284,36 \cdot 400 \cdot 10^{-3}$$

$$= 2900,51 \text{ KN}$$

$$\phi P_{nb} = 0,65 \cdot 2900,51$$

$$= 1885,33 \text{ KN}$$

Menghitung $P_{n_{\text{perlu}}}$:

$$0,10 \cdot f_c' \cdot A_g = 0,10 \cdot 30 \cdot (600 \cdot 400) \cdot 10^{-3}$$

$$= 720 \text{ KN} < P_u = 1708,44 \text{ KN}$$

$$P_u = 1708,44 \text{ KN} > \phi P_{nb} = 1885,33 \text{ KN} \dots \dots \dots \text{ Keruntuhan Tarik}$$

Menghitung kebutuhan tulangan:

$$\begin{aligned} A_{st_{min}} &= 0,01 \cdot A_g \\ &= 0,01 \cdot 600 \cdot 400 \\ &= 2400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{st_{max}} &= 0,08 \cdot A_g \\ &= 0,08 \cdot 600 \cdot 400 \\ &= 19200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan longitudinal kolom yang digunakan ($A_{st_{perlu}}$) adalah 2400 mm^2 .

Menggunakan 14Ø16

$$\begin{aligned} A_s &= 14 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 16^2 \\ &= 2814,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' &= A_s \\ &= 2814,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{st} &= A_s + A_s' \\ &= 2814,87 + 2814,87 \\ &= 5629,73 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{st_{min}} < A_{st} < A_{st_{max}} \dots \dots \dots \text{OK}$$

Cek rasio tulangan

$$\begin{aligned} P &= \frac{A_s}{b \cdot d} \cdot 100 \% \\ &= \frac{2814,87}{600 \cdot 552} \cdot 100 \% \end{aligned}$$

$$= 1,27 \%$$

1 % < P < 8 %.....OK

Perhitungan tegangan dan regangan baja :

$$\varepsilon_{cu} = 0,003 ; E_s = 200000 \text{ Mpa}$$

$$c = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y}$$

$$= \frac{600 \cdot 552}{600 + 390}$$

$$= 334,54 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{c - d'}{c} \varepsilon_{cu}$$

$$= \frac{334,54 - 48}{334,54} 0,003$$

$$= 0,0026$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$= \frac{390}{200000}$$

$$= 0,00195 ; \varepsilon_s > \varepsilon_y \dots\dots\dots f_s = f_y = 390 \text{ Mpa}$$

Perhitungan gaya – gaya dalam:

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$= 2814,87 \cdot 390 \cdot 10^{-3}$$

$$= 1097,79 \text{ KN}$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b$$

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 284,36 \cdot 400 \cdot 10^{-3}$$

$$= 2900,51 \text{ KN}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_y$$

$$= 2814,87 \cdot 390 \cdot 10^{-3}$$

$$= 1097,79 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} P_{nb} &= C_s + C_c - T \\ &= 1097,79 + 2900,51 - 1097,79 \\ &= 2900,51 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nb} &= T \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) + C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d'\right) \\ &= 1097,79 \left(552 - \frac{600}{2}\right) + 2900,51 \left(\frac{600}{2} - \frac{284,36}{2}\right) + \\ &\quad 1097,79 \left(\frac{600}{2} - 48\right) \\ &= 1011043,332 \text{ KNmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_b &= \frac{M_{nb}}{P_{nb}} \\ &= \frac{1011043,332}{2900,51} \\ &= 384,57 \text{ mm} > e = 159,19 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{Kolom runtuh tekan} \end{aligned}$$

Pola keruntuhan tekan maka menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \left[\frac{A_s' \cdot f_y}{\left(\frac{e}{d-d'}\right) + 0,50} \right] + \left[\frac{b \cdot h \cdot f_c'}{\left(\frac{3 \cdot h \cdot e}{d^2}\right) + 1,18} \right] \\ &= 0,65 \left[\frac{2814,87 \cdot 390}{\left(\frac{159,19}{(552 - 48)}\right) + 0,50} \right] + \left[\frac{400 \cdot 600 \cdot 30}{\left(\frac{3 \cdot 600 \cdot 159,19}{(552^2)}\right) + 1,18} \right] \\ &= 3081,79 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\phi P_n = 3081,79 \text{ KN} > P_u = 1708,44 \text{ KN} \dots\dots\dots \text{Aman}$$

Cek kapasitas momen

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi P_n \cdot e \\ &= 3081,79 \cdot 159,19 \cdot 10^{-3} \\ &= 942,33 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 942,33 \text{ KNm} > M_u = 271,96 \text{ KNm} \dots\dots\dots \text{Aman}$$

2. Penulangan geser kolom

Penulangan geser kolom untuk SRPMM (Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah) telah dijelaskan pada BAB III. Contoh perhitungan penulangan geser kolom adalah kolom tipe K1. Hasil penulangan geser kolom lainnya dapat dilihat pada lampiran 8.

Data perencanaan sebagai berikut:

$$P_u = 1708,44 \text{ N}$$

$$L_u = 3500 \text{ mm}$$

$$V_u = 229,42 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g}\right) \cdot \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'}\right) \cdot b_w \cdot d \\ &= \left(1 + \frac{1708,44}{14 \cdot 240000}\right) \cdot \left(\frac{1}{6} \sqrt{30}\right) \cdot 600 \cdot 552 \cdot 10^{-3} \\ &= 201,66 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \cdot 201,66 \\ &= 151,25 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 151,25 \text{ KN} < V_u = 229,42 \text{ KN} \dots \dots \dots \text{Perlu tulangan geser}$$

a. Tulangan geser pada daerah sendi plastis ($\leq l_0$)

Jarak maksimum ($\leq l_0$) tidak boleh kurang dari nilai terbesar:

- 1/6 tinggi bersih kolom = $1/6 \cdot 3500 = 600 \text{ mm}$
- Dimensi terbesar penampang = $h = 600 \text{ mm}$
- 500 mm

Menggunakan 600 mm

Menentukan nilai V_s :

$$V_c = 0 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{229,42}{0,75} - 0 \\ &= 305,89 \text{ KN} \end{aligned}$$

Menggunakan 3Ø10

$$\begin{aligned} A_v &= 3 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \\ &= 3 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \\ &= 235,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak sengkang sebesar

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\ &= \frac{235,62 \cdot 240 \cdot 552}{305,89 \cdot 1000} \\ &= 102,04 \text{ mm} \sim 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

S_{maksimum} tidak boleh melebihi dari :

- 8 Ø16 = 8 · 16 = 128 mm
- 24 Ø10 = 24 · 10 = 240 mm
- 0,5 · b = 0,5 · 400 = 200 mm
- 300 mm

Berdasarkan hitungan di atas tulangan sengkang yang dipakai adalah Ø10 dengan jarak 100 mm dipasang sepanjang 875 mm dari permukaan hubungan balok kolom.

- b. Tulangan geser pada daerah luar sendi plastis ($\geq l_0$)

$$V_c = 201,66 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{Vu}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{229,42}{0,75} - 201,66 \\
 &= 104,23 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Menggunakan 2Ø10

$$\begin{aligned}
 A_v &= 2 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \\
 &= 2 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \\
 &= 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak sengkang sebesar:

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\
 &= \frac{157,08 \cdot 240 \cdot 552}{104,23 \cdot 1000} \\
 &= 199,65 \text{ mm} \sim 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Spasi maksimum sengkang yang terpasang pada daerah luar sendi ($\geq l_0$) tidak boleh lebih dari $2 \cdot S = 2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}$. Sehingga tulangan sengkang yang dipakai adalah 2Ø10 jarak 200 mm.