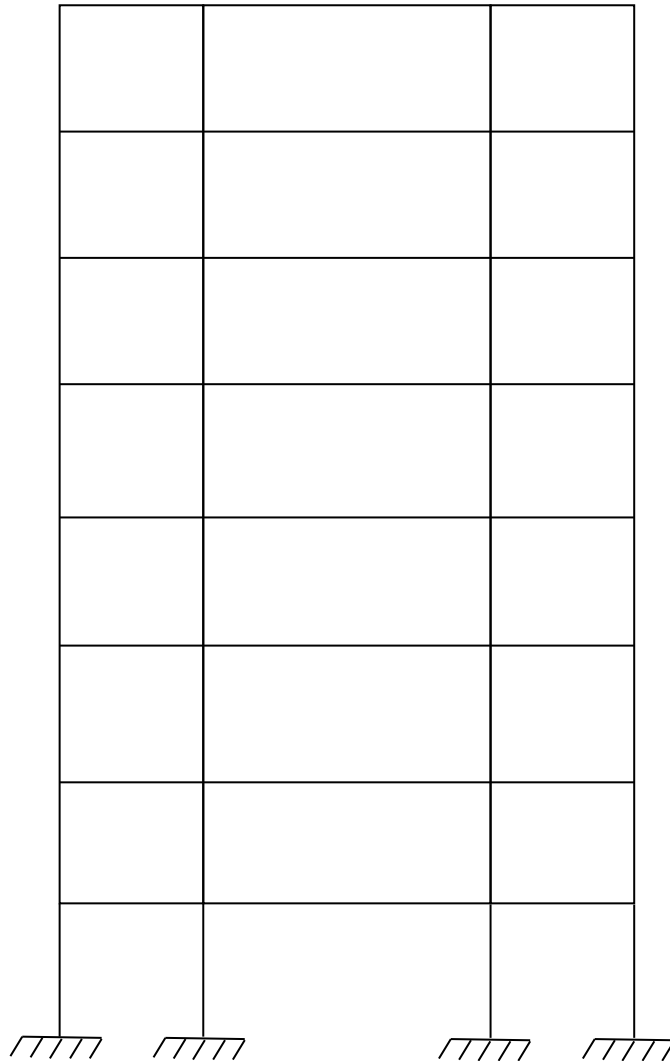


BAB V

ANALISIS PEMBEBANAN

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



Gambar 5.1 Struktur Portal Balok dan Kolom

A. Beban Struktur

1. Pelat Atap

a. Beban Mati

$$\text{Pelat lantai (12 cm)} = 0,12 \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 288 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Water proofing} = 50 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Spesi penutup lantai (2cm)} = 0,02 \times 2100 \text{ Kg/m}^3 = 42 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Plafon dan penggantung} = 18 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{M dan E} = 20 \text{ Kg/m}^2$$

$$qDL = 130 \text{ Kg/m}^2$$

b. Beban hidup pelat fungsi hotel

$$qLL = 250 \text{ Kg/m}^2$$

2. Pelat Lantai

a. Beban Mati

$$\text{Pelat lantai (12 cm)} = 0,12 \times 2400 \text{ Kg/m}^3 = 288 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Spesi penutup lantai (2cm)} = 0,02 \times 2100 \text{ Kg/m}^3 = 42 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Plafon dan penggantung} = 18 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Penutup lantai keramik} = 24 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{M \& E} = 20 \text{ Kg/m}^2$$

$$qDL = 104 \text{ Kg/m}^2$$

b. Beban hidup pelat fungsi hotel

$$= 250 \text{ Kg/m}^2$$

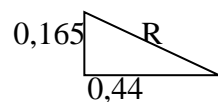
Pelat bordes dan tangga

$$= 300 \text{ Kg/m}^2$$

$$qLL = 550 \text{ Kg/m}^2$$

3. Tangga dan Bordes

a. Beban tangga lantai dasar – 1



$$R = \sqrt{0,44^2 + 0,165^2}$$

$$= 0,47 \text{ m}^2$$

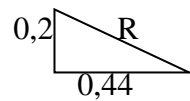
$$1 : 0,47 = 2,127$$

$$\text{Spesi} = (0,44 + 0,165) \times 2,127 \times 2 \times 21$$

$$= 54,05 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Anak tangga} &= 0,5 \times (0,44 \times 0,165) \times 2,127 \times 2400 \\
 &= 185,30 \text{ Kg} \\
 \text{Keramik} &= (0,44 + 0,165) \times 2,127 \times 24 \\
 &= 30,88 \text{ Kg} \\
 \text{Beban Total} &= 54,05 + 185,30 + 30,88 \\
 &= 270,23 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

b. Beban Tangga Lantai 1 – 2



$$\begin{aligned}
 R &= \sqrt{0,44^2 + 0,2^2} \\
 &= 0,483 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$1 : 0,483 = 2,07$$

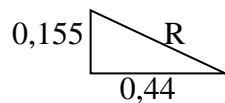
$$\begin{aligned}
 \text{Spesi} &= (0,44 + 0,2) \times 2,07 \times 2 \times 21 \\
 &= 55,64 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Keramik} &= (0,44 + 0,165) \times 2,07 \times 24 \\
 &= 31,75 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Anak Tangga} &= 0,5 \times (0,44 \times 0,165) \times 2,07 \times 2400 \\
 &= 218,592 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban Total} &= 55,64 + 31,75 + 218,592 \\
 &= 306,22 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

c. Beban Tangga Lantai 3-7



$$\begin{aligned}
 R &= \sqrt{0,44^2 + 0,155^2} \\
 &= 0,466 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$1 : 0,466 = 2,144$$

$$\begin{aligned}
 \text{Spesi} &= (0,44 + 0,155) \times 2,144 \times 2 \times 21 \\
 &= 53,58 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Keramik} &= (0,44 + 0,155) \times 2,144 \times 24 \\
 &= 30,62 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{Anak Tangga} = 0,5 \times (0,44 \times 0,155) \times 2,144 \times 2400$$

$$= 175,46 \text{ Kg}$$

$$\text{Beban Total} = 55,64 + 31,75 + 218,592$$

$$= 259,66 \text{ Kg}$$

d. Beban gordes

$$\text{Spesi } 21 \times 2 = 42$$

$$\text{Keramik} = \frac{24}{66} \text{ Kg}$$

4. Lantai 1

a. Beban mati

Beban sendiri balok

- Balok Lantai 1

$$B1 = (0,3 \times 0,6) \times 6,5 \times 2400 \times 2 = 5616 \text{ Kg}$$

$$B2 = (0,3 \times 0,4) \times 3,3 \times 2400 \times 3 = 2851,2 \text{ Kg}$$

$$B3 = (0,3 \times 0,5) \times 6,2 \times 2400 \times 3 = 6696 \text{ Kg}$$

$$B5 = (0,3 \times 0,2) \times 6,2 \times 2400 = 892,2 \text{ Kg}$$

$$B5'' = (0,3 \times 0,2) \times 6,5 \times 2400 = 936 \text{ Kg}$$

b. Beban Dinding pada Balok

- Balok Lantai 1

$$B1 = (2,9 - 1,2) \times 300 \text{ (batako)} = 510 \text{ Kg}$$

$$B2 = (2,9 - 0,8) \times 300 \text{ (batako)} = 630 \text{ Kg}$$

$$B3 = (2,9 - 0,5) \times 300 \text{ (batako)} = 720 \text{ Kg}$$

$$B5 = (2,9 - 0,3) \times 300 \text{ (batako)} = 780 \text{ Kg}$$

$$B1'' = (2,9 - 0,6) \times 300 \text{ (batako)} = 690 \text{ Kg}$$

$$B2'' = (2,9 - 0,4) \times 300 \text{ (batako)} = 750 \text{ Kg}$$

5. Lantai 2

a. Beban mati

Beban sendiri balok

- Balok Lantai 2

$$B1 = (0,3 \times 0,6) \times 6,5 \times 2400 \times 4 = 11232 \text{ Kg}$$

$$B2 = (0,3 \times 0,4) \times 3,3 \times 2400 \times 8 = 7603,2 \text{ Kg}$$

$$B3 = (0,3 \times 0,5) \times 6,2 \times 2400 \times 11 = 24552 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned}
 B3_{\text{samping}} &= (0,3 \times 0,5) \times 3,1 \times 2400 &= 1116 \text{ Kg} \\
 B4 &= (0,2 \times 0,25) \times 6,2 \times 2400 \times 4 &= 2976 \text{ Kg} \\
 B5 &= (0,3 \times 0,2) \times 3,3 \times 2400 \times 5 &= 2376 \text{ Kg} \\
 B5_{\text{dalam}} &= (0,3 \times 0,2) \times 2,375 \times 2400 &= 342 \text{ Kg} \\
 B5_{\text{tangga}} &= (0,3 \times 0,2) \times 3,2 \times 2400 &= 460,8 \text{ Kg} \\
 B5_{\text{tengah}} &= (0,3 \times 0,2) \times 6,5 \times 2400 \times 2 &= 1872 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

- Balok Mezanin Lantai 2

$$\begin{aligned}
 B1 &= (0,3 \times 0,6) \times 6,5 \times 2400 \times 2 &= 5616 \text{ Kg} \\
 B2 &= (0,3 \times 0,4) \times 3,3 \times 2400 \times 3 &= 2851,2 \text{ Kg} \\
 B3 &= (0,3 \times 0,5) \times 6,2 \times 2400 \times 5 &= 11160 \text{ Kg} \\
 B3'' &= (0,3 \times 0,6) \times 1,75 \times 2400 \times 2 &= 1512 \text{ Kg} \\
 B5 &= (0,3 \times 0,2) \times 3,3 \times 2400 \times 3 &= 14256 \text{ Kg} \\
 B5_{\text{tengah}} &= (0,3 \times 0,2) \times 4,125 \times 2400 &= 594 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

b. Berat Dinding pada Balok

- Balok Lantai 2

$$\begin{aligned}
 B1 &= (4 - 0,6) \times 300 \text{ (batako)} &= 1020 \text{ Kg/m}^2 \\
 B2 &= (4 - 0,4) \times 300 \text{ (batako)} &= 1080 \text{ Kg/m}^2 \\
 B3 &= (4 - 0,5) \times 300 \text{ (batako)} &= 1050 \text{ Kg/m}^2 \\
 B4 &= (4 - 0,25) \times 300 \text{ (batako)} &= 1125 \text{ Kg/m}^2 \\
 B5 &= (4 - 0,3) \times 300 \text{ (batako)} &= 1110 \text{ Kg/m}^2
 \end{aligned}$$

- Balok Mezanin Lantai 2

$$\begin{aligned}
 B1 &= (3 - 0,6) \times 300 \text{ (batako)} &= 720 \text{ Kg/m}^2 \\
 B2 &= (3 - 0,4) \times 300 \text{ (batako)} &= 780 \text{ Kg/m}^2 \\
 B3 &= (3 - 0,5) \times 300 \text{ (batako)} &= 750 \text{ Kg/m}^2 \\
 B5 &= (3 - 0,3) \times 300 \text{ (batako)} &= 810 \text{ Kg/m}^2
 \end{aligned}$$

6. Lantai 3 – Atap

a. Beban mati

Beban sendiri balok

- Balok Lantai 3 – Atap

$$B1 = (0,3 \times 0,6) \times 6,5 \times 2400 \times 5 = 14040 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned}
 B2 &= (0,3 \times 0,4) \times 3,3 \times 2400 \times 10 = 9504 \text{ Kg} \\
 B3 &= (0,3 \times 0,5) \times 6,2 \times 2400 \times 16 = 35712 \text{ Kg} \\
 B4 &= (0,2 \times 0,25) \times 6,2 \times 2400 \times 8 = 3072 \text{ Kg} \\
 B5 &= (0,3 \times 0,2) \times 3,3 \times 2400 \times 10 = 4752 \text{ Kg} \\
 B5_{\text{tengah}} &= (0,3 \times 0,2) \times 6,5 \times 2400 \times 5 = 4680 \text{ Kg} \\
 B3'' &= (0,3 \times 0,5) \times 1,75 \times 2400 \times 4 = 2520 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

b. Beban Dinding pada Balok

- Balok Lantai 3 – Atap

$$\begin{aligned}
 B1 &= (3,1 - 0,6) \times 300 \text{ (batako)} = 750 \text{ Kg/m}^2 \\
 B2 &= (3,1 - 0,4) \times 300 \text{ (batako)} = 780 \text{ Kg/m}^2 \\
 B3 &= (3,1 - 0,5) \times 300 \text{ (batako)} = 750 \text{ Kg/m}^2 \\
 B4 &= (3,1 - 0,25) \times 300 \text{ (batako)} = 825 \text{ Kg/m}^2 \\
 B5 &= (3,1 - 0,3) \times 300 \text{ (batako)} = 810 \text{ Kg/m}^2
 \end{aligned}$$

B. Beban Gempa

1. Klasifikasi Situs Tanah

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

Tabel 5. 1 Data tanah lapangan.

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
$\sum di$			29	
$\sum di / Nv$				0,931

Sumber: Perhitungan dari data Laporan Penyelidikan Geoteknik
Proyek, 2015.

Nilai \bar{N} didapat dengan menggunakan persamaan (3. 2):

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

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

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

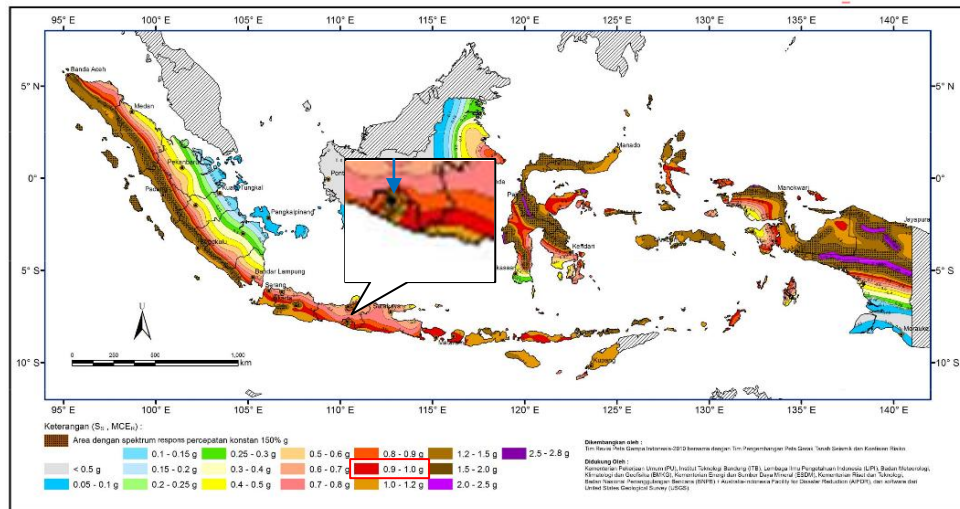
Analisis respon spektrum dalam disainakan menampilkan spektrum respon disain SNI 1726:2012 dan SNI 1726:2002.

a) Spektrum respon desain SNI 1726:2012

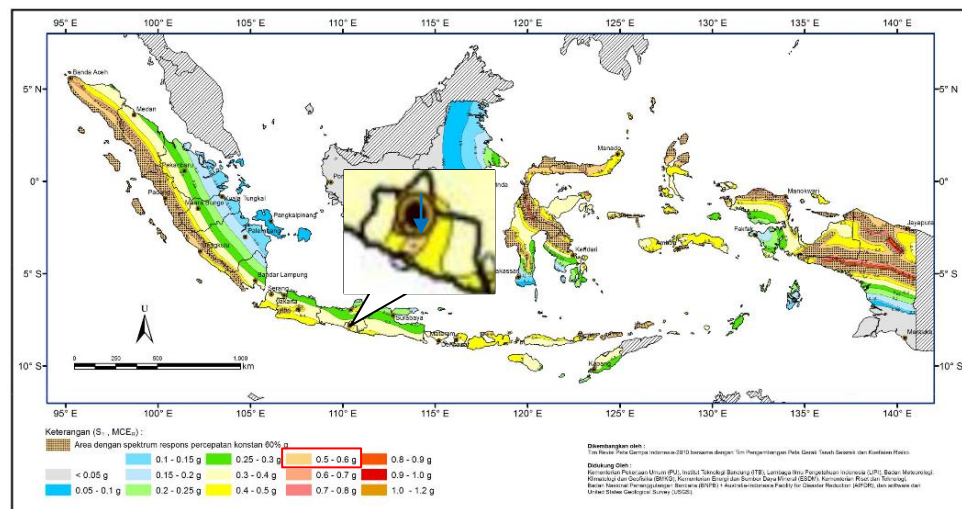
Berdasarkan Gambar 9 dan Gambar 10 pada SNI 1726:2012 didapatkan nilai S_s dan S_1 .

$$S_s = 0,95$$

$$S_1 = 0,55$$



Gambar 5. 2 Peta wilayah nilai S_s
(Sumber: SNI 1726:2012)



Gambar 5. 3 Peta wilayah nilai S_1
(Sumber: SNI 1726:2012)

Koefesien 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. 3 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:

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

Tabel 5. 4 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:

- (a) Untuk nilai-nilai antara S_1 dapat dilakukan interpolasi linier
- (b) 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 (3.5), 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_{M1}) menggunakan persamaan (3.6), didapat nilai S_{M1} sebagai berikut:

$$S_{M1} = F_v \times S_I$$

$$S_{M1} = 1,5 \times 0,55 = 0,825$$

Parameter percepatan spektral disain untuk periode pendek (S_{DS}) ditentukan dengan Persamaan (3.7) dan pada periode 1 detik (S_{D1}) ditentukan dengan Persamaan (3.8). Nilai S_{DS} dan S_{D1} sebagai berikut:

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

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

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} 0,825 = 0,55$$

Maka sesuai dengan nilai S_{DS} dan S_{D1} lokasi penelitian termasuk wilayah D untuk menentukan nilai R sesuai tabel 6 SNI 1726 2012.

Penentuan percepatan spektrum disain (S_a) mengacu pada Gambar 3.3 dengan persyaratan yang telah dibahas di Bab III.A.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 ,

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

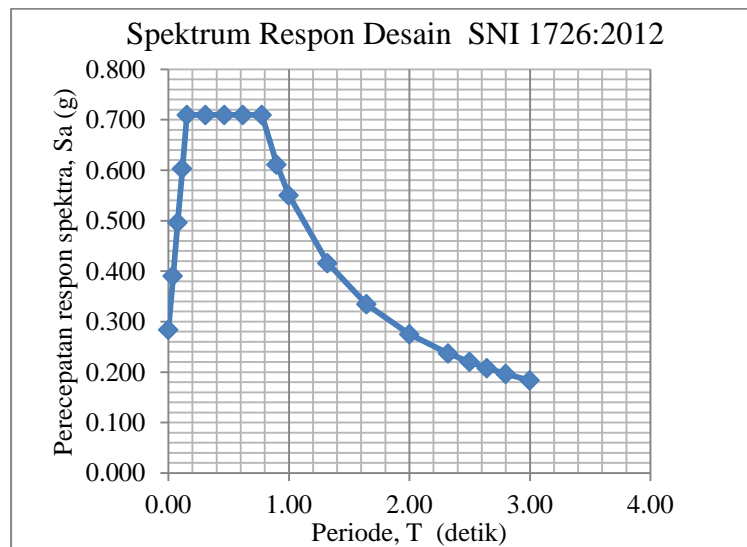
$$S_a = \frac{0,55}{2} = 0,275$$

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)	S _a (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 nilai berat dinding menggunakan 300 Kg/m^2 , untuk nilai besaran berat dinding di struktur dapat dilihat pada Tabel 5. 6 dan berat keseluruhan struktur dapat dilihat pada Tabel 5. 7 dengan berat volume beton bertulang $24 \text{ KN/m}^3 (2400 \text{ Kg/m}^3)$.

Tabel 5.6 Hasil perhitungan berat dinding pada gedung

Lantai	Panjang Dinding (m)	Tinggi (m)	Beban dinding (kg/m ²)	Berat (kg)
7	216,175	3,1	300	201043
6	216,175	3,1	300	201043
5	216,175	3,1	300	201043
4	216,175	3,1	300	201043
3	216,175	3,1	300	201043
2	156,675	3,1	300	145708
Total Berat Dinding				1150922

Sumber: Hasil Perhitungan, 2016

Tabel 5. 7 Hasil perhitungan beban struktur mati pada gedung

Lantai	Berat Konstruksi (Kg)				Jumlah (kg)
	Sloof	Plat	Kolom	Balok	
atap	-	87672,96	3852	-	91525
7	-	87672,96	41310,6	74280	203264
6	-	87672,96	41310,6	74280	203264
5	-	87672,96	41310,6	74280	203264
4	-	87672,96	41310,6	74280	203264
3	-	87672,96	41310,6	77580	206564
2	-	83666,88	47688	75688,8	207044
1	-	14362,56	66915,6	16992	98270,2
Berat Dinding					1121668
Total Berat Struktur, W_1 (Kg)					2538125

Sumber: Hasil perhirungan, 2016

b) Beban gravitasi pada lantai 1-7

Beban Mati

$$\text{Spesi penutup lantai (2cm)} = 0,02 \times 2100\text{Kg/m}^3 = 42 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Plafon dan penggantung} = 18 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Penutup lantai keramik} = 24\text{Kg/m}^2$$

$$\text{M dan E} = 20 \text{ Kg/m}^2 +$$

$$\text{qDL} = 104 \text{ Kg/m}^2$$

Beban Hidup

$$\text{Beban hidup pelat fungsi hotel} = 250 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Pelat bordes dan tangga} = 300 \text{ Kg/m}^2$$

c) Beban Gravitasi pada lantai atap

Beban Mati

$$\text{Water proofing} = 50 \text{ Kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Spesi penutup lantai (2cm)} &= 0,02 \times 2100 \text{Kg/m}^3 &= 42 \text{ Kg/m}^2 \\
 \text{Plafon dan penggantung} &&= 18 \text{ Kg/m}^2 \\
 \text{M dan E} &&= 20 \text{ Kg/m}^2 \\
 \hline
 \text{qDL} &&= 130 \text{Kg/m}^2
 \end{aligned}$$

d) Perhitungan berat lantai akibat beban gravitasi

i. Beban Mati

Perhitungan berat mati akibat beban gravitasi pada tiap lantai (W_2) dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. 8. Beban mati akibat beban gravitasi pada tiap lantai

Lantai	Beban Mati (Kg/m ²)	Luasan Plat (m ²)	Berat Mati (Kg)
Atap	104	304,42	31659,68
7	104	304,42	31659,68
6	104	304,42	31659,68
5	104	304,42	31659,68
4	104	304,42	31659,68
3	104	304,42	31659,68
2	104	290,51	30213,04
1	104	49,87	5186,48
Total W_2			225357,6

Sumber: Hasil Perhitungan, 2016

ii. Beban Hidup

Beban hidup pada pelat lantai sebesar 250 kg/m² karena fungsi gedung adalah kampus dan pelat tangga/bordes sebesar 300 kg/m². Hasil perhitungan beban hidup pelat lantai dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. 9. Beban hidup sebesar 250 kg/m² tiap lantai

Lantai	Beban Mati (Kg/m ²)	Luasan Plat (m ²)	Berat Mati (Kg)
atap	250	304,42	76105
7	250	304,42	76105

6	250	304,42	76105
5	250	304,42	76105
4	250	304,42	76105
3	250	304,42	76105
2	250	290,51	72627,5
1	250	49,87	12467,5
Total W_3			541725

Sumber: hasil Perhitungan, 2016

Perhitungan pada pelat tangga dan bordes pada setiap lantai dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 5. 10. Beban hidup pada pelat bordes dan tangga

Lantai	Beban Hidup (Kg/m ²)	Luasan Plat (m ²)	Berat Hidup (Kg)
7	300	20,15	6045
6	300	20,15	6045
5	300	20,15	6045
4	300	20,15	6045
3	300	20,15	6045
2	300	20,6	6180
1	300	20,15	6045
Total W_4			42450

Sumber: Hasil Perhitungan, 2016

$$\begin{aligned}
 \text{Berat seismik (W)} &= W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \\
 &= 2538125 + 225357,6 + 541725 + 42450 \\
 &= 3347657,6\text{Kg}
 \end{aligned}$$

4. Gaya Dasar Seismik

Menurut SNI 1726:2012 pasal 7. 8. 2, nilai periode fundamental struktur (T_a) dapat diketahui menggunakan persamaan (3. 33).

$$T_a = C_t h_n^x$$

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

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

untuk nilai parameter perioda pendekatan C_t , x , dan R 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)

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_p (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	E ^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

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:

$$C_{s(maks)} = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0,55}{0,734 \left(\frac{8}{1} \right)} = 0,0936$$

$$C_{s(hitungan)} = \frac{S_1}{\left(\frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0,55}{\left(\frac{8}{1} \right)} = 0,068$$

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

$$SF = \frac{g \cdot i}{R} = \frac{9,81 \cdot 1}{8} = 1,226$$

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

Perhitungan gaya dasar seismik dengan menggunakan SNI 1726: 2012 seperti persamaan (3.29).

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

$$V_x (\text{portal arah } X) = 0,068 \cdot 3347657,6 = 227640,7168 \text{ Kg}$$

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

$$V_y (\text{portal arah } Y) = 0,3 \cdot (0,068 \cdot 227640,7168) = 4643,8706 \text{ Kg}$$

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:

Lantai	Beban Efektif (Kg/m ²)	hx (m)	k	Wx.hx ^k	Cv	Fi(ton)
atap	199289,6	23,2	1,117	6679359	0,161	36,583
7	317073,2	21,2	1,117	9608968	0,231	52,628
6	317073,2	18,1	1,117	8053535	0,194	44,109
5	317073,2	15	1,117	6529103	0,157	35,760
4	317073,2	11,9	1,117	5041335	0,121	27,611
3	320373,2	8,8	1,117	3636163	0,087	19,915
2	316064,2	4,8	1,117	1822728	0,044	9,983
1	121969,1	1,5	1,117	191842,1	0,005	1,051
				41563033		

Sumber: Hasil Pehitungan, 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	Cv	Fi(ton)
atap	199289,6	23,2	1,117	6679359	0,161	0,746
7	317073,2	21,2	1,117	9608968	0,231	1,074
6	317073,2	18,1	1,117	8053535	0,194	0,900
5	317073,2	15	1,117	6529103	0,157	0,729
4	317073,2	11,9	1,117	5041335	0,121	0,563
3	320373,2	8,8	1,117	3636163	0,087	0,406
2	316064,2	4,8	1,117	1822728	0,044	0,204
1	121969,1	1,5	1,117	191842,1	0,005	0,021
				41563033		

Sumber: Hasil Perhitungan, 2016

C. Beban Angin

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

$P = koefisien. Luasan\ Bidang. Beban\ Angin$

$$P_{A1} = 0,9 \times (1,55 \times 3,65) \times 25 = 127,29 \text{ Kg(Desak)}$$

$$= 0,4 \times (1,55 \times 3,65) \times 25 = 56,575 \text{ Kg (Hisap)}$$

$$\begin{aligned} P_{B1} &= 0,9 \times (3,1 \times 3,65) \times 25 = 254,586 \text{ Kg(Desak)} \\ &= 0,4 \times (3,1 \times 3,65) \times 25 = 113,15 \text{ Kg (Hisap)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{C1} &= 0,9 \times (3,1 \times 3,65) \times 25 = 254,586 \text{ Kg(Desak)} \\ &= 0,4 \times (3,1 \times 3,65) \times 25 = 113,15 \text{ Kg (Hisap)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{D1} &= 0,9 \times (3,1 \times 3,65) \times 25 = 254,586 \text{ Kg(Desak)} \\ &= 0,4 \times (3,1 \times 3,65) \times 25 = 113,15 \text{ Kg (Hisap)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{E1} &= 0,9 \times (1,55 \times 3,65) \times 25 = 127,29 \text{ Kg(Desak)} \\ &= 0,4 \times (1,55 \times 3,65) \times 25 = 56,575 \text{ Kg (Hisap)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{A2} &= 0,9 \times (1,55 \times 3,55) \times 25 = 123,806 \text{ Kg(Desak)} \\ &= 0,4 \times (1,55 \times 3,65) \times 25 = 55,025 \text{ Kg (Hisap)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{B2} &= 0,9 \times (3,1 \times 3,55) \times 25 = 247,613 \text{ Kg(Desak)} \\ &= 0,4 \times (3,1 \times 3,55) \times 25 = 110,005 \text{ Kg (Hisap)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{C2} &= 0,9 \times (3,1 \times 3,55) \times 25 = 247,613 \text{ Kg(Desak)} \\ &= 0,4 \times (3,1 \times 3,55) \times 25 = 110,005 \text{ Kg (Hisap)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{D2} &= 0,9 \times (3,1 \times 3,55) \times 25 = 247,613 \text{ Kg(Desak)} \\ &= 0,4 \times (3,1 \times 3,55) \times 25 = 110,005 \text{ Kg (Hisap)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{E2} &= 0,9 \times (1,55 \times 3,55) \times 25 = 123,806 \text{ Kg(Desak)} \\ &= 0,4 \times (1,55 \times 3,65) \times 25 = 55,025 \text{ Kg (Hisap)} \end{aligned}$$

$$P_{A3} = 0,9 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 108,113 \text{ Kg(Desak)}$$

$$= 0,4 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 48,05 \text{ Kg (Hisap)}$$

$$P_{B3} = 0,9 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 216,225 \text{ Kg(Desak)}$$

$$= 0,4 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 96,1 \text{ Kg (Hisap)}$$

$$P_{C3} = 0,9 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 216,225 \text{ Kg(Desak)}$$

$$= 0,4 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 96,1 \text{ Kg (Hisap)}$$

$$P_{D3} = 0,9 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 216,225 \text{ Kg(Desak)}$$

$$= 0,4 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 96,1 \text{ Kg (Hisap)}$$

$$P_{E3} = 0,9 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 108,113 \text{ Kg(Desak)}$$

$$= 0,4 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 48,05 \text{ Kg (Hisap)}$$

$$P_{A4} = 0,9 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 108,113 \text{ Kg(Desak)}$$

$$= 0,4 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 48,05 \text{ Kg (Hisap)}$$

$$P_{B4} = 0,9 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 216,225 \text{ Kg(Desak)}$$

$$= 0,4 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 96,1 \text{ Kg (Hisap)}$$

$$P_{C4} = 0,9 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 216,225 \text{ Kg(Desak)}$$

$$= 0,4 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 96,1 \text{ Kg (Hisap)}$$

$$P_{D4} = 0,9 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 216,225 \text{ Kg(Desak)}$$

$$= 0,4 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 96,1 \text{ Kg (Hisap)}$$

$$P_{E4} = 0,9 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 108,113 \text{ Kg(Desak)}$$

$$= 0,4 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 48,05 \text{ Kg (Hisap)}$$

$$P_{A5} = 0,9 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 108,113 \text{ Kg(Desak)}$$

$$= 0,4 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 48,05 \text{ Kg (Hisap)}$$

$$\begin{aligned}
 P_{B5} &= 0,9 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 216,225 \text{ Kg(Desak)} \\
 &= 0,4 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 96,1 \text{ Kg (Hisap)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{C5} &= 0,9 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 216,225 \text{ Kg(Desak)} \\
 &= 0,4 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 96,1 \text{ Kg (Hisap)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{D5} &= 0,9 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 216,225 \text{ Kg(Desak)} \\
 &= 0,4 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 96,1 \text{ Kg (Hisap)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{E5} &= 0,9 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 108,113 \text{ Kg(Desak)} \\
 &= 0,4 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 48,05 \text{ Kg (Hisap)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{A6} &= 0,9 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 108,113 \text{ Kg(Desak)} \\
 &= 0,4 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 48,05 \text{ Kg (Hisap)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{B6} &= 0,9 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 216,225 \text{ Kg(Desak)} \\
 &= 0,4 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 96,1 \text{ Kg (Hisap)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{C6} &= 0,9 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 216,225 \text{ Kg(Desak)} \\
 &= 0,4 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 96,1 \text{ Kg (Hisap)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{D6} &= 0,9 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 216,225 \text{ Kg(Desak)} \\
 &= 0,4 \times (3,1 \times 3,1) \times 25 = 96,1 \text{ Kg (Hisap)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{E6} &= 0,9 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 108,113 \text{ Kg(Desak)} \\
 &= 0,4 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 48,05 \text{ Kg (Hisap)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{A7} &= 0,9 \times (1,55 \times 1,55) \times 25 = 54,056 \text{ Kg(Desak)} \\
 &= 0,4 \times (1,55 \times 1,55) \times 25 = 24,025 \text{ Kg (Hisap)}
 \end{aligned}$$

$$P_{B7} = 0,9 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 108,113 \text{ Kg(Desak)}$$

$$= 0,4 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 48,05 \text{ Kg (Hisap)}$$

$$P_{C7} = 0,9 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 108,113 \text{ Kg(Desak)}$$

$$= 0,4 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 48,05 \text{ Kg (Hisap)}$$

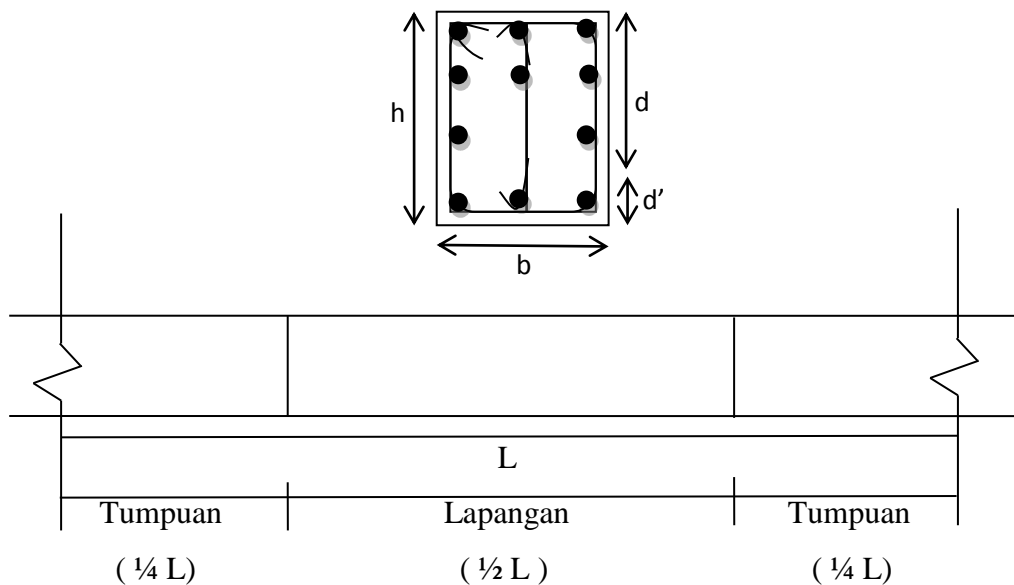
$$P_{D7} = 0,9 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 108,113 \text{ Kg(Desak)}$$

$$= 0,4 \times (1,55 \times 3,1) \times 25 = 48,05 \text{ Kg (Hisap)}$$

$$P_{E7} = 0,9 \times (1,55 \times 1,55) \times 25 = 54,056 \text{ Kg(Desak)}$$

$$= 0,4 \times (1,55 \times 1,55) \times 25 = 24,025 \text{ Kg (Hisap)}$$

D .Perhitungan tulangan balok



Gambar 5.5 Penampang Balok Persegi

1. Perhitungan menggunakan SNI 03 2847 2002

Balok B1

Lebar bawah (b) : 300 mm

Tinggi balok (h) : 600 mm
 Tinggi efektif (d) : 540,5 mm
 Selimut beton (d') : 40 mm
 $F_y = 400 \text{ Mpa}$
 $\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$
 $f_c' = 30 \text{ Mpa}$

(a) Penulangan terhadap lentur

a. Tulangan Tumpuan

Analisis lentur balok B1 60/30

$$M_u = 188,8154 \text{ KNm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{0,8} \\ &= \frac{188,8154}{0,8} \\ &= 236,0192 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{c'}} \\ &= \frac{400}{0,85 \cdot 30} \\ &= 15,686 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{236,0192}{300 \cdot 540,5^2} \\ &= 2,292 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 3,948}{400}} \right) \\ &= 0,0071 > \rho_{\min} = 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0325\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0325 \\ &= 0,0243\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}A_{sperlu} &= \rho_{perlu} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0071 \cdot 300 \cdot 540,5 \\ &= 1156,347 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan D19

$$\begin{aligned}A_{st} &= \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 \\ &= 283,528 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan (n)

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_{sperlu}}{A_{st}} \\ &= \frac{1156,347}{283,528} \\ &= 4,07 \approx 5 \text{ dilapangan menggunakan 6 tulangan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{spakai} &= n \cdot A_{st} \\ &= 5 \cdot 283,528 \\ &= 1417,643 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan yang dibutuhkan harus memenuhi syarat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}A_s' &> 0,5 A_{sperlu} \\ 0,5 \cdot 1417,643 &= 578,173 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Menggunakan 3D19

$$A_s' = 850,586$$

Kontrol kelelahan:

asumsi tulangan tarik leleh dan tekan belum

$$\begin{aligned}
 fs' &= \frac{c-d'}{c} 0,003 \cdot E \\
 &= \frac{c-40}{c} 0,003 \cdot 200000 \\
 &= \frac{c-40}{c} \cdot 600
 \end{aligned}$$

$$0,85 \cdot fc' \cdot a \cdot b + As' \cdot fs' = As_{\text{pakai}} \cdot fy$$

$$0,85 \cdot 30 \cdot (0,85 \cdot c) 300 + 850,586 \cdot \frac{c-40}{c} \cdot 600 = 1417,643 \cdot 400$$

$$6502,5c^2 - 56705,7474c - 20414069,06 = 0$$

Nilai c dicari dengan menggunakan rumus ABC

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\
 &= \frac{56705,7474 + \sqrt{56705,7474^2 + 4 \cdot 6502,5 \cdot 20414069,06}}{2 \cdot 6502,5}
 \end{aligned}$$

$$= 60,56 \text{ mm}$$

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

$$= 0,85 \cdot 60,56$$

$$= 51,476 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 fs' &= \frac{c-40}{c} \cdot 600 \\
 &= \frac{60,56 - 40}{60,56} \cdot 600
 \end{aligned}$$

$$= 203,700 \text{ Mpa} < fy = 400 \text{ Mpa} \dots \text{Asumsi benar}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \cdot 0,003 \\
 &= \frac{540,5 - 60,56}{60,56} \cdot 0,003
 \end{aligned}$$

$$= 0,023 > \epsilon_y = 0,002 \text{ (reg. baja leleh) } \dots \text{OK}$$

Kapasitas balok terhadap momen

$$\begin{aligned}
 Cc &= 0,85 \cdot fc' \cdot a \cdot b \\
 &= 0,85 \cdot 30 \cdot 51,476 \cdot 300 \\
 &= 393792,8408 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cs &= As' \cdot fs' \\
 &= 850,586 \cdot 203,700 \\
 &= 173264,6332 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M1 &= Cc \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 393792,8408 \left(540,5 - \frac{51,476}{2} \right) \\
 &= 202,709 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M2 &= Cs (d - d') \\
 &= 173264,6332 (540,5 - 40) \\
 &= 86,718 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

Momen nominal

$$\begin{aligned}
 M_{kap} &= (Mn1 + Mn2) \\
 &= (202,709 + 86,718) \\
 &= 289,428 \text{ KNm} > Mn = 236,0192 \text{ KNm} \dots \text{ OK}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas , maka balok pada tumpuan aman terhadap lentur

b. Analisis Lapangan

$$M_u = 358,0696 \text{ KNm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u}{0,8} \\
 &= \frac{358,0696}{0,8} \\
 &= 447,587 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{c'}'} \\
 &= \frac{400}{0,85 \cdot 30} \\
 &= 15,686
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\
 &= \frac{447,587}{300 \cdot 540,5^2} \\
 &= 5,106 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{400} \\
 &= 0,0035
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.Rn}{fy}} \right) \\ &= \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.15,686.3,948}{400}} \right) \\ &= 0,0143 > \rho_{\min} = 0,0035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85.\beta_1.f_c'}{fy} \left(\frac{600}{600+fy} \right) \\ &= \frac{0,85.0,85.30}{400} \left(\frac{600}{600+400} \right) \\ &= 0,0325\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0325 \\ &= 0,0243\end{aligned}$$

Sehingga digunakan $\rho_{perlu} = 0,0143$

$$\begin{aligned}A_{sperlu} &= \rho_{perlu} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0143 \cdot 300 \cdot 540,5 \\ &= 2333,666 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan D19

$$\begin{aligned}A_{st} &= \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 \\ &= 283,528 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan (n)

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_{sperlu}}{A_{st}} \\ &= \frac{2333,666}{283,528} \\ &= 8,23 \approx 9 \text{ dilapangan menggunakan 3 tulangan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{Spakai} &= n \cdot A_{st} \\ &= 9 \cdot 283,538 \\ &= 2551,758 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan yang dibutuhkan harus memenuhi syarat sebagai berikut:

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

$$0,5 \cdot 2551,758 = 1166,833 \text{ mm}^2$$

Menggunakan 5D19

$$A_s' = 1417,643$$

Kontrol kelelahan:

asumsi tulangan tarik leleh dan tekan belum

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{c-d'}{c} 0,003 \cdot E \\ &= \frac{c-40}{c} 0,003 \cdot 200000 \\ &= \frac{c-40}{c} \cdot 600 \end{aligned}$$

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

$$0,85 \cdot 30 \cdot (0,85 \cdot c) 300 + 1417,643 \cdot \frac{c-40}{c} \cdot 600 = 2551,758 \cdot 400$$

$$6502,5c^2 - 170117,2422 - 34023448,44 = 0$$

Nilai c dicari dengan menggunakan rumus ABC

$$\begin{aligned} c &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= 86,589 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= 0,85 \cdot c \\ &= 0,85 \cdot 86,589 \\ &= 73,600 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{c-40}{c} \cdot 600 \\ &= \frac{86,589 - 40}{86,589} \cdot 600 \\ &= 322,829 \text{ Mpa} < f_y = 400 \text{ Mpa} \dots \text{Asumsi benar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \cdot 0,003 \\ &= \frac{540,5 - 79,239}{79,239} \cdot 0,003 \\ &= 0,0157 > \epsilon_y = 0,002 \text{ (reg. baja leleh) ... OK} \end{aligned}$$

Kapasitas balok terhadap momen

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 73,600 \cdot 300 \\ &= 563046,5315 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' \cdot f_s' \\ &= 1417,643 \cdot 322,829 \\ &= 457656,9217 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M1 &= C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 563046,5315 \left(540,5 - \frac{73,600}{2} \right) \\ &= 283,6062 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2 &= C_s (d - d') \\ &= 457656,9217 (540,5 - 40) \\ &= 229,0572 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Momen nominal

$$\begin{aligned} M_{kap} &= (M_{n1} + M_{n2}) \\ &= (283,6062 + 229,0572) \\ &= 514,663 \text{ KNm} > M_n = 447,578 \text{ KNm} \dots \text{ OK} \end{aligned}$$

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

(b) 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:

$$\begin{aligned} b &= 300 \text{ mm} \\ h &= 600 \text{ mm} \\ d' &= 40 \text{ mm} \\ A_s &= 2551,758 \text{ mm}^2 \\ A_s' &= 1417,643 \text{ mm}^2 \\ M_{max} &= 358,0696 \text{ KNm (Hasil analisis SAP2000)} \end{aligned}$$

$$M_{DL} = 101,9789 \text{ KNm (Hasil analisis SAP2000)}$$

$$M_{LL} = 26,9042 \text{ KNm (Hasil analisis SAP2000)}$$

Persamaan untuk mencari letak garis netral untuk balok penulangan rangkap :

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

$$300 + 35441,09212 - 283528,737 - 12413030 + 22965,8277 = 0$$

$$300 + 58406,91982 - 12696558,6 = 0$$

Nilai y dicari menggunakan rumus ABC, maka didapat:

$$y = 130,246 \text{ mm}$$

Momen Inersia penampang retak transformasi (I_{cr})

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

$$= 4144011142 \text{ mm}^4$$

Momen Inersia penampang utuh terhadap sumbu berat tampang (I_g)

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

$$= 5400000000 \text{ mm}^4$$

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

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t}$$

$$= \frac{(0,7 \cdot \sqrt{30}) \cdot 5400000000}{0,5 \cdot 600}$$

$$= 69,01 \text{ KNm}$$

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

$$M_a = 1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL}$$

$$= 165,4214 \text{ KNm}$$

$$I_e = \left(\frac{69,01}{165,4214}\right)^3 \cdot 5400000000 + \left[1 - \left(\frac{69,01}{165,4214}\right)^3\right] \cdot 4144011142$$

$$= 4235213113 \text{ mm}^4$$

Kondisi II

$$M_a = M_{\max}$$

$$= 358,0696$$

$$I_e = \left(\frac{69,01}{358,0696}\right)^3 \cdot 5400000000 + \left[1 - \left(\frac{69,01}{358,0696}\right)^3\right] \cdot 4144011142$$

$$= 4153003569 \text{ mm}^4$$

Lendutan seketika akibat beban mati

$$\Delta_{DL} = \frac{5 \cdot M_{DL} \cdot l_n^2}{48 \cdot E_c \cdot I_{e1}}$$

$$= \frac{5 \cdot 101,9789 \cdot 6500^2}{48 \cdot 25742,9602 \cdot 4144011142}$$

$$= 4,207 \text{ mm}$$

Lendutan seketika akibat kondisi I

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

$$= \frac{5 \cdot 165,4214 \cdot 6500^2}{48 \cdot 25742,9602 \cdot 4235213113}$$

$$= 6,677 \text{ mm}$$

Lendutan seketika akibat kondisi II

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

$$= \frac{5 \cdot 358,0696 \cdot 6500^2}{48 \cdot 25742,9602 \cdot 4153003569}$$

$$= 14,45 \text{ mm}$$

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)

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

$$= \frac{1417,643}{300 \cdot 540,5}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,0043 \\
 \Delta_{LT} &= 4,207 \left(\frac{2}{1+50 \cdot 0,0043} \right) + 6,677 \left(\frac{2}{1+50 \cdot 0,0043} \right) + 14,45 \\
 &= 25,4135 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

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

$$\frac{l}{180} = \frac{6500}{180} = 36,11 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{360} = \frac{6500}{360} = 18,05 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{480} = \frac{6500}{480} = 13,54 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{240} = \frac{6500}{240} = 27,08 \text{ mm}$$

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

(c) Penulangan terhadap geser

Perhitungan menggunakan balok B1 , untung perhitungan yang lainnya dapat dilihat di lampiran.

Data perencanaan sebagai berikut :

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

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

$$\text{Øsengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$n = 3 \text{ (Jumlah sengkang)}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

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

$$d = 540,5 \text{ mm}$$

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

a. Analisis Tumpuan (Balok B1)

$$V_u = 204,573 \text{ KN}$$

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton sebesar

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d \\
 &= 148,022 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,75 \cdot 148,022 \\ &= 111,016 \text{ KN} < V_c = 204,547 \text{ KN} \dots \text{Perlu tulangan geser}\end{aligned}$$

Kuat geser yang diterima sengkang sebesar :

$$\begin{aligned}V_c &= 0 \text{ KN} \\ V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= 272,764 \text{ KN}\end{aligned}$$

Menggunakan sengkang 3 ϕ 10:

$$\begin{aligned}A_v &= 3 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \\ &= 235,619 \text{ mm} \\ S &= \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{V_s} \\ &= 112,054 \approx 110 \text{ mm}\end{aligned}$$

S_{maksimum} tidak boleh melebihi dari :

$$\begin{aligned}d/4 &= 540,5/4 = 135,125 \text{ mm} \\ 8\phi_{17} &= 128 \text{ mm} \\ 24\phi_{10} &= 240 \text{ mm} \\ 300 \text{ mm}\end{aligned}$$

Jadi, jarak sengkang yang digunakan (S_{pakai}) adalah 110 mm

$$\begin{aligned}V_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{S_{\text{pakai}}} \\ &= 277,859 \text{ KN}\end{aligned}$$

Kuat geser nominal

$$\begin{aligned}V_n &= V_c + V_{S_{\text{pakai}}} \\ &= 0 + 277,859 \\ &= 277,859 \text{ KN}\end{aligned}$$

Cek kuat geser

$$\begin{aligned}\phi V_n &= 0,75 \cdot 277,859 \\ &= 208,394 \text{ KN} > V_u = 204,573 \text{ KN} \dots \text{Oke}\end{aligned}$$

b. Analisis Lapangan

$$V_u = 207,798 \text{ KN}$$

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton sebesar

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

$$=148,022 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 148,022$$

$$= 111,016 \text{ KN} < V_c = 207,798 \text{ KN} \dots \text{Perlu tulangan geser}$$

Kuat geser yang diterima sengkang sebesar :

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

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

$$= 277,064 \text{ KN}$$

Menggunakan sengkang 3 ϕ 10:

$$A_v = 3 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2$$

$$= 235,619 \text{ mm}$$

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

$$= 110,315 \approx 110 \text{ mm}$$

S_{maksimum} tidak boleh melebihi dari :

$$d/4 = 540,5/4 = 135,125 \text{ mm}$$

$$8\phi 17 = 128 \text{ mm}$$

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

$$300 \text{ mm}$$

Jadi, jarak sengkang yang digunakan (S_{pakai}) adalah 110 mm

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

$$= 277,859 \text{ KN}$$

Kuat geser nominal

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

$$= 0 + 277,859$$

$$= 277,859 \text{ KN}$$

Cek kuat geser

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 277,859$$

$$= 208,394 \text{ KN} > V_u = 207,798 \text{ KN} \dots \text{Oke}$$

(d) Penulangan balok torsi

Analisis tulangan torsi B1, T_u didapat dari perhitungan SAP 2000 dan V_u diambil dari V_u maksimum dari analisis SAP 2000.

Data perencanaan tulangan torsi balok B1

$$T_u = 30,6327 \text{ KNm}$$

$$V_u = 204,573 \text{ KN}$$

$$B = 300 \text{ mm}$$

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

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

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$d' = 40 \text{ mm}$$

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

$$\phi_{\text{torsi}} = 12 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \cdot h \\ &= 300 \cdot 600 \\ &= 180000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \cdot (b \cdot h) \\ &= 1800 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek kemampuan menahan puntir

$$\frac{\phi \cdot \sqrt{f_c'} \cdot (A_{cp}^2)}{12 \cdot P_{cp}} = \frac{0,75 \cdot \sqrt{30} \cdot (180000^2)}{12 \cdot 1800}$$

$$= 6,16 \text{ KNm} < T_u = 30,6327 \text{ KNm. Perlu tulangan torsi.}$$

Menghitung properti penampang:

$$\begin{aligned} x_i &= b - (2 \cdot d') - (\phi_{\text{sengkang}}) \\ &= 210 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_i &= h - (2 \cdot d') - (\phi_{\text{sengkang}}) \\ &= 510 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (x_i \cdot y_i) \\ &= 210 \cdot 510 \\ &= 107100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_h &= 2(x_i + y_i) \\ &= 2(210 + 510) \\ &= 1440 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$V_c = 148022,0212 \text{ N}$$

Cek penampang

$$\sqrt{\left(\frac{204,573 \cdot 10^3}{300.540,5}\right)^2 + \left(\frac{30,6327 \cdot 10^3}{1,7 \cdot A_o h^2}\right)^2} \leq \left(\frac{180000}{300.540,5} + \frac{2\sqrt{30}}{3}\right)$$

$$2,53 \leq 3,43 \dots \text{ penampang kurang besar}$$

Menentukan tulangan sengkang untuk puntir

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= 40,8436 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Menggunakan tulangan sengkang torsi $\phi 12$ dengan tegangan leleh baja

$$f_y = 400$$

$$\begin{aligned} A_t &= 0,25 \cdot \pi \cdot 12^2 \\ &= 113,097 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} S &= \frac{2 \cdot (0,85 \cdot 1440) \cdot 113,097 \cdot 400}{40,8436 \cdot 10^6} \cot 45 \\ &= 201,663 \text{ mm} \\ &= 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hitungan diatas, maka balok B1 menggunakan tulangan sengkang torsi kaki $\phi 12$ -200 mm

Menghitung tulangan torsi longitudinal dengan tegangan leleh baja (f_y)=400 Mpa

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{A_t}{s} \cdot p h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}}\right) \cot^2 \theta \\ &= 0,56 \cdot 1440 \cdot \frac{400}{400} \cdot \cot^2 45 \\ &= 807,584 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{1\min} &= \frac{5\sqrt{f_c'} \cdot A_{cp}}{12 f_{yt}} - \frac{A_t}{s} \cdot p h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}}\right) \\ &= \frac{5\sqrt{30} \cdot 180000}{12 \cdot 400} - 0,56 \cdot 1440 \cdot 1 \\ &= 219,392 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0,56 \text{ mm} > \frac{b_w}{6 \cdot 400} = 0,125 \dots \text{ OK}$$

Luas tulangan longitudinal total dua sisi yang digunakan adalah $807,584 \text{ mm}^2$

Dengan luas longitudinal untuk satu sisi adalah $403,792 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} N &= \frac{At}{0,25 \cdot \pi \cdot 12^2} \\ &= 3,570 \approx 4 \dots \text{ok} \end{aligned}$$

2. Perhitungan menggunakan SNI 03 2847 2013

Balok B1

Lebar bawah (b) : 300 mm

Tinggi balok (h) : 600 mm

Tinggi efektif (d) : 540,5 mm

Selimit beton (d') : 40 mm

$F_y = 400 \text{ Mpa}$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$f_c' = 30 \text{ Mpa}$

(a) Penulangan terhadap lentur

a. Tulangan Tumpuan

Analisis lentur balok B1 60/30

$$M_u = 188,8154 \text{ KNm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{0,9} \\ &= \frac{188,8154}{0,9} \\ &= 209,794 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,8643 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400}{0,8643 \cdot 30} \\ &= 15,426 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{209,794}{300 \cdot 540,5^2} \\ &= 2,393 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,426} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,426 \cdot 2,393}{400}} \right) \\ &= 0,0062 > \rho_{\min} = 0,0035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,8643 \cdot 30}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0330\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0330 \\ &= 0,0247\end{aligned}$$

Sehingga digunakan $\rho_{\text{perlu}} = 0,0062$

$$\begin{aligned}A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0062 \cdot 300 \cdot 540,5 \\ &= 1019,850 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Digunakan tulangan D19

$$\begin{aligned}A_{st} &= \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 \\ &= 283,528 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan (n)

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{st}} \\ &= \frac{1019,850}{283,528} \\ &= 3,59 \approx 4 \text{ dilapangan menggunakan 6 tulangan}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s_{\text{pakai}}} &= n \cdot A_{st} \\ &= 4 \cdot 283,528\end{aligned}$$

$$= 1134,114 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan tekan yang dibutuhkan harus memenuhi syarat sebagai berikut:

$$A_s' > 0,5 A_{s_{perlu}}$$

$$0,5 \cdot 1134,114 = 567,057 \text{ mm}^2$$

Menggunakan 2D19

$$A_s' = 567,0574$$

Kontrol kelelahan:

asumsi tulangan tarik leleh dan tekan belum

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{c-d'}{c} 0,003 \cdot E \\ &= \frac{c-40}{c} 0,003 \cdot 200000 \\ &= \frac{c-40}{c} \cdot 600 \end{aligned}$$

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

$$0,85 \cdot 30 \cdot (0,85 \cdot c) 300 + 850,586 \cdot \frac{c-40}{c} \cdot 600 = 1134,114 \cdot 400$$

$$6723,130 c^2 - 113411,4948c - 13609379,38 = 0$$

Nilai c dicari dengan menggunakan rumus ABC

$$\begin{aligned} c &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{113411,4948c + \sqrt{113411,4948c^2 + 4.6723,130 \cdot 13609379,38}}{2.6723,130} \end{aligned}$$

$$= 54,20 \text{ mm}$$

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

$$= 0,85 \cdot 54,20$$

$$= 46,078 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{c-40}{c} \cdot 600 \\ &= \frac{54,20 - 40}{54,20} \cdot 600 \end{aligned}$$

$$= 157,277 \text{ Mpa} < f_y = 400 \text{ Mpa} \dots \text{Asumsi benar}$$

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

$$= \frac{540,5 - 54,20}{54,20} \cdot 0,003$$

$$=0,026 > \epsilon_y = 0,002 \text{ (reg.baja leleh) ... OK}$$

Kapasitas balok terhadap momen

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 46,078 \cdot 300 \\ &= 358430,7328 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' \cdot f_s' \\ &= 567,0574 \cdot 157,277 \\ &= 89185,17638 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M1 &= C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 358430,7328 \left(540,5 - \frac{46,078}{2} \right) \\ &= 185,473 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2 &= C_s (d - d') \\ &= 89185,17638 (540,5 - 40) \\ &= 44,637 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Momen nominal

$$\begin{aligned} M_{kap} &= (M_{n1} + M_{n2}) \\ &= (185,473 + 44,637) \\ &= 230,110 \text{ KNm} > M_n = 209,794 \text{ KNm} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas , maka balok pada tumpuan aman terhadap lentur

b. Analisis Lapangan

$$M_u = 358,0696 \text{ KNm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{0,9} \\ &= \frac{358,0696}{0,9} \\ &= 397,855 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,8643 \cdot f_{c'}} \\ &= \frac{400}{0,8643 \cdot 30} \\ &= 15,426 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mn}{b \cdot d^2} \\ &= \frac{397,855}{300 \cdot 540,5^2} \\ &= 4,539 \text{ N/mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{400} \\ &= 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{15,426} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,426 \cdot 4,539}{400}} \right) \\ &= 0,0125 > \rho_{\min} = 0,0035 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,8643 \cdot 30}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0330 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0330 \\ &= 0,0247 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan $\rho_{\text{perlu}} = 0,0125$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0125 \cdot 300 \cdot 540,5 \\ &= 2037,7451 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan D19

$$\begin{aligned} A_{st} &= \frac{1}{4} \pi \cdot D^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi \cdot 19^2 \\ &= 283,528 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan (n)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s_{\text{perlu}}}}{A_{st}} \\ &= \frac{2037,7451}{283,528} \end{aligned}$$

= 7,18 ≈ 8 dilapangan menggunakan 3 tulangan

$$\begin{aligned} A_{Spakai} &= n \cdot A_{st} \\ &= 8 \cdot 283,538 \\ &= 2268,229 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan yang dibutuhkan harus memenuhi syarat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_s' &> 0,5 A_{s_{perlu}} \\ 0,5 \cdot 2268,229 &= 1018,875 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menggunakan 4D19

$$A_s' = 1134,114$$

Kontrol kelelahan:

asumsi tulangan tarik leleh dan tekan belum

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{c-d'}{c} 0,003 \cdot E \\ &= \frac{c-40}{c} 0,003 \cdot 200000 \\ &= \frac{c-40}{c} \cdot 600 \end{aligned}$$

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

$$0,85 \cdot 30 \cdot (0,85 \cdot c) 300 + 1134,114 \cdot \frac{c-40}{c} \cdot 600 = 2268,229 \cdot 400$$

$$6723,130 c^2 - 226822,9896 - 27218758,75 = 0$$

Nilai c dicari dengan menggunakan rumus ABC

$$\begin{aligned} c &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= 82,695 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= 0,85 \cdot c \\ &= 0,85 \cdot 82,695 \\ &= 70,290 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{c-40}{c} \cdot 600 \\ &= \frac{82,695 - 40}{82,695} \cdot 600 \end{aligned}$$

$$= 309,776 \text{ Mpa} < f_y = 400 \text{ Mpa} \dots \text{Asumsi benar}$$

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

$$= \frac{540,5 - 82,695}{82,695} 0,003$$

$$= 0,0166 > \varepsilon_y = 0,002 \text{ (reg. baja leleh) ... OK}$$

Kapasitas balok terhadap momen

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 70,290 \cdot 300 \\ &= 546770,7105 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' \cdot f_s' \\ &= 1134,114 \cdot 309,776 \\ &= 351322,6348 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 546770,7105 \left(540,5 - \frac{70,290}{2} \right) \\ &= 276,313 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= C_s (d - d') \\ &= 351322,6348 (540,5 - 40) \\ &= 175,836 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Momen nominal

$$\begin{aligned} M_{kap} &= (M_{n1} + M_{n2}) \\ &= (276,313 + 175,836) \\ &= 452,150 \text{ KNm} > M_n = 397,855 \text{ KNm} \text{ OK} \end{aligned}$$

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

(b) Kontrol balok terhadap lendutan

Lendutan balok diperhitungkan pada sisi penulungan lapangan dengan data:

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

$$E_c = 4700\sqrt{30} = 25742,960$$

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

$$\begin{aligned}
b &= 300 \text{ mm} \\
h &= 600 \text{ mm} \\
d' &= 40 \text{ mm} \\
A_s &= 2268,229 \text{ mm}^2 \\
A_s' &= 1134,114 \text{ mm}^2 \\
M_{\max} &= 358,0696 \text{ KNm (Hasil analisis SAP2000)} \\
M_{DL} &= 101,9789 \text{ KNm (Hasil analisis SAP2000)} \\
M_{LL} &= 26,9042 \text{ KNm (Hasil analisis SAP2000)}
\end{aligned}$$

Persamaan untuk mencari letak garis netral untuk balok penulangan rangkap :

$$\begin{aligned}
0,5h \cdot y^2 + n \cdot A_s' \cdot y - n \cdot A_s' \cdot d' - n \cdot A_s \cdot d + n \cdot A_s \cdot y &= 0 \\
300 + 18145,83917 - 181458,3718 - 9807826,07 + 18145,83917 &= 0 \\
300 + 36291,67833 - 9989284,462 &= 0
\end{aligned}$$

Nilai y dicari menggunakan rumus ABC, maka didapat:

$$y = 131,753 \text{ mm}$$

Momen Inersia penampang retak transformasi (I_{cr})

$$\begin{aligned}
I_{cr} &= \frac{1}{3} \cdot b \cdot y^3 + n \cdot A_s \cdot (d - y)^2 + n \cdot A_s' \cdot (y - d')^2 \\
&= 3298591782 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

Momen Inersia penampang utuh terhadap sumbu berat tampang (I_g)

$$\begin{aligned}
I_g &= \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \\
&= 5400000000 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
Fr &= 0,62 \lambda \sqrt{f'c} \\
&= 3,395
\end{aligned}$$

λ untuk beton normal adalah = 1

$$\begin{aligned}
M_{cr} &= \frac{fr \cdot I_g}{yt} \\
&= \frac{(3,395) \cdot 5400000000}{0,5 \cdot 600} \\
&= 61,125 \text{ KNm}
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} M_a &= 1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL} \\ &= 165,4214 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_e &= \left(\frac{61,125}{165,4214} \right)^3 \cdot 5400000000 + \left[1 - \left(\frac{61,125}{165,4214} \right)^3 \right] \cdot 3298591782 \\ &= 3404617157 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Kondisi II

$$\begin{aligned} M_a &= M_{max} \\ &= 358,0696 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_e &= \left(\frac{61,125}{358,0696} \right)^3 \cdot 5400000000 + \left[1 - \left(\frac{61,125}{358,0696} \right)^3 \right] \cdot 3298591782 \\ &= 3309045783 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Lendutan seketika akibat beban mati

$$\begin{aligned} \Delta_{DL} &= \frac{5 \cdot M_{DL} \cdot l_n^2}{48 \cdot E_c \cdot I_{e1}} \\ &= 5,28 \text{ mm} \end{aligned}$$

Lendutan seketika akibat kondisi I

$$\begin{aligned} \Delta_{CI} &= \frac{5 \cdot (1,2 M_{DL} + 1,6 M_{LL}) \cdot l_n^2}{48 \cdot E_c \cdot I_{cr}} \\ &= 8,30 \text{ mm} \end{aligned}$$

Lendutan seketika akibat kondisi II

$$\begin{aligned} \Delta_{C2} &= \frac{5 \cdot M_{max} \cdot l_n^2}{48 \cdot E_c \cdot I_{e2}} \\ &= 17,98 \text{ mm} \end{aligned}$$

Lendutan jangka panjang

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

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

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{As'}{b.d} \\ &= \frac{1134,114}{300.540,5} \\ &= 0,0034 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{LT} &= 5,28 \left(\frac{2}{1+50.0,0034} \right) + 8,30 \left(\frac{2}{1+50.0,0034} \right) + 17,98 \\ &= 34,29 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$\frac{l}{180} = \frac{6500}{180} = 36,11 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{360} = \frac{6500}{360} = 18,05 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{480} = \frac{6500}{480} = 13,54 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{240} = \frac{6500}{240} = 27,08 \text{ mm}$$

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

(c) Penulangan terhadap geser

Perhitungan menggunakan balok B1 , untung perhitungan yang lainnya dapat dilihat di lampiran.

Data perencanaan sebagai berikut :

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

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

$$\text{Øsengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$n = 3 \text{ (Jumlah sengkang)}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

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

$$d = 540,5 \text{ mm}$$

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

a. Analisis Tumpuan (Balok B1)

$$V_u = 204,573 \text{ KN}$$

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton sebesar

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$$

$$= 150,982 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 150,982$$

$$= 113,236 \text{ KN} < V_c = 204,547 \text{ KN} \dots \text{Perlu tulangan geser}$$

Kuat geser yang diterima sengkang sebesar :

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

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

$$= 272,764 \text{ KN}$$

Menggunakan sengkang 3 ϕ 10:

$$A_v = 3 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2$$

$$= 235,619 \text{ mm}^2$$

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

$$= 112,05 \approx 110 \text{ mm}$$

S_{maksimum} tidak boleh melebihi dari :

$$d/4 = 540,5/4 = 135,125 \text{ mm}$$

$$8\phi_{17} = 128 \text{ mm}$$

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

$$300 \text{ mm}$$

Jadi, jarak sengkang yang digunakan (S_{pakai}) adalah 110 mm

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

$$= 277,859 \text{ KN}$$

Kuat geser nominal

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

$$= 0 + 277,859$$

$$= 277,859 \text{ KN}$$

Cek kuat geser

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 277,859$$

$$= 208,394 \text{ KN} > V_u = 204,573 \text{ KN} \dots \text{ Oke}$$

b. Analisis Lapangan

$$V_u = 207,798 \text{ KN}$$

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton sebesar

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$$

$$= 150,982 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 150,982$$

$$= 113,23 \text{ KN} < V_c = 207,798 \text{ KN} \dots \text{ Perlu tulangan geser}$$

Kuat geser yang diterima sengkang sebesar :

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

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

$$= 277,064 \text{ KN}$$

Menggunakan sengkang 3 ϕ 10:

$$A_v = 3 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2$$

$$= 235,619 \text{ mm}^2$$

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

$$= 110,315 \approx 110 \text{ mm}$$

S_{maksimum} tidak boleh melebihi dari :

$$d/4 = 540,5/4 = 135,125 \text{ mm}$$

$$8\phi 17 = 128 \text{ mm}$$

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

$$300 \text{ mm}$$

Jadi, jarak sengkang yang digunakan (S_{pakai}) adalah 110 mm

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

$$= 277,859 \text{ KN}$$

Kuat geser nominal

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

$$= 0 + 277,859$$

$$= 277,859 \text{ KN}$$

Cek kuat geser

$$\begin{aligned}\phi V_n &= 0,75 \cdot 277,859 \\ &= 208,394 \text{ KN} > V_u = 207,798 \text{ KN} \dots \text{ Oke}\end{aligned}$$

(d) Penulangan balok torsi

Analisis tulangan torsi B1 ,Tu didapat dari perhitungan SAP 2000 dan Vu diambil dari Vu maksimum dari analisis SAP 2000.

Data perencanaan tulangan torsi balok B1

$$T_u = 30,6327 \text{ KNm}$$

$$V_u = 204,573 \text{ KN}$$

$$B = 300 \text{ mm}$$

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

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

$$F_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$D' = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Øsengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Øtorsi} = 12 \text{ mm}$$

$$A_{cp} = b \cdot h$$

$$= 300 \cdot 600$$

$$= 180000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \cdot (b \cdot h)$$

$$= 1800 \text{ mm}^2$$

Cek kemampuan menahan puntir

$$\phi 0,083 \lambda \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) = 0,75 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \left(\frac{180000^2}{1800} \right)$$

$$= 6,13 \text{ KNm} < T_u = 30,6327 \text{ KNm. Perlu tulangan torsi.}$$

Menghitung properti penampang:

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

$$= 210 \text{ mm}$$

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

$$= 510 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned}
 &= 210.510 \\
 &= 107100 \text{ mm} \\
 \text{Ph} &= 2(x_i + y_i) \\
 &= 2(210 + 510) \\
 &= 1440 \text{ mm} \\
 \text{Vc} &= 150982,4616 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek penampang

$$\sqrt{\left(\frac{204,573 \cdot 10^3}{300 \cdot 540,5}\right)^2 + \left(\frac{30,6327 \cdot 10^3}{1,7 \cdot A_o h^2}\right)^2} \leq \left(\frac{180000}{300 \cdot 540,5} + 0,66 \sqrt{f'c'}\right)$$

$$2,53 \leq 3,40 \dots \text{ penampang kurang besar}$$

Menentukan tulangan sengkang untuk puntir

$$\begin{aligned}
 \text{Tn} &= \frac{Tu}{\phi} \\
 &= 40,8436 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

Menggunakan tulangan sengkang torsi $\phi 12$ dengan tegangan leleh baja

$$f_y = 400$$

$$\begin{aligned}
 \text{At} &= 0,25 \cdot \pi \cdot 12^2 \\
 &= 113,097 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{2 \cdot (0,85 \cdot 1440) \cdot 113,097 \cdot 400}{40,8436 \cdot 10^6} \cot 45 \\
 &= 201,663 \text{ mm} \\
 &= 200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hitungan diatas, maka balok B1 menggunakan tulangan sengkang torsi kaki $\phi 12$ -200 mm

Menghitung tulangan torsi longitudinal dengan tegangan leleh baja

$$(f_y) = 400 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 \text{A}_1 &= \frac{\text{At}}{s} \cdot p h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}}\right) \cot^2 \theta \\
 &= 0,56 \cdot 1440 \cdot \frac{400}{400} \cdot \cot^2 45 \\
 &= 807,584 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{A}_{1\text{min}} = \frac{0,42 \sqrt{f'c'} \cdot A_{cp}}{f_{yi}} - \frac{\text{At}}{s} \cdot p h \left(\frac{f_{yv}}{f_{yt}}\right)$$

$$= \frac{0,42\sqrt{30} \cdot 180000}{400} \cdot 0,56 \cdot 1440 \cdot 1$$

$$= 227,610 \text{ mm}^2$$

$$\frac{At}{s} = 0,56 \text{ mm} > \frac{bw}{6.400} = 0,125 \dots \text{OK}$$

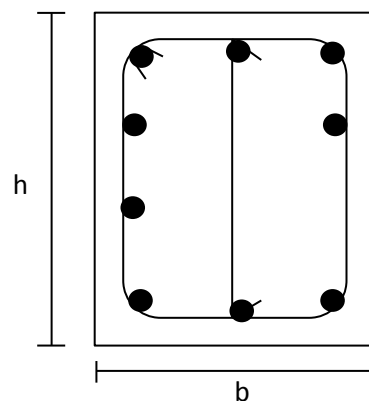
Luas tulangan longitudinal total dua sisi yang digunakan adalah $807,584 \text{ mm}^2$

Dengan luas longitudinal untuk satu sisi adalah $403,792 \text{ mm}^2$

$$N = \frac{At}{0,25 \cdot \pi \cdot 12^2}$$

$$= 3,570 \approx 4 \dots \text{ok}$$

D. Kolom



Gambar 5.6 Penampang kolom

1. Penulangan lentur kolom

perhitungan yang digunakan sebagai contoh yaitu pada perencanaan kolom tipe K2.4 – K2.5 (50/40).

Data kolom K2.4 – K2.5 sebagai berikut:

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

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

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

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$t_s = 60 \text{ mm (selimut beton)}$$

$$\begin{aligned} d &= h - t_s - D_s - (0,5 \cdot D_p) \\ &= 500 - 60 - 10 - (0,5 \cdot 19) \\ &= 420,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= t_s + D_s + (0,5 \cdot D_p) \\ &= 60 + 10 + (0,5 \cdot 19) \\ &= 79,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

a. Kontrol terhadap kelangsingan kolom

$$M1b = -87,138 \text{ KNm}$$

$$M2b = 122,7625 \text{ KNm}$$

$$P_u = 917,735 \text{ KN}$$

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

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

$$\begin{aligned} r &= 0,3 \cdot h \\ &= 0,3 \cdot 500 \\ &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

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

$$\frac{1 \cdot 3100}{150} < \left(34 - 12 \cdot \frac{-87,138}{122,7625} \right)$$

$$12 < 42,52 \dots \dots \dots \text{Kolom Pendek}$$

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

Menghitung eksentrisitas penampang kolom:

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

$$= \frac{122,7625 \cdot 1000}{917,735}$$

$$e = 133,77 \text{ mm}$$

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

$$= 15 + 0,03 \cdot 500$$

$$= 30 \text{ mm} < e = 133,77 \text{ mm} \dots \dots \dots \text{OK}$$

Menghitung P_{nb} dengan pendekatan:

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

$$= \frac{600 \cdot 420,5}{600 + 400}$$

$$= 252,3 \text{ mm}$$

$$A = \beta_1 \cdot C_b$$

$$= 0,85 \cdot 252,3$$

$$= 214,455 \text{ mm}$$

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

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 214,455 \cdot 400 \cdot 10^{-3}$$

$$= 2187,441 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned}\phi P_{nb} &= 0,65 \cdot 2187,441 \\ &= 1421,83665 \text{ KN}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}0,10 \cdot f_c' \cdot A_g &= 0,10 \cdot 30 \cdot (500 \cdot 400) \cdot 10^{-3} \\ &= 600 \text{ KN} < P_u = 917,735 \text{ KN}\end{aligned}$$

$P_u = 917,735 \text{ KN} < \phi P_{nb} = 1421,83665 \text{ KN}$ Keruntuhan Tarik

Menghitung kebutuhan tulangan:

$$\begin{aligned}P_{n\text{perlu}} &= \frac{P_u}{\phi} \\ &= \frac{917,735}{0,65} \\ &= 1411,9 \text{ KN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= \frac{P_{n\text{perlu}}}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\ &= \frac{1411,9 \cdot 1000}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} \\ &= 138,42 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{st\text{min}} &= 0,01 \cdot A_g \\ &= 0,01 \cdot 500 \cdot 400 \\ &= 2000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{st\text{max}} &= 0,08 \cdot A_g \\ &= 0,08 \cdot 500 \cdot 400 \\ &= 16000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Luas tulangan longitudinal kolom yang digunakan ($A_{st_{perlu}}$) adalah 2000 mm^2

Menggunakan $9\emptyset 19$

$$\begin{aligned} A_s &= 9 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 19^2 \\ &= 2551,76 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' &= A_s \\ &= 2551,76 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{st} &= A_s + A_s' \\ &= 2551,76 + 2551,76 \\ &= 5103,52 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

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

Cek rasio tulangan

$$\begin{aligned} P &= \frac{A_s}{b \cdot d} \cdot 100 \% \\ &= \frac{2551,76}{400 \cdot 420,5} \cdot 100 \% \\ &= 1,58 \% \end{aligned}$$

$1 \% < P < 8 \% \dots \dots \dots \text{OK}$

Perhitungan tegangan dan regangan baja :

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

$$\begin{aligned} c &= \frac{600 \cdot d}{600 + f_y} \\ &= \frac{600 \cdot 420,5}{600 + 400} \\ &= 252,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
&= \frac{252,3-79,5}{252,3} 0,003 \\
&= 0,002055 \\
\varepsilon_y &= \frac{fy}{Es} \\
&= \frac{400}{200000} \\
&= 0,002 ; \varepsilon_s > \varepsilon_y \dots\dots\dots fs = fy = 400 \text{ Mpa}
\end{aligned}$$

Perhitungan gaya – gaya dalam:

$$\begin{aligned}
T &= As \cdot fy \\
&= 2551,76 \cdot 400 \cdot 10^{-3} \\
&= 1020,703 \text{ KN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Cc &= 0,85 \cdot fc' \cdot a \cdot b \\
&= 0,85 \cdot 30 \cdot 214,455 \cdot 400 \cdot 10^{-3} \\
&= 2187,441 \text{ KN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Cs &= As' \cdot fy \\
&= 2551,76 \cdot 400 \cdot 10^{-3} \\
&= 1020,703 \text{ KN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{nb} &= Cs + Cc - T \\
&= 1020,703 + 2187,441 - 1020,703 \\
&= 2187,441 \text{ KN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{nb} &= T \cdot \left(d - \frac{h}{2}\right) + Cc \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + Cs \left(\frac{h}{2} - d'\right) \\
&= 1020,703 \left(420,5 - \frac{500}{2}\right) + 2187,441 \left(\frac{500}{2} - \frac{214,455}{2}\right) + \\
&\quad 1020,703 \left(\frac{500}{2} - 79,5\right) \\
&= 660366,298 \text{ KNmm}
\end{aligned}$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}}$$

$$= \frac{660366,298}{2187,441}$$

$$= 301,9 \text{ mm} > e = 133,8 \text{ mm} \dots\dots\dots \text{Kolom runtuh tekan}$$

Pola keruntuhan tekan maka menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} \phi P_n &= \phi \left[\frac{A_s' \cdot f_y}{\left(\frac{e}{d-d'}\right) + 0,50} \right] + \left[\frac{b \cdot h \cdot f_c'}{\left(\frac{3 \cdot h \cdot e}{d^2}\right) + 1,18} \right] \\ &= 0,65 \left[\frac{2551,76 \cdot 400}{\left(\frac{133,8}{(420,5 - 79,5)}\right) + 0,50} \right] + \left[\frac{400 \cdot 500 \cdot 30}{\left(\frac{3 \cdot 500 \cdot 133,8}{(420,5^2)}\right) + 1,18} \right] \\ &= 2428,4 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\phi P_n = 2428,4 \text{ KN} > P_u = 917,735 \text{ KN} \dots\dots\dots \text{Aman}$$

Cek kapasitas momen

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi P_n \cdot e \\ &= 2428,4 \cdot 133,8 \cdot 10^{-3} \\ &= 324,838 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 335,889 \text{ KNm} > M_u = 122,7625 \text{ KNm} \dots\dots\dots \text{Aman}$$

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 K2.4 – K2.5

Data perencanaan sebagai berikut:

$$P_u = 917,735 \text{ KN}$$

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

$$V_u = 135,27 \text{ KN}$$

$$V_c = \left(1 + \frac{P_u}{14 \cdot A_g}\right) \cdot \left(\frac{1}{6} \sqrt{f_c'}\right) \cdot b \cdot d$$

$$= \left(1 + \frac{917,735}{14 \cdot 2000}\right) \cdot \left(\frac{1}{6} \sqrt{30}\right) \cdot 400 \cdot 420,5 \cdot 10^{-3}$$

$$= 153,595 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 0,75 \cdot 153,595$$

$$= 115,196 \text{ KN}$$

$$\phi V_c = 115,196 \text{ KN} < V_u = 207,798 \text{ KN} \dots \dots \dots \text{Perlu tulangan geser}$$

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

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

$$- \quad 1/6 \text{ tinggi bersih kolom} \quad = 1/6 \cdot 3100 \quad = 516,667 \text{ mm}$$

$$- \quad \text{Dimensi terbesar penampang} \quad = h \quad = 500 \text{ mm}$$

Menggunakan 516,667 mm

Menentukan nilai V_s :

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

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

$$= \frac{135,27}{0,75} - 0$$

$$= 180,36 \text{ KN}$$

Menggunakan 3Ø10

$$A_v = 3 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot D^2$$

$$= 3 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2$$

$$= 235,62 \text{ mm}^2$$

Jarak sengkang sebesar

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} \\
 &= \left(\frac{235,62 \cdot 240 \cdot 420,5}{180,36} \right) 10^{-3} \\
 &= 131,84 \text{ mm} \sim 135 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

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 3Ø10 dengan jarak 135 mm dipasang sepanjang 516,667 mm dari permukaan hubungan balok kolom.

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

$$V_c = 153,595 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{135,27}{0,75} - 153,595 \\
 &= 26,76 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

Menggunakan 3Ø10

$$\begin{aligned}
 A_v &= 3 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \\
 &= 3 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \\
 &= 235,7 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak sengkang sebesar:

$$\begin{aligned} S &= \frac{Av \cdot fy \cdot d}{Vs} \\ &= \frac{235,7 \cdot 240 \cdot 420,5}{26,76 \cdot 1000} \\ &= 888,433 \text{ mm} \sim 890 \text{ mm} \end{aligned}$$

Spasi maksimum sengkang yang terpasang pada daerah luar sendi ($\geq l_0$) tidak boleh lebih dari $2 \cdot S = 2 \cdot 890 = 1780$ mm. Sehingga tulangan sengkang yang dipakai adalah $2\emptyset$ jarak 1780 mm.

