

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

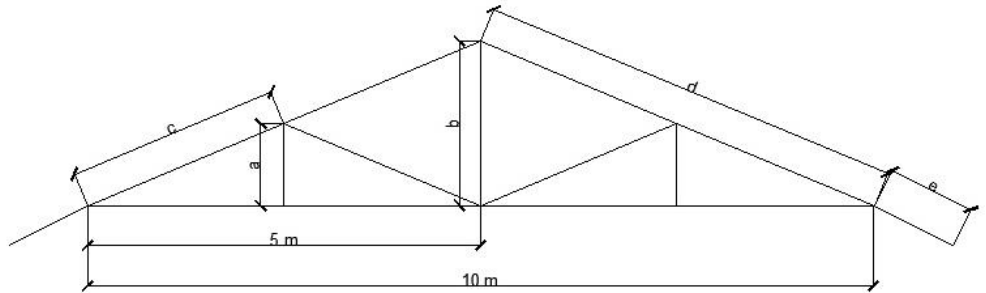
4.1 Perhitungan Pembebanan

4.1.1. Pembebanan Atap

a. Data-data :

- Kemiringan kuda-kuda : 30°
 Berat genteng : 50 kg/m^2 (PPURG 1987)
 Berat plafon : 18 kg/m^2 (PPURG 1987)
 Beban hidup : 100 kg/m^2 (PPURG 1987)

b. Panjang rangka kuda-kuda :



Gambar 4.1 Rangka kuda-kuda.

$$\begin{aligned} \text{Panjang batang a} &= \tan 30^\circ \times 2,5 \\ &= 1,44 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang batang b} &= \tan 30^\circ \times 5 \\ &= 2,88 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang batang c} &= \frac{2,5}{\cos 30^\circ} \\ &= 2,88 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang batang d} &= \frac{5}{\cos 30^\circ} \\ &= 5,77 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang batang e} &= \sqrt{1^2 + 0,58^2} \\ &= 1,15 \text{ m} \end{aligned}$$

Beban mati penutup atap :

$$P1 = \text{Berat genteng} \times \left(\frac{1}{2}L + t\right)$$

$$= 50 \text{ kg/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} 2,88 + 1,15\right) \text{ m}$$

$$= 129,5 \text{ kg/m}$$

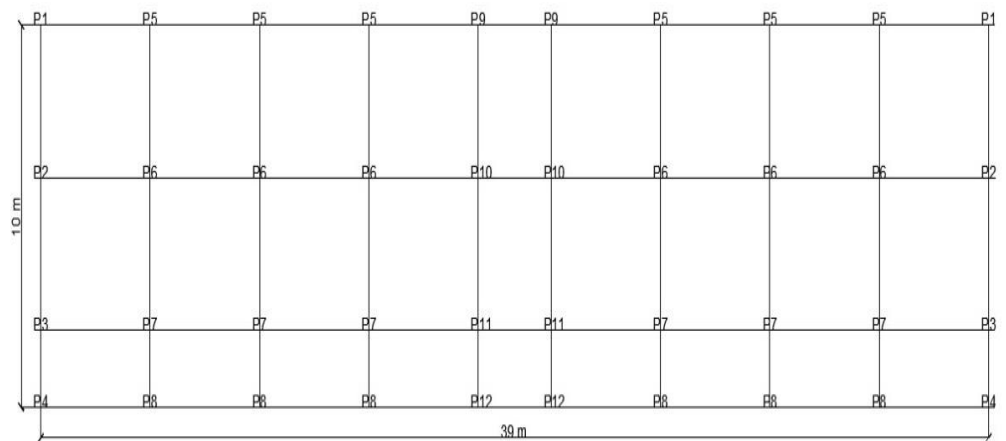
$$P2 = \text{Berat genteng} \times \left(\frac{1}{2}L + \frac{1}{2}L\right)$$

$$= 50 \text{ kg/m}^2 \times \left(\frac{1}{2} 2,88 + \frac{1}{2} 2,88\right) \text{ m}$$

$$= 50 \text{ kg/m}^2 \times 2,88 \text{ m}$$

$$= 144 \text{ kg/m}$$

c. Beban plafon :



Gambar 4.2 Denah plafon.

$$P = \text{Berat plafon} \times \text{luasan}$$

$$P1 = 18 \times \frac{1}{2}a \times \frac{1}{2}b$$

$$= 18 \times 2 \times 2,25$$

$$= 81 \text{ kg/m}^2$$

$$P2 = 18 \times \left(\left(\frac{1}{2}a + \frac{1}{2}a\right) \times \frac{1}{2}b\right)$$

$$= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2}4 + \frac{1}{2}4\right) \times \frac{1}{2}4,5\right)$$

$$= 162 \text{ kg/m}^2$$

$$P3 = 18 \times \left(\left(\frac{1}{2}a + \frac{1}{2}a\right) \times \frac{1}{2}b\right)$$

$$= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2}4 + \frac{1}{2}2\right) \times \frac{1}{2}4,5\right)$$

$$= 121,5 \text{ kg/m}^2$$

$$P4 = 18 \times \frac{1}{2}a \times \frac{1}{2}b$$

$$\begin{aligned}
&= 18 \times \frac{1}{2} 2 \times \frac{1}{2} 4,5 \\
&= 40,5 \text{ kg/m}^2 \\
\text{P5} \quad &= 18 \times \left(\frac{1}{2} a \left(\frac{1}{2} b + \frac{1}{2} b \right) \right) \\
&= 18 \times \left(\frac{1}{2} 4 \left(\frac{1}{2} 4,5 + \frac{1}{2} 4,5 \right) \right) \\
&= 162 \text{ kg/m}^2 \\
\text{P6} \quad &= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2} a + \frac{1}{2} a \right) \left(\frac{1}{2} b + \frac{1}{2} b \right) \right) \\
&= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2} 4 + \frac{1}{2} 4 \right) \left(\frac{1}{2} 4,5 + \frac{1}{2} 4,5 \right) \right) \\
&= 324 \text{ kg/m}^2 \\
\text{P7} \quad &= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2} a + \frac{1}{2} a \right) \left(\frac{1}{2} b + \frac{1}{2} b \right) \right) \\
&= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2} 4 + \frac{1}{2} 2 \right) \left(\frac{1}{2} 4,5 + \frac{1}{2} 4,5 \right) \right) \\
&= 243 \text{ kg/m}^2 \\
\text{P8} \quad &= 18 \times \left(\frac{1}{2} a \left(\frac{1}{2} b + \frac{1}{2} b \right) \right) \\
&= 18 \times \left(\frac{1}{2} 2 \left(\frac{1}{2} 4,5 + \frac{1}{2} 4,5 \right) \right) \\
&= 81 \text{ kg/m}^2 \\
\text{P9} \quad &= 18 \times \left(\frac{1}{2} a \left(\frac{1}{2} b + \frac{1}{2} b \right) \right) \\
&= 18 \times \left(\frac{1}{2} 4 \left(\frac{1}{2} 4,5 + \frac{1}{2} 3 \right) \right) \\
&= 135 \text{ kg/m}^2 \\
\text{P10} \quad &= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2} a + \frac{1}{2} a \right) \left(\frac{1}{2} b + \frac{1}{2} b \right) \right) \\
&= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2} 4 + \frac{1}{2} 4 \right) \left(\frac{1}{2} 4,5 + \frac{1}{2} 3 \right) \right) \\
&= 270 \text{ kg/m}^2 \\
\text{P11} \quad &= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2} a + \frac{1}{2} a \right) \left(\frac{1}{2} b + \frac{1}{2} b \right) \right) \\
&= 18 \times \left(\left(\frac{1}{2} 4 + \frac{1}{2} 2 \right) \left(\frac{1}{2} 4,5 + \frac{1}{2} 3 \right) \right) \\
&= 202,5 \text{ kg/m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P12 &= 18 \times \left(\frac{1}{2}a \left(\frac{1}{2}b + \frac{1}{2}b \right) \right) \\
 &= 18 \times \left(\frac{1}{2}2 \left(\frac{1}{2}4,5 + \frac{1}{2}3 \right) \right) \\
 &= 67,5 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

d. Beban hujan :

$$\begin{aligned}
 P1 &= (40 - 0,8(30)) \times \left(\frac{1}{2}L + t \right) \\
 &= 16 \times (1,44 + 1,15) \\
 &= 41,44 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P2 &= (40 - 0,8(30)) \times \left(\frac{1}{2}L + \frac{1}{2}L \right) \\
 &= 16 \times 2,88 \\
 &= 46,08 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

e. Beban angin :

$$\text{Kecepatan angin, } V = 20 \text{ km/jam}$$

$$\text{Faktor arah angin, } Kd = 0,85$$

$$\text{Faktor topografi, } Kzt = 1$$

$$\text{Faktor efek tiupan angin, } G = 0,85$$

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien eksposur, } Kz &= 2,01 \times \left(\left(\frac{z}{zg} \right)^{2/a} \right) \\
 &= 2,01 \times \left(\left(\frac{12}{111,51} \right)^{2/7} \right) \\
 &= 1,06
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tekanan velositas, } qz &= 0,613 \times Kz \times Kzt \times Kd \times V^2 \\
 &= 0,613 \times 1,06 \times 1 \times 0,85 \times 5,56^2 \\
 &= 17,07 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Koefisien eksposur, } Kh &= 2,01 \times \left(\left(\frac{z}{zg} \right)^{2/a} \right) \\
 &= 2,01 \times \left(\left(\frac{13,66}{111,51} \right)^{2/7} \right) \\
 &= 1,103
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tekanan velositas, } qh &= 0,613 \times Kh \times Kzt \times Kd \times V^2 \\
 &= 0,613 \times 1,10 \times 1 \times 0,85 \times 5,56^2 \\
 &= 17,76 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

Beban angin pada atap :

$$\begin{aligned}
 \text{Angin datang} &= qh \times G \times Cp \\
 &= 17,76 \times 0,85 \times (\pm 2) \\
 &= \pm 3,01 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Angin pergi} &= qh \times G \times Cp \\
 &= 17,76 \times 0,85 \times (-0,6) \\
 &= - 9,05 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

4.1.2. Pembebanan Struktur Portal

a. Data-data :

Berat dinding bata : 250 kg/m² (PPURG 1987)

Beban hidup pelat lantai : 250 kg/m² (PPURG 1987)

Beban hidup pelat bordes : 300 kg/m² (PPURG 1987)

Beban hidup pelat tangga : 300 kg/m² (PPURG 1987)

b. Beban mati :

1) Beban mati balok induk :

$$h \text{ balok induk} = 0,4 \text{ m}$$

$$b \text{ balok induk} = 0,3 \text{ m}$$

$$t' = t - h$$

$$= 4 - 0,4$$

$$= 3,6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban balok} &= \text{berat dinding bata} \times t' \\
 &= 250 \text{ kg/m}^2 \times 3,6 \text{ m} \\
 &= 900 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

2) Beban mati balok sloof :

$$h \text{ sloof} = 0,5 \text{ m}$$

$$b \text{ sloof} = 0,3 \text{ m}$$

$$t' = t - \left(\frac{1}{2} h \text{ induk} + \frac{1}{2} h \text{ sloof}\right)$$

$$= 4 - \left(\frac{1}{2} 0,4 + \frac{1}{2} 0,5\right)$$

$$= 3,55 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban balok} &= \text{berat dinding bata} \times t' \\
 &= 250 \text{ kg/m}^2 \times 3,55 \text{ m} \\
 &= 887,5 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

3) Beban mati balok bordes :

$$h \text{ bordes} = 0,3$$

$$b \text{ bordes} = 0,2$$

$$\begin{aligned} t' &= \frac{1}{2} t - \left(\frac{1}{2} h \text{ induk} + \frac{1}{2} h \text{ bordes} \right) \\ &= 2 - \left(\frac{1}{2} 0,4 + \frac{1}{2} 0,3 \right) \\ &= 1,65 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban balok} &= \text{berat dinding bata} \times t' \\ &= 250 \text{ kg/m}^2 \times 1,65 \text{ m} \\ &= 412,5 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

4) Beban mati pelat lantai :

$$\text{Tebal spasi} = 0,02 \text{ m}$$

$$\text{BJ spasi} = 2100 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Tebal pasir} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{BJ pasir} = 1600 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Beban plafon} = 18 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban spasi} = 0,02 \times 2100$$

$$= 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban keramik} = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban pasir} = 0,05 \times 1600$$

$$= 80 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Total beban mati} = 164 \text{ kg/m}^2$$

5) Beban mati pelat bordes :

$$\text{Tebal spasi} = 0,02 \text{ m}$$

$$\text{BJ spasi} = 2100 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Tebal pasir} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{BJ pasir} = 1600 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Beban spasi} = 0,02 \times 2100$$

$$= 42 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban keramik} = 24 \text{ kg/m}^2$$

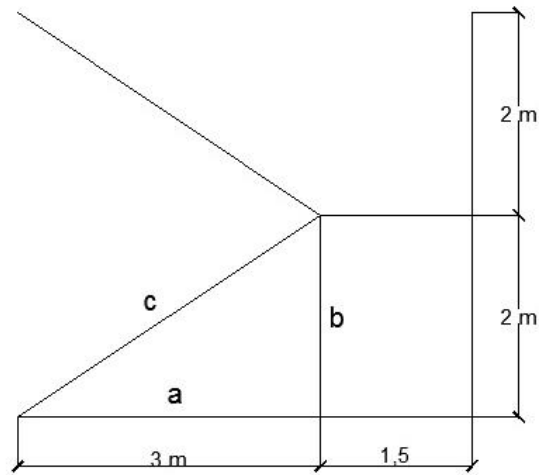
$$\text{Beban pasir} = 0,05 \times 1600$$

$$= 80 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Total beban mati} = 146 \text{ kg/m}^2$$

6) Beban mati pelat tangga :

Desain anak tangga :



Gambar 4.3 Sketsa tangga.

Lebar ruang tangga = 4,5 m

Lebar tangga = 3 m

Tinggi elevasi antar tangga = 2 m

Tinggi bordes = 2 m

Lebar bordes = 1,5 m

Sisi miring tangga = $\sqrt{a^2 + b^2} = c^2$
 $= \sqrt{3^2 + 2^2} = 3,61$ m

Sudut miring tangga (α) = $\cos^{-1} \times \frac{\text{Lebar tangga}}{\text{Panjang sisi miring}}$
 $= \cos^{-1} \times \frac{3}{3,61}$
 $= 33,8^\circ$

$\tan \alpha = \frac{\text{uptrede}}{\text{antrede}}$

$\tan(33,8^\circ) = \frac{\text{uptrede}}{\text{antrede}}$

$\text{Uptrede} = 33,8^\circ \times \text{antrede}$

Tinggi *uptrede* & *antrede* :

$(2 \times \text{uptrede}) + \text{antrede} = 61 - 65$ cm (*range*)

$(2 \times 33,8^\circ \text{antrede}) + \text{antrede} = 61 - 65$ cm

$1,3388\text{antrede} + \text{antrede} = 61 - 65$ cm

$2,3388\text{antrede} = 65$ cm

$$antrede = 27,8 \approx 28 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}uptrede &= antrede \times \tan \alpha \\ &= antrede \times \tan 33,8^\circ \\ &= 18 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jumlah } uptrede \text{ \& } antrede &= uptrede \\ &= \frac{400}{18} \\ &= 22 \text{ buah}\end{aligned}$$

Cek :

$$\begin{aligned}2 \times uptrede + antrede &= 61 - 65 \text{ cm} \\ 2 \times 18 + 28 &= 61 - 65 \text{ cm} \\ 64 &= 61 - 65 \text{ cm (aman)}\end{aligned}$$

Beban anak tangga :

$$90^\circ - 33,8^\circ = 56,2^\circ$$

$$\sin 56,2^\circ = \frac{t}{uptrede}$$

$$\sin 56,2^\circ = \frac{t}{18}$$

$$t = 14,96 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\text{Plat tangga} &= \text{BJ beton bertulang} \times t \times 0,5 \\ &= 2400 \times 0,1496 \times 0,5 \\ &= 179,52 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Beban keramik} = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Beban spasi} &= 0,02 \times 2100 \\ &= 42 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Total beban mati} = 245,52 \text{ kg/m}^2$$

7) Beban angin pada dinding :

$$\begin{aligned}\text{Angin datang} &= qzG Cp \\ &= 17,07 \times 0,85 \times 0,8 \\ &= 11,61 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Angin pergi} &= qhG Cp \\ &= 17,71 \times 0,85 \times (-0,3) \\ &= -4,52 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

4.1.3. Pembebanan Gempa

Berikut adalah perhitungan daripada kurva respon spektrum gempa berdasarkan SNI 03-1726-2012 :

a. Data-data :

Lokasi : Yogyakarta.

Jenis tanah : Tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak.

Sumber : www.puskim.pu.go.id

b. Perhitungan :

1) Tanah keras (SC)

$$S_S = 1,221 \text{ gr}$$

$$S_1 = 0,447 \text{ gr}$$

a) Menentukan nilai F_a dan F_v :

$$\begin{aligned} S_S &= \frac{1,221-1,0}{1,25-1,0} = \frac{F_a-1,0}{1,0-1,0} \\ &= \frac{0,221}{0,25} = \frac{F_a-1,0}{0} \\ &= 0 = 0,25F_a - 0,25 \\ &= 0,25F_a = 0,25 - 0 \\ &= F_a = \frac{0,25}{0,25} \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{0,447-0,4}{0,5-0,4} = \frac{F_v-1,4}{1,3-1,4} \\ &= \frac{0,047}{0,1} = \frac{F_v-1,4}{-0,1} \\ &= -0,0047 = 0,1F_v - 0,14 \\ &= 0,1F_v = 0,14 - 0,0047 \\ &= F_v = \frac{0,1353}{0,1} \\ &= 1,353 \end{aligned}$$

b) Menghitung nilai parameter respon spektrum percepatan pada periode pendek 0,2 detik (S_{ms}) dan nilai parameter respon spektrum percepatan pada periode 1 detik (S_{m1}) :

$$\begin{aligned} S_{ms} &= F_a \times S_S \\ &= 1 \times 1,221 \\ &= 1,221 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{m1} &= F_v \times S_1 \\
 &= 1,353 \times 0,447 \\
 &= 0,6048
 \end{aligned}$$

- c) Menghitung parameter percepatan spektral desain dengan periode pendek 0,2 detik (SDs) dan periode 1 detik (SD1) :

$$\begin{aligned}
 S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{ms} \\
 &= \frac{2}{3} \times 1,221 \\
 &= 0,814 \\
 S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{m1} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0,6048 \\
 &= 0,4032
 \end{aligned}$$

- d) Menghitung nilai periode getar struktur T_0 dan T_s :

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
 &= 0,2 \times \frac{0,4032}{0,814} \\
 &= 0,099
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
 &= \frac{0,4032}{0,814} \\
 &= 0,495
 \end{aligned}$$

- e) Menghitung nilai respon spektrum desain (S_a) :

- i. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 ($0 \leq T < T_0$) :

$$\begin{aligned}
 S_a &= S_{DS} \times \left(0,4 + 0,6 \times \frac{T}{T_0} \right) \\
 &= 0,814 \times \left(0,4 + 0,6 \times \frac{T}{0,099} \right) \\
 &= 0,3256
 \end{aligned}$$

- ii. Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s ($T_0 \leq T \leq T_s$) :

$$\begin{aligned}
 S_a &= S_{DS} \\
 &= 0,814
 \end{aligned}$$

- iii. Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_s ($T_0 \geq T_s$) :

$$\begin{aligned}
 S_a &= \frac{S_{D1}}{T} \\
 &= \frac{0,4032}{1} \\
 &= 0,4032
 \end{aligned}$$

2) Tanah sedang (SE)

$$S_S = 1,221 \text{ gr}$$

$$S_1 = 0,447 \text{ gr}$$

a) Menentukan nilai F_a dan F_v :

$$\begin{aligned}
 S_S &= \frac{1,221-1,0}{1,25-1,0} = \frac{F_a-1,1}{1,0-1,1} \\
 &= \frac{0,221}{0,25} = \frac{F_a-1,1}{-0,1} \\
 &= -0,0221 = 0,25F_a - 0,275 \\
 &= 0,25F_a = 0,275 - 0,0221 \\
 &= F_a = \frac{0,2529}{0,25} \\
 &= 1,0116
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \frac{0,447-0,4}{0,5-0,4} = \frac{F_v-1,6}{1,5-1,6} \\
 &= \frac{0,047}{0,1} = \frac{F_v-1,6}{-0,1} \\
 &= -0,0047 = 0,1F_v - 0,16 \\
 &= 0,1F_v = 0,16 - 0,0047 \\
 &= F_v = \frac{0,1553}{0,1} \\
 &= 1,553
 \end{aligned}$$

b) Menghitung nilai parameter respon spektrum percepatan pada periode pendek 0,2 detik (S_{ms}) dan nilai parameter respon spektrum percepatan pada periode 1 detik (S_{m1}) :

$$\begin{aligned}
 S_{ms} &= F_a \times S_S \\
 &= 1,0116 \times 1,221 \\
 &= 1,235
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{m1} &= F_v \times S_1 \\
 &= 1,553 \times 0,447 \\
 &= 0,694
 \end{aligned}$$

- c) Menghitung parameter percepatan spektral desain dengan periode pendek 0,2 detik (SDs) dan periode 1 detik (SD1) :

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{ms} \\ &= \frac{2}{3} \times 1,235 \\ &= 0,823 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{m1} \\ &= \frac{2}{3} \times 0,694 \\ &= 0,4626 \end{aligned}$$

- d) Menghitung nilai periode getar struktur T_0 dan T_s :

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= 0,2 \times \frac{0,4626}{0,823} \\ &= 0,1124 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\ &= \frac{0,4626}{0,823} \\ &= 0,562 \end{aligned}$$

- e) Menghitung nilai respon spektrum desain (S_a) :

- i. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 ($0 \leq T < T_0$) :

$$\begin{aligned} S_a &= S_{DS} \times \left(0,4 + 0,6 \times \frac{T}{T_0}\right) \\ &= 0,823 \times \left(0,4 + 0,6 \times \frac{T}{0,1124}\right) \\ &= 0,3292 \end{aligned}$$

- ii. Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s ($T_0 \leq T \leq T_s$) :

$$\begin{aligned} S_a &= S_{DS} \\ &= 0,823 \end{aligned}$$

- iii. Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_s ($T_0 \geq T_s$) :

$$\begin{aligned} S_a &= \frac{S_{D1}}{T} \\ &= \frac{0,4626}{1} \end{aligned}$$

$$= 0,4626$$

3) Tanah lunak (SE)

$$S_S = 1,221 \text{ gr}$$

$$S_1 = 0,447 \text{ gr}$$

a) Menentukan nilai F_a dan F_v :

$$\begin{aligned} S_S &= \frac{1,221-1,0}{1,25-1,0} = \frac{F_a-0,9}{0,9-0,9} \\ &= \frac{0,221}{0,25} = \frac{F_a-0,9}{0} \\ &= 0 = 0,25F_a - 0,225 \\ &= 0,25F_a = 0,225 - 0 \\ &= F_a = \frac{0,225}{0,25} \\ &= 0,9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{0,447-0,4}{0,5-0,4} = \frac{F_v-2,4}{2,4-2,4} \\ &= \frac{0,047}{0,1} = \frac{F_v-2,4}{0} \\ &= 0 = 0,1F_v - 0,24 \\ &= 0,1F_v = 0,24 - 0 \\ &= F_v = \frac{0,24}{0,1} \\ &= 2,4 \end{aligned}$$

b) Menghitung nilai parameter respon spektrum percepatan pada periode pendek 0,2 detik (S_{ms}) dan nilai parameter respon spektrum percepatan pada periode 1 detik (S_{m1}) :

$$\begin{aligned} S_{ms} &= F_a \times S_S \\ &= 0,9 \times 1,221 \\ &= 1,0989 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{m1} &= F_v \times S_1 \\ &= 2,4 \times 0,447 \\ &= 1,0728 \end{aligned}$$

c) Menghitung parameter percepatan spektral desain dengan periode pendek 0,2 detik (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1}) :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{ms}$$

$$= \frac{2}{3} \times 1,0989$$

$$= 0,7326$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{m1}$$

$$= \frac{2}{3} \times 1,0728$$

$$= 0,7152$$

d) Menghitung nilai periode getar struktur T_0 dan T_s :

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

$$= 0,2 \times \frac{0,7152}{0,7326}$$

$$= 0,1952$$

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

$$= \frac{0,7152}{0,7326}$$

$$= 0,9762$$

e) Menghitung nilai respon spektrum desain (S_a) :

i. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 ($0 \leq T < T_0$) :

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

$$= 0,7326 \times \left(0,4 + 0,6 \times \frac{T}{0,1952}\right)$$

$$= 0,293$$

ii. Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s ($T_0 \leq T \leq T_s$) :

$$S_a = S_{DS}$$

$$= 0,7326$$

iii. Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan T_s ($T_0 \geq T_s$) :

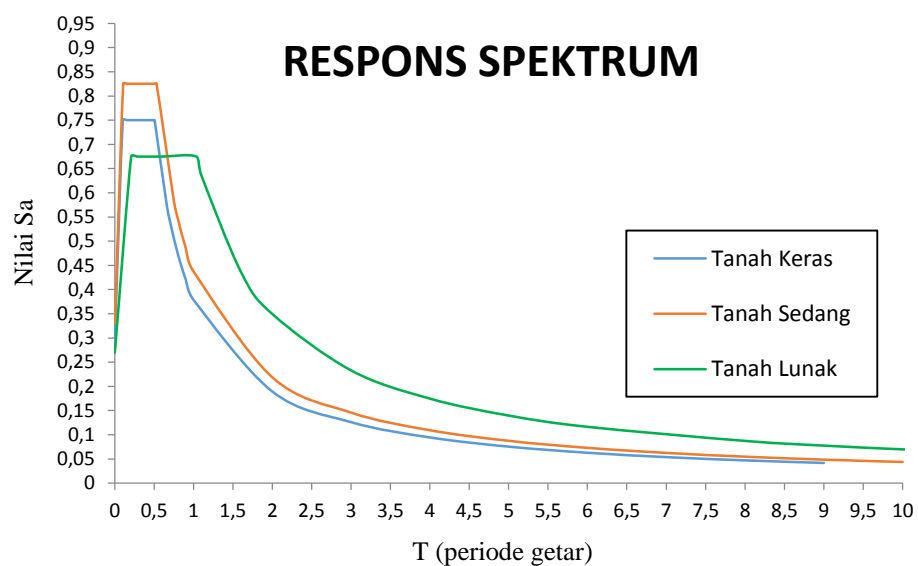
$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

$$= \frac{0,7152}{1}$$

$$= 0,7152$$

Tabel 4.1 Tabel respon spektrum desain (S_a).

Tanah Keras (SC)		Tanah Sedang (SD)		Tanah Lunak (SE)	
T (s)	S_a (g)	T (s)	S_a (g)	T (s)	S_a (g)
0,00	0,32	0,00	0,32	0,00	0,29
0,10	0,81	0,11	0,81	0,20	0,73
0,15	0,81	0,15	0,81	0,28	0,73
0,20	0,81	0,20	0,81	0,30	0,73
0,30	0,81	0,30	0,81	0,40	0,73
0,40	0,81	0,40	0,81	0,50	0,73
0,50	0,81	0,50	0,81	0,60	0,73
0,48	0,81	0,55	0,81	0,98	0,73
0,66	0,58	0,75	0,59	1,10	0,65
0,70	0,55	0,80	0,56	1,60	0,44
0,80	0,48	0,90	0,49	2,00	0,36
0,90	0,43	1,00	0,44	3,00	0,24
1,00	0,38	2,00	0,22	4,00	0,18
2,00	0,19	3,00	0,15	5,00	0,14
3,00	0,13	4,00	0,11	6,00	0,12
4,00	0,10	5,00	0,09	8,00	0,09
5,00	0,08	6,00	0,07	9,00	0,08
6,00	0,06	7,00	0,06	10,00	0,07
7,00	0,05	8,00	0,06	11,00	0,06
8,00	0,05	9,00	0,05	12,00	0,06
9,00	0,04	10,00	0,04	13,00	0,05



Gambar 4.4 Grafik respon spektrum kota Yogyakarta.

4.2 Analisis Struktur

4.2.1. Kolom

a. Tanah Keras (Sc)

1) Data Kolom :

Lebar, b	= 350 mm
Panjang, h	= 350 mm
Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 240 MPa
Modulus elastisitas baja, E_s	= 200000 MPa
Diameter tulangan, D	= 19 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Selimit beton, t_s	= 40 mm
Faktor reduksi kekuatan, ϕ	= 0,65
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

a) Luas penampang kolom :

$$\begin{aligned} A_g &= b \times h \\ &= 350 \times 350 \\ &= 122500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

b) Luas tulangan total :

$$\begin{aligned} A_{st} &= n \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= 12 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 \\ &= 3402,34 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

c) Luas tulangan tekan :

$$\begin{aligned} A_{s'} &= n \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 19^2 \\ &= 1134,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

d) Kondisi sentris :

Kapasitas kuat tekan aksial nominal

$$\begin{aligned} P_o &= 0,85 f_c' (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y \\ &= 0,85 \times 18 (122500 - 3402,34) + 3402,34 \times 240 \end{aligned}$$

$$= 2638755,798 \text{ N}$$

$$= 2638,75 \text{ kN}$$

e) Eksentrisitas kecil :

$$\phi Pn = \phi \times 0,80 \times P_o$$

$$= 0,65 \times 0,80 \times 2638,75$$

$$= 1372,154 \text{ kN}$$

f) Keadaan seimbang :

$$d = h - ts - P - \frac{D}{2}$$

$$= 350 - 40 - 10 - \frac{19}{2}$$

$$= 290,5 \text{ mm}$$

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d$$

$$= \frac{600}{600 + 240} \times 290,5$$

$$= 207,5 \text{ mm}$$

$$d' = ts + P + \frac{D}{2}$$

$$= 40 + 10 + \frac{19}{2}$$

$$= 59,5 \text{ mm}$$

$$\varepsilon'_s = \frac{c_b - d'}{c_b} \times 0,003$$

$$= \frac{207,5 - 59,5}{207,5} \times 0,003$$

$$= 0,002$$

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

$$= \frac{240}{200000}$$

$$= 0,001$$

Kontrol, $\varepsilon'_s > \varepsilon_y$ maka tulangan tekan sudah luluh

$$F'_s = \frac{c_b - d'}{c_b} \times 600$$

$$= \frac{207,5 - 59,5}{207,5} \times 600$$

$$= 427,95 \text{ Mpa}$$

$$a_b = \beta_1 c_b$$

$$= 0,85 \times 207,5$$

$$\begin{aligned}
&= 176,375 \text{ mm} \\
C_c &= 0,85f_c'a_b b \\
&= 0,85 \times 18 \times 176,375 \times 350 \\
&= 944488,125 \text{ N} \\
&= 944,488 \text{ kN} \\
C_s &= A_s'(f_y - 0,85f_c') \\
&= 1134,11(240 - 0,85 \times 18) \\
&= 254835,629 \text{ N} \\
&= 254,836 \text{ kN} \\
T_s &= A_s'f_y \\
&= 1134,11 \times 240 \\
&= 272187,188 \text{ N} \\
&= 272,188 \text{ kN} \\
d'' &= \frac{h}{2} \\
&= \frac{350}{2} \\
&= 175 \text{ mm} \\
P_n &= C_c + C_s - T_s \\
&= 944,488 + 254,836 - 272,188 \\
&= 927,136 \text{ kN} \\
M_n &= C_c \left(d - \frac{a_b}{2} - d'' \right) + C_s(d - d' - d'') + T_s \times d'' \\
&= 944,488 \times \left(290,5 - \frac{176,375}{2} - 175 \right) + 254,836 \times \\
&\quad (290,5 - 59,5 - 175) + 272,188 \times 175 \\
&= 142864,557 \text{ Nm} \\
&= 142,865 \text{ kNm} \\
e_b &= \frac{M_n}{P_n} \\
&= \frac{142,865}{927,136} \\
&= 0,154 \text{ m} \\
&= 154 \text{ mm} \\
\phi P_n &= 0,65 \times 927,136 \\
&= 602,639 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi Mn &= 0,65 \times 142,865 \\ &= 92,862 \text{ kNm}\end{aligned}$$

g) Keadaan momen murni :

Untuk momen murni eksentrisitas, $e = \infty$

$$\begin{aligned}a &= \frac{A'_s f_y}{0,85 f'_c b} \\ &= \frac{1134,11 \times 240}{0,85 \times 18 \times 350} \\ &= 50,82 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Mn &= A'_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 1134,11 \times 240 \left(290,5 - \frac{50,82}{2} \right) \\ &= 72153026,12 \text{ Nmm} \\ &= 72,15 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi Mn &= 0,85 \times 72,15 \\ &= 61,33 \text{ kNm}\end{aligned}$$

h) Keadaan $e > e_b$:

$$\begin{aligned}C_c &= 0,85 f'_c a b \\ &= 0,85 \times 18 \times a \times 350 \\ &= 5355a\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_s &= A_s' (f_y - 0,85 f'_c) \\ &= 1134,11 \times (240 - 0,85 \times 18) \\ &= 254835,6288 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_s &= A_s' f_y \\ &= 1134,11 \times 240 \\ &= 272187,5875 \text{ N}\end{aligned}$$

Untuk, $e = 180 \text{ mm}$ (asumsi)

$$\begin{aligned}e' &= e + d - d'' \\ &= 180 + 290,5 - 175 \\ &= 295,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A &= 0,425 f'_c b \\ &= 0,425 \times 18 \times 350 \\ &= 2677,5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B &= 0,85fc'b(e' - d) \\
 &= 0,85 \times 18 \times 350 \times (295,5 - 290,5) \\
 &= 26775
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C &= As'(fy - 0,85fc')(e' - d + d') - As'fye' \\
 &= 1134,11(240 - 0,85 \times 18)(295,5 - 290,5 + \\
 &\quad 59,5) - 1134,11 \times 240 \times 295,5 \\
 &= -63994534,05
 \end{aligned}$$

Persamaan :

$$Aa^2 + Ba + C = 0$$

$$2677,5a^2 + 26775a - 63994534,05 = 0$$

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \\
 &= \frac{26775 + \sqrt{26775^2 - 4 \times 2677,5 \times (-63994534,05)}}{2 \times 2677,5} \\
 &= 149,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_2 &= \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \\
 &= \frac{26775 - \sqrt{26775^2 - 4 \times 2677,5 \times (-63994534,05)}}{2 \times 2677,5} \\
 &= -159,68 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Nilai a yang digunakan adalah 149,68 mm

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{0,85} \\
 &= \frac{149,68}{0,85} \\
 &= 176,09 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon'_s &= \frac{c - d'}{c} 0,003 \\
 &= \frac{149,68 - 59,5}{149,68} \times 0,003 \\
 &= 0,002
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_y &= \frac{fy}{Es} \\
 &= \frac{240}{200000} \\
 &= 0,001
 \end{aligned}$$

Kontrol, $\varepsilon'_s > \varepsilon_y$ maka tulangan tekan sudah leleh

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

$$= \frac{290,5 - 176,09}{176,09} \times 0,003$$

$$= 0,002$$

Kontrol, $\varepsilon_t > \varepsilon_y$ maka tulangan tarik sudah leleh

$$P_n = C_c(a) + C_s - T_s$$

$$= 5355 \times 149,68 + 254835,6288 - 272187,5875$$

$$= 784183,5871 \text{ N}$$

$$= 784,183 \text{ kN}$$

$$M_n = eP_n$$

$$= 180 \times 784183,5871$$

$$= 141153045,7 \text{ Nmm}$$

$$= 141,153 \text{ kNm}$$

Karena nilai $\varepsilon_t = 0,002$, maka $\phi = 0,65$

$$\phi P_n = 0,65 \times 784,183$$

$$= 509,72 \text{ kN}$$

$$\phi M_n = 0,65 \times 141,153$$

$$= 91,75 \text{ kNm}$$

i) Keadaan $e < e_b$:

Untuk $e = 100 \text{ mm}$

$$e' = e + d - d''$$

$$= 100 + 290,5 - 175$$

$$= 215,5 \text{ mm}$$

$$C_c = 0,85f_c'ab$$

$$= 0,85 \times 18 \times a \times 350$$

$$= 5355a$$

$$C_s = A_s'(f_y - 0,85f_c')$$

$$= 1134,11 \times (240 - 0,85 \times 18)$$

$$= 254835,6288$$

$$T_s = A_s'f_y \quad \text{asumsi, } (f_s < f_y)$$

$$= 1134,11f_s$$

$$c = 250 \text{ mm} \quad \text{asumsi, } (c > c_b)$$

$$a = \beta_1 c$$

$$= 0,85 \times 250$$

$$= 212,5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Pn_1 &= \frac{1}{e'} \left[Cca \left(d - \frac{a}{2} \right) + Cs(d - d') \right] \\ &= \frac{1}{216} \left[5355 \times 212,5 \times \left(290,5 - \frac{212,5}{2} \right) + \right. \\ &\quad \left. 254835,6288 \times (290,5 - 59) \right] \\ &= 1246088,235 \text{ N} \\ &= 1246,088 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s &= 600 \left(\frac{290,5 - 250}{250} \right) \\ &= 97,2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pn_2 &= Cc + Cs + Ts \\ &= 5355a + 254835,6288 + 1134,11f_s \\ &= 1282537,156 \text{ N} \\ &= 1282,537 \text{ kN} \end{aligned}$$

Pn yang digunakan adalah *Pn* rata-rata

$$\begin{aligned} Pn &= \frac{Pn_1 + Pn_2}{2} \\ &= \frac{1246,088 + 1282,537}{2} \\ &= 1264,313 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi Pn &= 0,65 \times 1264,313 \\ &= 821,803 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= ePn \\ &= 100 \times 1264,313 \\ &= 126431,3 \text{ kNmm} \end{aligned}$$

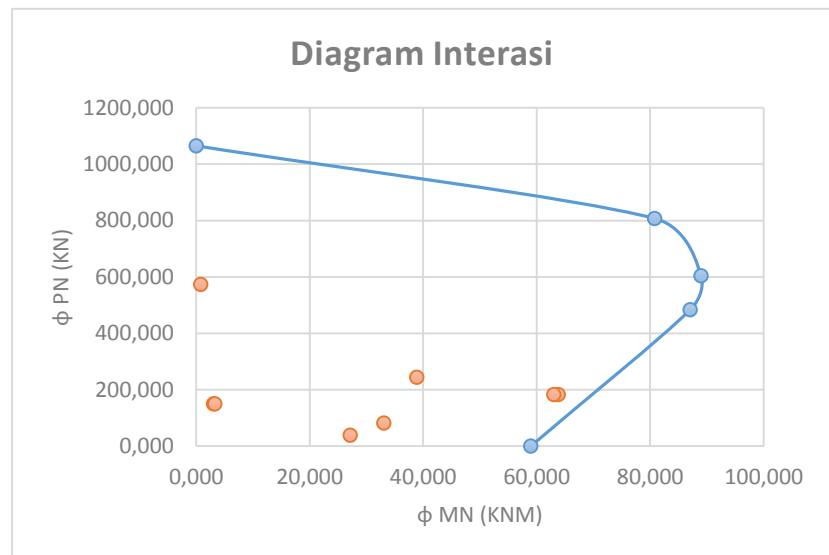
$$\begin{aligned} \phi Mn &= 0,65 \times 126431,3 \\ &= 82180,3 \text{ kNmm} \\ &= 82,180 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tabel 4.2 Hasil *running* kolom pada program SAP2000.

No	Item	P (kN)	M2(kN.m)
1	P terbesar	40,107	24,751
2	P terkecil	-579,192	1,096
3	V2 terbesar	78,965	18,423
4	V2 terkecil	-247,273	-40,907
5	M2 terbesar	183,437	58,883
6	M2 terkecil	-183,437	58,187
7	M3 terbesar	148,511	2,573
8	M3 terkecil	-148,541	-2,842

Tabel 4.3 Hasil analisis kolom.

Keadaan	ϕPn (kN)	ϕMn (kNm)	e (mm)
Sentris	1372,154	0	0
Eksentrisitas kecil	1097,723	0	0
Seimbang	602,639	92,862	-
Patah desak ($e < eb$)	821,803	82,180	100
Patah tarik ($e > eb$)	509,719	91,749	180
Momen murni	1372,153	61,330	-



Gambar 4.5 Diagram interaksi kolom.

b. Tanah sedang (Sd)

1) Data kolom :

Lebar, b	= 350 mm
Panjang, h	= 350 mm
Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 240 MPa
Modulus elastisitas baja, E_s	= 200000 MPa
Diameter tulangan, D	= 19 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Selimut beton, t_s	= 40 mm
Faktor reduksi kekuatan, ϕ	= 0,65
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Hasil perhitungan :

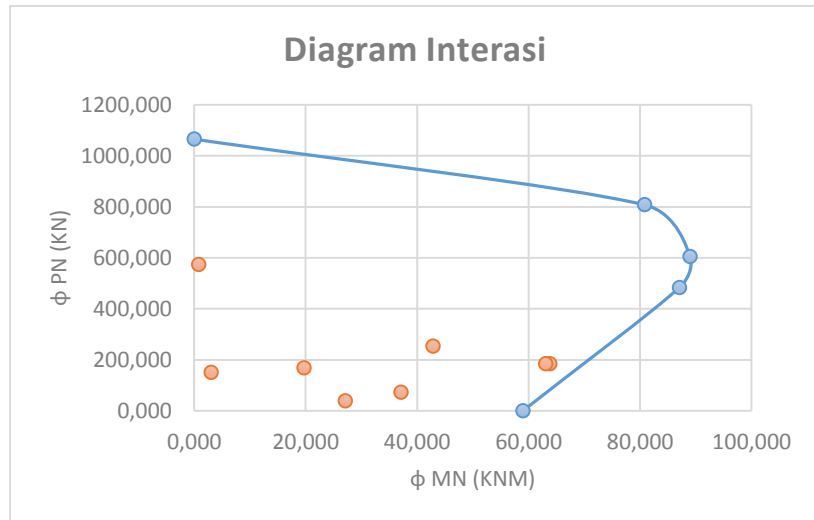
Dengan melakukan perhitungan yang sama (analog) dengan perhitungan beton sebelumnya pada jenis tanah keras, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.4 Hasil *running* kolom pada program SAP2000.

No	Item	P (kN)	M2(kN.m)
1	P terbesar	40,107	24,751
2	P terkecil	-579,192	1,096
3	V2 terbesar	68,107	39,033
4	V2 terkecil	-257,373	-45,509
5	M2 terbesar	183,437	58,883
6	M2 terkecil	-183,437	58,187
7	M3 terbesar	148,511	2,573
8	M3 terkecil	-148,541	-2,842

Tabel 4.5 Hasil analisis kolom.

Keadaan	ϕP_n (kN)	ϕM_n (kNm)	e (mm)
Sentris	1372,154	0	0
Eksentrisitas kecil	1097,723	0	0
Seimbang	602,639	92,862	-
Patah desak ($e < eb$)	821,803	82,180	100
Patah tarik ($e > eb$)	509,719	91,749	180
Momen murni	1372,153	61,330	-



Gambar 4.6 Diagram interaksi kolom.

c. Tanah lunak (Se)

1) Data kolom :

Lebar, b	= 350 mm
Panjang, h	= 350 mm
Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 240 MPa
Modulus elastisitas baja, E_s	= 200000 MPa
Diameter tulangan, D	= 19 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Selimut beton, t_s	= 40 mm
Faktor reduksi kekuatan, ϕ	= 0,65
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Hasil perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan yang sama (analog) dengan perhitungan beton sebelumnya pada jenis tanah keras, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.6 Hasil *running* kolom pada program SAP2000.

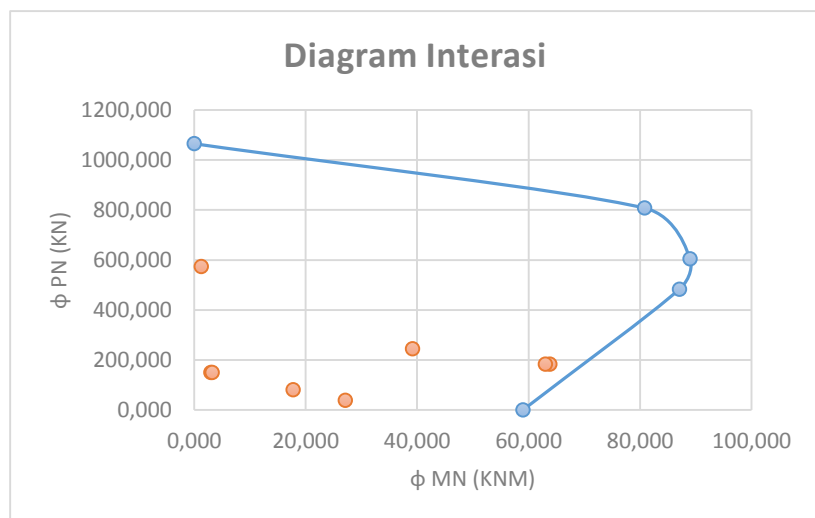
No	Item	P (kN)	M2(kN.m)
1	P terbesar	40,107	24,751
2	P terkecil	-579,192	1,096

Lanjutan dari Tabel 4.6

3	V2 terbesar	76,843	18,843
4	V2 terkecil	-249,457	-41,969
5	M2 terbesar	183,437	58,883
6	M2 terkecil	-183,437	58,187
7	M3 terbesar	148,511	2,573
8	M3 terkecil	-148,541	-2,842

Tabel 4.7 Hasil analisis kolom.

Keadaan	ϕPn (kN)	ϕMn (kNm)	e (mm)
Sentris	1372,154	0	0
Eksentrisitas kecil	1097,723	0	0
Seimbang	602,639	92,862	-
Patah desak ($e < eb$)	821,803	82,180	100
Patah tarik ($e > eb$)	509,719	91,749	180
Momen murni	1372,153	61,330	-



Gambar 4.7 Diagram interaksi kolom.

4.2.2. Balok Sloof

a. Tanah keras (S_c)

1) Data balok *sloof* :

Kuat tekan beton, f_c' = 18 MPa

Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur) = 240 MPa

Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser) = 240 MPa

Lebar balok, b	= 300 mm
Tinggi balok, h	= 500 mm
Diameter tulangan, D	= 13 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, ts	= 40 mm
Momen rencana positif, Mu ⁺	= 21,40 kNm
Momen rencana negatif, Mu ⁻	= 53,30 kNm
Gaya geser rencana, Vu	= 65,84 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

a) Jarak tulangan ke sisi luar beton :

$$\begin{aligned} d_s &= t_s + P + \frac{D}{2} \\ &= 40 + 10 + \frac{13}{2} \\ &= 56,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

b) Jumlah tulangan dalam satu baris :

$$\begin{aligned} n_s &= \frac{b-2d_s}{25+D} \\ &= \frac{300-2 \times 56,5}{25+13} \\ &= 4,92 \approx 4 \end{aligned}$$

c) Jarak horizontal pusat ke pusat antar tulangan :

$$\begin{aligned} x &= \frac{b-n_s D-2d_s}{n_s-1} \\ &= \frac{300-4 \times 13-2 \times 56,5}{4-1} \\ &= 45 \text{ mm} \end{aligned}$$

d) Jarak vertikal pusat ke pusat antar tulangan :

$$\begin{aligned} y &= D+25 \\ &= 13+25 \\ &= 38 \text{ mm} \end{aligned}$$

e) Rasio tulangan pada kondisi *balance* :

$$\rho_b = 0,85\beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y}$$

$$= 0,85 \times 0,85 \frac{18}{240} \times \frac{600}{600+240}$$

$$= 0,0387$$

f) Faktor tahanan momen maksimum :

$$R_{maks} = 0,75\rho_b f_y \left[1 - 0,5 \times 0,75\rho_b \frac{f_y}{0,85f_c'} \right]$$

$$= 0,75 \times 0,0387 \times 240 \left[1 - 0,5 \times 0,75 \times \right.$$

$$\left. 0,0387 \frac{240}{0,85 \times 18} \right]$$

$$= 5,3807$$

g) Rasio tulangan minimum :

$$\rho = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= \frac{1,4}{240}$$

$$= 0,00583$$

h) Rasio tulangan maksimum :

$$\rho_{maks} = 0,75\rho_b$$

$$= 0,75 \times 0,0387$$

$$= 0,02903$$

i) Tulangan momen positif :

Momen positif nominal rencana,

$$Mn = \frac{Mu^+}{\phi}$$

$$= \frac{21,40}{0,8}$$

$$= 26,75 \text{ kNm}$$

Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 250 \text{ mm}$

(asumsi)

Tinggi efektif balok :

$$d = h - d'$$

$$= 500 - 250$$

$$= 250 \text{ mm}$$

Faktor tahanan momen,

$$Rn = \frac{Mn \times 10^6}{b \times d^2}$$

$$= \frac{26,75 \times 10^6}{300 \times 250^2}$$

$$= 1,4267$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < R_{maks}$ (aman).

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\rho = 0,85 \frac{f_{c'}}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85f_{c'}}} \right]$$

$$= 0,85 \frac{18}{240} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,4267}{0,85 \times 18}} \right]$$

$$= 0,0063$$

Kontrol rasio tulangan, $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ (aman).

Luas tulangan yang diperlukan :

$$As = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0063 \times 300 \times 250$$

$$= 472,5 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan :

$$n = \frac{As}{\frac{\pi}{4} D^2}$$

$$= \frac{472,5}{\frac{\pi}{4} 13^2}$$

$$= 3,5321 \approx 4$$

Luas tulangan yang dipakai :

$$As = n \frac{\pi}{4} D^2$$

$$= 4 \frac{\pi}{4} 13^2$$

$$= 530,9292 \text{ mm}^2$$

Jumlah baris tulangan :

$$n_b = \frac{n}{n_s}$$

$$= \frac{4}{4}$$

$$= 1$$

Tabel 4.8 Tulangan momen positif *sloof*.

Baris ke-	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak $n_i \times y_i$
1	4	56,50	226
n =	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	226

Letak titik berat tulangan :

$$\begin{aligned}
 d' &= \frac{\Sigma[n_i \times y_i]}{n} \\
 &= \frac{\Sigma[2 \times 57_i]}{2} \\
 &= 56,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - d' \\
 &= 500 - 56,5 \\
 &= 443,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{Asf_y}{0,85f_c'b} \\
 &= \frac{530,9292 \times 240}{0,85 \times 18 \times 300} \\
 &= 27,761 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Momen nominal :

$$\begin{aligned}
 Mn &= Asf_y \left(d - \frac{a}{2} \right) 10^{-6} \\
 &= 530,9292 \times 240 \left(443,5 - \frac{27,761}{2} \right) 10^{-6} \\
 &= 54,743 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{27,761}{0,85} \\
 &= 32,6600
 \end{aligned}$$

Regangan tulangan tarik :

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{443,5 - 32,6600}{32,6600} \times 0,003 \\
 &= 0,0377
 \end{aligned}$$

Kontrol regangan tulangan tarik $\varepsilon_t > 0,005$, maka $\phi = 0,9$.

Tahanan momen balok :

$$\begin{aligned}\phi Mn &= 0,9 \times 54,743 \\ &= 49,2961 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Kontrol momen balok,

$$\begin{aligned}\phi Mn &\geq Mu^+ \\ 49,2691 &> 21,400 \quad (\text{aman}).\end{aligned}$$

j) Tulangan momen negatif :

Momen negatif nominal rencana,

$$\begin{aligned}Mn &= \frac{Mu^-}{\phi} \\ &= \frac{53,30}{0,8} \\ &= 66,625 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 120$ mm (asumsi).

Tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}d &= h - d' \\ &= 500 - 120 \\ &= 380 \text{ mm}\end{aligned}$$

Faktor tahanan momen,

$$\begin{aligned}Rn &= \frac{Mn \times 10^6}{b \times d^2} \\ &= \frac{66,625 \times 10^6}{300 \times 380^2} \\ &= 1,538\end{aligned}$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < R_{maks}$ (aman).

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}\rho &= 0,85 \frac{f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85 f_c'}} \right] \\ &= 0,85 \frac{18}{240} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,538}{0,85 \times 18}} \right] \\ &= 0,00677\end{aligned}$$

Kontrol rasio tulangan, $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ (aman).

Luas tulangan yang diperlukan :

$$As = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00677 \times 300 \times 380$$

$$= 771,4861 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan :

$$n = \frac{As}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

$$= \frac{771,4861}{\frac{\pi 13^2}{4}}$$

$$= 5,8123 \approx 6$$

Luas tulangan yang dipakai :

$$As = n \frac{\pi D^2}{4}$$

$$= 6 \frac{\pi 14^2}{4}$$

$$= 796,3937 \text{ mm}^2$$

Jumlah baris tulangan :

$$n_b = \frac{n}{n_s}$$

$$= \frac{6}{4}$$

$$= 1,5$$

Tabel 4.9 Tulangan momen negatif *sloof*.

Baris ke-	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak $n_i \times y_i$
1	4	56,5	226
2	2	94,5	189
n =	6	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	415

Letak titik berat tulangan :

$$d' = \frac{\Sigma[n_i \times y_i]}{n}$$

$$= \frac{415}{6}$$

$$= 69,17 \text{ mm}$$

Tinggi efektif balok :

$$d = h - d'$$

$$= 500 - 69,17$$

$$= 430,8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{Asfy}{0,85fc'b} \\
 &= \frac{796,3937 \times 240}{0,85 \times 18 \times 300} \\
 &= 41,642 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Momen nominal :

$$\begin{aligned}
 Mn &= Asfy \left(d - \frac{a}{2} \right) 10^{-6} \\
 &= 796,3937 \times 240 \left(430,8 - \frac{41,642}{2} \right) 10^{-6} \\
 &= 78,368 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{41,642}{0,85} \\
 &= 48,99
 \end{aligned}$$

Regangan tulangan tarik :

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{430,8-41,642}{41,642} \times 0,003 \\
 &= 0,0234
 \end{aligned}$$

Kontrol regangan tulangan tarik $\varepsilon_t > 0,005$, maka $\phi = 0,9$.

Tahanan momen balok :

$$\begin{aligned}
 \phi Mn &= 0,9 \times 78,368 \\
 &= 70,531 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Kontrol momen balok,

$$\begin{aligned}
 \phi Mn &\geq Mu^- \\
 70,531 &> 53,300 \quad (\text{aman}).
 \end{aligned}$$

k) Tulangan geser :

Kuat geser beton,

$$\begin{aligned}
 Vc &= \frac{\sqrt{fc'}}{6} bd 10^{-3} \\
 &= \frac{\sqrt{18}}{6} 300 \times 250 \times 10^{-3} \\
 &= 53,033 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tahanan geser beton :

$$\phi Vc = 0,75 \times 53,033$$

$$= 39,775 \text{ kN}$$

$V_u > \phi V_c$, maka diperlukan tulangan geser.

Kuat geser sengkang :

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u - \phi v_c}{\phi} \\ &= \frac{65,84 - 39,775}{0,75} \\ &= 34,754 \text{ kN} \end{aligned}$$

Luas tulangan geser sengkang :

$$\begin{aligned} A_v &= n_s \frac{\pi}{4} P^2 \\ &= 2 \frac{\pi}{4} 10^2 \\ &= 157,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak sengkang yang diperlukan :

$$\begin{aligned} s &= A_v f_y \frac{d}{V_s \times 10^3} \\ &= 157,08 \times 240 \frac{250}{34,754 \times 10^3} \\ &= 271,19 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak sengkang maksimum :

$$\begin{aligned} s_{maks} &= \frac{d}{2} \\ &= \frac{443}{2} \\ &= 221,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak sengkang yang digunakan :

$$s = 220 \text{ mm}$$

Sengkang yang digunakan, 2P10 – 220

b. Tanah sedang (Sd)

1) Data balok *sloof* :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 240 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 300 mm
Tinggi balok, h	= 500 mm
Diameter tulangan, D	= 13 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm

Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Momen rencana positif, M_u^+	= 21,40 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 56,04 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 65,84 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

a) Jarak tulangan ke sisi luar beton :

$$\begin{aligned} d_s &= t_s + P + \frac{D}{2} \\ &= 40 + 10 + \frac{13}{2} \\ &= 56,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

b) Jumlah tulangan dalam satu baris :

$$\begin{aligned} n_s &= \frac{b-2d_s}{25+D} \\ &= \frac{300-2 \times 57}{25+13} \\ &= 4,92 \approx 4 \end{aligned}$$

c) Jarak horizontal pusat ke pusat antar tulangan :

$$\begin{aligned} x &= \frac{b-n_s D-2d_s}{n_s-1} \\ &= \frac{300-4 \times 13-2 \times 56,5}{4-1} \\ &= 45 \text{ mm} \end{aligned}$$

d) Jarak vertikal pusat ke pusat antar tulangan :

$$\begin{aligned} y &= D+25 \\ &= 13+25 \\ &= 38 \text{ mm} \end{aligned}$$

e) Rasio tulangan pada kondisi *balance* :

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85 \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0,85 \times 0,85 \frac{18}{240} \times \frac{600}{600+240} \\ &= 0,0387 \end{aligned}$$

f) Faktor tahanan momen maksimum :

$$\begin{aligned}
 R_{maks} &= 0,75\rho_b f_y \left[1 - 0,5 \times 0,75\rho_b \frac{f_y}{0,85f_c'} \right] \\
 &= 0,75 \times 0,0387 \times 240 \left[1 - 0,5 \times 0,75 \times \right. \\
 &\quad \left. 0,0387 \frac{240}{0,85 \times 18} \right] \\
 &= 5,3807
 \end{aligned}$$

g) Rasio tulangan minimum :

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{240} \\
 &= 0,00583
 \end{aligned}$$

h) Rasio tulangan maksimum :

$$\begin{aligned}
 \rho_{maks} &= 0,75\rho_b \\
 &= 0,75 \times 0,0387 \\
 &= 0,02903
 \end{aligned}$$

i) Tulangan momen positif :

Momen positif nominal rencana,

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu^+}{\phi} \\
 &= \frac{21,40}{0,8} \\
 &= 26,75 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 250$ mm
(asumsi)

Tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - d' \\
 &= 500 - 250 \\
 &= 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Faktor tahanan momen,

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mn \times 10^6}{b \times d^2} \\
 &= \frac{26,75 \times 10^6}{300 \times 250^2} \\
 &= 1,4267
 \end{aligned}$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < R_{maks}$ (aman).

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}\rho &= 0,85 \frac{f'c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85f'c'}} \right] \\ &= 0,85 \frac{18}{240} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,4267}{0,85 \times 18}} \right] \\ &= 0,0063\end{aligned}$$

Kontrol rasio tulangan, $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ (aman).

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}As &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0063 \times 300 \times 250 \\ &= 472,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}n &= \frac{As}{\frac{\pi}{4} D^2} \\ &= \frac{285}{\frac{\pi}{4} 13^2} \\ &= 3,5321\end{aligned}$$

Luas tulangan yang dipakai :

$$\begin{aligned}As &= n \frac{\pi}{4} D^2 \\ &= 4 \frac{\pi}{4} 13^2 \\ &= 530,9292 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah baris tulangan :

$$\begin{aligned}n_b &= \frac{n}{n_s} \\ &= \frac{4}{4} \\ &= 1\end{aligned}$$

Tabel 4.10 Tulangan momen positif *sloof*.

Baris ke-	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak $n_i \times y_i$
1	4	56,5	226
n =	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	226

Letak titik berat tulangan :

$$\begin{aligned}
 d' &= \frac{\sum[n_i \times y_i]}{n} \\
 &= \frac{\sum[2 \times 56,5_i]}{2} \\
 &= 56,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - d' \\
 &= 500 - 56,5 \\
 &= 443,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{Asfy}{0,85fc'b} \\
 &= \frac{530,9292 \times 240}{0,85 \times 18 \times 300} \\
 &= 27,761 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Momen nominal :

$$\begin{aligned}
 Mn &= Asfy \left(d - \frac{a}{2} \right) 10^{-6} \\
 &= 530,9292 \times 240 \left(443,5 - \frac{27,761}{2} \right) 10^{-6} \\
 &= 54,743 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{27,761}{0,85} \\
 &= 32,6600
 \end{aligned}$$

Regangan tulangan tarik :

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{443,5 - 32,6600}{32,6600} \times 0,003 \\
 &= 0,0377
 \end{aligned}$$

Kontrol regangan tulangan tarik $\varepsilon_t > 0,005$, maka $\phi = 0,9$.

Tahanan momen balok :

$$\begin{aligned}
 \phi Mn &= 0,9 \times 54,743 \\
 &= 49,2691 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Kontrol momen balok,

$$\phi Mn \geq Mu^+$$

$$49,2691 > 21,400 \quad (\text{aman}).$$

j) Tulangan momen negatif :

Momen negatif nominal rencana,

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu^-}{\phi} \\ &= \frac{56,04}{0,8} \\ &= 70,05 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 150$ mm (asumsi).

Tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 500 - 150 \\ &= 350 \text{ mm} \end{aligned}$$

Faktor tahanan momen,

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mn \times 10^6}{b \times d^2} \\ &= \frac{70,05 \times 10^6}{300 \times 350^2} \\ &= 1,9 \end{aligned}$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < R_{maks}$ (aman).

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} \rho &= 0,85 \frac{f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85f_c'}} \right] \\ &= 0,85 \frac{18}{240} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,9}{0,85 \times 18}} \right] \\ &= 0,00851 \end{aligned}$$

Kontrol rasio tulangan, $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ (aman).

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} As &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00851 \times 300 \times 350 \\ &= 893,5715 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} n &= \frac{As}{\frac{\pi}{4} D^2} \\ &= \frac{893,5715}{\frac{\pi}{4} 13^2} \end{aligned}$$

$$= 6,7321 \approx 7$$

Luas tulangan yang dipakai :

$$\begin{aligned} A_s &= n \frac{\pi}{4} D^2 \\ &= 7 \frac{\pi}{4} 13^2 \\ &= 929,1260 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah baris tulangan :

$$\begin{aligned} n_b &= \frac{n}{n_s} \\ &= \frac{7}{4} \\ &= 1,75 \end{aligned}$$

Tabel 4.11 Tulangan momen negatif *sloof*.

Baris ke-	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak $n_i \times y_i$
1	4	56,5	226
2	3	94,5	283,5
n =	7	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	509,5

Letak titik berat tulangan :

$$\begin{aligned} d' &= \frac{\Sigma[n_i \times y_i]}{n} \\ &= \frac{509,5}{7} \\ &= 72,79 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 500 - 72,79 \\ &= 427,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} \\ &= \frac{929,1260 \times 240}{0,85 \times 18 \times 300} \\ &= 48,582 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen nominal :

$$\begin{aligned}
 Mn &= Asfy \left(d - \frac{a}{2} \right) 10^{-6} \\
 &= 929,1260 \times 240 \left(427,2 - \frac{48,582}{2} \right) 10^{-6} \\
 &= 89,848 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{48,582}{0,85} \\
 &= 57,1550
 \end{aligned}$$

Regangan tulangan tarik :

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{427,2-57,1550}{57,1550} \times 0,003 \\
 &= 0,0194
 \end{aligned}$$

Kontrol regangan tulangan tarik $\varepsilon_t > 0,005$, maka $\phi = 0,9$.

Tahanan momen balok :

$$\begin{aligned}
 \phi Mn &= 0,9 \times 89,848 \\
 &= 80,863 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Kontrol momen balok,

$$\begin{aligned}
 \phi Mn &\geq Mu^- \\
 80,863 &> 53,300 \quad (\text{aman}).
 \end{aligned}$$

k) Tulangan geser :

Kuat geser beton,

$$\begin{aligned}
 Vc &= \frac{\sqrt{f'c}}{6} bd 10^{-3} \\
 &= \frac{\sqrt{18}}{6} 300 \times 250 \times 10^{-3} \\
 &= 53,033 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tahanan geser beton :

$$\begin{aligned}
 \phi Vc &= 0,75 \times 53,033 \\
 &= 39,775 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$Vu > \phi Vc$, maka diperlukan tulangan geser.

Kuat geser sengkang :

$$Vs = \frac{Vu - \phi vc}{\phi}$$

$$= \frac{65,84 - 39,775}{0,75}$$

$$= 34,754 \text{ kN}$$

Luas tulangan geser sengkang :

$$A_v = n_s \frac{\pi}{4} P^2$$

$$= 2 \frac{\pi}{4} 10^2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

Jarak sengkang yang diperlukan :

$$s = Avfy \frac{d}{Vs \times 10^3}$$

$$= 157,08 \times 240 \frac{250}{34,754 \times 10^3}$$

$$= 271,19 \text{ mm}$$

Jarak sengkang maksimum :

$$s_{maks} = \frac{d}{2}$$

$$= \frac{443}{2}$$

$$= 221,5 \text{ mm}$$

Jarak sengkang yang digunakan :

$$s = 220 \text{ mm}$$

Sengkang yang digunakan, 2P10 – 220

c. Tanah lunak (Se)

1) Data balok *sloof* :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 240 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 300 mm
Tinggi balok, h	= 500 mm
Diameter tulangan, D	= 13 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Momen rencana positif, M_u^+	= 21,40 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 53,04 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 65,84 kN

$$\text{Faktor reduksi kuat lentur, } \phi = 0,80$$

$$\text{Faktor reduksi kuat geser, } \phi = 0,75$$

$$\text{Faktor distribusi tegangan beton, } \beta_1 = 0,85$$

2) Perhitungan :

a) Jarak tulangan ke sisi luar beton :

$$\begin{aligned} d_s &= t_s + P + \frac{D}{2} \\ &= 40 + 10 + \frac{13}{2} \\ &= 56,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

b) Jumlah tulangan dalam satu baris :

$$\begin{aligned} n_s &= \frac{b-2d_s}{25+D} \\ &= \frac{300-2 \times 57}{25+13} \\ &= 4,92 \approx 4 \end{aligned}$$

c) Jarak horizontal pusat ke pusat antar tulangan :

$$\begin{aligned} x &= \frac{b-n_s D-2d_s}{n_s-1} \\ &= \frac{300-4 \times 13-2 \times 56,5}{4-1} \\ &= 45 \text{ mm} \end{aligned}$$

d) Jarak vertikal pusat ke pusat antar tulangan :

$$\begin{aligned} y &= D+25 \\ &= 13+25 \\ &= 38 \text{ mm} \end{aligned}$$

e) Rasio tulangan pada kondisi *balance* :

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85 \beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0,85 \times 0,85 \frac{18}{240} \times \frac{600}{600+240} \\ &= 0,0387 \end{aligned}$$

f) Faktor tahanan momen maksimum :

$$\begin{aligned} R_{maks} &= 0,75 \rho_b f_y \left[1 - 0,5 \times 0,75 \rho_b \frac{f_y}{0,85 f_c'} \right] \\ &= 0,75 \times 0,0387 \times 240 \left[1 - 0,5 \times 0,75 \times \right. \\ &\quad \left. 0,0387 \frac{240}{0,85 \times 18} \right] \end{aligned}$$

$$= 5,3807$$

g) Rasio tulangan minimum :

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{240} \\ &= 0,00583\end{aligned}$$

h) Rasio tulangan maksimum :

$$\begin{aligned}\rho_{maks} &= 0,75\rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0387 \\ &= 0,02903\end{aligned}$$

i) Tulangan momen positif :

Momen positif nominal rencana,

$$\begin{aligned}Mn &= \frac{Mu^+}{\phi} \\ &= \frac{21,40}{0,8} \\ &= 26,75 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 250$ mm
(asumsi)

Tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}d &= h - d' \\ &= 500 - 250 \\ &= 250 \text{ mm}\end{aligned}$$

Faktor tahanan momen,

$$\begin{aligned}Rn &= \frac{Mn \times 10^6}{b \times d^2} \\ &= \frac{26,75 \times 10^6}{300 \times 250^2} \\ &= 1,4267\end{aligned}$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < R_{maks}$ (aman).

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}\rho &= 0,85 \frac{f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85f_c'}} \right] \\ &= 0,85 \frac{18}{240} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,4267}{0,85 \times 18}} \right]\end{aligned}$$

$$= 0,0063$$

Kontrol rasio tulangan, $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ (aman).

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0063 \times 300 \times 250 \\ &= 472,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{\frac{\pi}{4} D^2} \\ &= \frac{472,5}{\frac{\pi}{4} 13^2} \\ &= 3,5321 \approx 4 \end{aligned}$$

Luas tulangan yang dipakai :

$$\begin{aligned} A_s &= n \frac{\pi}{4} D^2 \\ &= 4 \frac{\pi}{4} 13^2 \\ &= 530,9292 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah baris tulangan :

$$\begin{aligned} n_b &= \frac{n}{n_s} \\ &= \frac{4}{4} \\ &= 1 \end{aligned}$$

Tabel 4.12 Tulangan momen positif *sloof*.

Baris ke-	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak $n_i \times y_i$
1	4	56,5	226
n =	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	226

Letak titik berat tulangan :

$$\begin{aligned} d' &= \frac{\Sigma[n_i \times y_i]}{n} \\ &= \frac{\Sigma[2 \times 56,5]}{2} \\ &= 56,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 500 - 56,5 \\ &= 443,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{Asfy}{0,85fc'b} \\ &= \frac{530,9292 \times 240}{0,85 \times 18 \times 300} \\ &= 27,761 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen nominal :

$$\begin{aligned} Mn &= Asfy \left(d - \frac{a}{2} \right) 10^{-6} \\ &= 530,9292 \times 240 \left(443,5 - \frac{27,761}{2} \right) 10^{-6} \\ &= 54,743 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{27,761}{0,85} \\ &= 32,6600 \end{aligned}$$

Regangan tulangan tarik :

$$\begin{aligned} \varepsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{443,5 - 32,6600}{32,6600} \times 0,003 \\ &= 0,0377 \end{aligned}$$

Kontrol regangan tulangan tarik $\varepsilon_t > 0,005$, maka $\phi = 0,9$.

Tahanan momen balok :

$$\begin{aligned} \phi Mn &= 0,9 \times 54,743 \\ &= 49,2691 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol momen balok,

$$\phi Mn \geq Mu^+$$

$$49,2691 > 21,400 \quad (\text{aman}).$$

j) Tulangan momen negatif :

Momen negatif nominal rencana,

$$Mn = \frac{Mu^-}{\phi}$$

$$= \frac{53,04}{0,8}$$

$$= 66,3 \text{ kNm}$$

Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 150 \text{ mm}$ (asumsi).

Tinggi efektif balok :

$$d = h - d'$$

$$= 500 - 150$$

$$= 350 \text{ mm}$$

Faktor tahanan momen,

$$Rn = \frac{Mn \times 10^6}{b \times d^2}$$

$$= \frac{66,3 \times 10^6}{300 \times 350^2}$$

$$= 1,8$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < R_{maks}$ (aman).

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\rho = 0,85 \frac{f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85f_c'}} \right]$$

$$= 0,85 \frac{18}{240} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,8}{0,85 \times 18}} \right]$$

$$= 0,00802$$

Kontrol rasio tulangan, $\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$ (aman).

Luas tulangan yang diperlukan :

$$As = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00802 \times 300 \times 350$$

$$= 842,2778 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan :

$$n = \frac{As}{\frac{\pi}{4} D^2}$$

$$= \frac{842,2778}{\frac{\pi}{4} 13^2}$$

$$= 6,3457 \approx 7$$

Luas tulangan yang dipakai :

$$As = n \frac{\pi}{4} D^2$$

$$= 7 \frac{\pi}{4} 13^2$$

$$= 929,1260 \text{ mm}^2$$

Jumlah baris tulangan :

$$n_b = \frac{n}{n_s}$$

$$= \frac{7}{4}$$

$$= 1,75$$

Tabel 4.13 Tulangan momen negatif *sloof*.

Baris ke-	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak $n_i \times y_i$
1	4	56,5	226
2	3	94,5	283,5
n =	7	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	509,5

Letak titik berat tulangan :

$$d' = \frac{\Sigma[n_i \times y_i]}{n}$$

$$= \frac{509,5}{7}$$

$$= 72,79 \text{ mm}$$

Tinggi efektif balok :

$$d = h - d'$$

$$= 500 - 72,79$$

$$= 427,2 \text{ mm}$$

$$a = \frac{Asfy}{0,85f'c b}$$

$$= \frac{929,1260 \times 240}{0,85 \times 18 \times 300}$$

$$= 48,582 \text{ mm}$$

Momen nominal :

$$Mn = Asfy \left(d - \frac{a}{2} \right) 10^{-6}$$

$$= 929,1260 \times 240 \left(427,2 - \frac{48,582}{2} \right) 10^{-6}$$

$$= 89,848 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{48,582}{0,85} \\
 &= 57,1550
 \end{aligned}$$

Regangan tulangan tarik :

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{427,2-57,1550}{57,1550} \times 0,003 \\
 &= 0,0194
 \end{aligned}$$

Kontrol regangan tulangan tarik $\varepsilon_t > 0,005$, maka $\phi = 0,9$.

Tahanan momen balok :

$$\begin{aligned}
 \phi Mn &= 0,9 \times 89,848 \\
 &= 80,863 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Kontrol momen balok,

$$\begin{aligned}
 \phi Mn &\geq Mu^- \\
 80,863 &> 53,300 \quad (\text{aman}).
 \end{aligned}$$

k) Tulangan geser :

Kuat geser beton,

$$\begin{aligned}
 Vc &= \frac{\sqrt{f'c}}{6} bd 10^{-3} \\
 &= \frac{\sqrt{18}}{6} 300 \times 250 \times 10^{-3} \\
 &= 53,033 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tahanan geser beton :

$$\begin{aligned}
 \phi Vc &= 0,75 \times 53,033 \\
 &= 39,775 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$Vu > \phi Vc$, maka diperlukan tulangan geser.

Kuat geser sengkang :

$$\begin{aligned}
 Vs &= \frac{Vu - \phi vc}{\phi} \\
 &= \frac{65,84 - 39,775}{0,75} \\
 &= 34,754 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan geser sengkang :

$$Av = n_s \frac{\pi}{4} P^2$$

$$= 2 \frac{\pi}{4} 10^2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

Jarak sengkang yang diperlukan :

$$s = Avfy \frac{d}{Vs \times 10^3}$$

$$= 157,08 \times 240 \frac{250}{34,754 \times 10^3}$$

$$= 271,19 \text{ mm}$$

Jarak sengkang maksimum :

$$s_{maks} = \frac{d}{2}$$

$$= \frac{443}{2}$$

$$= 221,5 \text{ mm}$$

Jarak sengkang yang digunakan :

$$s = 220 \text{ mm}$$

Sengkang yang digunakan, 2P10 – 220

4.2.3. Balok Induk

a. Tanah keras (S_c)

1) Data balok induk :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 400 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 300 mm
Tinggi balok, h	= 400 mm
Diameter tulangan, D	= 16 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Momen rencana positif, M_u^+	= 59,23 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 110,89 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 82,84 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.14 Hasil perhitungan tulangan balok induk pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	58	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, n_s	4	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0195	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	4,733	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	40	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	41	mm

Tabel 4.15 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok induk pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, Mn	74,0375	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	100	mm
3	Tinggi efektif balok, d	300	mm
4	Faktor tahanan momen, Rn	2,7421	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0076	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,0035	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,0146	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0076	
9	Luas tulangan yang diperlukan, As	685,1635	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3,41	
11	Luas tulangan yang digunakan, As	804,2477	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1	
13	Letak titik berat tulangan, d'	58	mm
14	Momen nominal, Mn	98,748	kNm
15	Nilai c	82,4552	
16	Regangan netto, ε_t	0,0094	

Lanjutan dari Tabel 4.15

17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	88,8729	kNm

Tabel 4.16 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok induk pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, Mn	138,6125	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	80	mm
3	Tinggi efektif balok, d	320	mm
4	Faktor tahanan momen, Rn	4,5121	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,01375	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00350	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,01463	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,01375	
9	Luas tulangan yang diperlukan, As	1320,2577	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	6,56	
11	Luas tulangan yang digunakan, As	1407,4335	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1,75	
13	Letak titik berat tulangan, d'	75,57	mm
14	Momen nominal, Mn	148,120	kNm
15	Nilai c	144,2967	
16	Regangan netto, ε_t	0,0037	
17	Nilai ϕ	0,75	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	111,090	kNm

Tabel 4.17 Baris tulangan momen positif dan negatif balok induk pada kondisi tanah keras.

Baris ke-	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	4	58	232	4	58	232
2	0	0	0	3	99	297
n=	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	232	7	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	529

Tabel 4.18 Hasil perhitungan tulangan geser balok induk pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	82,84	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	63,640	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	47,730	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	46,814	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	241,59	mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	170	mm

b. Tanah sedang (Sd)

1) Data balok induk :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 400 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 300 mm
Tinggi balok, h	= 400 mm
Diameter tulangan, D	= 16 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Momen rencana positif, M_u^+	= 59,23 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 110,89 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 82,84 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.19 Hasil perhitungan tulangan balok induk pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	58	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, n_s	4	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0195	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	4,733	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	40	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	41	mm

Tabel 4.20 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok induk pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, Mn	74,0375	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	100	mm
3	Tinggi efektif balok, d	300	mm
4	Faktor tahanan momen, Rn	2,7421	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0076	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,0035	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,0146	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0076	
9	Luas tulangan yang diperlukan, As	685,1635	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3,41	
11	Luas tulangan yang digunakan, As	804,2477	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1	
13	Letak titik berat tulangan, d'	58	mm
14	Momen nominal, Mn	98,748	kNm
15	Nilai c	82,4552	

Lanjutan dari Tabel 4.20

16	Regangan netto, ε_t	0,0094	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	88,8729	kNm

Tabel 4.21 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok induk pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, Mn	138,6125	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	80	mm
3	Tinggi efektif balok, d	320	mm
4	Faktor tahanan momen, Rn	4,5121	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,01375	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00350	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,01463	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,01375	
9	Luas tulangan yang diperlukan, As	1320,2577	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	6,56	
11	Luas tulangan yang digunakan, As	1407,4335	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1,75	
13	Letak titik berat tulangan, d'	75,57	mm
14	Momen nominal, Mn	148,120	kNm
15	Nilai c	144,2967	
16	Regangan netto, ε_t	0,0037	
17	Nilai ϕ	0,75	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	111,090	kNm

Tabel 4.22 Baris tulangan momen positif dan negatif balok induk pada kondisi tanah sedang.

Baris	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	4	58	232	4	58	232
2	0	0	0	3	99	297
n=	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	232	7	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	529

Tabel 4.23 Hasil perhitungan tulangan geser balok induk pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	82,840	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	63,640	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	47,730	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	46,814	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	241,59	mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	170	mm

c. Tanah lunak (Se)

1) Data balok induk :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 400 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 300 mm
Tinggi balok, h	= 400 mm
Diameter tulangan, D	= 16 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Momen rencana positif, M_u^+	= 59,23 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 110,89 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 82,84 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.24 Hasil perhitungan tulangan balok induk pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	58	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, n_s	4	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0195	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	4,733	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	40	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	41	mm

Tabel 4.25 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok induk pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, Mn	74,0375	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	100	mm
3	Tinggi efektif balok, d	300	mm
4	Faktor tahanan momen, Rn	2,7421	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0076	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,0035	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,0146	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0076	
9	Luas tulangan yang diperlukan, As	685,1635	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3,41	
11	Luas tulangan yang digunakan, As	804,2477	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1	
13	Letak titik berat tulangan, d'	58	mm
14	Momen nominal, Mn	98,748	kNm
15	Nilai c	82,4522	

Lanjutan dari Tabel 4.25

16	Regangan netto, ε_t	0,0094	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	88,8729	kNm

Tabel 4.26 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok induk pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, Mn	138,6125	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	80	mm
3	Tinggi efektif balok, d	320	mm
4	Faktor tahanan momen, Rn	4,5121	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,01375	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00350	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,01463	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,01375	
9	Luas tulangan yang diperlukan, As	1320,2577	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	6,56	
11	Luas tulangan yang digunakan, As	1407,4335	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1,75	
13	Letak titik berat tulangan, d'	75,57	mm
14	Momen nominal, Mn	148,120	kNm
15	Nilai c	144,2967	
16	Regangan netto, ε_t	0,0037	
17	Nilai ϕ	0,75	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	111,090	kNm

Tabel 4.27 Baris tulangan momen positif dan negatif balok induk pada kondisi tanah lunak.

Baris ke-	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	4	58	232	4	58	232
2	0	0	0	3	99	297
n=	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	232	7	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	529

Tabel 4.28 Hasil perhitungan tulangan geser balok induk pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	82,840	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	63,640	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	47,730	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	46,814	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	241,59	mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	170	mm

4.2.4. Balok Anak

a. Tanah keras (S_c)

1) Data balok anak :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 240 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 200 mm
Tinggi balok, h	= 300 mm
Diameter tulangan, D	= 13 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Momen rencana positif, M_u^+	= 13,73 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 22,76 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 35,58 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.29 Hasil perhitungan tulangan balok anak pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	56,5	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, n_s	2	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	61	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	38	mm

Tabel 4.30 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok anak pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, Mn	17,1625	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	100	mm
3	Tinggi efektif balok, d	200	mm
4	Faktor tahanan momen, Rn	2,1453	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0097	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,0058	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,029	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0097	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	368,9040	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	2,91	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	398,1969	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1,5	
13	Letak titik berat tulangan, d'	69,17	mm
14	Momen nominal, Mn	20,568	kNm
15	Nilai c	36,7425	

16	Regangan netto, ε_t	0,0158	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	18,5110	kNm

Tabel 4.31 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok anak pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, Mn	28,45	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	80	mm
3	Tinggi efektif balok, d	220	mm
4	Faktor tahanan momen, Rn	2,939	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,01372	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00583	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,02903	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,01372	
9	Luas tulangan yang diperlukan, As	603,8157	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	4,55	
11	Luas tulangan yang digunakan, As	633,6614	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	2,5	
13	Letak titik berat tulangan, d'	86,9	mm
14	Momen nominal, Mn	29,052	kNm
15	Nilai c	61,2375	
16	Regangan netto, ε_t	0,0074	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	26,817	kNm

Tabel 4.32 Baris tulangan momen positif dan negatif balok anak pada kondisi tanah keras.

Baris ke-	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	2	56,5	113	2	56,5	113
2	1	94,5	94,5	2	94,5	189
3	0	0	0	1	132,5	132,5
n=	3	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	207,5	5	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	434,5

Tabel 4.33 Hasil perhitungan tulangan geser balok anak pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	35,580	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	28,284	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	21,213	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	19,156	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	393,61	mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	110	mm

b. Tanah sedang (Sd)

1) Data balok anak :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 240 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 200 mm
Tinggi balok, h	= 300 mm
Diameter tulangan, D	= 13 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Momen rencana positif, M_u^+	= 13,95 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 22,76 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 40,23 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.34 Hasil perhitungan tulangan balok anak pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	56,5	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, n_s	2	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	61	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	38	mm

Tabel 4.35 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok anak pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, Mn	17,4375	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	100	mm
3	Tinggi efektif balok, d	200	mm
4	Faktor tahanan momen, Rn	2,1797	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0098	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00583	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,02903	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0098	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	393,6685	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	2,96	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	398,1969	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1,5	
13	Letak titik berat tulangan, d'	69,17	mm
14	Momen nominal, Mn	20,568	kNm
15	Nilai c	36,7425	

Lanjutan dari Tabel 4.35

16	Regangan netto, ε_t	0,0158	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	18,5110	kNm

Tabel 4.36 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok anak pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, Mn	28,45	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	80	mm
3	Tinggi efektif balok, d	220	mm
4	Faktor tahanan momen, Rn	2,939	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,01372	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00583	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,02903	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,01372	
9	Luas tulangan yang diperlukan, As	603,8157	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	4,55	
11	Luas tulangan yang digunakan, As	633,6614	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	2,5	
13	Letak titik berat tulangan, d'	86,9	mm
14	Momen nominal, Mn	29,797	kNm
15	Nilai c	61,2375	
16	Regangan netto, ε_t	0,0074	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	26,817	kNm

Tabel 4.37 Baris tulangan momen positif dan negatif balok anak pada kondisi tanah sedang.

Baris ke-	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	2	56,5	113	2	56,5	113
2	1	94,5	94,5	2	94,5	189
3	0	0	0	1	132,5	132,5

Lanjutan dari Tabel 4.37

$$n = 3 \quad \Sigma[n_i \times y_i] = 207,5 \quad 5 \quad \Sigma[n_i \times y_i] = 434,5$$

Tabel 4.38 Hasil perhitungan tulangan geser balok anak pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	40,230	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	28,284	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	21,213	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	25,356	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	297,36	mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	110	mm

c. Tanah lunak (Sc)

1) Data balok anak :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 240 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 200 mm
Tinggi balok, h	= 300 mm
Diameter tulangan, D	= 13 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Momen rencana positif, M_u^+	= 13,73 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 22,76 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 35,96 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75

Faktor distribusi tegangan beton, $\beta_1 = 0,85$

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.39 Hasil perhitungan tulangan balok anak pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	56,5	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, n_s	2	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	61	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	38	mm

Tabel 4.40 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok anak pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, Mn	17,1625	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	100	mm
3	Tinggi efektif balok, d	200	mm
4	Faktor tahanan momen, Rn	2,1453	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0097	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00583	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,02903	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0097	
9	Luas tulangan yang diperlukan, As	368,9040	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	2,91	
11	Luas tulangan yang digunakan, As	398,1969	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1,5	
13	Letak titik berat tulangan, d'	69,17	mm

Lanjutan dari Tabel 4.40

14	Momen nominal, Mn	20,568	kNm
15	Nilai c	36,7425	
16	Regangan netto, ε_t	0,0158	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	18,5110	kNm

Tabel 4.41 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok anak pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, Mn	28,45	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	80	mm
3	Tinggi efektif balok, d	220	mm
4	Faktor tahanan momen, Rn	2,939	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,01372	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00583	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,02903	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,01372	
9	Luas tulangan yang diperlukan, As	603,8157	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	4,55	
11	Luas tulangan yang digunakan, As	633,6614	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	2,5	
13	Letak titik berat tulangan, d'	86,9	mm
14	Momen nominal, Mn	29,797	kNm
15	Nilai c	61,2375	
16	Regangan netto, ε_t	0,0074	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	26,817	kNm

Tabel 4.42 Baris tulangan momen positif dan negatif balok anak pada kondisi tanah lunak.

Baris ke-	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	2	56,5	113	2	56,5	113

Lanjutan dari Tabel 4.42

2	1	94,5	94,5	2	94,5	189
3	0	0	0	1	132,5	132,5
n=	3	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	207,5	5	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	434,5

Tabel 4.43 Hasil perhitungan tulangan geser balok anak pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	35,960	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	28,284	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	21,213	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	19,662	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	383,46	mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	Mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	110	Mm

4.2.5. Balok Bordes

a. Tanah keras (Sc)

1) Data balok bordes :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 240 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 200 mm
Tinggi balok, h	= 300 mm
Diameter tulangan, D	= 13 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Momen rencana positif, M_u^+	= 16,03 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 21,87 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 20,27 kN

Faktor reduksi kuat lentur, ϕ = 0,80

Faktor reduksi kuat geser, ϕ = 0,75

Faktor distribusi tegangan beton, β_1 = 0,85

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.44 Hasil perhitungan tulangan balok bordes pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	56,5	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, n_s	2	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	61	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	38	mm

Tabel 4.45 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok bordes pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, Mn	20,0375	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	100	Mm
3	Tinggi efektif balok, d	200	Mm
4	Faktor tahanan momen, Rn	2,5047	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0115	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,0058	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,0290	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0115	
9	Luas tulangan yang diperlukan, As	458,7048	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3,46	
11	Luas tulangan yang digunakan, As	530,9292	mm ²

Lanjutan dari Tabel 4.45

12	Jumlah baris tulangan, n_b	2	
13	Letak titik berat tulangan, d'	75,5	Mm
14	Momen nominal, Mn	25,953	kNm
15	Nilai c	48,99	
16	Regangan netto, ε_t	0,0107	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	23,3581	kNm

Tabel 4.46 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok bordes pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, Mn	27,3375	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	100	Mm
3	Tinggi efektif balok, d	200	Mm
4	Faktor tahanan momen, Rn	3,4172	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,01633	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00583	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,02903	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,01633	
9	Luas tulangan yang diperlukan, As	653,1894	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	4,9	
11	Luas tulangan yang digunakan, As	663,6614	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	2,5	
13	Letak titik berat tulangan, d'	86,9	Mm
14	Momen nominal, Mn	29,797	kNm
15	Nilai c	61,2375	
16	Regangan netto, ε_t	0,0074	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	26,817	kNm

Tabel 4.47 Baris tulangan momen positif dan negatif balok bordes pada kondisi tanah keras.

Baris	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	2	56,5	113	2	56,5	113
2	2	94,5	189	2	94,5	189
3	0	0	0	1	132,5	132,5
n=	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	302	5	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	434,5

Tabel 4.48 Hasil perhitungan tulangan geser balok bordes pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	20,270	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	28,284	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	21,213	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	20,270	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	371,97	Mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	Mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	110	Mm

b. Tanah sedang (Sd)

1) Data balok bordes :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 240 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 200 mm
Tinggi balok, h	= 300 mm
Diameter tulangan, D	= 13 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm

Momen rencana positif, M_u^+	= 17,83 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 23,67 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 21,57 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.49 Hasil perhitungan tulangan balok bordes pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	56,5	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, ns	2	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	61	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	38	mm

Tabel 4.50 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok bordes pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	22,2875	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	100	mm
3	Tinggi efektif balok, d	200	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	2,7859	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0129	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,0058	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,0290	

Lanjutan dari Tabel 4.50

8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0129	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	516,6645	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3,89	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	530,9292	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	2	
13	Letak titik berat tulangan, d'	75,5	mm
14	Momen nominal, Mn	25,953	kNm
15	Nilai c	48,99	
16	Regangan netto, ε_t	0,0107	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	23,3581	kNm

Tabel 4.51 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok bordes pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, Mn	29,5875	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	100	mm
3	Tinggi efektif balok, d	200	mm
4	Faktor tahanan momen, Rn	3,6984	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,01793	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00583	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,02903	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,01793	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	717,2894	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	5,4	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	796,3937	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	3	
13	Letak titik berat tulangan, d'	94,5	mm
14	Momen nominal, Mn	33,309	kNm
15	Nilai c	73,4850	
16	Regangan netto, ε_t	0,0054	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	29,978	kNm

Tabel 4.52 Baris tulangan momen positif dan negatif balok bordes pada kondisi tanah sedang.

Baris ke -	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	2	56,5	113	2	56,5	113
2	2	94,5	189	2	94,5	189
3	0	0	0	2	132,5	265
n=	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	302	6	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	567

Tabel 4.53 Hasil perhitungan tulangan geser balok bordes pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	21,570	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	28,284	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	21,213	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	0,476	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	15848,99	mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	110	mm

c. Tanah lunak (Se)

1) Data balok bordes :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 240 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 200 mm
Tinggi balok, h	= 300 mm
Diameter tulangan, D	= 13 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm

Momen rencana positif, M_u^+	= 15,82 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 21,67 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 20,16 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.54 Hasil perhitungan tulangan balok bordes pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	56,5	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, ns	2	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	61	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	38	mm

Tabel 4.55 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok bordes pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	19,7750	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	100	mm
3	Tinggi efektif balok, d	200	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	2,4719	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0113	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,0058	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,0290	

Lanjutan dari Tabel 4.55

8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0113	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	452,0471	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3,41	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	530,9292	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	2	
13	Letak titik berat tulangan, d'	75,5	mm
14	Momen nominal, M_n	25,953	kNm
15	Nilai c	48,99	
16	Regangan netto, ε_t	0,0107	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	23,3581	kNm

Tabel 4.56 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok bordes pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	27,0875	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	130	mm
3	Tinggi efektif balok, d	170	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	4,6864	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,02407	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00583	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,02903	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,02407	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	818,4228	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	6,2	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	929,1260	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	3,5	
13	Letak titik berat tulangan, d'	99,93	mm
14	Momen nominal, M_n	36,489	kNm
15	Nilai c	85,7325	
16	Regangan netto, ε_t	0,0040	
17	Nilai ϕ	0,75	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	27,367	kNm

Tabel 4.57 Baris tulangan momen positif dan negatif balok
bordes pada kondisi tanah lunak.

Baris	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	2	56,5	113	2	56,5	113
2	2	94,5	189	2	94,5	189
3	0	0	0	3	132,5	397,5
n=	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	302	7	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	699,5

Tabel 4.58 Hasil perhitungan tulangan geser balok bordes pada
kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	20,160	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	28,284	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	21,213	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	20,160	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	374	mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	110	mm

4.2.6. Balok *Ringbalk*

a. Tanah keras (Sc)

1) Data balok *ringbalk* :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 240 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 300 mm
Tinggi balok, h	= 400 mm
Diameter tulangan, D	= 13 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm

Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Momen rencana positif, M_u^+	= 20,34 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 16,76 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 26,22 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.59 Hasil perhitungan penulangan balok *ringbalk* pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	56,5	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, n_s	4	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	45	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	38	mm

Tabel 4.60 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok *ringbalk* pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	25,4250	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	150	mm
3	Tinggi efektif balok, d	250	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	1,3560	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0059	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,0058	

Lanjutan dari Tabel 4.60

7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,0290	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0059	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	444,403	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3,34	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	530,9292	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1	
13	Letak titik berat tulangan, d'	56,5	mm
14	Momen nominal, M_n	42,001	kNm
15	Nilai c	32,66	
16	Regangan netto, ε_t	0,0286	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	37,8010	kNm

Tabel 4.61 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok *ringbalk* pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	20,950	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	200	mm
3	Tinggi efektif balok, d	200	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	1,7458	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,00774	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00583	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,02903	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,00774	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	464,6847	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3,5	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	530,9292	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1	
13	Letak titik berat tulangan, d'	56,5	mm
14	Momen nominal, M_n	42,001	kNm
15	Nilai c	32,66	
16	Regangan netto, ε_t	0,0286	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	37,801	kNm

Tabel 4.62 Baris tulangan momen positif dan negatif balok *ringbalk* pada kondisi tanah keras.

Baris	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	4	56,5	226	4	56,5	226
2	0	0	0	0	0	0
n=	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	226	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	226

Tabel 4.63 Hasil perhitungan tulangan geser balok *ringbalk* pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	26,220	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	53,033	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	39,775	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	26,220	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	359,45	mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	170	mm

b. Tanah sedang (Sd)

1) Data balok *ringbalk* :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 240 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 300 mm
Tinggi balok, h	= 400 mm
Diameter tulangan, D	= 13 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Momen rencana positif, M_u^+	= 21,61 kNm

Momen rencana negatif, M_u^-	= 17,92 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 27,59 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.64 Hasil perhitungan tulangan balok *ringbalk* pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	56,5	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, n_s	4	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	45	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	38	mm

Tabel 4.65 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok *ringbalk* pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	27,0125	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	150	mm
3	Tinggi efektif balok, d	250	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	1,4407	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0063	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,0058	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,0290	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0063	

Lanjutan dari Tabel 4.65

9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	473,6713	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3,56	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	530,9292	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1	
13	Letak titik berat tulangan, d'	56,5	mm
14	Momen nominal, M_n	42,001	kNm
15	Nilai c	32,66	
16	Regangan netto, ε_t	0,0286	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	37,8010	kNm

Tabel 4.66 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok *ringbalk* pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	22,4	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	20	mm
3	Tinggi efektif balok, d	200	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	1,8667	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,00832	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00583	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,02903	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,00832	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	499,2482	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3,76	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	530,9292	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1	
13	Letak titik berat tulangan, d'	56,5	mm
14	Momen nominal, M_n	42,001	kNm
15	Nilai c	32,66	
16	Regangan netto, ε_t	0,0286	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	37,801	kNm

Tabel 4.67 Baris tulangan momen positif dan negatif balok *ringbalk* pada kondisi tanah sedang.

Baris ke-	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	4	56,5	226	4	56,5	226
2	0	0	0	0	0	0
n=	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	226	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	226

Tabel 4.68 Hasil perhitungan tulangan geser balok *ringbalk* pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	27,590	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	53,033	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	39,775	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	27,590	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	341,60	mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	170	mm

c. Tanah lunak (Se)

1) Data balok *ringbalk* :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 240 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 300 mm
Tinggi balok, h	= 400 mm
Diameter tulangan, D	= 13 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Momen rencana positif, M_u^+	= 20,58 kNm

Momen rencana negatif, M_u^-	= 16,96 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 26,49 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.69 Hasil perhitungan tulangan balok *ringbalk* pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	56,5	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, n_s	4	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	45	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	38	mm

Tabel 4.70 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok *ringbalk* pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	25,7250	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	150	mm
3	Tinggi efektif balok, d	250	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	1,3720	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0060	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,0058	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,0290	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0060	

Lanjutan dari Tabel 4.70

9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	449,9188	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3,38	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	530,9292	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1	
13	Letak titik berat tulangan, d'	56,5	mm
14	Momen nominal, M_n	42,001	kNm
15	Nilai c	32,66	
16	Regangan netto, ε_t	0,0286	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	37,8010	kNm

Tabel 4.71 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok *ringbalk* pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	21,2	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	200	mm
3	Tinggi efektif balok, d	200	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	1,7667	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,00784	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00583	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,02903	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,00784	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	470,6185	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3,55	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	530,9292	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1	
13	Letak titik berat tulangan, d'	56,5	mm
14	Momen nominal, M_n	42,001	kNm
15	Nilai c	32,66	
16	Regangan netto, ε_t	0,0286	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	37,801	kNm

Tabel 4.72 Baris tulangan momen positif dan negatif balok *ringbalk* pada kondisi tanah lunak.

Baris	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	4	56,5	226	4	56,5	226
2	0	0	0	0	0	0
n=	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	226	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	226

Tabel 4.73 Hasil perhitungan tulangan geser balok *ringbalk* pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	26,490	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	53,033	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	39,775	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	26,490	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	355,79	mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	170	mm

4.2.7. Balok Kuda-kuda

a. Tanah keras (Sc)

1) Data balok kuda-kuda :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 240 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 250 mm
Tinggi balok, h	= 250 mm
Diameter tulangan, D	= 10 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm

Momen rencana positif, M_u^+	= 2,80 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 3,45 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 3,07 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.74 Hasil perhitungan tulangan balok kuda-kuda pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	55	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, n_s	4	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	33	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	35	mm

Tabel 4.75 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok kuda-kuda pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	3,5	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	160	mm
3	Tinggi efektif balok, d	90	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	1,7284	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0077	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,0058	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,0290	

Lanjutan dari Tabel 4.75

8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0077	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	172,3972	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	2,2	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	235,6194	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	0,75	
13	Letak titik berat tulangan, d'	55	mm
14	Momen nominal, M_n	10,609	kNm
15	Nilai c	17,3929	
16	Regangan netto, ε_t	0,0306	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	9,5481	kNm

Tabel 4.76 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok kuda-kuda pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	4,3125	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	170	mm
3	Tinggi efektif balok, d	80	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	2,6953	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,01245	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00583	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,02903	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,01245	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	248,9049	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3,2	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	314,1593	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1	
13	Letak titik berat tulangan, d'	55	mm
14	Momen nominal, M_n	13,960	kNm
15	Nilai c	23,1905	
16	Regangan netto, ε_t	0,0222	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	12,564	kNm

Tabel 4.77 Baris tulangan momen positif dan negatif balok kuda-kuda pada kondisi tanah keras.

Baris ke-	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	3	55	165	4	55	220
n=	3	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	165	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	220

Tabel 4.78 Hasil perhitungan tulangan geser balok kuda-kuda pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	3,070	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	15,910	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	11,932	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	3,070	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	1105,19	mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	90	mm

b. Tanah sedang (Sd)

1) Data balok kuda-kuda :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 240 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 250 mm
Tinggi balok, h	= 250 mm
Diameter tulangan, D	= 10 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Momen rencana positif, M_u^+	= 2,99 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 3,68 kNm

Gaya geser rencana, V_u	= 3,29 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.79 Hasil perhitungan tulangan balok kuda-kuda pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	55	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, ns	4	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	33	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	35	mm

Tabel 4.80 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok kuda-kuda pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	3,7375	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	160	mm
3	Tinggi efektif balok, d	90	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	1,8457	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0082	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,0058	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,0290	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0082	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	184,9572	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	2,35	

Lanjutan dari Tabel 4.80

11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	235,6194	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	0,75	
13	Letak titik berat tulangan, d'	55	mm
14	Momen nominal, M_n	10,609	kNm
15	Nilai c	17,3929	
16	Regangan netto, ε_t	0,0306	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	9,5481	kNm

Tabel 4.81 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok kuda-kuda pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	4,6	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	170	mm
3	Tinggi efektif balok, d	80	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	2,8750	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,01338	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00583	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,02903	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,01338	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	267,6830	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3,41	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	314,1593	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1	
13	Letak titik berat tulangan, d'	55	mm
14	Momen nominal, M_n	13,960	kNm
15	Nilai c	23,1905	
16	Regangan netto, ε_t	0,0222	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	12,564	kNm

Tabel 4.82 Baris tulangan momen positif dan negatif balok kuda-kuda pada kondisi tanah sedang.

Baris ke-	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	3	55	165	4	55	220
n=	3	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	165	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	220

Tabel 4.83 Hasil perhitungan tulangan geser balok kuda-kuda pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	3,290	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	15,910	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	11,932	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	3,290	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	1031,28	mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	90	mm

c. Tanah lunak (Se)

1) Data balok kuda-kuda :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 240 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 250 mm
Tinggi balok, h	= 250 mm
Diameter tulangan, D	= 10 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Momen rencana positif, M_u^+	= 2,74 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 3,48 kNm

Gaya geser rencana, V_u	= 3,01 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.84 Hasil perhitungan tulangan balok kuda-kuda pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	55	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, n_s	4	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	33	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	35	mm

Tabel 4.85 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok kuda-kuda pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	3,4250	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	160	mm
3	Tinggi efektif balok, d	90	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	1,6914	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0075	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,0058	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,0290	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0075	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	168,4568	mm ²

Lanjutan dari Tabel 4.85

10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	2,14	
11	Luas tulangan yang digunakan, As	235,6194	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	0,75	
13	Letak titik berat tulangan, d'	55	mm
14	Momen nominal, Mn	10,609	kNm
15	Nilai c	17,3929	
16	Regangan netto, ε_t	0,0306	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	9,5481	kNm

Tabel 4.86 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok kuda-kuda pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, Mn	4,35	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	170	mm
3	Tinggi efektif balok, d	80	mm
4	Faktor tahanan momen, Rn	2,7188	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,01257	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00583	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,02903	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,01257	
9	Luas tulangan yang diperlukan, As	251,3347	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	3,2	
11	Luas tulangan yang digunakan, As	314,1593	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	1	
13	Letak titik berat tulangan, d'	55	mm
14	Momen nominal, Mn	13,960	kNm
15	Nilai c	23,1905	
16	Regangan netto, ε_t	0,0222	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕMn	12,564	kNm

Tabel 4.87 Baris tulangan momen positif dan negatif balok kuda-kuda pada kondisi tanah lunak.

Baris ke-	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	3	55	165	4	55	220
n=	3	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	165	4	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	220

Tabel 4.88 Hasil perhitungan tulangan geser balok kuda-kuda pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	3,010	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	15,910	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	11,932	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	3,010	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	157,08	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	1127,22	mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	90	mm

4.2.8. Balok Gording

a. Tanah keras (Sc)

1) Data balok gording :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 240 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 200 mm
Tinggi balok, h	= 200 mm
Diameter tulangan, D	= 10 mm
Diameter sengkang, P	= 8 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 30 mm
Momen rencana positif, M_u^+	= 1,23 kNm

Momen rencana negatif, M_u^-	= 1,24 kNm
Gaya geser rencana, V_u	= 0,77 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.89 Hasil perhitungan tulangan balok gording pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	43	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, n_s	3	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	42	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	35	mm

Tabel 4.90 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok gording pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	1,5375	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	130	mm
3	Tinggi efektif balok, d	70	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	1,5689	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0069	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,0058	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,0290	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0069	

Lanjutan dari Tabel 4.90

9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	96,7633	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	1,23	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	157,0796	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	0,67	
13	Letak titik berat tulangan, d'	43	mm
14	Momen nominal, M_n	5,687	kNm
15	Nilai c	14,4941	
16	Regangan netto, ε_t	0,0295	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	5,1179	kNm

Tabel 4.91 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok gording pada kondisi tanah keras.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	1,55	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	130	mm
3	Tinggi efektif balok, d	70	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	1,5816	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,00697	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00583	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,02903	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,00697	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	97,5983	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	1,24	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	157,0796	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	0,67	
13	Letak titik berat tulangan, d'	43	mm
14	Momen nominal, M_n	5,687	kNm
15	Nilai c	14,4941	
16	Regangan netto, ε_t	0,0295	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	5,118	kNm

Tabel 4.92 Baris tulangan momen positif dan negatif balok gording pada kondisi tanah keras.

Baris ke-	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	2	43	86	2	43	86
n=	2	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	86	2	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	86

Tabel 4.93 Hasil perhitungan tulangan geser balok gording pada kondisi tanah keras

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	0,770	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	9,899	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	7,425	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	0,770	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	100,53	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	2193,40	mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	70	mm

b. Tanah sedang (Sd)

1) Data balok gording :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 240 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 200 mm
Tinggi balok, h	= 200 mm
Diameter tulangan, D	= 10 mm
Diameter sengkang, P	= 8 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 30 mm
Momen rencana positif, M_u^+	= 1,32 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 1,33 kNm

Gaya geser rencana, V_u	= 0,83 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.94 Hasil perhitungan tulangan balok gording pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	43	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, ns	3	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	42	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	35	mm

Tabel 4.95 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok gording pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	1,65	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	130	mm
3	Tinggi efektif balok, d	70	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	1,6837	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0075	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,0058	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,0290	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0075	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	104,3098	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	1,3	

Lanjutan dari Tabel 4.95

11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	157,0796	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	0,67	
13	Letak titik berat tulangan, d'	43	mm
14	Momen nominal, M_n	5,687	kNm
15	Nilai c	14,4941	
16	Regangan netto, ε_t	0,0295	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	5,1179	kNm

Tabel 4.96 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok gording pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	1,6625	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	130	mm
3	Tinggi efektif balok, d	70	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	1,6964	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,00751	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00583	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,02903	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,00751	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	105,1528	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	2	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	157,0796	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	0,67	
13	Letak titik berat tulangan, d'	43	mm
14	Momen nominal, M_n	5,687	kNm
15	Nilai c	14,4941	
16	Regangan netto, ε_t	0,0295	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	5,118	kNm

Tabel 4.97 Baris tulangan momen positif dan negatif balok gording pada kondisi tanah sedang.

Baris ke-	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	2	43	86	2	43	86
n=	2	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	86	2	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	86

Tabel 4.98 Hasil perhitungan tulangan geser balok gording pada kondisi tanah sedang.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	0,830	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	9,899	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	7,425	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	0,830	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	100,53	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	2034,84	mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	70	mm

c. Tanah lunak (Se)

1) Data balok gording :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. lentur)	= 240 MPa
Tegangan leleh baja, f_y (tul. geser)	= 240 MPa
Lebar balok, b	= 200 mm
Tinggi balok, h	= 200 mm
Diameter tulangan, D	= 10 mm
Diameter sengkang, P	= 8 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 30 mm
Momen rencana positif, M_u^+	= 1,21 kNm
Momen rencana negatif, M_u^-	= 1,22 kNm

Gaya geser rencana, V_u	= 0,68 kN
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80
Faktor reduksi kuat geser, ϕ	= 0,75
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85

2) Perhitungan :

Dengan melakukan perhitungan menggunakan cara yang sama (analog) dengan perhitungan pada balok *sloof*, maka didapat hasil sebagaimana dimuat dalam tabel berikut :

Tabel 4.99 Hasil perhitungan tulangan balok gording pada kondisi lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Jarak tulangan ke sisi luar beton, d_s	43	mm
2	Jumlah tulangan dalam satu baris, ns	3	
3	Rasio tulangan pada kondisi <i>balance</i> , ρ_b	0,0387	
4	Faktor tahanan momen maksimum, R_{maks}	5,3807	
5	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, x	42	mm
6	Jarak horizontal pusat ke pusat antara tulangan, y	35	mm

Tabel 4.100 Hasil perhitungan tulangan momen positif balok gording pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	1,5125	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	130	mm
3	Tinggi efektif balok, d	70	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	1,5434	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,0068	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,0058	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,0290	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,0068	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	95,0960	mm ²

Lanjutan dari Tabel 4.100

10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	1,2	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	157,0796	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	0,67	
13	Letak titik berat tulangan, d'	43	mm
14	Momen nominal, M_n	5,687	kNm
15	Nilai c	14,4941	
16	Regangan netto, ε_t	0,0295	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	5,1179	kNm

Tabel 4.101 Hasil perhitungan tulangan momen negatif balok gording pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Momen nominal rencana, M_n	1,525	kNm
2	Perkiraan jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, d'	130	mm
3	Tinggi efektif balok, d	70	mm
4	Faktor tahanan momen, R_n	1,5561	
5	Rasio tulangan yang diperlukan, ρ	0,00685	
6	Rasio tulangan minimum, ρ_{min}	0,00583	
7	Rasio tulangan maksimum, ρ_{maks}	0,02903	
8	Rasio tulangan yang digunakan, ρ	0,00685	
9	Luas tulangan yang diperlukan, A_s	95,9292	mm ²
10	Jumlah tulangan yang diperlukan, n	1,22	
11	Luas tulangan yang digunakan, A_s	157,0796	mm ²
12	Jumlah baris tulangan, n_b	0,67	
13	Letak titik berat tulangan, d'	43	mm
14	Momen nominal, M_n	5,687	kNm
15	Nilai c	14,4941	
16	Regangan netto, ε_t	0,0295	
17	Nilai ϕ	0,9	
18	Tahanan momen balok, ϕM_n	5,118	kNm

Tabel 4.102 Baris tulangan momen positif dan negatif balok gording pada kondisi tanah lunak.

Baris ke-	Positif			Negatif		
	n_i	y_i	$n_i \times y_i$	n_i	y_i	$n_i \times y_i$
1	2	43	86	2	43	86
n=	2	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	86	2	$\Sigma[n_i \times y_i] =$	86

Tabel 4.103 Hasil perhitungan tulangan geser balok gording pada kondisi tanah lunak.

No	Perhitungan	Hasil	Satuan
1	Gaya geser ultimit rencana, V_u	0,680	kN
2	Faktor reduksi kekuatan geser, ϕ	0,75	
3	Tegangan leleh tulangan geser, f_y	240	MPa
4	Kuat geser beton, V_c	9,899	kN
5	Tahanan geser beton, ϕV_c	7,425	kN
6	Kuat geser sengkang, V_s	0,680	kN
7	Jumlah sengkang, n_i	2	
8	Luas tulangan geser sengkang, A_v	100,53	mm ²
9	Jarak sengkang yang diperlukan, s	2483,71	mm
10	Jarak sengkang maksimum, s_{maks}	250	mm
11	Jarak sengkang yang digunakan, s	70	mm

4.2.9. Plat Lantai

a. Data plat lantai :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 240 MPa
Panjang bentang arah x, L_x	= 4 m
Panjang bentang arah y, L_y	= 4,5 m

Koefisien momen plat :

- 1) L_y/L_x = 1,1
- 2) Lapangan x, C_{tx} = 25
- 3) Lapangan y, C_{ty} = 21
- 4) Tumpuan x, C_{tx} = 59
- 5) Tumpuan y, C_{ty} = 54

Diameter tulangan, D	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Tebal plat, h	= 170 mm
Lebar plat yang ditinjau, b	= 1 m
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80

b. Beban plat lantai :

Beban mati (<i>dead load</i>), Q_D	= 5,880 kNm
Beban hidup (<i>live load</i>), Q_L	= 3,0 kNm
Beban rencana terfaktor, Q_U	= 11,856 kNm
Momen rencana (maksimum) plat, M_u	= 11,192 kNm

c. Perhitungan :

1) Jarak tulangan ke sisi luar beton :

$$\begin{aligned} d_s &= t_s + \frac{D}{2} \\ &= 40 + \frac{10}{2} \\ &= 45 \text{ mm} \end{aligned}$$

2) Tebal efektif plat :

$$\begin{aligned} d &= h - d_s \\ &= 170 - 45 \\ &= 125 \text{ mm} \end{aligned}$$

3) Rasio tulangan pada kondisi *balance* :

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85\beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0,85 \times 0,85 \frac{18}{240} \times \frac{600}{600+240} \\ &= 0,0387 \end{aligned}$$

4) Faktor tahanan momen maksimum :

$$\begin{aligned} R_{maks} &= 0,75\rho_b f_y \left[1 - 0,5 \times 0,75\rho_b \frac{f_y}{0,85f_c'} \right] \\ &= 0,75 \times 0,387 \times 240 \left[1 - 0,5 \times 0,75\rho_b \frac{240}{0,85 \times 18} \right] \\ &= 5,3807 \end{aligned}$$

5) Rasio tulangan minimum :

$$\rho = \frac{1,4}{f_y}$$

$$= \frac{1,4}{240}$$

$$= 0,0058$$

6) Momen nominal rencana :

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$= \frac{11,192}{0,80}$$

$$= 13,99 \text{ kNm}$$

7) Faktor tahanan momen :

$$Rn = \frac{Mn \times 10^6}{b \times d^2}$$

$$= \frac{13,99 \times 10^6}{1000 \times 125^2}$$

$$= 0,89537$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < R_{maks}$ (aman).

8) Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\rho = 0,85 \frac{f'c}{fy} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85f'c}} \right]$$

$$= 0,85 \frac{18}{240} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,89537}{0,85 \times 18}} \right]$$

$$= 0,0038$$

Rasio tulangan yang digunakan adalah $\rho = 0,0058$

9) Luas tulangan yang diperlukan :

$$As = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0058 \times 1000 \times 125$$

$$= 725 \text{ mm}^2$$

10) Jarak tulangan yang diperlukan :

$$s = \frac{\pi D^2}{4} \frac{b}{As}$$

$$= \frac{\pi}{4} 10^2 \frac{1000}{725}$$

$$= 108 \text{ mm}$$

11) Jarak tulangan maksimum :

$$s_{maks} = 2h$$

$$= 340 \text{ mm}$$

Sengkang yang digunakan, P10 – 100

12) Luas tulangan terpakai :

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\pi}{4} D^2 \frac{b}{s} \\ &= \frac{\pi}{4} 10^2 \frac{1000}{100} \\ &= 785 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

13) Kontrol lendutan plat,

$$\text{Modulus elastisitas beton, } E_c = 4700\sqrt{f_c'} = 19940 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus elastisitas baja, } E_s = 200000 \text{ MPa}$$

Beban merata pada plat :

$$\begin{aligned} Q &= Q_D + Q_L \\ &= 8,880 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen inersia plat :

$$\begin{aligned} I_g &= \frac{1}{12} b h^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 1000 \times 170^3 \\ &= 409416667 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Modulus keruntuhan lentur beton :

$$\begin{aligned} f_r &= 0,7\sqrt{f_c'} \\ &= 0,7\sqrt{18} \\ &= 2,97 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Perbandingan modulus elastisitas :

$$\begin{aligned} n &= \frac{E_s}{E_c} \\ &= \frac{200000}{19940} \\ &= 10,53 \end{aligned}$$

Jarak garis netral ke sisi atas beton :

$$\begin{aligned} c &= \frac{nA_s}{b} \\ &= \frac{10,53 \times 785}{1000} \\ &= 8,271 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen inersia penampang retak :

$$\begin{aligned} I_{cr} &= \frac{1}{3} b c^3 + nA_s(d - c)^2 \\ &= \frac{1}{3} 1000 \times 8,271^3 + 10,53 \times 785(125 - 8,271)^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 112890253 \text{ mm}^4 \\
 y_t &= \frac{h}{2} \\
 &= \frac{170}{2} \\
 &= 85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Momen retak :

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= \frac{f_r I_g}{y_t} \\
 &= \frac{2,97 \times 409416667}{85} \\
 &= 14304770 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen maksimum akibat beban :

$$\begin{aligned}
 M_a &= \frac{1}{8} Q L x^2 \\
 &= \frac{1}{8} 8,880 \times 4000^2 \\
 &= 17760000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Inersia efektif untuk lendutan :

$$\begin{aligned}
 I_e &= I_g \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 + I_{cr} \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \\
 &= 267835106 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Lendutan elastis akibat beban :

$$\begin{aligned}
 \delta_e &= \frac{5}{382} \times \frac{Q L x^4}{E_c \times I_e} \\
 &= 5,571 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan *slab* lantai :

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\
 &= 0,0063
 \end{aligned}$$

Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati (jangka waktu > 5 tahun), $\zeta = 2,0$

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{\zeta}{1 + 50\rho} \\
 &= 1,5219
 \end{aligned}$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut :

$$\begin{aligned}
 \delta_g &= \lambda Q \frac{5}{382} \times \frac{L x^4}{E_c \times I_e} \\
 &= 8,435
 \end{aligned}$$

Lendutan total :

$$\begin{aligned}\delta_{tot} &= \delta_e + \delta_g \\ &= 5,571 + 8,435 \\ &= 14,006\end{aligned}$$

Kontrol lendutan :

$$\begin{aligned}\delta_{tot} &< Lx/240 \\ \delta_{tot} &< 16,667 \quad (\text{aman}).\end{aligned}$$

4.2.10. Plat Tangga

a. Data plat lantai :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 240 MPa
Panjang bentang arah x, L_x	= 1,5 m
Panjang bentang arah y, L_y	= 3 m

Koefisien momen plat :

1) L_y/L_x	= 2
2) Lapangan x, C_{tx}	= 41
3) Lapangan y, C_{ty}	= 12
4) Tumpuan x, C_{tx}	= 83
5) Tumpuan y, C_{ty}	= 57

Diameter tulangan, D	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Tebal plat, h	= 120 mm
Lebar plat yang ditinjau, b	= 1 m
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80

b. Beban plat lantai :

Beban mati (<i>dead load</i>), Q_D	= 4,680 kNm
Beban hidup (<i>live load</i>), Q_L	= 3,0 kNm
Beban rencana terfaktor, Q_U	= 10,416 kNm
Momen rencana (maksimum) plat, M_u	= 1,945 kNm

c. Perhitungan :

1) Jarak tulangan ke sisi luar beton :

$$\begin{aligned}
 d_s &= t_s + \frac{D}{2} \\
 &= 40 + \frac{10}{2} \\
 &= 45 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

2) Tebal efektif plat :

$$\begin{aligned}
 d &= h - d_s \\
 &= 120 - 45 \\
 &= 75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

3) Rasio tulangan pada kondisi *balance* :

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= 0,85\beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\
 &= 0,85 \times 0,85 \frac{18}{240} \times \frac{600}{600+240} \\
 &= 0,0387
 \end{aligned}$$

4) Faktor tahanan momen maksimum :

$$\begin{aligned}
 R_{maks} &= 0,75\rho_b f_y \left[1 - 0,5 \times 0,75\rho_b \frac{f_y}{0,85f_c'} \right] \\
 &= 0,75 \times 0,387 \times 240 \left[1 - 0,5 \times 0,75\rho_b \frac{240}{0,85 \times 18} \right] \\
 &= 5,3807
 \end{aligned}$$

5) Rasio tulangan minimum :

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{240} \\
 &= 0,0058
 \end{aligned}$$

6) Momen nominal rencana :

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{1,945}{0,80} \\
 &= 2,431 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

7) Faktor tahanan momen :

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mn \times 10^6}{b \times d^2} \\
 &= \frac{2,431 \times 10^6}{1000 \times 75^2} \\
 &= 0,43226
 \end{aligned}$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < R_{maks}$ (aman).

8) Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}\rho &= 0,85 \frac{f_{c'}}{f_y} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85f_{c'}}} \right] \\ &= 0,85 \frac{18}{240} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,43226}{0,85 \times 18}} \right] \\ &= 0,0018\end{aligned}$$

Rasio tulangan yang digunakan adalah $\rho = 0,0058$

9) Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0058 \times 1000 \times 75 \\ &= 435 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

10) Jarak tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}s &= \frac{\pi D^2}{4} \frac{b}{A_s} \\ &= \frac{\pi}{4} 10^2 \frac{1000}{435} \\ &= 181 \text{ mm}\end{aligned}$$

11) Jarak tulangan maksimum :

$$\begin{aligned}s_{maks} &= 2h \\ &= 240 \text{ mm}\end{aligned}$$

Sengkang yang digunakan, P10 – 180

12) Luas tulangan terpakai :

$$\begin{aligned}A_s &= \frac{\pi D^2}{4} \frac{b}{s} \\ &= \frac{\pi}{4} 10^2 \frac{1000}{180} \\ &= 436 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

13) Kontrol lendutan plat,

Modulus elastisitas beton, $E_c = 4700\sqrt{f_{c'}} = 19940 \text{ MPa}$

Modulus elastisitas baja, $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Beban merata pada plat :

$$\begin{aligned}Q &= Q_D + Q_L \\ &= 7,680 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Momen inersia plat :

$$I_g = \frac{1}{12} bh^3$$

$$= \frac{1}{12} \times 1000 \times 120^3$$

$$= 144000000 \text{ mm}^3$$

Modulus keruntuhan lentur beton :

$$f_r = 0,7\sqrt{f'c}$$

$$= 0,7\sqrt{18}$$

$$= 2,97 \text{ MPa}$$

Perbandingan modulus elastisitas :

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$= \frac{200000}{19940}$$

$$= 10,53$$

Jarak garis netral ke sisi atas beton :

$$c = \frac{nAs}{b}$$

$$= \frac{10,53 \times 436}{1000}$$

$$= 4,595 \text{ mm}$$

Momen inersia penampang retak :

$$I_{cr} = \frac{1}{3}bc^3 + nAs(d - c)^2$$

$$= \frac{1}{3}1000 \times 4,595^3 + 10,53 \times 436(75 - 4,595)^2$$

$$= 22809911 \text{ mm}^4$$

$$y_t = \frac{h}{2}$$

$$= \frac{120}{2}$$

$$= 60 \text{ mm}$$

Momen retak :

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

$$= \frac{2,97 \times 144000000}{60}$$

$$= 7127636 \text{ Nmm}$$

Momen maksimum akibat beban :

$$M_a = \frac{1}{8}QLx^2$$

$$= \frac{1}{8}7,680 \times 1500^2$$

$$= 2160000 \text{ Nmm}$$

Inersia efektif untuk lendutan :

$$\begin{aligned} I_e &= I_g \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 + I_{cr} \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \\ &= 4377351614 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Lendutan elastis akibat beban :

$$\begin{aligned} \delta_e &= \frac{5}{382} \times \frac{QLx^4}{Ec \times I_e} \\ &= 0,006 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rasio tulangan *slab* lantai :

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{b \times d} \\ &= 0,0058 \end{aligned}$$

Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati (jangka waktu > 5 tahun), $\zeta = 2,0$

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\zeta}{1+50\rho} \\ &= 1,5493 \end{aligned}$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut :

$$\begin{aligned} \delta_g &= \lambda Q \frac{5}{382} \times \frac{Lx^4}{Ec \times I_e} \\ &= 0,009 \end{aligned}$$

Lendutan total :

$$\begin{aligned} \delta_{tot} &= \delta_e + \delta_g \\ &= 0,006 + 0,009 \\ &= 0,015 \end{aligned}$$

Kontrol lendutan :

$$\begin{aligned} \delta_{tot} &< Lx/240 \\ \delta_{tot} &< 6,250 \quad (\text{aman}). \end{aligned}$$

4.2.11. Plat Bordes

a. Data plat lantai :

Kuat tekan beton, f_c'	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, f_y	= 240 MPa
Panjang bentang arah x, L_x	= 1,5 m
Panjang bentang arah y, L_y	= 1,5 m

Koefisien momen plat :

- 1) L_y/L_x = 1
- 2) Lapangan x, C_{tx} = 21
- 3) Lapangan y, C_{ty} = 21
- 4) Tumpuan x, C_{tx} = 52
- 5) Tumpuan y, C_{ty} = 52

Diameter tulangan, D	= 10 mm
Tebal selimut beton, t_s	= 40 mm
Tebal plat, h	= 120 mm
Lebar plat yang ditinjau, b	= 1 m
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,80

b. Beban plat lantai :

Beban mati (<i>dead load</i>), Q_D	= 4,680 kNm
Beban hidup (<i>live load</i>), Q_L	= 3,0 kNm
Beban rencana terfaktor, Q_U	= 10,416 kNm
Momen rencana (maksimum) plat, M_u	= 1,219 kNm

c. Perhitungan :

1) Jarak tulangan ke sisi luar beton :

$$\begin{aligned} d_s &= t_s + \frac{D}{2} \\ &= 40 + \frac{10}{2} \\ &= 45 \text{ mm} \end{aligned}$$

2) Tebal efektif plat :

$$\begin{aligned} d &= h - d_s \\ &= 120 - 45 \\ &= 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

3) Rasio tulangan pada kondisi *balance* :

$$\begin{aligned} \rho_b &= 0,85\beta_1 \frac{f_c'}{f_y} \times \frac{600}{600+f_y} \\ &= 0,85 \times 0,85 \frac{18}{240} \times \frac{600}{600+240} \\ &= 0,0387 \end{aligned}$$

4) Faktor tahanan momen maksimum :

$$\begin{aligned}
 R_{maks} &= 0,75\rho_b f_y \left[1 - 0,5 \times 0,75\rho_b \frac{f_y}{0,85f_c'} \right] \\
 &= 0,75 \times 0,387 \times 240 \left[1 - 0,5 \times 0,75\rho_b \frac{240}{0,85 \times 18} \right] \\
 &= 5,3807
 \end{aligned}$$

5) Rasio tulangan minimum :

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{240} \\
 &= 0,0058
 \end{aligned}$$

6) Momen nominal rencana :

$$\begin{aligned}
 Mn &= \frac{Mu}{\phi} \\
 &= \frac{1,219}{0,80} \\
 &= 1,523 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

7) Faktor tahanan momen :

$$\begin{aligned}
 Rn &= \frac{Mn \times 10^6}{b \times d^2} \\
 &= \frac{1,523 \times 10^6}{1000 \times 75^2} \\
 &= 0,27082
 \end{aligned}$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < R_{maks}$ (aman).

8) Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 \rho &= 0,85 \frac{f_c'}{f_y} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85f_c'}} \right] \\
 &= 0,85 \frac{18}{240} \times \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,27082}{0,85 \times 18}} \right] \\
 &= 0,0011
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan yang digunakan adalah $\rho = 0,0058$

9) Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 As &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0058 \times 1000 \times 75 \\
 &= 435 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

10) Jarak tulangan yang diperlukan :

$$s = \frac{\pi D^2}{4} \frac{b}{As}$$

$$= \frac{\pi}{4} 10^2 \frac{1000}{435}$$

$$= 181 \text{ mm}$$

11) Jarak tulangan maksimum :

$$s_{maks} = 2h$$

$$= 240 \text{ mm}$$

Sengkang yang digunakan, P10 – 180

12) Luas tulangan terpakai :

$$A_s = \frac{\pi}{4} D^2 \frac{b}{s}$$

$$= \frac{\pi}{4} 10^2 \frac{1000}{180}$$

$$= 436 \text{ mm}^2$$

13) Kontrol lendutan plat,

Modulus elastisitas beton, $E_c = 4700\sqrt{f'c} = 19940 \text{ MPa}$

Modulus elastisitas baja, $E_s = 200000 \text{ MPa}$

Beban merata pada plat :

$$Q = Q_D + Q_L$$

$$= 7,680 \text{ Nmm}$$

Momen inersia plat :

$$I_g = \frac{1}{12} bh^3$$

$$= \frac{1}{12} \times 1000 \times 120^3$$

$$= 144000000 \text{ mm}^3$$

Modulus keruntuhan lentur beton :

$$f_r = 0,7\sqrt{f'c}$$

$$= 0,7\sqrt{18}$$

$$= 2,97 \text{ MPa}$$

Perbandingan modulus elastisitas :

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

$$= \frac{200000}{19940}$$

$$= 10,53$$

Jarak garis netral ke sisi atas beton :

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{nAs}{b} \\
 &= \frac{10,53 \times 436}{1000} \\
 &= 4,595 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Momen inersia penampang retak :

$$\begin{aligned}
 I_{cr} &= \frac{1}{3}bc^3 + nAs(d - c)^2 \\
 &= \frac{1}{3}1000 \times 4,595^3 + 10,53 \times 436(75 - 4,595)^2 \\
 &= 22809911 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_t &= \frac{h}{2} \\
 &= \frac{120}{2} \\
 &= 60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Momen retak :

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= \frac{f_r I_g}{y_t} \\
 &= \frac{2,97 \times 144000000}{60} \\
 &= 7127636 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen maksimum akibat beban :

$$\begin{aligned}
 M_a &= \frac{1}{8}QLx^2 \\
 &= \frac{1}{8}7,680 \times 1500^2 \\
 &= 2160000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Inersia efektif untuk lendutan :

$$\begin{aligned}
 I_e &= I_g \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 + I_{cr} \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \\
 &= 4377351614 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Lendutan elastis akibat beban :

$$\begin{aligned}
 \delta_e &= \frac{5}{382} \times \frac{QLx^4}{Ec \times I_e} \\
 &= 0,006 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan *slab* lantai :

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{As}{b \times d} \\
 &= 0,0058
 \end{aligned}$$

Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati (jangka waktu > 5 tahun), $\zeta = 2,0$

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{\zeta}{1+50\rho} \\ &= 1,5493\end{aligned}$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkai dan susut :

$$\begin{aligned}\delta_g &= \lambda Q \frac{5}{382} \times \frac{Lx^4}{Ec \times I_e} \\ &= 0,009\end{aligned}$$

Lendutan total :

$$\begin{aligned}\delta_{tot} &= \delta_e + \delta_g \\ &= 0,006 + 0,009 \\ &= 0,015\end{aligned}$$

Kontrol lendutan :

$$\begin{aligned}\delta_{tot} &< Lx/240 \\ \delta_{tot} &< 6,250 \quad (\text{aman}).\end{aligned}$$

4.3 Pembahasan

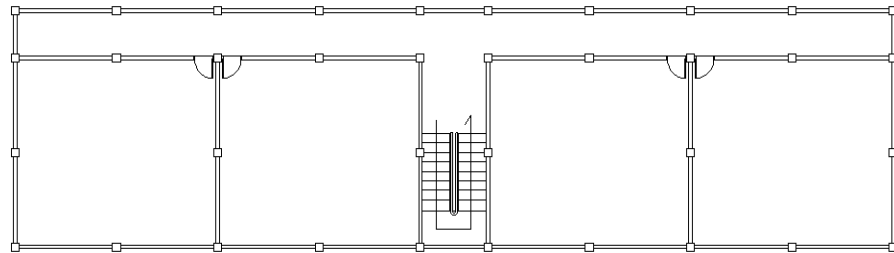
4.3.1. Evaluasi Desain Bangunan

Desain bangunan tahan gempa ini disesuaikan dengan tujuan dan fungsi daripada bangunan itu sendiri yakni bangunan sekolah guna menunjang kegiatan belajar dan mengajar serta aktivitas pendidikan lainnya. Maka dari itu spesifikasi teknis termasuk tata letak bangunan didesain sedemikian rupa dengan mengacu pada pedoman teknis bangunan sekolah tahan gempa dimana bangunan dibuat sederhana dan simetris. Bangunan terdiri dari struktur rangka pemikul beban berupa beton bertulang dan dinding pasangan batu bata yang diperkuat dengan susunan kolom dan balok. Pada bagian atap dari struktur ini digunakan material serupa yakni beton bertulang, hal tersebut dipilih dengan pertimbangan bahwa struktur yang menggunakan material yang serupa atau monolit akan memiliki kekakuan dan kekuatan struktur yang sama atau merata. Selain itu, umur yang lebih panjang dibandingkan dengan penggunaan struktur atap bermaterial kayu dan akan mempermudah

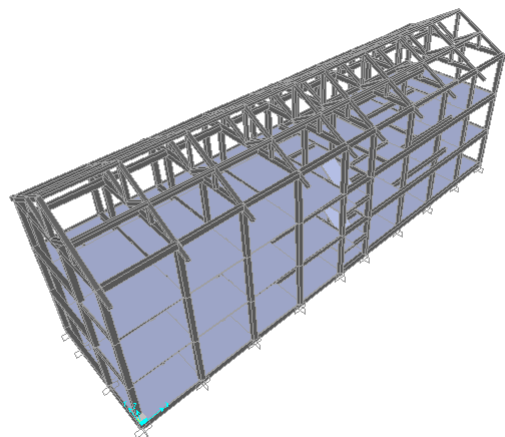
proses pengerjaan dibandingkan penggunaan struktur atap bermaterial baja juga menjadi hal yang dipertimbangkan. Dan dari desain yang telah dibuat menunjukkan bahwa penggunaan material beton bertulang pada bagian struktur rangka atap dapat diaplikasikan dengan bentuk balok dan ukuran yang relatif kecil namun tetap memiliki kekuatan yang cukup untuk menerima beban gempa.

Dari pemodelan struktur menggunakan program SAP2000 yang telah dilakukan, didapatkan desain struktur yang aman dengan dimensi atau ukuran komponen struktur yang sama untuk setiap jenis tanah, baik untuk tanah keras, tanah sedang hingga tanah lunak. Untuk gambar desain tulangan dapat dilihat pada halaman lampiran 2.

Adapun gambar denah ataupun tata letak bangunan dan model struktur yang telah didesain, berikut adalah gambar dari tata letak bangunan yang telah didesain :



Gambar 4.8 Denah bangunan.



Gambar 4.9 Model struktur gedung.

4.3.2. Pemodelan Struktur

Hasil analisis pemodelan struktur bangunan tahan gempa dengan menggunakan program SAP2000 ini mengacu pada peraturan-peraturan BSN untuk bangunan bertingkat yang diperuntukan dan difungsikan sebagai sekolah yang menunjang kegiatan belajar mengajar atau kegiatan akademik lainnya di daerah Kota Yogyakarta, provinsi D.I.Y. Berikut adalah tabel hasil desain komponen struktur :

Tabel 4.104 Desain komponen struktur.

Jenis Tanah	Komponen	Dimensi	Tulangan		Sengkang
			Momen Negatif	Momen Positif	
Tanah Keras (Sc)	Kolom	350X350	12D19	12D19	2P10-150
	Balok Induk	300X400	7D16	4D16	2P10-170
	Balok Anak	200X300	5D13	3D13	2P10-110
	Sloof	300X500	6D13	4D13	2P10-220
	Bordes	200X300	5D13	4D13	2P10-110
	<i>Ringbalk</i>	300X400	4D13	4D13	2P10-170
	Kuda-kuda	250X250	4D10	3D10	2P10-90
	Gording	200X200	2D10	2D10	2P8-70
Tanah Sedang (Sd)	Kolom	350X350	12D19	12D19	2P10-150
	Balok Induk	300X400	7D16	4D16	2P10-170
	Balok Anak	200X300	5D13	3D13	2P10-110
	Sloof	300X500	7D13	4D13	2P10-220
	Bordes	200X300	6D13	4D13	2P10-110
	<i>Ringbalk</i>	300X400	4D13	4D13	2P10-170
	Kuda-kuda	250X250	4D10	3D10	2P10-90
	Gording	200X200	2D10	2D10	2P8-70
Tanah Lunak (Se)	Kolom	350X350	12D19	12D19	2P10-150
	Balok Induk	300X400	7D16	4D16	2P10-170
	Balok Anak	200X300	5D13	3D13	2P10-110
	Sloof	300X500	7D13	4D13	2P10-220
	Bordes	200X300	7D13	4D13	2P10-110
	<i>Ringbalk</i>	300X400	4D13	4D13	2P10-170
	Kuda-kuda	250X250	4D10	3D10	2P10-90
	Gording	200X200	2D10	2D10	2P8-70

Tabel 4.105 Desain struktur plat.

No.	Komponen	Tulangan
1	Plat Lantai	2P10–100
2	Plat Bordes	2P10–180
3	Plat Tangga	2P10–180

Dari tabel 4.104 diatas dapat dilihat terdapat perbedaan pada jumlah penggunaan tulangan, semakin lunak kondisi tanahnya maka jumlah tulangan yang digunakan lebih banyak. Hal tersebut dikarenakan tanah yang lunak akan menyalurkan gaya lateral akibat gempa bumi lebih besar ataupun amplifikasi dari guncangan ke tanah lunak itu akan lebih besar dibandingkan dengan tanah keras, dengan begitu bangunan yang berdiri di tanah lunak akan mengalami dampak ataupun getaran akibat gempa bumi yang lebih besar dengan periode getar lebih lama dibandingkan bangunan yang berdiri di tanah yang lebih keras. Perbedaan tersebut terdapat pada komponen balok *sloof* dan bordes, yang mana pada jenis tanah lunak tulangan yang digunakan lebih banyak dari tanah sedang ataupun tanah keras kendatipun jumlah perbedaannya tidak dalam jumlah besar. Hal tersebut dikarenakan denah bangunan serta ukuran komponen struktur yang direncanakan dalam pemodelan yang dilakukan pada setiap jenis tanah adalah sama dan perbedaan yang didapat dari analisis pembebanan gempa setiap jenis tanah tidak terlalu signifikan. Sehingga setelah dilakukan *running program* pemodelan struktur yang telah direncanakan dalam *software* SAP2000 menunjukkan hasil reaksi komponen struktur yang kemudian mempengaruhi perhitungan desain tulangan tersebut tidak jauh berbeda, maka didapat desain tulangan dengan perbedaan jumlah penggunaan tulangan meskipun tidak dalam jumlah yang besar.