BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Pembebanan

4.1.1. Pembebanan Atap

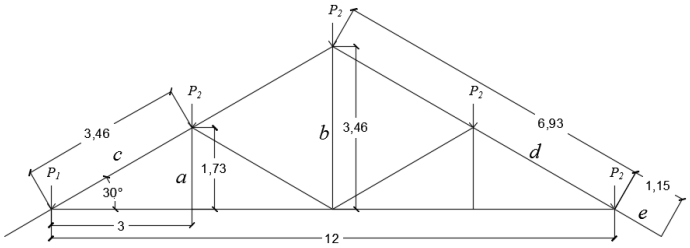
Kemiringan kuda-kuda : 30°

Berat genteng : 50 kg/m^2 (PPURG 1987)

Berat plafon : 18 kg/m^2 (PPURG 1987)

Beban hidup : 100 kg/m^2 (PPURG 1987)

Panjang rangka kuda-kuda



Gambar 4.1 Rangka kuda-kuda

Panjang batang a = $\tan 30° \, x \, 3$

= 1,73

Panjang batang b = $\tan 30° \, x \, 6$

= 3,46 m

Panjang batang c = $\frac{3}{\cos 30°}$

= 3,46 m

Panjang batang d = $\frac{6}{\cos 30°}$

= 6,92 m

Panjang batang e = $\sqrt{1^2 + 0{,}58^2}$

= 1,15 m

Beban mati penutup atap

P_1 = Berat genteng × ($\frac{1}{2}$ L + t)

= 50 kg/m^2 × ($\frac{1}{2}$ 3,46 + 1,15) m

= 50 kg/m^2 × 2,88 m

= 144 kg/m

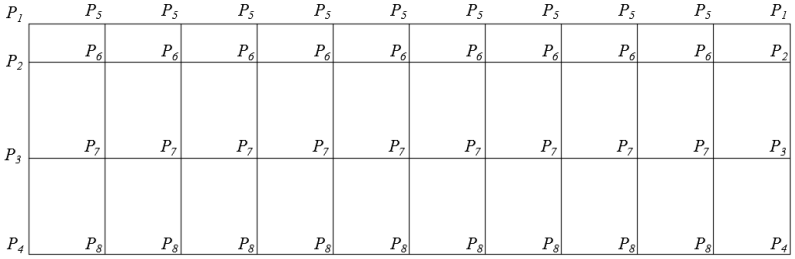
P_2 = Berat genteng × ($\frac{1}{2}$ L + $\frac{1}{2}$ L)

= 50 kg/m^2 × ($\frac{1}{2}$ × 3,46 + $\frac{1}{2}$ × 3,46) m

= 50 kg/m^2 × 3,46 m

= 173 kg/m

Beban plafon



Gambar 4.2 Denah plafon

P_1 = Berat plafon × $\frac{1}{2}$ a × $\frac{1}{2}$ b

= 18 kg/m^2 × $\frac{1}{2}$ 4 m × $\frac{1}{2}$ 2 m

= 36 kg

P_2 = Berat plafon × $\frac{1}{2}$ a × ($\frac{1}{2}$ b + $\frac{1}{2}$ b)

= 18 kg/m^2 × $\frac{1}{2}$ 4 m × ($\frac{1}{2}$ 2 + $\frac{1}{2}$ 5) m

= 126 kg

P_3 = Berat plafon × $\frac{1}{2}$ a × ($\frac{1}{2}$ b + $\frac{1}{2}$ b)

= 18 kg/m^2 × $\frac{1}{2}$ 4 m × ($\frac{1}{2}$ 5 + $\frac{1}{2}$ 5) m

= 180 kg

P_4 = Berat plafon × $\frac{1}{2}$ a × $\frac{1}{2}$ b

= 18 kg/m^2 × $\frac{1}{2}$ 4 m × $\frac{1}{2}$ 5 m

= 90 kg

P_5 = Berat plafon × ($\frac{1}{2}$ a + $\frac{1}{2}$ a) × $\frac{1}{2}$ b

= 18 kg/m^2 × ($\frac{1}{2}$ 4 + $\frac{1}{2}$ 4) m × $\frac{1}{2}$ 2 m

= 72 kg

P_6 = Berat plafon × $(\frac{1}{2}$ a + $\frac{1}{2}$ a) × $(\frac{1}{2}$ b + $\frac{1}{2}$ b)

= 18 kg/m^2 × $(\frac{1}{2}$ 4 + $\frac{1}{2}$ 4) m × $(\frac{1}{2}$ 2 + $\frac{1}{2}$ 5) m

= 252 kg

P_7 = Berat plafon × $(\frac{1}{2}$ a + $\frac{1}{2}$ a) × $(\frac{1}{2}$ b + $\frac{1}{2}$ b)

= 18 kg/m^2 × $(\frac{1}{2}$ 4 + $\frac{1}{2}$ 4) m × $(\frac{1}{2}$ 5 + $\frac{1}{2}$ 5) m

= 360 kg

P_8 = Berat plafon × $(\frac{1}{2}$ a + $\frac{1}{2}$ a) × $\frac{1}{2}$ b

= 18 kg/m^2 × $(\frac{1}{2}$ 4 + $\frac{1}{2}$ 4) m × $\frac{1}{2}$ 5 m

= 180 kg

Beban hujan

P_1 = (40 – 0,8 α) × ($\frac{1}{2}$ L + t)

= (40 – 0,8 (30)) × ($\frac{1}{2}$ × 3,46 + 1,15)

= 16 × 2,88

= 46,08 kg/m

P_2 = (40 – 0,8 α) × ($\frac{1}{2}$ L + $\frac{1}{2}$ L)

= (40 – 0,8 (30)) × ($\frac{1}{2}$ × 3,46 + $\frac{1}{2}$ × 3,46)

= 16 × 3,46

= 55,36 kg/m

Beban angin

Kecepatan angin, V = 20km/jam

Faktor arah angin, K_d = 0,85

Faktor topografi, K_{zt} = 1

Faktor efek tiupan angin, G = 0,85

Koefisien eksposur, K_z = $2{,}01(\frac{z}{z_g})^{2/\alpha}$

= $2{,}01(\frac{12}{111{,}51})^{2/7}$

= 1,06

Tekanan velositas, q_z $= 0{,}613 K_z K_{zt} K_d V^2$

$= 0{,}613 \; x \; 1{,}06 \; x \; 1 \; x \; 0{,}85 \; x \; 5{,}56^2$

$= 17{,}07$ N/m^2

Koefisien eksposur, K_h $= 2{,}01 (\frac{z}{z_g})^{2/\alpha}$

$= 2{,}01 (\frac{13{,}73}{111{,}51})^{2/7}$

$= 1{,}10$

Tekanan velositas, q_h $= 0{,}613 K_h K_{zt} K_d V^2$

$= 0{,}613 \; x \; 1{,}10 \; x \; 1 \; x \; 0{,}85 \; x \; 5{,}56^2$

$= 17{,}71$ N/m^2

Beban angin pada atap

Angin datang $= q_h GCp$

$= 17{,}71 \; x \; 0{,}85 \; x \; (\pm 2)$

$= \pm \; 3{,}01$ N/m^2

Angin pergi $= q_h GCp$

$= 17{,}71 \; x \; 0{,}85 \; x \; (-0{,}6)$

$= -\; 9{,}03$ N/m^2

4.1.2. Pembebanan Struktur Portal

Berat dinding bata : 250 kg/m^2 (PPURG 1987)

Beban hidup pelat lantai : 250 kg/m^2 (PPURG 1987)

Beban hidup pelat bordes : 300 kg/m^2 (PPURG 1987)

Beban hidup pelat tangga : 300 kg/m^2 (PPURG 1987)

Beban mati balok induk

h balok induk = 0,35 m

b balok induk = 0,3 m

t´ = t – h

= 4 – 0,35

= 3,65 m

Beban balok = berat dinding bata × t´

= 250 kg/m^2 × 3,65 m

= 912,5 kg/m

Beban mati balok sloof

h sloof = 0,35 m

b sloof = 0,5 m

t′ $= t - \frac{1}{2}$ h induk $- \frac{1}{2}$ h sloof

$= 4 - \frac{1}{2}\ 0{,}35 - \frac{1}{2}\ 0{,}35$

= 3,65 m

Beban balok = berat dinding bata × t′

= 250 kg/m^2 × 3,65 m

= 912,5 kg/m

Beban mati balok bordes

h sloof = 0,35 m

b sloof = 0,3 m

t′ $= \frac{1}{2}$ t $- (\frac{1}{2}$ h induk $+ \frac{1}{2}$ h bordes)

$= 2 - (\frac{1}{2}\ 0{,}35 + \frac{1}{2}\ 0{,}35)$

= 1,65 m

Beban balok = berat dinding bata × t′

= 250 kg/m^2 × 1,65 m

= 412,5 kg/m

Beban mati pelat lantai

Tebal spasi = 0,02 m

BJ spasi = 2100 kg/m^3

Tebal pasir = 0,05 m

BJ pasir = 1600 kg/m^3

Beban plafon		= 18 kg/m^2
Beban spasi	= 0,02 × 2100	= 42 kg/m^2
Beban keramik		= 24 kg/m^2
Beban pasir	= 0,05 × 1600	= 80 kg/m^2 +
Total beban mati		= 164 kg/m^2

Beban mati pelat bordes

Tebal spasi = 0,02 m

BJ spasi = 2100 kg/m^3

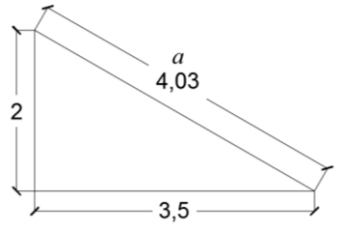
Tebal pasir = 0,05 m

BJ pasir = 1600 kg/m^3

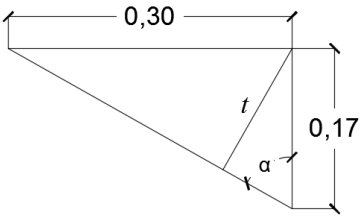
Beban spasi	= 0,02 × 2100	= 42 kg/m^2	
Beban keramik		= 24 kg/m^2	
Beban pasir	= 0,05 × 1600	= 80 kg/m^2	+
Total beban mati		= 146 kg/m^2	

Beban mati pelat tangga

Desain anak tangga



Gambar 4.3 Desain tangga



Gambar 4.4 Desain anak tangga

a $= \sqrt{3{,}5^2 + 2^2}$

$= 4{,}03$ m

Tan α $= \frac{2}{3{,}5}$

α $= 29{,}75^0$

Tan α $= \frac{\text{optrede}}{\text{antrede}}$

Optrede = tan α x antrede

= tan $29{,}75^0$ x antrede

2 optrede + antrede = 61 cm – 65 cm

2 (antrede x tan 29,75) + antrede = 62

1,14 antrede + antrede = 62

2,14 antrede = 62

antrede = 29 cm

= 30 cm

Optrede = tan α x antrede

= tan $29{,}75^0$ x 30 cm

= 16,57 cm

= 17 cm

Cek

2 optrede + antrede = 61 cm – 65 cm

2 (17) + 30 = 61 cm – 65 cm

64 cm = 61 cm – 65 cm OK

Beban anak tangga

90^0 - $29{,}75^0$ = $60{,}25^0$

Sin $60{,}25^0$ = $\frac{t}{17}$

t = 14,76 cm

Pelat tangga = BJ beton bertulang × t × 0,5

= 2400 × 0,1476 × 0,5

= 177,12 kg/m^2

Beban pelat tangga		= 177,12 kg/m^2	
Beban keramik		= 24 kg/m^2	
Beban spasi	= 0,02 × 2100	= 42 kg/m^2	+
Total beban mati		= 243,12 kg/m^2	

Beban angin pada dinding

Angin datang $= q_z GCp$

$= 17{,}07\ x\ 0{,}85\ x\ 0{,}8$

$= 11{,}61\ \text{N/m}^2$

Angin pergi $= q_h GCp$

$= 17{,}71\ x\ 0{,}85\ x\ (-0{,}3)$

$= -\ 4{,}52\ \text{N/m}^2$

4.1.3. Pembebanan Gempa

Perhitungan kurva respon spektrum gempa berdasarkan SNI 03-1726-2012 sebagai berikut:

S_s = 1,659 gr

S_1 = 0,574 gr

$S_s = \frac{1{,}659-1{,}6}{1{,}7-1{,}659} = \frac{Fa-1}{1-Fa}$

0,059 – 0,059 Fa = 0,041 Fa – 0,041

0,059 + 0,041 = 0,059 Fa + 0,041 Fa

0,1 = 0,1 Fa

Fa = 1

$S_1 = \frac{0{,}574-0{,}5}{0{,}6-0{,}574} = \frac{Fv-1{,}5}{1{,}5-Fv}$

0,111 – 0,074 Fv = 0,026 Fv – 0,039

0,111 + 0,039 = 0,026 Fv + 0,074 Fv

0,150 = 0,1 Fv

Fv = 1,5

S_{ms} = Fa × S_s

= 1 × 1,659

= 1,659

S_{m1} = Fv × S_1

= 1,5 × 0,574

= 0,861

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

$= \frac{2}{3}\ x\ 1{,}659$

= 1,106

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

$= \frac{2}{3}\ x\ 0{,}861$

$= 0{,}574$

Periode getar struktur To dan Ts

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

$= 0{,}2\ x\ \frac{0{,}574}{1{,}106}$

$= 0{,}103$

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

$= \frac{0{,}574}{1{,}106}$

$= 0{,}519$

Respon spektrum desain (Sa), dapat dilihat pada tabel 4.1 dan gambar 4.5.

Tabel 4.1 Respon spektrum desain

TANAH SEDANG (SD)	
T (s)	**Sa (g)**
0.0000	0.4424
0.1038	1.1060
0.1500	1.1060
0.2000	1.1060
0.3000	1.1060
0.4000	1.1060
0.5000	1.1060
0.5190	1.1060
0.7500	0.7653
0.8000	0.7175
0.9000	0.6378
1.0000	0.5740
2.0000	0.2870
3.0000	0.1913
4.0000	0.1435

Untuk periode yang lebih kecil dari To ($0 \leq T \leq To$)

Sa $= S_{DS}\left(0{,}4 + 0{,}6\frac{T}{To}\right)$

$= 1{,}106\left(0{,}4 + 0{,}6\frac{0}{0{,}103}\right)$

$= 0{,}4424$

Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan To dan lebih kecil dari atau sama dengan Ts (To ≤ T ≤ Ts)

Sa = S_{DS}

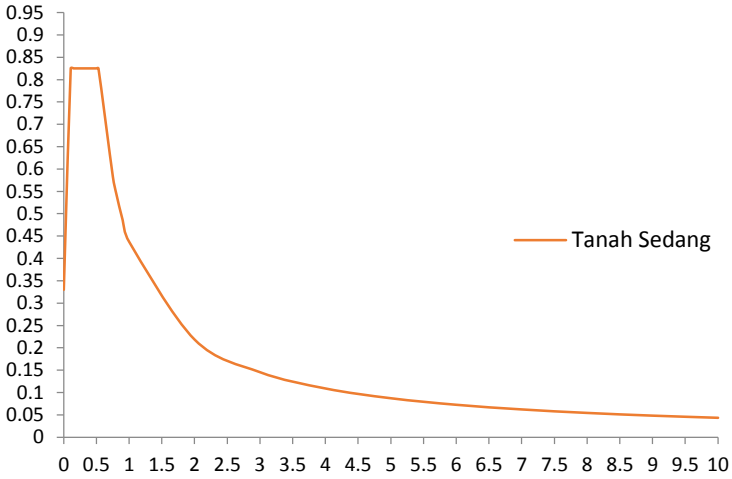
= 1,106

Untuk periode lebih besar dari Ts (To ≥ Ts)

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

= $\frac{0,574}{0,75}$

= 0,7653



Gambar 4.5 Respon spektrum desain

4.2. Analisis Struktur

4.2.1. Kolom

Data kolom

Lebar, b	= 350 mm
Panjang, h	= 350 mm
Kuat tekan beton, fc’	= 18 MPa
Tegangan leleh baja, fy	= 240 MPa
Modulus elastisitas baja, Es	= 200000 MPa
Diameter tulangan, D	= 16 mm
Diameter sengkang, P	= 8 mm
Selimut beton, ts	= 40 mm
Faktor reduksi kekuatan, ϕ	= 0,65

Faktor distribusi tegangan beton, β1 = 0,85

Luas penampang kolom

$Ag = bxh$

$= 350x350$

$= 122500\ mm^2$

Luas tulangan total

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

$= 12x\frac{\pi}{4}x16^2$

$= 2412{,}74\ mm^2$

Luas tulangan tekan

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

$= 4x\frac{\pi}{4}x16^2$

$= 804{,}25\ mm^2$

1. Kondisi sentris

   Kapasitas kuat tekan aksial nominal

   $Po = 0{,}85fc'(Ag - Ast) + Astfy$

   $= 0{,}85x18(122500 - 2412{,}74) + 2412{,}74x240$

   $= 2416393{,}38\ N$

   $= 2416{,}39\ kN$

2. Eksentrisitas kecil

   $\phi Pn = \phi 0{,}80Po$

   $= 0{,}65x0{,}80x2416{,}39$

   $= 1256{,}52\ kN$

3. Keadaan seimbang

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

   $= 350 - 40 - 8 - \frac{16}{2}$

   $= 294\ mm$

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

   $= \frac{600}{600+240}x294$

   $= 210\ mm$

$$d' = ts + P + \frac{D}{2}$$
$$= 40 + 8 + \frac{16}{2}$$
$$= 56\ mm$$
$$\varepsilon_s' = \frac{c_b - d'}{c_b} 0{,}003$$
$$= \frac{210-56}{210} x 0{,}003$$
$$= 0{,}002$$
$$\varepsilon_y = \frac{fy}{Es}$$
$$= \frac{240}{200000}$$
$$= 0{,}001$$

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

$$fs' = \frac{c_b - d'}{c_b} 600$$
$$= \frac{210-56}{210} x 600$$
$$= 440\ MPa$$
$$a_b = \beta_1 c_b$$
$$= 0{,}85x210$$
$$= 178{,}5\ mm$$
$$Cc = 0{,}85 fc' a_b b$$
$$= 0{,}85x18x178{,}5x350$$
$$= 955867{,}5\ N$$
$$= 955{,}86\ kN$$
$$Cs = As'(fy - 0{,}85fc')$$
$$= 804{,}25x(240 - 0{,}85x18)$$
$$= 180714{,}46\ N$$
$$= 180{,}71\ kN$$
$$Ts = As' fy$$
$$= 804{,}25x240$$
$$= 193019{,}45\ N$$
$$= 193{,}02\ kN$$

$$d'' = \frac{h}{2}$$
$$= \frac{350}{2}$$
$$= 175\ mm$$
$$Pn = Cc + Cs - Ts$$
$$= 955{,}86 + 180{,}71 - 193{,}01$$
$$= 943{,}56\ kN$$
$$Mn = Cc\left(d - \frac{a}{2} - d''\right) + Cs(d - d' - d'') + Tsxd''$$
$$= 955867{,}5\left(294 - \frac{178{,}5}{2} - 175\right) + 180714{,}46(294 - 56 - 175) + 193019{,}45(175)$$
$$= 126439{,}97\ Nm$$
$$= 126{,}44\ kNm$$
$$e_b = \frac{Mn}{Pn}$$
$$= \frac{126{,}44}{943{,}56}$$
$$= 0{,}134\ m$$
$$= 134\ mm$$
$$\phi Pn = 0{,}65x943{,}56$$
$$= 613{,}32\ kN$$
$$\phi Mn = 0{,}65x126{,}44$$
$$= 82{,}19\ kNm$$

4. Keadaan momen murni

   Untuk momen murni nilai eksentrisitas, $e = \infty$

$$a = \frac{As'fy}{0{,}85fc'b}$$
$$= \frac{804{,}25x240}{0{,}85x18x350}$$
$$= 36{,}04\ mm$$
$$Mn = As'fy\left(d - \frac{a}{2}\right)$$
$$= 804{,}25x240\left(294 - \frac{36{,}04}{2}\right)$$
$$= 53269053{,}43\ Nmm$$
$$= 53{,}27\ kNm$$

$\phi Mn = 0{,}90x53{,}27$

$= 47{,}94\ kNm$

5. Keadaan $e > e_b$

$Cc = 0{,}85fc'ab$

$= 0{,}85x18xax350$

$= 5355a$

$Cs = As'(fy - 0{,}85fc')$

$= 804{,}25(240 - 0{,}85x18)$

$= 180714{,}46\ N$

$Ts = As'fy$

$= 804{,}25x240$

$= 193019{,}45\ N$

Untuk $e = 160\ mm$ (asumsi)

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

$= 160 + 294 - 175$

$= 279\ mm$

$A = 0{,}425fc'b$

$= 0{,}425x18x350$

$= 2677{,}5$

$B = 0{,}85fc'b(e' - d)$

$= 0{,}85x18x350(279 - 294)$

$= -80325$

$C = As'(fy - 0{,}85fc')(e' - d + d') - As'fye'$

$= 804{,}25(240 - 0{,}85x18)(279 - 294 + 56) - 804{,}25x240x279$

$= -46443134{,}32$

Persamaan

$Aa^2 + Ba + C = 0$

$2677{,}5a^2 - 80325a - 46443134{,}32 = 0$

$a_1 = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$

$= \frac{80325 + \sqrt{(-80325)^2 - 4x2677{,}5x(-46443134{,}32)}}{2x2677{,}5}$

$= 147{,}55\ mm$

$$a_2 = \frac{-B-\sqrt{B^2-4AC}}{2A}$$

$$= \frac{80325-\sqrt{(-80325)^2-4x2677,5x(-46443134,32)}}{2x2677,5}$$

$$= -117,55\ mm$$

Nilai a yang digunakan adalah 147,55 mm

$$c = \frac{a}{0,85}$$

$$= \frac{147,55}{0,85}$$

$$= 173,59\ mm$$

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

$$= \frac{173,59-56}{173,59}x0,003$$

$$= 0,002$$

$$\varepsilon_y = \frac{fy}{Es}$$

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

$$= 0,0012$$

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

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

$$= \frac{294-173,59}{173,59}x0,003$$

$$= 0,002$$

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

$$Pn = Cc(a) + Cs - Ts$$

$$= 5355x147,55 + 180714,46 - 193019,45$$

$$= 777849,62\ N$$

$$= 777,85\ kN$$

$$Mn = ePn$$

$$= 160x777849,62$$

$$= 124455939,1\ Nmm$$

$$= 124,45\ kNm$$

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

$\phi Pn = 0{,}65x777{,}85$

$= 510{,}84\ kN$

$\phi Mn = 0{,}65x124{,}45$

$= 81{,}73\ kNm$

6. Keadaan $e < e_b$

Untuk e = 100 mm

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

$= 100 + 294 - 175$

$= 219\ mm$

$Cc = 0{,}85fc'ab$

$= 0{,}85x18xax350$

$= 5355a$

$Cs = As'(fy - 0{,}85fc')$

$= 804{,}25(240 - 0{,}85x18)$

$= 180714{,}46$

$Ts = As'fy$ asumsi $(fs < fy)$

$= 804{,}25fs$

$c = 238\ mm$ asumsi $(c > c_b)$

$a = \beta_1 c$

$= 0{,}85x238$

$= 202{,}3\ mm$

$Pn_1 = \frac{1}{e'}\left[Cca\left(d - \frac{a}{2}\right) + Cs(d - d')\right]$

$= \frac{1}{219}\left[5355x202{,}3\left(294 - \frac{202{,}3}{2}\right) + 180714{,}46(294 - 56)\right]$

$= 1150354{,}47\ N$

$= 1150{,}35\ kN$

$fs = 600\left(\frac{294-238}{238}\right)$

$= 141{,}18\ MPa$

$$Pn_2 = Cc + Cs + Ts$$
$$= 5355a + 180714{,}46 + 804{,}25fs$$
$$= 5355x202{,}3 + 180714{,}46 + 804{,}25x141{,}18$$
$$= 1150490{,}11\ N$$
$$= 1150{,}49\ kN$$

Selisih nilai Pn_1 dan Pn_2 sebesar 0,01%

Pn yang digunakan adalah Pn rata-rata

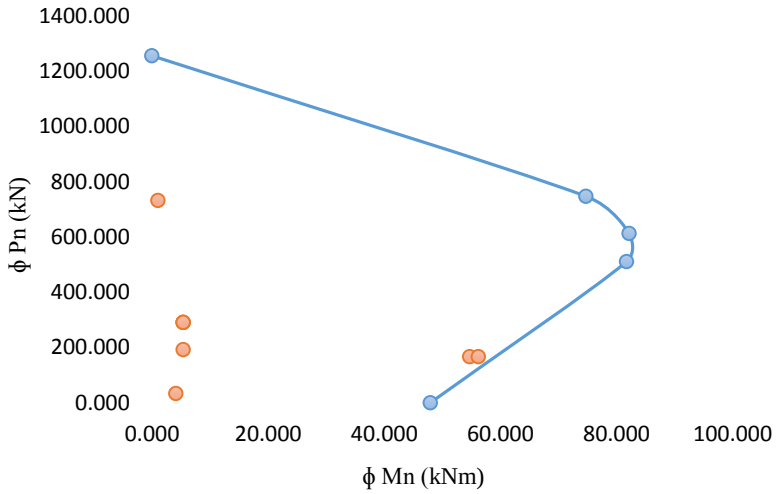
$$Pn = \frac{Pn_1 + Pn_2}{2}$$
$$= \frac{1150{,}35 + 1150{,}49}{2}$$
$$= 1150{,}42\ kN$$
$$\phi Pn = 0{,}65x1150{,}42$$
$$= 747{,}77\ kN$$
$$Mn = ePn$$
$$= 100x1150{,}42$$
$$= 115042\ kNmm$$
$$\phi Mn = 0{,}65x115042$$
$$= 74777{,}45\ kNmm$$
$$= 74{,}78\ kNm$$

Tabel 4.2 Hasil running kolom

No	Item	P (kN)	M_2 (kNm)
1	P terbesar	33,36	4,12
2	P terkecil	732,73	1,02
3	V_2 terbesar	290,49	5,35
4	V_2 terkecil	290,50	5,35
5	M_2 terbesar	167,02	54,74
6	M_2 terkecil	167,02	56,23
7	M_3 terbesar	192,39	5,35
8	M_3 terkecil	290,50	5,35

Tabel 4.3 Hasil analisis kolom

Keadaan	ϕPn(kN)	ϕMn(kNm)	e
Sentris	2416,39	0	0
Eksentrisitas Kecil	1256,53	0	0
Seimbang	613,32	82,19	-
$e < e_b$	747,77	74,78	100
$e > e_b$	510,84	81,73	160
Momen Murni	0	47,94	-



Gambar 4.6 Diagram interaksi

4.2.2. Balok Bordes

Data balok bordes

Kuat tekan beton, fc' = 18 Mpa

Tegangan leleh baja, fy = 240 Mpa

Lebar balok, b = 200 mm

Tinggi balok, h = 250 mm

Diameter tulangan, D = 16 mm

Diameter sengkang, P = 8 mm

Tebal selimut beton, ts = 40 mm

Momen rencana positif, Mu^{+} = 6,923 kNm

Momen rencana negatif, Mu^{-} = 12,818 kNm

Gaya geser rencana, Vu = 17,965 kN

Faktor reduksi kuat lentur, ϕ = 0,80

Faktor reduksi kuat geser, ϕ = 0,75

Faktor distribusi tegangan beton, β_1 = 0,85

Jarak tulangan ke sisi luar beton

$$d_s = t_s + P + \frac{D}{2}$$

$$= 40 + 8 + \frac{16}{2}$$

$$= 56\ mm$$

Jumlah tulangan dalam satu baris

$$n_s = \frac{b-2d_s}{25+D}$$
$$= \frac{200-2x56}{25+16}$$
$$= 2{,}15 \cong 2\ buah$$

Jarak horizontal pusat ke pusat antar tulangan

$$x = \frac{b-n_s D-2d_s}{n_s-1}$$
$$= \frac{200-2x16-2x56}{2-1}$$
$$= 56\ mm$$

Jarak vertikal pusat ke pusat antar tulangan

$$y = D + 25$$
$$= 16 + 25$$
$$= 41\ mm$$

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = 0{,}85\beta_1 \frac{fc'}{fy} x \frac{600}{600+fy}$$
$$= 0{,}85x0{,}85x \frac{18}{240} x \frac{600}{600+240}$$
$$= 0{,}0387$$

Faktor tahanan momen maksimum

$$R_{maks} = 0{,}75\rho_b fy \left[1 - 0{,}5x0{,}75\rho_b \frac{fy}{0{,}85fc'}\right]$$
$$= 0{,}75x0{,}0387x240 \left[1 - 0{,}5x0{,}75x0{,}0387 \frac{240}{0{,}85x18}\right]$$
$$= 5{,}3807$$

Rasio tulangan minimum

$$\rho_{min} = \frac{1{,}4}{fy}$$
$$= \frac{1{,}4}{240}$$
$$= 0{,}0058$$

Rasio tulangan maksimun

$$\rho_{maks} = 0{,}75\rho_b$$
$$= 0{,}75\ x\ 0{,}0387$$
$$= 0{,}0290$$

1. Tulangan momen positif

   Momen positif nominal rencana

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

   $= \frac{6{,}923}{0{,}80}$

   $= 8{,}6538\ kNm$

   Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 100\ \ mm$ (asumsi)

   Tinggi efektif balok

   $d = h - d'$

   $= 250 - 100$

   $= 150\ mm$

   Faktor tahanan momen

   $Rn = \frac{Mn\ x\ 10^6}{bxd^2}$

   $= \frac{8{,}6538\ x\ 10^6}{200\ x\ 150^2}$

   $= 1{,}9231$

   Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < Rmaks$ (OK)

   Rasio tulangan yang diperlukan

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

   $= 0{,}85\frac{18}{240}x\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x1{,}9231}{0{,}85x18}}\right]$

   $= 0{,}0086$

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

   Luas tulangan yang diperlukan

   $As = \rho\ x\ b\ x\ d$

   $= 0{,}0086\ x\ 200\ x\ 150$

   $= 257{,}75\ mm^2$

   Jumlah tulangan yang diperlukan

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

   $= \frac{257{,}75}{\frac{\pi}{4}16^2}$

   $= 1{,}28\ \cong 2\ buah$

Luas tulangan yang dipakai

$As = nx\frac{\pi}{4}xD^2$

$= 2x\frac{\pi}{4}x16^2$

$= 402{,}12\ mm^2$

Jumlah baris tulangan

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

$= \frac{2}{2}$

$= 1$

Tabel 4.4 Tulangan momen positif balok bordes

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	2	56	112
2	0	0	0
3	0	0	0
n =	2	$\Sigma[n_i$ x $y_i] =$	112

Letak titik berat tulangan

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

$= \frac{112}{2}$

$= 56\ mm$

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 250 - 56$

$= 194\ mm$

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

$= \frac{402{,}12x240}{0{,}85x18x200}$

$= 31{,}54$ mm

Momen nominal

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

$= 402{,}12x240x\left(194 - \frac{31{,}54}{2}\right)x10^{-6}$

$= 17{,}201\ kNm$

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

$= \frac{31,54}{0,85}$

$= 37,10$

Regangan tulangan tarik

$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} x0,003$

$= \frac{194-37,10}{37,10} x0,003$

$= 0,0127$

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

Tahanan momen balok

$\phi Mn = 0,9x17,201$

$= 15,481\ kNm$

Kontrol momen balok

$\phi Mn \geq Mu^+$

$15,481\ kNm > 6,923\ kNm$ (OK)

2. Tulangan momen negatif

Momen positif nominal rencana

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

$= \frac{12,818}{0,80}$

$= 16,023\ kNm$

Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 60\ mm$ (asumsi)

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 250 - 60$

$= 190\ mm$

Faktor tahanan momen

$Rn = \frac{Mn\ x\ 10^6}{bxd^2}$

$= \frac{16,023x\ 10^6}{200\ x\ 190^2}$

$= 2,2192$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < Rmaks$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$$= 0{,}85\frac{18}{240}x\left[1-\sqrt{1-\frac{2x2{,}2192}{0{,}85x18}}\right]$$

$$= 0{,}0100$$

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

Luas tulangan yang diperlukan

$$As = \rho\ x\ b\ x\ d$$

$$= 0{,}0100\ x\ 200\ x\ 190$$

$$= 381{,}39\ mm^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$$= \frac{381{,}39}{\frac{\pi}{4}16^2}$$

$$= 1{,}8969\ \cong 2\ buah$$

Luas tulangan yang dipakai

$$As = nx\frac{\pi}{4}xD^2$$

$$= 2x\frac{\pi}{4}x16^2$$

$$= 402{,}12\ mm^2$$

Jumlah baris tulangan

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

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

$$= 1$$

Tabel 4.5 Tulangan momen negatif balok bordes

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	2	56	112
2	0	0	0
3	0	0	0
n =	2	$\Sigma[n_i$ x $y_i]$ =	112

Letak titik berat tulangan

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

$$= \frac{112}{2}$$

$$= 56\ mm$$

Tinggi efektif balok

$$d = h - d'$$

$$= 250 - 56$$

$$= 194\ mm$$

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

$$= \frac{402{,}12x240}{0{,}85x18x200}$$

$$= 31{,}54 \text{ mm}$$

Momen nominal

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

$$= 402{,}12x240x\left(194 - \frac{31{,}54}{2}\right)x10^{-6}$$

$$= 17{,}201\ kNm$$

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

$$= \frac{31{,}54}{0{,}85}$$

$$= 37{,}10$$

Regangan tulangan tarik

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c}x0{,}003$$

$$= \frac{194-37{,}10}{37{,}10}x0{,}003$$

$$= 0{,}0127$$

Kontrol regangan tulangan tarik, $\varepsilon_t > 0{,}005$, maka nilai $\phi = 0{,}9$

Tahanan momen balok

$$\phi Mn = 0{,}9x17{,}201$$

$$= 15{,}481\ kNm$$

Kontrol momen balok

$\phi Mn \geq Mu^{-}$

$15{,}481\ kNm > 12{,}818\ kNm$ (OK)

3. Tulangan geser

Kuat geser beton

$Vc = \frac{\sqrt{fc'}}{6} xbxdx10^{-3}$

$= \frac{\sqrt{18}}{6} x200x150x10^{-3}$

$= 21{,}213\ kN$

Tahanan geser beton

$\phi Vc = 0{,}75x21{,}213$

$= 15{,}910\ kN$

$Vu > \phi Vc$, maka perlu tulangan geser

Kuat geser sengkang

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

$= \frac{17{,}965 - 0{,}75x21{,}213}{0{,}75}$

$= 2{,}740\ kN$

Luas tulangan geser sengkang

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

$= 2x \frac{\pi}{4} x8^2$

$= 100{,}53\ mm^2$

Jarak sengkang yang diperlukan

$s = Avfy \frac{d}{Vsx10^3}$

$= 100{,}53x240 \frac{150}{2{,}740x10^3}$

$= 1320{,}69\ mm$

Jarak sengkang maksimum

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

$= \frac{194}{2}$

$= 97\ mm$

Jarak sengkang yang digunakan

$s = 97\ mm \cong 100\ mm$

Sengkang yang digunakan, $2P8 - 100$

4.2.3. Balok Induk

Data balok induk

Kuat tekan beton, fc' = 18 Mpa

Tegangan leleh baja, fy = 240 Mpa

Lebar balok, b = 350 mm

Tinggi balok, h = 450 mm

Diameter tulangan, D = 18 mm

Diameter sengkang, P = 8 mm

Tebal selimut beton, ts = 40 mm

Momen rencana positif, Mu^+ = 87,712 kNm

Momen rencana negatif, Mu^- = 151,534 kNm

Gaya geser rencana, Vu = 102,430 kN

Faktor reduksi kuat lentur, ϕ = 0,80

Faktor reduksi kuat geser, ϕ = 0,75

Faktor distribusi tegangan beton, β_1 = 0,85

Jarak tulangan ke sisi luar beton

$$d_s = t_s + P + \frac{D}{2}$$
$$= 40 + 8 + \frac{18}{2}$$
$$= 57\ mm$$

Jumlah tulangan dalam satu baris

$$n_s = \frac{b-2d_s}{25+D}$$
$$= \frac{350-2x57}{25+18}$$
$$= 5{,}49 \cong 5\ buah$$

Jarak horizontal pusat ke pusat antar tulangan

$$x = \frac{b-n_sD-2d_s}{n_s-1}$$
$$= \frac{350-5x18-2x57}{5-1}$$
$$= 36{,}5\ mm$$

Jarak vertikal pusat ke pusat antar tulangan

$y = D + 25$

$= 18 + 25$

$= 43\ mm$

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$\rho_b = 0{,}85\beta_1 \frac{fc'}{fy} x \frac{600}{600+fy}$

$= 0{,}85x0{,}85x \frac{18}{240} x \frac{600}{600+240}$

$= 0{,}0387$

Faktor tahanan momen maksimum

$R_{maks} = 0{,}75\rho_b fy \left[1 - 0{,}5x0{,}75\rho_b \frac{fy}{0{,}85fc'}\right]$

$= 0{,}75x0{,}0387x240 \left[1 - 0{,}5x0{,}75x0{,}0387 \frac{240}{0{,}85x18}\right]$

$= 5{,}3807$

Rasio tulangan minimum

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

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

$= 0{,}0058$

Rasio tulangan maksimun

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

$= 0{,}75\ x\ 0{,}0387$

$= 0{,}2903$

1. Tulangan momen positif

   Momen positif nominal rencana

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

   $= \frac{87{,}712}{0{,}80}$

   $= 109{,}640\ kNm$

   Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 60\ \ mm$ (asumsi)

   Tinggi efektif balok

   $d = h - d'$

   $= 450 - 60$

   $= 390\ mm$

Faktor tahanan momen

$$Rn = \frac{Mn\ x\ 10^6}{bxd^2}$$

$$= \frac{109{,}640\ x\ 10^6}{350\ x\ 390^2}$$

$$= 2{,}0596$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < Rmaks$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$$= 0{,}85\frac{18}{240}x\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x2{,}0596}{0{,}85x18}}\right]$$

$$= 0{,}0093$$

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

Luas tulangan yang diperlukan

$$As = \rho\ x\ b\ x\ d$$

$$= 0{,}0093\ x\ 350\ x\ 390$$

$$= 1263{,}03\ mm^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$$= \frac{1263{,}03}{\frac{\pi}{4}18^2}$$

$$= 4{,}96 \cong 5\ buah$$

Luas tulangan yang dipakai

$$As = nx\frac{\pi}{4}xD^2$$

$$= 5x\frac{\pi}{4}x18^2$$

$$= 1272{,}34\ mm^2$$

Jumlah baris tulangan

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

$$= \frac{5}{5}$$

$$= 1$$

Tabel 4.6 Tulangan momen positif balok induk

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	5	57	285
2	0	0	0
3	0	0	0
n =	5	$\Sigma[n_i \text{ x } y_i]$ =	285

Letak titik berat tulangan

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

$$= \frac{285}{5}$$

$$= 57\ mm$$

Tinggi efektif balok

$$d = h - d'$$

$$= 450 - 57$$

$$= 393\ mm$$

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

$$= \frac{1272{,}34x240}{0{,}85x18x350}$$

$$= 57{,}02 \text{ mm}$$

Momen nominal

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

$$= 1272{,}34x240x\left(393 - \frac{57{,}02}{2}\right)x10^{-6}$$

$$= 111{,}301\ kNm$$

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

$$= \frac{57{,}02}{0{,}85}$$

$$= 67{,}09$$

Regangan tulangan tarik

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c}x0{,}003$$

$$= \frac{393-67{,}09}{67{,}09}x0{,}003$$

$$= 0{,}0146$$

Kontrol regangan tulangan tarik, $\varepsilon_t > 0{,}005$, maka nilai $\phi = 0{,}9$

Tahanan momen balok

$\phi Mn = 0{,}9x111{,}310$

$= 100{,}171\ kNm$

Kontrol momen balok

$\phi Mn \geq Mu^+$

$100{,}171 kNm > 87{,}712\ kNm$ (OK)

2. Tulangan momen negatif

Momen positif nominal rencana

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

$= \frac{151{,}534}{0{,}80}$

$= 189{,}417\ kNm$

Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 80\ \ mm$ (asumsi)

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 450 - 80$

$= 370\ mm$

Faktor tahanan momen

$Rn = \frac{Mn\ x\ 10^6}{bxd^2}$

$= \frac{189{,}417x\ 10^6}{350\ x\ 370^2}$

$= 3{,}9532$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < Rmaks$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$= 0{,}85 \frac{18}{240} x \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x3{,}9532}{0{,}85x18}}\right]$

$= 0{,}0194$

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

Luas tulangan yang diperlukan

$$As = \rho\ x\ b\ x\ d$$
$$= 0{,}0194\ x\ 350\ x\ 370$$
$$= 2516{,}67\ mm^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{As}{\frac{\pi}{4}D^2}$$
$$= \frac{2516{,}67}{\frac{\pi}{4}18^2}$$
$$= 9{,}88 \cong 10\ buah$$

Luas tulangan yang dipakai

$$As = nx\frac{\pi}{4}xD^2$$
$$= 10x\frac{\pi}{4}x18^2$$
$$= 2544{,}69\ mm^2$$

Jumlah baris tulangan

$$n_b = \frac{n}{n_s}$$
$$= \frac{10}{5}$$
$$= 2$$

Tabel 4.7 Tulangan momen negatif balok induk

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	5	57	285
2	5	100	500
3	0	0	0
n =	9	$\Sigma[n_i$ x $y_i]$ =	785

Letak titik berat tulangan

$$d' = \frac{\Sigma[n_i y_i]}{n}$$
$$= \frac{785}{10}$$
$$= 78{,}5\ mm$$

Tinggi efektif balok

$$d = h - d'$$
$$= 450 - 78{,}5$$
$$= 371{,}5\ mm$$

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

$$= \frac{2544{,}69x240}{0{,}85x18x350}$$

$$= 114{,}05 \text{ mm}$$

Momen nominal

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

$$= 2544{,}69x240x\left(371{,}5 - \frac{114{,}05}{2}\right)x10^{-6}$$

$$= 192{,}059\ kNm$$

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

$$= \frac{114{,}05}{0{,}85}$$

$$= 134{,}17$$

Regangan tulangan tarik

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c}x0{,}003$$

$$= \frac{371{,}5-134{,}17}{134{,}17}x0{,}003$$

$$= 0{,}0053$$

Kontrol regangan tulangan tarik, $\varepsilon_t > 0{,}005$, maka nilai $\phi = 0{,}9$

Tahanan momen balok

$$\phi Mn = 0{,}9x192{,}059$$

$$= 172{,}853\ kNm$$

Kontrol momen balok

$$\phi Mn \geq Mu^{-}$$

$172{,}853\ kNm > 151{,}534\ kNm$ (OK)

3. Tulangan geser

Kuat geser beton

$$Vc = \frac{\sqrt{fc'}}{6}xbxdx10^{-3}$$

$$= \frac{\sqrt{18}}{6}x350x390x10^{-3}$$

$$= 96{,}520\ kN$$

Tahanan geser beton

$\phi Vc = 0{,}75x96{,}520$

$= 72{,}390\ kN$

$Vu > \phi Vc$, maka perlu tulangan geser

Kuat geser sengkang

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

$= \frac{102{,}430-0{,}75x96{,}520}{0{,}75}$

$= 40{,}053\ kN$

Luas tulangan geser sengkang

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

$= 2x \frac{\pi}{4} x8^2$

$= 100{,}53\ mm^2$

Jarak sengkang yang diperlukan

$s = Avfy \frac{d}{Vsx10^3}$

$= 100{,}53x240 \frac{390}{40{,}053x10^3}$

$= 234{,}93\ mm$

Jarak sengkang maksimum

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

$= \frac{393}{2}$

$= 196{,}5\ mm$

Jarak sengkang yang digunakan

$s = 196{,}5\ mm \cong 200\ mm$

Sengkang yang digunakan, $2P8 - 200$

4.2.4. Balok Sloof

Data balok sloof

Kuat tekan beton, fc’ = 18 Mpa

Tegangan leleh baja, fy = 240 Mpa

Lebar balok, b = 350 mm

Tinggi balok, h = 450 mm

Diameter tulangan, D = 18 mm

Diameter sengkang, P = 8 mm

Tebal selimut beton, ts = 40 mm

Momen rencana positif, Mu^+ = 76,918 kNm

Momen rencana negatif, Mu^- = 139,729 kNm

Gaya geser rencana, Vu = 98,378 kN

Faktor reduksi kuat lentur, ϕ = 0,80

Faktor reduksi kuat geser, ϕ = 0,75

Faktor distribusi tegangan beton, β_1 = 0,85

Jarak tulangan ke sisi luar beton

$$d_s = t_s + P + \frac{D}{2}$$
$$= 40 + 8 + \frac{18}{2}$$
$$= 57\ mm$$

Jumlah tulangan dalam satu baris

$$n_s = \frac{b-2d_s}{25+D}$$
$$= \frac{350-2x57}{25+18}$$
$$= 5{,}49 \cong 5\ buah$$

Jarak horizontal pusat ke pusat antar tulangan

$$x = \frac{b-n_sD-2d_s}{n_s-1}$$
$$= \frac{350-5x18-2x57}{5-1}$$
$$= 36{,}5\ mm$$

Jarak vertikal pusat ke pusat antar tulangan

$$y = D + 25$$
$$= 18 + 25$$
$$= 43\ mm$$

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = 0{,}85\beta_1 \frac{fc'}{fy} x \frac{600}{600+fy}$$
$$= 0{,}85x0{,}85x \frac{18}{240} x \frac{600}{600+240}$$
$$= 0{,}0387$$

Faktor tahanan momen maksimum

$$R_{maks} = 0{,}75\rho_b fy\left[1 - 0{,}5x0{,}75\rho_b \frac{fy}{0{,}85fc'}\right]$$

$$= 0{,}75x0{,}0387x240\left[1 - 0{,}5x0{,}75x0{,}0387\frac{240}{0{,}85x18}\right]$$

$$= 5{,}3807$$

Rasio tulangan minimum

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

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

$$= 0{,}0058$$

Rasio tulangan maksimun

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

$$= 0{,}75\ x\ 0{,}0387$$

$$= 0{,}2903$$

1. Tulangan momen positif

Momen positif nominal rencana

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

$$= \frac{76{,}918}{0{,}80}$$

$$= 96{,}147\ kNm$$

Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 70\ \ mm$ (asumsi)

Tinggi efektif balok

$$d = h - d'$$

$$= 450 - 70$$

$$= 380\ mm$$

Faktor tahanan momen

$$Rn = \frac{Mn\ x\ 10^6}{bxd^2}$$

$$= \frac{96{,}147\ x\ 10^6}{350\ x\ 380^2}$$

$$= 1{,}9024$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < Rmaks$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$$= 0{,}85\frac{18}{240}x\left[1-\sqrt{1-\frac{2x1{,}9024}{0{,}85x18}}\right]$$

$$= 0{,}0085$$

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

Luas tulangan yang diperlukan

$$As = \rho\ x\ b\ x\ d$$

$$= 0{,}0085\ x\ 350\ x\ 380$$

$$= 1129{,}48\ mm^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$$= \frac{1129{,}48}{\frac{\pi}{4}18^2}$$

$$= 4{,}44 \cong 5\ buah$$

Luas tulangan yang dipakai

$$As = nx\frac{\pi}{4}xD^2$$

$$= 5x\frac{\pi}{4}x18^2$$

$$= 1272{,}34\ mm^2$$

Jumlah baris tulangan

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

$$= \frac{5}{5}$$

$$= 1$$

Tabel 4.8 Tulangan momen positif sloof

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	5	57	285
2	0	0	0
3	0	0	0
n =	5	$\Sigma[n_i$ x $y_i] =$	285

Letak titik berat tulangan

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

$$= \frac{285}{5}$$

$$= 57\ mm$$

Tinggi efektif balok

$$d = h - d'$$

$$= 450 - 57$$

$$= 373\ mm$$

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

$$= \frac{1272{,}34x240}{0{,}85x18x350}$$

$$= 57{,}02 \text{ mm}$$

Momen nominal

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

$$= 1272{,}34x240x\left(373 - \frac{57{,}02}{2}\right)x10^{-6}$$

$$= 111{,}301\ kNm$$

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

$$= \frac{57{,}02}{0{,}85}$$

$$= 67{,}09$$

Regangan tulangan tarik

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c}x0{,}003$$

$$= \frac{373-67{,}09}{67{,}09}x0{,}003$$

$$= 0{,}0146$$

Kontrol regangan tulangan tarik, $\varepsilon_t > 0{,}005$, maka nilai $\phi = 0{,}9$

Tahanan momen balok

$$\phi Mn = 0{,}9x111{,}301$$

$$= 100{,}171\ kNm$$

Kontrol momen balok

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

$100{,}171\ kNm > 76{,}918\ kNm$ (OK)

2. Tulangan momen negatif

Momen positif nominal rencana

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

$= \frac{139{,}729}{0{,}80}$

$= 174{,}661\ kNm$

Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 90\ mm$ (asumsi)

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 450 - 90$

$= 360\ mm$

Faktor tahanan momen

$Rn = \frac{Mn\ x\ 10^6}{bxd^2}$

$= \frac{174{,}661x\ 10^6}{350\ x\ 360^2}$

$= 3{,}8505$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < Rmaks$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$= 0{,}85 \frac{18}{240} x \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x3{,}8505}{0{,}85x18}}\right]$

$= 0{,}0188$

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

Luas tulangan yang diperlukan

$As = \rho\ x\ b\ x\ d$

$= 0{,}0188\ x\ 350\ x\ 360$

$= 2371{,}66\ mm^2$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$$= \frac{2371,66}{\frac{\pi}{4}18^2}$$

$$= 9,32 \cong 10\ buah$$

Luas tulangan yang dipakai

$$As = nx\frac{\pi}{4}xD^2$$

$$= 10x\frac{\pi}{4}x18^2$$

$$= 2544,69\ mm^2$$

Jumlah baris tulangan

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

$$= \frac{10}{5}$$

$$= 2$$

Tabel 4.9 Tulangan momen negatif sloof

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	5	57	285
2	5	100	500
3	0	0	0
n =	10	$\Sigma[n_i$ x $y_i]$ =	785

Letak titik berat tulangan

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

$$= \frac{785}{10}$$

$$= 78,5\ mm$$

Tinggi efektif balok

$$d = h - d'$$

$$= 450 - 78,5$$

$$= 371,5\ mm$$

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

$$= \frac{2544,69x240}{0,85x18x350}$$

$$= 114,05 \text{ mm}$$

Momen nominal

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

$$= 2544{,}69x240x\left(371{,}5 - \frac{114{,}05}{2}\right)x10^6$$

$$= 192{,}059\ kNm$$

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

$$= \frac{114{,}05}{0{,}85}$$

$$= 134{,}17$$

Regangan tulangan tarik

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c}x0{,}003$$

$$= \frac{371{,}5-134{,}17}{134{,}17}x0{,}003$$

$$= 0{,}0053$$

Kontrol regangan tulangan tarik, $\varepsilon_t > 0{,}005$, maka nilai $\phi = 0{,}9$

Tahanan momen balok

$$\phi Mn = 0{,}9x192{,}059$$

$$= 172{,}853\ kNm$$

Kontrol momen balok

$$\phi Mn \geq Mu^-$$

$172{,}853\ kNm > 139{,}729\ kNm$ (OK)

3. Tulangan geser

Kuat geser beton

$$Vc = \frac{\sqrt{fc'}}{6}xbxdx10^{-3}$$

$$= \frac{\sqrt{18}}{6}x350x380x10^{-3}$$

$$= 94{,}045\ kN$$

Tahanan geser beton

$$\phi Vc = 0{,}75x94{,}045$$

$$= 70{,}534\ kN$$

$Vu > \phi Vc$, maka perlu tulangan geser

Kuat geser sengkang

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

$$= \frac{98{,}378 - 0{,}75x94{,}045}{0{,}75}$$

$$= 37{,}125\ kN$$

Luas tulangan geser sengkang

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

$$= 2x \frac{\pi}{4} x8^2$$

$$= 100{,}53\ mm^2$$

Jarak sengkang yang diperlukan

$$s = Avfy \frac{d}{Vsx10^3}$$

$$= 100{,}53x240 \frac{380}{37{,}125x10^3}$$

$$= 246{,}96\ mm$$

Jarak sengkang maksimum

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

$$= \frac{373}{2}$$

$$= 196{,}5\ mm$$

Jarak sengkang yang digunakan

$$s = 196{,}5\ mm \cong 200\ mm$$

Sengkang yang digunakan, $2P8 - 200$

4.2.5. Ringbalk

Data ringbalk

Kuat tekan beton, fc’	= 18 Mpa
Tegangan leleh baja, fy	= 240 Mpa
Lebar balok, b	= 250 mm
Tinggi balok, h	= 250 mm
Diameter tulangan, D	= 16 mm
Diameter sengkang, P	= 8 mm
Tebal selimut beton, ts	= 40 mm
Momen rencana positif, Mu^+	= 15,506 kNm

Momen rencana negatif, Mu^- = 11,707 kNm

Gaya geser rencana, Vu = 27,213 kN

Faktor reduksi kuat lentur, ϕ = 0,80

Faktor reduksi kuat geser, ϕ = 0,75

Faktor distribusi tegangan beton, β_1 = 0,85

Jarak tulangan ke sisi luar beton

$$d_s = t_s + P + \frac{D}{2}$$
$$= 40 + 8 + \frac{16}{2}$$
$$= 56\ mm$$

Jumlah tulangan dalam satu baris

$$n_s = \frac{b-2d_s}{25+D}$$
$$= \frac{250-2x56}{25+16}$$
$$= 3{,}37 \cong 3\ buah$$

Jarak horizontal pusat ke pusat antar tulangan

$$x = \frac{b-n_s D-2d_s}{n_s-1}$$
$$= \frac{250-3x16-2x56}{3-1}$$
$$= 45\ mm$$

Jarak vertikal pusat ke pusat antar tulangan

$$y = D + 25$$
$$= 16 + 25$$
$$= 41\ mm$$

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = 0{,}85\beta_1 \frac{fc'}{fy} x \frac{600}{600+fy}$$
$$= 0{,}85x0{,}85x\frac{18}{240}x\frac{600}{600+240}$$
$$= 0{,}0387$$

Faktor tahanan momen maksimum

$$R_{maks} = 0{,}75\rho_b fy\left[1 - 0{,}5x0{,}75\rho_b \frac{fy}{0{,}85fc'}\right]$$
$$= 0{,}75x0{,}0387x240\left[1 - 0{,}5x0{,}75x0{,}0387\frac{240}{0{,}85x18}\right]$$
$$= 5{,}3807$$

Rasio tulangan minimum

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

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

$$= 0,0058$$

Rasio tulangan maksimun

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

$$= 0,75\ x\ 0,0387$$

$$= 0,2903$$

1. Tulangan momen positif

Momen positif nominal rencana

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

$$= \frac{15,506}{0,80}$$

$$= 19,382\ kNm$$

Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 80\ \ mm$ (asumsi)

Tinggi efektif balok

$$d = h - d'$$

$$= 250 - 80$$

$$= 170\ mm$$

Faktor tahanan momen

$$Rn = \frac{Mn\ x\ 10^6}{bxd^2}$$

$$= \frac{19,382\ x\ 10^6}{250\ x\ 170^2}$$

$$= 2,6826$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < Rmaks$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$$= 0,85\frac{18}{240}x\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x2,6826}{0,85x18}}\right]$$

$$= 0,0124$$

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

Luas tulangan yang diperlukan

$$As = \rho\ x\ b\ x\ d$$
$$= 0{,}0124\ x\ 250\ x\ 170$$
$$= 526{,}14\ mm^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

$$n = \frac{As}{\frac{\pi}{4}D^2}$$
$$= \frac{526{,}14}{\frac{\pi}{4}16^2}$$
$$= 2{,}62 \cong 3\ buah$$

Luas tulangan yang dipakai

$$As = nx\frac{\pi}{4}xD^2$$
$$= 3x\frac{\pi}{4}x16^2$$
$$= 603{,}18\ mm^2$$

Jumlah baris tulangan

$$n_b = \frac{n}{n_s}$$
$$= \frac{3}{3}$$
$$= 1$$

Tabel 4.10 Tulangan momen positif ringbalk

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	3	56	168
2	0	0	0
3	0	0	0
n =	3	$\Sigma[n_i$ x $y_i]$ =	168

Letak titik berat tulangan

$$d' = \frac{\Sigma[n_i y_i]}{n}$$
$$= \frac{168}{3}$$
$$= 56\ mm$$

Tinggi efektif balok

$$d = h - d'$$
$$= 250 - 56$$
$$= 194\ mm$$

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

$= \frac{603{,}18x240}{0{,}85x18x250}$

$= 37{,}85$ mm

Momen nominal

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

$= 603{,}18x240x\left(194 - \frac{37{,}85}{2}\right)x10^{-6}$

$= 25{,}345\ kNm$

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

$= \frac{37{,}85}{0{,}85}$

$= 44{,}52$

Regangan tulangan tarik

$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c}x0{,}003$

$= \frac{194-44{,}52}{44{,}52}x0{,}003$

$= 0{,}0101$

Kontrol regangan tulangan tarik, $\varepsilon_t > 0{,}005$, maka nilai $\phi = 0{,}9$

Tahanan momen balok

$\phi Mn = 0{,}9x25{,}345$

$= 22{,}810\ kNm$

Kontrol momen balok

$\phi Mn \geq Mu^+$

$22{,}810\ kNm > 15{,}506\ kNm$ (OK)

2. Tulangan momen negatif

Momen positif nominal rencana

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

$= \frac{11{,}707}{0{,}80}$

$= 14{,}634\ kNm$

Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 80\ mm$ (asumsi)

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 250 - 80$

$= 170\ mm$

Faktor tahanan momen

$Rn = \frac{Mn\ x\ 10^6}{bxd^2}$

$= \frac{14{,}634x\ 10^6}{250\ x\ 170^2}$

$= 2{,}0254$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < Rmaks$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$= 0{,}85\frac{18}{240}x\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x2{,}0254}{0{,}85x18}}\right]$

$= 0{,}0091$

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

Luas tulangan yang diperlukan

$As = \rho\ x\ b\ x\ d$

$= 0{,}0091\ x\ 250\ x\ 170$

$= 386{,}20\ mm^2$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$= \frac{386{,}20}{\frac{\pi}{4}16^2}$

$= 1{,}92\ \cong 2\ buah$

Luas tulangan yang dipakai

$As = nx\frac{\pi}{4}xD^2$

$= 2x\frac{\pi}{4}x16^2$

$= 402{,}12\ mm^2$

Jumlah baris tulangan

$$n_b = \frac{n}{n_s}$$
$$= \frac{2}{3}$$
$$= 0{,}67$$

Tabel 4.11 Tulangan momen negatif ringbalk

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	2	56	112
2	0	0	0
3	0	0	0
n =	2	$\Sigma[n_i \text{ x } y_i]$ =	112

Letak titik berat tulangan

$$d' = \frac{\Sigma[n_i y_i]}{n}$$
$$= \frac{112}{2}$$
$$= 56\ mm$$

Tinggi efektif balok

$$d = h - d'$$
$$= 250 - 56$$
$$= 194\ mm$$

$$a = \frac{Asfy}{0{,}85fc'b}$$
$$= \frac{402{,}12x240}{0{,}85x18x250}$$
$$= 25{,}23\ mm$$

Momen nominal

$$Mn = Asfy\left(d - \frac{a}{2}\right)10^{-6}$$
$$= 402{,}12x240x\left(194 - \frac{25{,}23}{2}\right)x10^{-6}$$
$$= 17{,}505\ kNm$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$
$$= \frac{25{,}23}{0{,}85}$$
$$= 29{,}68$$

Regangan tulangan tarik

$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} x0{,}003$

$= \frac{194-29{,}68}{29{,}68} x0{,}003$

$= 0{,}0166$

Kontrol regangan tulangan tarik, $\varepsilon_t > 0{,}005$, maka nilai $\phi = 0{,}9$

Tahanan momen balok

$\phi Mn = 0{,}9x17{,}505$

$= 15{,}755\ kNm$

Kontrol momen balok

$\phi Mn \geq Mu^-$

$15{,}755\ kNm > 11{,}707\ kNm$ (OK)

3. Tulangan geser

Kuat geser beton

$Vc = \frac{\sqrt{fc'}}{6} xbxdx10^{-3}$

$= \frac{\sqrt{18}}{6} x250x170x10^{-3}$

$= 30{,}052\ kN$

Tahanan geser beton

$\phi Vc = 0{,}75x30{,}052$

$= 22{,}539\ kN$

$Vu > \phi Vc$, maka perlu tulangan geser

Kuat geser sengkang

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

$= \frac{27{,}213-0{,}75x30{,}052}{0{,}75}$

$= 6{,}232\ kN$

Luas tulangan geser sengkang

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

$= 2x \frac{\pi}{4} x8^2$

$= 100{,}53\ mm^2$

Jarak sengkang yang diperlukan

$$s = Avfy\frac{d}{Vsx10^3}$$
$$= 100{,}53x240\frac{170}{6{,}232x10^3}$$
$$= 658{,}2\ mm$$

Jarak sengkang maksimum

$$s_{maks} = \frac{d}{2}$$
$$= \frac{194}{2}$$
$$= 97\ mm$$

Jarak sengkang yang digunakan

$$s = 90\ mm \cong 100\ mm$$

Sengkang yang digunakan, $2P8 - 100$

4.2.6. Balok Miring

Data balok miring

Kuat tekan beton, fc' = 18 Mpa

Tegangan leleh baja, fy = 240 Mpa

Lebar balok, b = 200 mm

Tinggi balok, h = 220 mm

Diameter tulangan, D = 10 mm

Diameter sengkang, P = 8 mm

Tebal selimut beton, ts = 40 mm

Momen rencana positif, Mu^+ = 2,987 kNm

Momen rencana negatif, Mu^- = 3,548 kNm

Gaya geser rencana, Vu = 1,598 kN

Faktor reduksi kuat lentur, ϕ = 0,80

Faktor reduksi kuat geser, ϕ = 0,75

Faktor distribusi tegangan beton, β_1 = 0,85

Jarak tulangan ke sisi luar beton

$$d_s = t_s + P + \frac{D}{2}$$
$$= 40 + 8 + \frac{10}{2}$$
$$= 53\ mm$$

Jumlah tulangan dalam satu baris

$$n_s = \frac{b-2d_s}{25+D}$$
$$= \frac{200-2x53}{25+10}$$
$$= 2{,}69 \cong 2\ buah$$

Jarak horizontal pusat ke pusat antar tulangan

$$x = \frac{b-n_s D-2d_s}{n_s-1}$$
$$= \frac{200-2x10-2x53}{2-1}$$
$$= 74\ mm$$

Jarak vertikal pusat ke pusat antar tulangan

$$y = D + 25$$
$$= 10 + 25$$
$$= 35\ mm$$

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = 0{,}85\beta_1 \frac{fc'}{fy} x \frac{600}{600+fy}$$
$$= 0{,}85x0{,}85x \frac{18}{240} x \frac{600}{600+240}$$
$$= 0{,}0387$$

Faktor tahanan momen maksimum

$$R_{maks} = 0{,}75\rho_b fy \left[1 - 0{,}5x0{,}75\rho_b \frac{fy}{0{,}85fc'}\right]$$
$$= 0{,}75x0{,}0387x240 \left[1 - 0{,}5x0{,}75x0{,}0387 \frac{240}{0{,}85x18}\right]$$
$$= 5{,}3807$$

Rasio tulangan minimum

$$\rho = \frac{1{,}4}{fy}$$
$$= \frac{1{,}4}{240}$$
$$= 0{,}0058$$

Rasio tulangan maksimun

$$\rho_{maks} = 0{,}75\rho_b$$
$$= 0{,}75\ x\ 0{,}0387$$
$$= 0{,}2903$$

1. Tulangan momen positif

   Momen positif nominal rencana

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

   $= \frac{2,987}{0,80}$

   $= 3,734\ kNm$

   Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 90\ mm$ (asumsi)

   Tinggi efektif balok

   $d = h - d'$

   $= 200 - 90$

   $= 110\ mm$

   Faktor tahanan momen

   $Rn = \frac{Mn\ x\ 10^6}{bxd^2}$

   $= \frac{3,734\ x\ 10^6}{200\ x\ 110^2}$

   $= 1,5429$

   Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < Rmaks$ (OK)

   Rasio tulangan yang diperlukan

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

   $= 0,85 \frac{18}{240} x \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x1,5429}{0,85x18}}\right]$

   $= 0,0068$

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

   Luas tulangan yang diperlukan

   $As = \rho\ x\ b\ x\ d$

   $= 0,0068\ x\ 200\ x\ 110$

   $= 149,39\ mm^2$

   Jumlah tulangan yang diperlukan

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

   $= \frac{149,39}{\frac{\pi}{4}10^2}$

   $= 1,90 \cong 2\ buah$

Luas tulangan yang dipakai

$As = nx\frac{\pi}{4}xD^2$

$= 2x\frac{\pi}{4}x10^2$

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

Jumlah baris tulangan

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

$= \frac{2}{2}$

$= 1$

Tabel 4.12 Tulangan momen positif balok miring

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	2	53	106
2	0	0	0
3	0	0	0
n =	2	$\Sigma[n_i$ x $y_i]$ =	106

Letak titik berat tulangan

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

$= \frac{106}{2}$

$= 53\ mm$

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 200 - 53$

$= 147\ mm$

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

$= \frac{157{,}08x240}{0{,}85x18x200}$

$= 12{,}32$ mm

Momen nominal

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

$= 157{,}08x240x\left(147 - \frac{12{,}32}{2}\right)x10^{-6}$

$= 5{,}310\ kNm$

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

$= \frac{12,32}{0,85}$

$= 14,49$

Regangan tulangan tarik

$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} x0,003$

$= \frac{147-14,49}{14,49} x0,003$

$= 0,0274$

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

Tahanan momen balok

$\phi Mn = 0,9x5,310$

$= 4,778\ kNm$

Kontrol momen balok

$\phi Mn \geq Mu^+$

$4,778\ kNm > 2,987\ kNm$ (OK)

2. Tulangan momen negatif

Momen positif nominal rencana

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

$= \frac{3,548}{0,80}$

$= 4,435\ kNm$

Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 75\ mm$ (asumsi)

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 200 - 75$

$= 125\ mm$

Faktor tahanan momen

$Rn = \frac{Mn\ x\ 10^6}{bxd^2}$

$= \frac{4,435x\ 10^6}{200\ x\ 125^2}$

$= 1,4192$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < Rmaks$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$$= 0{,}85\frac{18}{240}x\left[1-\sqrt{1-\frac{2x1{,}4192}{0{,}85x18}}\right]$$

$$= 0{,}0062$$

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

Luas tulangan yang diperlukan

$$As = \rho\ x\ b\ x\ d$$

$$= 0{,}0062\ x\ 200\ x\ 125$$

$$= 155{,}41\ mm^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$$= \frac{155{,}41}{\frac{\pi}{4}10^2}$$

$$= 1{,}98\ \cong 2\ buah$$

Luas tulangan yang dipakai

$$As = nx\frac{\pi}{4}xD^2$$

$$= 2x\frac{\pi}{4}x10^2$$

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

Jumlah baris tulangan

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

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

$$= 1$$

Tabel 4.13 Tulangan momen negatif balok miring

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	2	53	106
2	0	0	0
3	0	0	0
n =	2	$\Sigma[n_i$ x $y_i]$ =	106

Letak titik berat tulangan

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

$$= \frac{106}{2}$$

$$= 53\ mm$$

Tinggi efektif balok

$$d = h - d'$$

$$= 200 - 523$$

$$= 147\ mm$$

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

$$= \frac{157{,}08x240}{0{,}85x18x200}$$

$$= 12{,}32\ mm$$

Momen nominal

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

$$= 157{,}08x240x\left(147 - \frac{12{,}32}{2}\right)x10^{-6}$$

$$= 5{,}310\ kNm$$

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

$$= \frac{12{,}32}{0{,}85}$$

$$= 14{,}49$$

Regangan tulangan tarik

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c}x0{,}003$$

$$= \frac{147-14{,}49}{14{,}49}x0{,}003$$

$$= 0{,}0274$$

Kontrol regangan tulangan tarik, $\varepsilon_t > 0{,}005$, maka nilai $\phi = 0{,}9$

Tahanan momen balok

$$\phi Mn = 0{,}9x5{,}310$$

$$= 4{,}779\ kNm$$

Kontrol momen balok

$\phi Mn \geq Mu^{-}$

$4{,}779\ kNm > 3{,}548\ kNm$ (OK)

3. Tulangan geser

Kuat geser beton

$Vc = \frac{\sqrt{fc'}}{6} xbxdx10^{-3}$

$= \frac{\sqrt{18}}{6} x200x110x10^{-3}$

$= 15{,}556\ kN$

Tahanan geser beton

$\phi Vc = 0{,}75x15{,}556$

$= 11{,}667\ kN$

$Vu < \phi Vc$, maka hanya perlu tulangan geser minimum

Kuat geser sengkang

$Vs = 1{,}598\ kN$

Luas tulangan geser sengkang

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

$= 2x \frac{\pi}{4} x8^2$

$= 100{,}53\ mm^2$

Jarak sengkang yang diperlukan

$s = Avfy \frac{d}{Vsx10^3}$

$= 100{,}53x240 \frac{110}{1{,}598x10^3}$

$= 1660{,}89\ mm$

Jarak sengkang maksimum

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

$= \frac{147}{2}$

$= 73{,}5\ mm$

Jarak sengkang yang digunakan

$s = 73{,}5\ mm \cong 100\ mm$

Sengkang yang digunakan, $2P8 - 100$

4.2.7. Balok Gording

Data balok gording

Kuat tekan beton, fc' = 18 Mpa

Tegangan leleh baja, fy = 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, ts = 40 mm

Momen rencana positif, Mu^+ = 1,163 kNm

Momen rencana negatif, Mu^- = 2,328 kNm

Gaya geser rencana, Vu = 3,315 kN

Faktor reduksi kuat lentur, ϕ = 0,80

Faktor reduksi kuat geser, ϕ = 0,75

Faktor distribusi tegangan beton, β_1 = 0,85

Jarak tulangan ke sisi luar beton

$$d_s = t_s + P + \frac{D}{2}$$

$$= 40 + 8 + \frac{10}{2}$$

$$= 53\ mm$$

Jumlah tulangan dalam satu baris

$$n_s = \frac{b-2d_s}{25+D}$$

$$= \frac{200-2x53}{25+10}$$

$$= 2{,}69 \cong 2\ buah$$

Jarak horizontal pusat ke pusat antar tulangan

$$x = \frac{b-n_sD-2d_s}{n_s-1}$$

$$= \frac{200-2x10-2x53}{2-1}$$

$$= 74\ mm$$

Jarak vertikal pusat ke pusat antar tulangan

$y = D + 25$

$= 10 + 25$

$= 35\ mm$

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$\rho_b = 0{,}85\beta_1 \frac{fc'}{fy} x \frac{600}{600+fy}$

$= 0{,}85x0{,}85x \frac{18}{240} x \frac{600}{600+240}$

$= 0{,}0387$

Faktor tahanan momen maksimum

$R_{maks} = 0{,}75\rho_b fy \left[1 - 0{,}5x0{,}75\rho_b \frac{fy}{0{,}85fc'}\right]$

$= 0{,}75x0{,}0387x240 \left[1 - 0{,}5x0{,}75x0{,}0387 \frac{240}{0{,}85x18}\right]$

$= 5{,}3807$

Rasio tulangan minimum

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

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

$= 0{,}0058$

Rasio tulangan maksimun

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

$= 0{,}75\ x\ 0{,}0387$

$= 0{,}2903$

1. Tulangan momen positif

   Momen positif nominal rencana

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

   $= \frac{1{,}163}{0{,}80}$

   $= 1{,}453\ kNm$

   Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 130\ \ mm$ (asumsi)

   Tinggi efektif balok

   $d = h - d'$

   $= 200 - 130$

   $= 70\ mm$

Faktor tahanan momen

$$Rn = \frac{Mn\ x\ 10^6}{bxd^2}$$

$$= \frac{1{,}163\ x\ 10^6}{200\ x\ 70^2}$$

$$= 1{,}4830$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < Rmaks$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$$= 0{,}85\frac{18}{240}x\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x1{,}4830}{0{,}85x18}}\right]$$

$$= 0{,}0065$$

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

Luas tulangan yang diperlukan

$$As = \rho\ x\ b\ x\ d$$

$$= 0{,}0065\ x\ 200\ x\ 70$$

$$= 91{,}16\ mm^2$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$$= \frac{91{,}16}{\frac{\pi}{4}10^2}$$

$$= 1{,}16 \cong 2\ buah$$

Luas tulangan yang dipakai

$$As = nx\frac{\pi}{4}xD^2$$

$$= 2x\frac{\pi}{4}x10^2$$

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

Jumlah baris tulangan

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

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

$$= 1$$

Tabel 4.14 Tulangan momen positif gording

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	2	53	106
2	0	0	0
3	0	0	0
n =	2	$\Sigma[n_i$ x $y_i]$ =	106

Letak titik berat tulangan

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

$$= \frac{106}{2}$$

$$= 53\ mm$$

Tinggi efektif balok

$$d = h - d'$$

$$= 200 - 53$$

$$= 147\ mm$$

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

$$= \frac{157{,}08x240}{0{,}85x18x200}$$

$$= 12{,}32 \text{ mm}$$

Momen nominal

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

$$= 157{,}08x240x\left(147 - \frac{12{,}32}{2}\right)x10^{-6}$$

$$= 5{,}310\ kNm$$

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

$$= \frac{12{,}32}{0{,}85}$$

$$= 14{,}49$$

Regangan tulangan tarik

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c}x0{,}003$$

$$= \frac{147-14{,}49}{14{,}49}x0{,}003$$

$$= 0{,}0274$$

Kontrol regangan tulangan tarik, $\varepsilon_t > 0{,}005$, maka nilai $\phi = 0{,}9$

Tahanan momen balok

$\phi Mn = 0{,}9x5{,}310$

$= 4{,}778\ kNm$

Kontrol momen balok

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

$4{,}778\ kNm > 1{,}163\ kNm$ (OK)

2. Tulangan momen negatif

Momen positif nominal rencana

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

$= \frac{2{,}328}{0{,}80}$

$= 2{,}909\ kNm$

Jarak pusat tulangan lentur ke sisi beton, $d' = 100\ mm$ (asumsi)

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 200 - 100$

$= 100\ mm$

Faktor tahanan momen

$Rn = \frac{Mn\ x\ 10^6}{bxd^2}$

$= \frac{2{,}909x\ 10^6}{200\ x\ 100^2}$

$= 1{,}4548$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < Rmaks$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$= 0{,}85\frac{18}{240}x\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x1{,}4548}{0{,}85x18}}\right]$

$= 0{,}0064$

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

Luas tulangan yang diperlukan

$As = \rho\ x\ b\ x\ d$

$= 0{,}0064\ x\ 200\ x\ 100$

$= 127{,}62\ mm^2$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$$= \frac{127,62}{\frac{\pi}{4}10^2}$$

$$= 1,62 \cong 2\ buah$$

Luas tulangan yang dipakai

$$As = nx\frac{\pi}{4}xD^2$$

$$= 2x\frac{\pi}{4}x10^2$$

$$= 157,08\ mm^2$$

Jumlah baris tulangan

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

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

$$= 1$$

Tabel 4.15 Tulangan momen negatif gording

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	2	53	106
2	0	0	0
3	0	0	0
n =	2	$\Sigma[n_i$ x $y_i]$ =	106

Letak titik berat tulangan

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

$$= \frac{106}{2}$$

$$= 53\ mm$$

Tinggi efektif balok

$$d = h - d'$$

$$= 200 - 53$$

$$= 147\ mm$$

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

$$= \frac{157,08x240}{0,85x18x200}$$

$$= 12,32\ mm$$

Momen nominal

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

$$= 157{,}08x240x\left(147 - \frac{12{,}32}{2}\right)x10^{-6}$$

$$= 5{,}310\ kNm$$

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

$$= \frac{12{,}32}{0{,}85}$$

$$= 14{,}49$$

Regangan tulangan tarik

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c}x0{,}003$$

$$= \frac{147-14{,}49}{14{,}49}x0{,}003$$

$$= 0{,}0274$$

Kontrol regangan tulangan tarik, $\varepsilon_t > 0{,}005$, maka nilai $\phi = 0{,}9$

Tahanan momen balok

$$\phi Mn = 0{,}9x5{,}310$$

$$= 4{,}779\ kNm$$

Kontrol momen balok

$$\phi Mn \geq Mu^{-}$$

$4{,}779\ kNm > 2{,}328\ kNm$ (OK)

3. Tulangan geser

Kuat geser beton

$$Vc = \frac{\sqrt{fc'}}{6}xbxdx10^{-3}$$

$$= \frac{\sqrt{18}}{6}x200x70x10^{-3}$$

$$= 9{,}899\ kN$$

Tahanan geser beton

$$\phi Vc = 0{,}75x9{,}899$$

$$= 7{,}425\ kN$$

$Vu < \phi Vc$, maka hanya perlu tulangan geser minimum

Kuat geser sengkang

$$Vs = 3{,}315\ kN$$

Luas tulangan geser sengkang

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

$= 2x \frac{\pi}{4} x8^2$

$= 100{,}53\ mm^2$

Jarak sengkang yang diperlukan

$s = Avfy \frac{d}{Vsx10^3}$

$= 100{,}53x240 \frac{70}{3{,}315x10^3}$

$= 509{,}51\ mm$

Jarak sengkang maksimum

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

$= \frac{147}{2}$

$= 73{,}5\ mm$

Jarak sengkang yang digunakan

$s = 73{,}5\ mm \cong 100\ mm$

Sengkang yang digunakan, $2P8 - 100$

4.2.8. Pelat Lantai

Data pelat lantai

Kuat tekan beton, fc’	= 18 Mpa
Tegangan leleh baja, fy	= 240 Mpa
Panjang bentang arah x, Lx	= 4 m
Panjang bentang arah y, Ly	= 5 m
Diameter tulangan, D	= 12 mm
Tebal selimut beton, ts	= 40 mm
Tebal pelat, h	= 120 mm
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,90
Lebar pelat yang ditinjau, b	= 1 m
Momen ultimit rencana, Mu	= 15,587 kNm

Jarak tulangan ke sisi luar beton

$$d_s = t_s + \frac{D}{2}$$
$$= 40 + \frac{12}{2}$$
$$= 46\ mm$$

Tebal efektif pelat

$$d = h - d_s$$
$$= 120 - 46$$
$$= 74\ mm$$

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = 0{,}85\beta_1 \frac{fc'}{fy} x \frac{600}{600+fy}$$
$$= 0{,}85x0{,}85x \frac{18}{240} x \frac{600}{600+240}$$
$$= 0{,}0387$$

Faktor tahanan momen maksimum

$$R_{maks} = 0{,}75\rho_b fy \left[1 - 0{,}5x0{,}75\rho_b \frac{fy}{0{,}85fc'}\right]$$
$$= 0{,}75x0{,}0387x240 \left[1 - 0{,}5x0{,}75x0{,}0387 \frac{240}{0{,}85x18}\right]$$
$$= 5{,}3807$$

Rasio tulangan minimum

$$\rho = \frac{1{,}4}{fy}$$
$$= \frac{1{,}4}{240}$$
$$= 0{,}0058$$

Momen nominal rencana

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$
$$= \frac{15{,}587}{0{,}90}$$
$$= 17{,}319\ kNm$$

Faktor tahanan momen

$$Rn = \frac{Mnx10^{-6}}{bxd^2}$$
$$= \frac{17{,}319x10^6}{1000x74^2}$$
$$= 3{,}163$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < Rmaks$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$$= 0{,}85\frac{18}{240}x\left[1-\sqrt{1-\frac{2x3{,}163}{0{,}85x18}}\right]$$

$$= 0{,}0149$$

Rasio tulangan yang digunakan adalah ρ terbesar, maka $\rho = 0{,}0149$

Luas tulangan yang diperlukan

$$As = \rho\ x\ b\ x\ d$$

$$= 0{,}0149\ x\ 1000\ x\ 74$$

$$= 1104{,}44\ mm^2$$

Jarak tulangan yang diperlukan

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

$$= \frac{\pi}{4}x12^2x\frac{1000}{1104{,}44}$$

$$= 102\ mm$$

Jarak tulangan maksimum

$$s_{maks} = 2h$$

$$= 2x120$$

$$= 240\ mm$$

Sengkang yang digunakan, $P12-100$

Luas tulangan terpakai

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

$$= \frac{\pi}{4}x12^2x\frac{1000}{100}$$

$$= 1131\ mm^2$$

Kontrol lendutan pelat

Modulus elastisitas beton, $Ec = 4700\sqrt{fc'} = 19940\ Mpa$

Modulus elastisitas baja, $Es = 200000\ Mpa$

Beban merata pada pelat

$$Q = Q_D + Q_L$$

$$= 164 + 250$$

$$= 414\ kg/m = 4{,}061\ N/mm$$

Momen inersia pelat

$$I_g = \frac{1}{12} bh^3$$
$$= \frac{1}{12} x1000x120^3$$
$$= 144000000\ mm^4$$

Modulus keruntuhan lentur beton

$$f_r = 0{,}7\sqrt{fc'}$$
$$= 0{,}7\sqrt{18}$$
$$= 2{,}97\ Mpa$$

Perbandingan modulus elastisitas

$$n = \frac{Es}{Ec}$$
$$= \frac{200000}{19940}$$
$$= 10{,}03$$

Jarak garis netral ke sisi atas beton

$$c = \frac{nAs}{b}$$
$$= \frac{10{,}03x1131}{1000}$$
$$= 11{,}344\ mm$$

Momen inersia penampang retak

$$I_{cr} = \frac{1}{3} bc^3 + nAs(d - c)^2$$
$$= \frac{1}{3} x1000x11{,}344^3 + 10{,}03x1131x(74 - 11{,}344)^2$$
$$= 45019354{,}89\ mm^4$$

$$y_t = \frac{h}{2}$$
$$= \frac{120}{2}$$
$$= 60\ mm$$

Momen retak

$$M_{cr} = \frac{f_r x I_g}{y_t}$$
$$= \frac{2{,}97x144000000}{60}$$
$$= 7127636\ Nmm$$

Momen maksimum akibat beban

$$M_a = \frac{1}{8} QLx^2$$

$$= \frac{1}{8} x4{,}061x4000^2$$

$$= 8122000\ Nmm$$

Inersia efektif untuk lendutan

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

$$= 144000000x \left(\frac{7127636}{8122000}\right)^3 + 45019354{,}89x\left[1 - \left(\frac{7127636}{8122000}\right)^3\right]$$

$$= 111915013\ mm^4$$

Lendutan elastis akibat beban

$$\delta_e = \frac{5}{382} x \frac{QLx^4}{EcxI_e}$$

$$= \frac{5}{382} x \left(\frac{4{,}016x4000^4}{19940x111915013}\right)$$

$$= 6{,}066\ mm$$

Rasio tulangan slab lantai

$$\rho = \frac{As}{bxd}$$

$$= \frac{1131}{1000x74}$$

$$= 0{,}0153$$

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

$$\lambda = \frac{\zeta}{1+50\rho}$$

$$= \frac{2{,}0}{1+50x0{,}0153}$$

$$= 1{,}1337$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkak dan susut

$$\delta_g = \lambda Q \frac{5}{382} x \frac{Lx^4}{EcxI_e}$$

$$= 1{,}1337x4{,}016x \frac{5}{382} x \left(\frac{4000^4}{19940x111915013}\right)$$

$$= 6{,}877\ mm$$

Lendutan total

$\delta_{tot} = \delta_e + \delta_g$

$= 6{,}066 + 6{,}877$

$= 12{,}942\ mm$

Kontrol lendutan

$\delta_{tot} \leq \frac{Lx}{240}$

$12{,}942 < 16{,}667$ (OK)

4.2.9. Pelat Bordes

Data pelat lantai

Kuat tekan beton, fc’	= 18 Mpa
Tegangan leleh baja, fy	= 240 Mpa
Panjang bentang arah x, Lx	= 4 m
Panjang bentang arah y, Ly	= 1,5 m
Diameter tulangan, D	= 10 mm
Tebal selimut beton, ts	= 40 mm
Tebal pelat, h	= 130 mm
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,90
Lebar pelat yang ditinjau, b	= 1 m
Momen ultimit rencana, Mu	= 9,288 kNm

Jarak tulangan ke sisi luar beton

$d_s = t_s + \frac{D}{2}$

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

$= 45\ mm$

Tebal efektif pelat

$d = h - d_s$

$= 130 - 45$

$= 85\ mm$

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = 0{,}85\beta_1 \frac{fc'}{fy} x \frac{600}{600+fy}$$

$$= 0{,}85x0{,}85x \frac{18}{240} x \frac{600}{600+240}$$

$$= 0{,}0387$$

Faktor tahanan momen maksimum

$$R_{maks} = 0{,}75\rho_b fy \left[1 - 0{,}5x0{,}75\rho_b \frac{fy}{0{,}85fc'}\right]$$

$$= 0{,}75x0{,}0387x240 \left[1 - 0{,}5x0{,}75x0{,}0387 \frac{240}{0{,}85x18}\right]$$

$$= 5{,}3807$$

Rasio tulangan minimum

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

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

$$= 0{,}0058$$

Momen nominal rencana

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

$$= \frac{9{,}288}{0{,}90}$$

$$= 10{,}319\ kNm$$

Faktor tahanan momen

$$Rn = \frac{Mnx10^{-6}}{bxd^2}$$

$$= \frac{10{,}319x10^6}{1000x85^2}$$

$$= 1{,}4283$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < Rmaks$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$$= 0{,}85 \frac{18}{240} x \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x1{,}4283}{0{,}85x18}}\right]$$

$$= 0{,}0063$$

Rasio tulangan yang digunakan adalah ρ terbesar, maka $\rho = 0{,}0063$

Luas tulangan yang diperlukan

$As = \rho\ x\ b\ x\ d$

$= 0{,}0063\ x\ 1000\ x\ 85$

$= 531{,}97\ mm^2$

Jarak tulangan yang diperlukan

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

$= \frac{\pi}{4} x 10^2 x \frac{1000}{531{,}97}$

$= 148\ mm$

Jarak tulangan maksimum

$s_{maks} = 2h$

$= 2x130$

$= 260\ mm$

Sengkang yang digunakan, $P10 - 140$

Luas tulangan terpakai

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

$= \frac{\pi}{4} x 10^2 x \frac{1000}{140}$

$= 561\ mm^2$

Kontrol lendutan pelat

Modulus elastisitas beton, $Ec = 4700\sqrt{fc'} = 19940\ Mpa$

Modulus elastisitas baja, $Es = 200000\ Mpa$

Beban merata pada pelat

$Q = Q_D + Q_L$

$= 146 + 300$

$= 446\ kg/m = 4{,}375\ N/mm$

Momen inersia pelat

$I_g = \frac{1}{12} bh^3$

$= \frac{1}{12} x 1000 x 130^3$

$= 183083333\ mm^4$

Modulus keruntuhan lentur beton

$$f_r = 0{,}7\sqrt{fc'}$$
$$= 0{,}7\sqrt{18}$$
$$= 2{,}97\ Mpa$$

Perbandingan modulus elastisitas

$$n = \frac{Es}{Ec}$$
$$= \frac{200000}{19940}$$
$$= 10{,}03$$

Jarak garis netral ke sisi atas beton

$$c = \frac{nAs}{b}$$
$$= \frac{10{,}03x561}{1000}$$
$$= 5{,}627\ mm$$

Momen inersia penampang retak

$$I_{cr} = \frac{1}{3}bc^3 + nAs(d-c)^2$$
$$= \frac{1}{3}x1000x5{,}627^3 + 10{,}03x561x(85-5{,}627)^2$$
$$= 35508549{,}18\ mm^4$$

$$y_t = \frac{h}{2}$$
$$= \frac{130}{2}$$
$$= 65\ mm$$

Momen retak

$$M_{cr} = \frac{f_r x I_g}{y_t}$$
$$= \frac{2{,}97x183083333}{65}$$
$$= 8365073\ Nmm$$

Momen maksimum akibat beban

$$M_a = \frac{1}{8}QLx^2$$
$$= \frac{1}{8}x4{,}375x4000^2$$
$$= 8750000\ Nmm$$

Inersia efektif untuk lendutan

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

$$= 183083333x\left(\frac{8365073}{8750000}\right)^3 + 35508549{,}18x\left[1 - \left(\frac{8365073}{8750000}\right)^3\right]$$

$$= 164451391\ mm^4$$

Lendutan elastis akibat beban

$$\delta_e = \frac{5}{382}x\frac{QLx^4}{EcxI_e}$$

$$= \frac{5}{382}x\left(\frac{4{,}375x4000^4}{19940x164451391}\right)$$

$$= 4{,}447\ mm$$

Rasio tulangan slab lantai

$$\rho = \frac{As}{bxd}$$

$$= \frac{561}{1000x85}$$

$$= 0{,}0066$$

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

$$\lambda = \frac{\zeta}{1+50\rho}$$

$$= \frac{2{,}0}{1+50x0{,}0066}$$

$$= 1{,}5038$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkak dan susut

$$\delta_g = \lambda Q\frac{5}{382}x\frac{Lx^4}{EcxI_e}$$

$$= 1{,}5038x4{,}375x\frac{5}{382}x\left(\frac{4000^4}{19940x164451391}\right)$$

$$= 6{,}687\ mm$$

Lendutan total

$$\delta_{tot} = \delta_e + \delta_g$$

$$= 4{,}447 + 6{,}687$$

$$= 11{,}135\ mm$$

Kontrol lendutan

$$\delta_{tot} \leq \frac{Lx}{240}$$

$11{,}135 < 16{,}667$ (OK)

4.2.10. Pelat Tangga

Data pelat lantai

Kuat tekan beton, fc’	= 18 Mpa
Tegangan leleh baja, fy	= 240 Mpa
Panjang bentang arah x, Lx	= 2 m
Panjang bentang arah y, Ly	= 3,5 m
Diameter tulangan, D	= 10 mm
Tebal selimut beton, ts	= 40 mm
Tebal pelat, h	= 120 mm
Faktor distribusi tegangan beton, β_1	= 0,85
Faktor reduksi kuat lentur, ϕ	= 0,90
Lebar pelat yang ditinjau, b	= 1 m
Momen ultimit rencana, Mu	= 5,249 kNm

Jarak tulangan ke sisi luar beton

$$d_s = t_s + \frac{D}{2}$$
$$= 40 + \frac{10}{2}$$
$$= 45\ mm$$

Tebal efektif pelat

$$d = h - d_s$$
$$= 120 - 45$$
$$= 75\ mm$$

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

$$\rho_b = 0{,}85\beta_1 \frac{fc'}{fy} x \frac{600}{600+fy}$$
$$= 0{,}85x0{,}85x \frac{18}{240} x \frac{600}{600+240}$$
$$= 0{,}0387$$

Faktor tahanan momen maksimum

$$R_{maks} = 0{,}75\rho_b fy \left[1 - 0{,}5x0{,}75\rho_b \frac{fy}{0{,}85fc'}\right]$$
$$= 0{,}75x0{,}0387x240 \left[1 - 0{,}5x0{,}75x0{,}0387 \frac{240}{0{,}85x18}\right]$$
$$= 5{,}3807$$

Rasio tulangan minimum

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

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

$$= 0,0058$$

Momen nominal rencana

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

$$= \frac{5,249}{0,90}$$

$$= 5,832\ kNm$$

Faktor tahanan momen

$$Rn = \frac{Mnx10^{-6}}{bxd^2}$$

$$= \frac{5,832x10^6}{1000x75^2}$$

$$= 1,037$$

Kontrol faktor tahanan momen, $Rn < Rmaks$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$$= 0,85\frac{18}{240}x\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x1,037}{0,85x18}}\right]$$

$$= 0,0045$$

Rasio tulangan yang digunakan adalah ρ terbesar, maka $\rho = 0,0045$

Luas tulangan yang diperlukan

$$As = \rho\ x\ b\ x\ d$$

$$= 0,0045\ x\ 1000\ x\ 75$$

$$= 437,5\ mm^2$$

Jarak tulangan yang diperlukan

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

$$= \frac{\pi}{4}x10^2x\frac{1000}{437,5}$$

$$= 180\ mm$$

Jarak tulangan maksimum

$s_{maks} = 2h$

$= 2x120$

$= 240\ mm$

Sengkang yang digunakan, $P10 - 180$

Luas tulangan terpakai

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

$= \frac{\pi}{4} x10^2 x \frac{1000}{180}$

$= 462\ mm^2$

Kontrol lendutan pelat

Modulus elastisitas beton, $Ec = 4700\sqrt{fc'} = 19940\ Mpa$

Modulus elastisitas baja, $Es = 200000\ Mpa$

Beban merata pada pelat

$Q = Q_D + Q_L$

$= 244 + 300$

$= 544\ kg/m = 5{,}337\ N/mm$

Momen inersia pelat

$I_g = \frac{1}{12} bh^3$

$= \frac{1}{12} x1000x120^3$

$= 144000000\ mm^4$

Modulus keruntuhan lentur beton

$f_r = 0{,}7\sqrt{fc'}$

$= 0{,}7\sqrt{18}$

$= 2{,}97\ Mpa$

Perbandingan modulus elastisitas

$n = \frac{Es}{Ec}$

$= \frac{200000}{19940}$

$= 10{,}03$

Jarak garis netral ke sisi atas beton

$$c = \frac{nAs}{b}$$
$$= \frac{10{,}03x462}{1000}$$
$$= 4{,}634\ mm$$

Momen inersia penampang retak

$$I_{cr} = \frac{1}{3}bc^3 + nAs(d-c)^2$$
$$= \frac{1}{3}x1000x4{,}634^3 + 10{,}03x462x(75-4{,}634)^2$$
$$= 22976952{,}58\ mm^4$$

$$y_t = \frac{h}{2}$$
$$= \frac{120}{2}$$
$$= 60\ mm$$

Momen retak

$$M_{cr} = \frac{f_r x I_g}{y_t}$$
$$= \frac{2{,}97x144000000}{60}$$
$$= 7127636\ Nmm$$

Momen maksimum akibat beban

$$M_a = \frac{1}{8}QLx^2$$
$$= \frac{1}{8}x5{,}337x2000^2$$
$$= 2668500\ Nmm$$

Inersia efektif untuk lendutan

$$I_e = I_g x \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 + I_{cr}\left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right]$$
$$= 144000000x\left(\frac{7127636}{2668500}\right)^3 + 22976952{,}58x\left[1 - \left(\frac{7127636}{2668500}\right)^3\right]$$
$$= 2329209335\ mm^4$$

Lendutan elastis akibat beban

$$\delta_e = \frac{5}{382}x\frac{QLx^4}{EcxI_e}$$
$$= \frac{5}{382}x\left(\frac{5{,}337x2000^4}{19940x2329209335}\right)$$
$$= 0{,}024\ mm$$

Rasio tulangan slab lantai

$$\rho = \frac{As}{bxd}$$

$$= \frac{462}{1000x75}$$

$$= 0{,}0062$$

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

$$\lambda = \frac{\zeta}{1+50\rho}$$

$$= \frac{2{,}0}{1+50x0{,}0062}$$

$$= 1{,}5291$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkak dan susut

$$\delta_g = \lambda Q \frac{5}{382} x \frac{Lx^4}{EcxI_e}$$

$$= 1{,}5291x5{,}337x \frac{5}{382} x \left(\frac{2000^4}{19940x2329209335}\right)$$

$$= 0{,}037\ mm$$

Lendutan total

$$\delta_{tot} = \delta_e + \delta_g$$

$$= 0{,}024 + 0{,}037$$

$$= 0{,}061\ mm$$

Kontrol lendutan

$$\delta_{tot} \leq \frac{Lx}{240}$$

$0{,}061 < 8{,}333$ (OK)

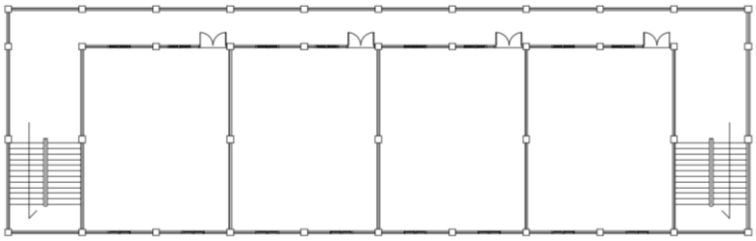
4.3. Pembahasan

4.3.1. Evaluasi Bangunan Tahan Gempa

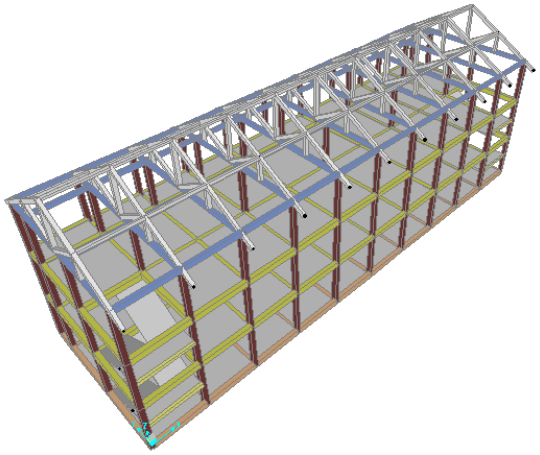
Bangunan sekolah tahan gempa ini terdiri dari struktur rangka pemikul beban terbuat dari beton bertulang dan dinding batu bata. Bangunan sekolah ini memiliki perkuatan berupa kolom, balok induk, sloof dan ringbalk. Pada bagian atap digunakan material beton bertulang yang ukurannya disesuaikan dengan keperluan. Penggunaan beton bertulang pada bagian atap ini dipilih berdasarkan ketentuan dasar dalam perencanaan bangunan sekolah tahan gempa yaitu menggunakan bahan struktur bangunan yang sama atau monolit sehingga kontribusi

kekakuan dan kekuatan struktur merata. Selain itu juga ada keuntungan-keuntungan lain dari beton bertulang yang tidak dimiliki oleh kayu.

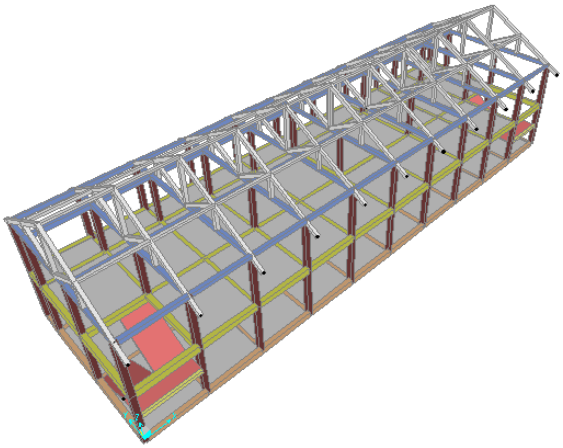
Tata letak bangunan sekolah mengacu pada pedoman teknis bangunan sekolah tahan gempa yaitu bangunan sederhana, simetris dan tidak terlalu panjang. Tata letak bangunan sekolah dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.7 Denah struktur bangunan sekolah



Gambar 4.8 Model bangunan sekolah tiga lantai



Gambar 4.9 Model bangunan sekolah dua lantai

4.3.2. Pemodelan Struktur

Hasil analisis pemodelan struktur bangunan sekolah tahan gempa menggunakan *software* SAP2000 dengan pembebanan yang mengacu pada peraturan-peraturan SNI terbaru untuk bangunan 2 dan 3 lantai di daerah Kabupaten Bantul, Yogyakarta dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.16 Desain struktur kolom dan balok sekolah dua lantai

	Tul. Tumpuan	Tul. Lapangan	Begel Tumpuan	Begel Lapangan
Kolom 350 x 350	12D16	12D16	2P8 – 150	2P8 – 150
Balok 350 x 450	5D20	9D20	2P8 – 200	2P8 – 200
Sloof 350 x 450	4D20	8D20	2P8 – 200	2P8 – 200
Ringbalk 200 x 200	2D16	2D16	2P8 – 100	2P8 – 100
Bordes 200 x 250	2D16	2D16	2P8 – 100	2P8 – 100
Balok Miring 200 x 200	2D10	2D10	2P8 – 100	2P8 – 100
Gording 200 x 200	2D10	2D10	2P8 – 100	2P8 – 100

Tabel 4.17 Desain struktur kolom dan balok sekolah tiga lantai

	Tul. Tumpuan	Tul. Lapangan	Begel Tumpuan	Begel Lapangan
Kolom 350 x 350	16D16	16D16	2P8 – 150	2P8 – 150
Balok 350 x 450	5D18	10D18	2P8 – 200	2P8 – 200
Sloof 350 x 450	5D18	10D18	2P8 – 200	2P8 – 200
Ringbalk 250 x 250	3D16	2D16	2P8 – 100	2P8 – 100
Bordes 200 x 250	2D16	2D16	2P8 – 100	2P8 – 100
Balok Miring 200 x 200	2D10	2D10	2P8 – 100	2P8 – 100
Gording 200 x 200	2D10	2D10	2P8 – 100	2P8 – 100

Tabel 4.18 Desain struktur plat

	Sekolah 2 lantai	Sekolah 3 lantai
Plat lantai	P12 – 100	P12 – 100
Plat tangga	P10 – 150	P10 – 150
Plat bordes	P10 – 150	P10 – 150