BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembebanan Atap

4.1.1 Beban angin

Kategori 2

V	= 20km/jam
Kd	= 0,85
Kzt	= 1
G	= 0,85
kz	$= 2{,}01 \times (z/zg)^{2/\alpha}$
	$= 2{,}01 \times (16/111{,}51)^{2/7}$
	= 1,15
Kh	$= 2{,}01 \times (10/111{,}51)^{2/7}$
	= 1,009
Qz	$= 0{,}613 \times kz \times kzt \times kd \times v^2$
	$= 0{,}613x1{,}15x1x0{,}85 \times 5{,}562^2$
	$= 18{,}523k\ N/m^2$
Qh	$= 0{,}613 \times kh \times kzt \times kd \times v^2$
	$= 0{,}613x1{,}00x\ \ x0{,}85 \times 5{,}562^2$
	$= 16{,}25\ kN/m^2$

Atap

Datang	Pergi
Qh x G x CP	Qh x G x CP
= 16,25 x 0,85 x (±0,2)	= 16,25 x 0,85 x (-0,6)
$= \pm 2{,}7625\ kN/m^2$	$= -8{,}28\ kN/m^2$

4.1.2 Beban Mati

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

Panjang rangka kuda-kuda

Panjang batang a = $\tan 30° \, x \, 3{,}5$

= 2,02 m

Panjang batang b = $\sqrt{3{,}5^2 + 2{,}02^2}$

= 4,03 m

Panjang batang c = $\tan 30° \, x \, 7$

= 4,04 m

Panjang batang d = $\sqrt{7^2 + 4{,}04^2}$

= 8,06 m

Panjang batang e = $\sqrt{1^2 + 0{,}5^2}$

= 1,118 m

Beban mati penutup atap

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

= 50 kg/m^2 × ($\frac{1}{2}$ 4 × + 1,118) m

= 50 kg/m^2 × 3,118 m

= 155,9 Kg/m

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

= 50 kg/m^2 × ($\frac{1}{2}$ × 4 + $\frac{1}{2}$ × 4) m

= 50 kg/m^2 × 4 m

= 200 kg/m

Beban plafond

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

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

= 45 kg

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

= 18 kg/m^2 × $\frac{1}{2}$ 5 m × ($\frac{1}{2}$ 2 + $\frac{1}{2}$ 6) m

= 180 kg

P_3 $= \text{Berat plafond} \times \frac{1}{2}\,a \times (\frac{1}{2}\,b + \frac{1}{2}\,b)$

$= 18\ kg/m^2 \times \frac{1}{2}\,5\ m \times (\frac{1}{2}\,6 + \frac{1}{2}\,6)\ m$

$= 270\ kg$

P_4 $= \text{Berat plafond} \times \frac{1}{2}\,a \times \frac{1}{2}\,b$

$= 18\ kg/m^2 \times \frac{1}{2}\,5\ m \times \frac{1}{2}\,6\ m$

$= 135\ kg$

P_5 $= \text{Berat plafond} \times (\frac{1}{2}\,a + \frac{1}{2}\,a) \times \frac{1}{2}\,b$

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

$= 90\ kg$

P_6 $= \text{Berat plafond} \times (\frac{1}{2}\,a + \frac{1}{2}\,a) \times (\frac{1}{2}\,b + \frac{1}{2}\,b)$

$= 18\ kg/m^2 \times (\frac{1}{2}\,5 + \frac{1}{2}\,5)\ m \times (\frac{1}{2}\,2 + \frac{1}{2}\,6)\ m$

$= 360\ kg$

P_7 $= \text{Berat plafond} \times (\frac{1}{2}\,a + \frac{1}{2}\,a) \times (\frac{1}{2}\,b + \frac{1}{2}\,b)$

$= 18\ kg/m^2 \times (\frac{1}{2}\,5 + \frac{1}{2}\,5)\ m \times (\frac{1}{2}\,6 + \frac{1}{2}\,6)\ m$

$= 540\ kg$

P_8 $= \text{Berat plafond} \times (\frac{1}{2}\,a + \frac{1}{2}\,a) \times \frac{1}{2}\,b$

$= 18\ kg/m^2 \times (\frac{1}{2}\,5 + \frac{1}{2}\,5)\ m \times \frac{1}{2}\,6\ m$

$= 270\ kg$

P_9 $= \text{Berat plafond} \times (\frac{1}{2}\,a + \frac{1}{2}\,a) \times \frac{1}{2}\,b$

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

$= 81\ kg$

P_{10} $= \text{Berat plafond} \times (\frac{1}{2}\,a + \frac{1}{2}\,a) \times (\frac{1}{2}\,b + \frac{1}{2}\,b)$

$= 18\ kg/m^2 \times (\frac{1}{2}\,5 + \frac{1}{2}\,4)\ m \times (\frac{1}{2}\,2 + \frac{1}{2}\,6)\ m$

$= 324\ kg$

P_{11} $= \text{Berat plafond} \times (\frac{1}{2}\,a + \frac{1}{2}\,a) \times (\frac{1}{2}\,b + \frac{1}{2}\,b)$

$= 18\ kg/m^2 \times (\frac{1}{2}\,5 + \frac{1}{2}\,4)\ m \times (\frac{1}{2}\,6 + \frac{1}{2}\,6)\ m$

$= 486\ kg$

P_{12} = Berat plafond × ($\frac{1}{2}$ a + $\frac{1}{2}$ a) × ($\frac{1}{2}$ b + $\frac{1}{2}$ b)

= 18 kg/m^2 × ($\frac{1}{2}$ 5 + $\frac{1}{2}$ 4) m × $\frac{1}{2}$ 6 m

= 243 kg

4.1.3 Beban hujan

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

= (40 – 0,8 (30)) × ($\frac{1}{2}$ × 4 + 1,118)

= 16 × 3,118

= 49,89 kg/m

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

= (40 – 0,8 (30)) × ($\frac{1}{2}$ × 4 + $\frac{1}{2}$ × 4)

= 16 × 4

= 64 kg/m

4.1.4 Pembebanan Balok

Pasangan ½ bata	= 250 kg/m^2 (PPURG 1983)
Ukuran B.sloof	= 0,40 m x 0,40 m
Tinggi bersih B.sloof ke B.induk	= 4 – 0,4 = 3,6 m
Beban B.sloof	= 3,6 x 250
	= 900 kg/m
Ukuran B.Induk	= 0,45 x 0,4
Tinggi bersih B.induk ke B.ring	= 4 – 0,4 = 3,6 m
Balok induk	= 3,6 x 250
	= 900 kg/m

Dinding

Datang	Pergi
Qz x G x CP	Qh x G x CP
= 18,523 x 0,85 x 0,8	= 16,25 x 0,85 x (-0,3)
= 12,595 kN/m^2	= -4,1437 kN/m^2

4.1.5 Pembebanan Kolom

Pembebanan kolom di ambil dari data SAP 2000 setelah di lakukan analisis yang didapat dari analisis

4.1.6 Beban Gempa

1. Kondisi Seismik Lokasi

Lokasi yang di analisis beban gempa pada penelitian ini adalah daerah Kabupaten Sleman Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan asumsi tanah dalam keadaan keras.

Pada SNI 1726:2012 bangunan sekolah termasuk dalam kategori resiko IV dengan faktor keutamaan gempa (*Ie)* 1,50 .

2. Respon Spectrum Desain

Perhitungan kurva respon spektrum gempa berdasarkan SNI 03-1726-2012 untuk daerah Sleman:

1. dari hasil penyelidikan geoteknik didapatkan kelas situs daerah Sleman yaitu tanahsedang (SC),
2. nilai parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek 0.2 detik (S_s) sebesar 0.923 gr,
3. nilai parameter percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) sebesar 0.362 gr,
4. menentukan data faktor amplifikasi percepatan pada periode pendek 0.2 detik (Fa) dan percepatan periode 1 detik (Fv).

$$Ss = \frac{0.923-0.75}{1-0.923} = \frac{Fa-1.1}{1-Fa}$$

0.173 – 0.173 Fa = 0.077 Fa – 0.0847

0.173 + 0.0847 = 0.077 Fa + 0.173 Fa

0.2577 = 0.25 Fa

Fa = 1.031

$$S_1 = \frac{0.362-0.3}{0.4-0.362} = \frac{Fv-1.5}{1.4-Fv}$$

0.0868 – 0.062 Fv = 0.038 Fv – 0.057

0.0868 + 0.057 = 0.038 Fv + 0.062 Fv

0.1438 = 0.1 Fv

Fv = 1.438

5. menghitung nilai parameter spektrum percepatan pada periode 0.2 detik (S_{ms}) dan nilai parameter respon spektrum percepatan pada periode 1 detik (S_{m1})

   S_{ms} = Fa x Ss

   = 1.031 x 0.923

   = 0.951

   S_{m1} = Fv x S_1

   = 1.438 x 0.362

   = 0.520

6. menghitung parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek 0.2 detik (S_{DS}) dan pada periode 1 detik (S_{D1})

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

   $= \frac{2}{3}\ x\ 0.951$

   = 0.634

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

   $= \frac{2}{3}\ x\ 0.520$

   = 0.347

7. menghitung nilai periode getar struktur To dan Ts

   $To = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{Ds}}$

   $= 0.2\ x\ \frac{0.347}{0.634}$

   = 0.109

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

   $= \frac{0.347}{0.634}$

   = 0.547

8. menghitung nilai spektrum respon desain (Sa), mempunyai 3 kondisi:
   a. Untuk periode yang lebih kecil dari To (0 ≤ T ≤ To)

$$Sa = S_{DS}\left(0.4 + 0.6\frac{T}{To}\right)$$

$$= 0.634\left(0.4 + 0.6\frac{0}{0.109}\right)$$

$$= 0.254$$

Tabel 4.1 Nilai spektrum respon desain (Sa) untuk periode yang lebih kecil dari To (0 ≤ T ≤ To)

t (detik)	Sa
0.00	0.254
0.01	0.288
0.02	0.323
0.03	0.358
0.04	0.393
0.05	0.428
0.06	0.463
0.07	0.498
0.08	0.533
0.09	0.568
0.10	0.603

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

Sa = S_{DS}

= 0.634

Tabel 4.2 Nilai spektrum respon desain (Sa) untuk periode yang lebih besar atau sama dengan To dan lebih kecil dari atau sama denganTs (To ≤ T ≤ Ts)

t (detik)	Sa
0.11	0.634
0.14	0.634
0.17	0.634
0.20	0.634
0.23	0.634
0.26	0.634
0.29	0.634
0.32	0.634
0.35	0.634
0.38	0.634
0.41	0.634

c. Untuk periode lebih besar dari Ts (To ≥ Ts)

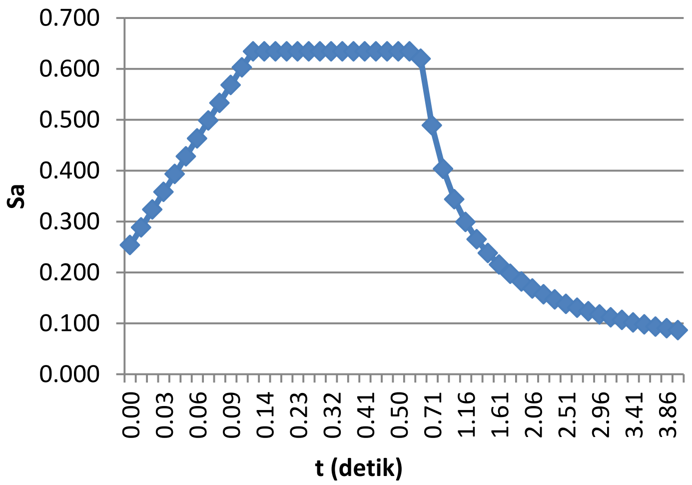
$$Sa = \frac{S_{D1}}{T}$$

$$= \frac{0.347}{0.53}$$

$$= 0.655$$

Tabel 4.3 Nilai spektrum respon desain (Sa) untuk periode lebih besar dari Ts (To ≥ Ts)

t (detik)	Sa
0.56	0.620
0.71	0.489
0.86	0.403
1.01	0.344
1.16	0.299
1.31	0.265
1.46	0.238
1.61	0.216
1.76	0.197
1.91	0.182
2.06	0.168



Gambar 4.1 Kurva respon spektrum

4.1.7 Beban Plat

Plat Lantai:

a. Beban mati

Beban Keramik	= 24 kg/m^2 (PPURG 1983)
Spasi (2cm)	= 0,02 x 2100 kg/m^3
Urugan Pasir (5cm)	= 0,05 x 1600 kg/m^3
Total	= 146 kg/m^2

b. Beban Hidup

QL	= 300 kg/m

4.2 Analisis

4.2.1 Kolom

Desain kolom induk:

Lebar (b)	= 300 mm
Tinggi(h)	= 300 mm
Fy Baja	= 240 Mpa
Modulus Elastisitas	= 200.000 Mpa
Diameter Tulangan	= 16 mm
Selimut Beton	= 40 mm
Φ Faktor Reduksi	= 0,65
Φ Faktor Reduksi	= 0,65
Fc’ Beton	= 20
D Sengkang	= 10 mm
Ag	= (30x30)
	= 9000 cm^2
As’	= 5 x (1/4) x π x (Dtulangan^2)
	= 5 x (1/4)3,14 x (16^2)
	= 1005,31 mm^2
Ast	= 16x (1/4) x π x (Dtulangan^2)
	= 16 x (1/4) x 3,14 x (16^2)
	= 3216,99 mm^2

- Keadaan Sentris

Mencari Kapasitas kuat tekan aksial nominal

ϕPn max = ϕ x 0,8 x (0,85 x fc' x (Ag-Ast) + (fy x Ast)

= 1091926,535 N

= 1091926 KN

- Eksentris Kecil

ϕPn = ϕ x ϕPn max

= 0,8 x 1091926

= 873,541 KN

= 873540,8657 N

- Keadaan Seimbang

d = h–Selimutbeton–D tulangan-(Dt/2)

= 300 – 40 – 10(16/2)

= 242 mm

Cb = 0,003/0,003+(b/E) x d

= 172,857 mm

Regangan pada baja tulangan

d' = SelimutBeton+ Dsengkang+(Dt/2)

= 40 + 10 + (14/2)

= 58

Regangan S' = (Cb-d')/Cb) x 0,003

= (172,857-58)/172,857)x0,003

= 0,002

Regangan y = fy/Es

= 240,000/200,000

= 0,001

Regangan S' > Regangan y = Sudah Luluh

Faktor distribusi tegangan

Fc' = 20 Mpa

B' = 0,85 (jika Fc'<30Mpa)

Fs’ = (Cb-d’)/Cb) x 600

= (314,286-60)/314,286 x 600

= 398,667 Mpa

Mencari tinggi blok tegangan beton

Ab = β’ x 314,286

= 0,85 x 314,286

= 267,143

Gaya internal pada beton tekan

Cc,b = 0,85 x fc’ x ab x b

= 0,85 x 20 x 267,143 x 500

= 227014,286 kN

= 2270,714 N

Cs,b = (fy – 0,85 x fc’) x as’

= (240 – 0,85 x 20) x 1570,80

= 350287,581 N

= 350,288 kN

Ts,b = fy x as’

= 240 x 1570,80

= 376991,118 N

= 376,991 kN

Pn,b = Cc,b + Cs,b – Ts,b

= 2244,011 kN

Y = 0,5 x h

= 0,5 x 500

= 250 mm

Mn,b = 402558,873 Nm

= 402,559 kNm

Eb = Mn,b/Pn,b

= 402,559/2244,011

= 0,179 m

= 179,292 mm

Jadi pada keadaan seimbang

ϕPn.b = ϕ x Pn,b

= 0,65 x 2244,011

= 1458,607 kN

ϕMn b = ϕ x Mn,b

= 0,65 x 402,559

= 261,663 kNm

- Keadaan Momen Murni

A = As'x fy/(0,85 x fc' x b)

= 1570,80x240/(0,85x20x500)

= 44,35 mm

Mn = As' x fy x (d-A/2)

= 1570,80 x 240 x (440-44,35/2)

= 157515956,6 N,mm

= 157,52 kNm

- Keadaan e > eb

Cc = 0,85 x fc' x b

= 0,85 x 20 x 500

= 8500 kN

Cs = As' x (fy-0,85 x fc)

= 1570,80 X (240-0,85 x 20)

= 350287,5809 kN

T = As' x fy

= 1570,80 x 240

= 376991,1184 kN

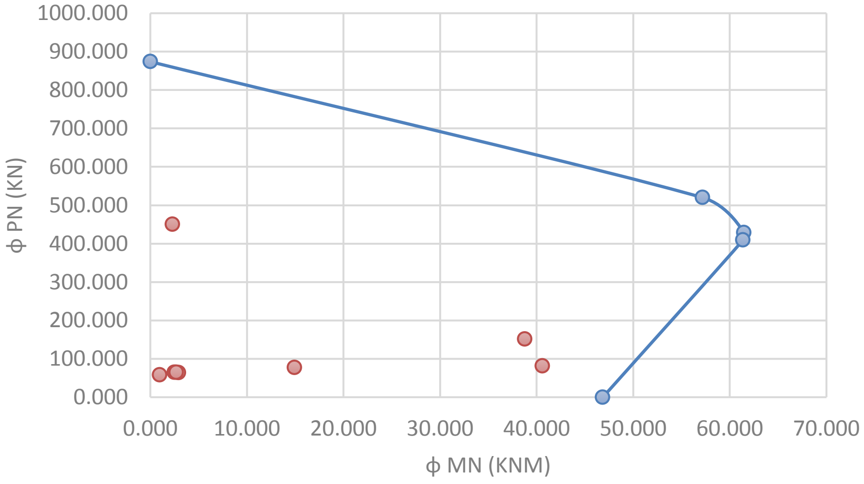
Berikut ini adalah hasil Kekuatan Kolom dan reaksi kolom yang telah dilakukan analisis struktur nya terdapat enam kondisi dapat dilihat pada tabel 4.4 dan tabel 4.5.

Tabel 4.4 Hasil Kekuatan Kolom

No	Keadaan	ϕ Pn (kN)	ϕ Mn (kNm)	E
1	Sentris	1091.926	0	0
2	Ek. Kecil	873.541	0	0
3	Patah Desak	506.189	75.928	150
4	Seimbang	428.364	61.487	
5	Patah Tarik	409.104	61.366	150
6	Momen Murni	0	46.842	

Tabel 4.5 Hasil Reaksi Kolom

No	Item	P (kN)	M2(kN.m)
1	P terbesar	57.879	0.971
2	P terkecil	450.500	2.315
3	V2 terbesar	64.500	2.494
4	V2 terkecil	77.256	14.940
5	M2 terbesar	151.700	38.780
6	M2 terkecil	81.160	40.600
7	M3 terbesar	64.440	2.930
8	M3 terkecil	64.500	2.690



Gambar 4.2 Diagram Interaksi Kekuatan Kolom

4.2.2 Balok induk

Data balok Induk

Kuat tekan beton, fc’	= 18 Mpa
Tegangan leleh baja, fy	= 240 Mpa
Lebar balok, b	= 300 mm
Tinggi balok, h	= 350 mm
Diameter tulangan, D	= 16 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, ts	= 40 mm
Momen rencana positif, Mu^+	= 44,170 kNm
Momen rencana negatif, Mu^-	= 72,180 kNm
Gaya geser rencana,Vu	= 55,110 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

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

$$= 40 + 10 + \frac{16}{2}$$

$$= 58mm$$

Jumlah tulangan dalam satu baris

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

$$= \frac{300 - 2x58}{25 + 16}$$

$$= 4{,}49 \cong 4\ buah$$

Jarak horizontal pusat ke pusat antar tulangan

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

$$= \frac{300 - 8x16 - 2x58}{4 - 1}$$

$$= 40\ mm$$

Jarak vertikal pusat ke pusat antar tulangan

$$y = D + 25$$

$$= 16 + 25$$

$$= 41\ mm$$

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

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

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

$= 0{,}0378$

Faktor tahanan momen maksimum

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

$= 0{,}75x0{,}0378x240 \left[1 - 0{,}5x0{,}75x0{,}0378 \frac{240}{0{,}85x18}\right]$

$= 5{,}3807$

Rasio tulangan minimum

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

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

$= 0{,}0058$

Rasio tulangan maksimun

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

$= 0{,}75\ x\ 0{,}0430$

$= 0{,}03225$

Tulangan momen positif

Momen positif nominal rencana

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

$= \frac{44{,}170}{0{,}80}$

$= 55{,}2155 kNm$

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

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 350 - 100$

$= 250\ mm$

Faktor tahanan momen

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

$= \frac{55{,}2155\ x\ 10^6}{300\ x\ 250}$

$= 2{,}9447$

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

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$$= 0,85\frac{20}{240}x\left[1-\sqrt{1-\frac{2x2,9447}{0,85x18}}\right]$$

$$= 0,0138$$

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

Luas tulangan yang diperlukan

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

$$= 0,0138x\ 300\ x\ 250$$

$$= 1031,4688\ mm$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$$= \frac{1031,4688}{\frac{\pi}{4}18^2}$$

$$= 5,1301 \cong 6\ buah$$

Luas tulangan yang dipakai

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

$$= 6x\frac{\pi}{4}x16^2$$

$$= 1206,3716\ mm$$

Jumlah baris tulangan

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

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

$$= 1,5$$

Tabel 4.6 Tulangan momen positif balok induk

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	4	58	232
2	2	99	198
3	0	0	0
n =	6	Σ[n_i x y_i] =	430

Letak titik berat tulangan

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

$= \frac{430}{6}$

$= 71{,}66\ mm$

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 350 - 71{,}66$

$= 278{,}83\ mm$

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

$= \frac{1206{,}3716\ x240}{0{,}85x16x300}$

$= 63{,}078$mm

Momen nominal

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

$= 1206{,}3716x240x\left(278{,}83\ - \frac{63{,}078}{2}\right)x10^6$

$= 71{,}454\ kNm$

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

$= \frac{63{,}078}{0{,}85}$

$= 74{,}2097$

Regangan tulangan tarik

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

$= \frac{278{,}83\ -74{,}2097}{74{,}2097}x0{,}003$

$= 0{,}0083$

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

Tahanan momen balok

$\phi Mn = 0{,}9x71{,}454$

$= 64{,}3087kNm$

Kontrol momen balok

$\phi Mn \geq Mu^+$

$64{,}3087\ kNm > 44{,}170\ kNm$ (OK)

Tulangan momen negatif

Momen positif nominal rencana

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

$= \frac{72,180}{0,80}$

$= 64,3087 kNm$

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

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 350 - 100$

$= 250 \ mm$

Faktor tahanan momen

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

$= \frac{64,3087x \ 10^6}{350 \ x \ 250}$

$= 4,8120$

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

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$= 0,85 \frac{20}{240} x \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x4,8120}{0,85x18}}\right]$

$= 0,02492$

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

Luas tulangan yang diperlukan

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

$= 0,02492x350 \ x \ 250$

$= 1869,0786mm$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$= \frac{1869,0786mm}{\frac{\pi}{4}16^2}$

$= 9,2960 \cong 10 \ buah$

Luas tulangan yang dipakai

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

$= 10x\frac{\pi}{4}x16^2$

$= 2010{,}6193\ mm$

Jumlah baris tulangan

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

$= \frac{10}{4}$

$= 2{,}5$

Tabel 4.7 Tulangan momen negatif balok induk

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	4	58	232
2	4	99	396
3	2	140	280
n =	10	$\Sigma[n_i$ x $y_i]$ =	908

Letak titik berat tulangan

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

$= \frac{908}{10}$

$= 90{,}80\ mm$

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 350 - 90{,}80$

$= 259{,}2\ mm$

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

$= \frac{2010{,}6193\ \ 0x240}{0{,}85x18x300}$

$= 105{,}130$ mm

Momen nominal

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

$= 2010{,}6193\ x240x\left(259{,}2 - \frac{105{,}130}{2}\right)x10^6$

$= 99{,}711\ kNm$

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

$= \frac{105,130}{0,85}$

$= 123,6828$

Regangan tulangan tarik

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

$= \frac{259,2 \ -123,6828}{123,6828} x0,003$

$= 0,0075$

Kontrol regangan tulangan tarik, $\varepsilon_t > 0,005$, maka nilai $\phi = 0,75$

Tahanan momen balok

$\phi Mn = 0,75x99,711$

$= 74,784 \ kNm$

Kontrol momen balok

$\phi Mn \geq Mu^+$

$74,784 \ kNm > 72,180kNm$ (OK)

Tulangan geser

Kuat geser beton

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

$= \frac{\sqrt{18}}{6} x300x250x10^{-3}$

$= 53,033 \ kN$

Tahanan geser beton

$\phi Vc = 0,75x53,033$

$= 39,775N$

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

Kuat geser sengkang

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

$= \frac{55,110-0,75x39,775}{0,75}$

$= 20,447 \ kN$

Luas tulangan geser sengkang

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

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

$= 157,08 \ mm^2$

Jarak sengkang yang diperlukan

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

$= 157{,}08x240 \frac{250}{20{,}447\ x20^3}$

$= 460{,}94\ mm$

Jarak sengkang maksimum

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

$= \frac{250}{2}$

$= 139{,}17\ mm$

Jarak sengkang yang digunakan

$s = 139{,}17\ mm \cong 130\ mm$

Sengkang yang digunakan, $2P10 - 100$

4.2.3 Balok Sloof

Data balok Induk

Kuat tekan beton, fc'	= 18 Mpa
Tegangan leleh baja, fy	= 240 Mpa
Lebar balok, b	= 300 mm
Tinggi balok, h	= 350 mm
Diameter tulangan, D	= 20 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, ts	= 40 mm
Momen rencana positif, Mu^+	= 44,450 kNm
Momen rencana negatif, Mu^-	= 72,570 kNm
Gaya geser rencana, Vu	= 64,020 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

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

$= 40 + 10 + \frac{16}{2}$

$= 58\ mm$

Jumlah tulangan dalam satu baris

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

$= \frac{300-2x58}{25+16}$

$= 4,49 \cong 4 buah$

Jarak horizontal pusat ke pusat antar tulangan

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

$= \frac{300-4x16-2x58}{4-1}$

$= 40\ mm$

Jarak vertikal pusat ke pusat antar tulangan

$y = D + 25$

$= 16 + 25$

$= 41 mm$

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

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

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

$= 0,0378$

Faktor tahanan momen maksimum

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

$= 0,75x0,0,0378x240 \left[1 - 0,5x0,75x0,0378 \frac{240}{0,85x18}\right]$

$= 5,3807$

Rasio tulangan minimum

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

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

$= 0,0058$

Rasio tulangan maksimun

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

$= 0,75\ x\ 0,0058$

$= 0,0293$

Tulangan momen positif

Momen positif nominal rencana

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

$= \frac{44,450}{0,8}$

$= 55,5625 kNm$

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

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 350 - 100$

$= 250 \, mm$

Faktor tahanan momen

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

$= \frac{55,5625 \ x \ 10^{6}}{300 \ x \ 250}$

$= 2,9633$

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

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$= 0,85 \frac{20}{240} x \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x2,9633}{0,85x18}}\right]$

$= 0,0139$

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

Luas tulangan yang diperlukan

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

$= 0,0139 x \ 300 \ x \ 400$

$= 1038,9141 \, mm$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$= \frac{1038,9141}{\frac{\pi}{4} 16^{2}}$

$= 5,1671 \cong 6 buah$

Luas tulangan yang dipakai

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

$= 6x\frac{\pi}{4}x16^2$

$= 1206{,}3716\ mm$

Jumlah baris tulangan

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

$= \frac{6}{4}$

$= 1{,}5$

Tabel 4.8 Tulangan momen positif sloof

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	4	58	232
2	2	99	198
3	0	0	0
n =	6	Σ[n_i x y_i] =	430

Letak titik berat tulangan

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

$= \frac{430}{6}$

$= 71{,}67mm$

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 350 - 71{,}67$

$= 278{,}33\ mm$

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

$= \frac{1206{,}3716\ \ x240}{0{,}85x18x300}$

= 63,078 mm

Momen nominal

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

$= 1206{,}3716\ x240x\left(278{,}33\ - \frac{63{,}078}{2}\right)x10^6$

$= 71{,}454\ kNm$

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

$= \frac{63,078}{0,85}$

$= 74,2097$

Regangan tulangan tarik

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

$= \frac{278,33 \ -74,2097}{74,2097} x0,003$

$= 0,0835$

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

Tahanan momen balok

$\phi Mn = 0,9x71,545$

$= 64,3087 \ kNm$

Kontrol momen balok

$\phi Mn \geq Mu^+$

$64,3087 \ \ kNm > 44,450 \ kNm$ (OK)

Tulangan momen negatif

Momen negatif nominal rencana

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

$= \frac{72,570}{0,80}$

$= 90,7125 kNm$

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

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 350 - 100$

$= 250 \ mm$

Faktor tahanan momen

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

$= \frac{90,7125x \ 10^6}{300 \ x \ 250}$

$= 4,8380$

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

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$$= 0{,}85\frac{20}{240}x\left[1-\sqrt{1-\frac{2x4{,}8380}{0{,}85x18}}\right]$$

$$= 0{,}02510$$

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

Luas tulangan yang diperlukan

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

$$= 0{,}02510x\ 300\ x\ 250$$

$$= 1882{,}4491mm$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$$= \frac{1882{,}4491mm}{\frac{\pi}{4}18^2}$$

$$= 9{,}3625 \cong= 10\ buah$$

Luas tulangan yang dipakai

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

$$= 10x\frac{\pi}{4}x16^2$$

$$= 2010{,}6193\ mm$$

Jumlah baris tulangan

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

$$= \frac{10}{4}$$

$$= 2{,}5$$

Tabel 4.9Tulangan momen negatif sloof

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	4	58	232
2	4	99	396
3	2	140	280
n =	10	Σ[n_i x y_i] =	908

Letak titik berat tulangan

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

$= \frac{908}{10}$

$= 90{,}8\ mm$

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 350 - 90{,}8$

$= 259{,}2\ mm$

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

$= \frac{2010{,}6193\ \ x240}{0{,}85x18x300}$

$= 105{,}130$ mm

Momen nominal

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

$= 2010{,}6193\ x240x\left(259{,}2\ - \frac{105{,}130}{2}\right)x10^6$

$= 99{,}711\ kNm$

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

$= \frac{105{,}130}{0{,}85}$

$= 123{,}6828$

Regangan tulangan tarik

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

$= \frac{259{,}2\ -123{,}6828}{123{,}6828}x0{,}003$

$= 0{,}0033$

Kontrol regangan tulangan tarik, $\varepsilon_t 0{,}75$

Tahanan momen balok

$\phi Mn = 0{,}75x99{,}711$

$= 74{,}787\ kNm$

Kontrol momen balok

$\phi Mn \geq Mu^+$

$74{,}787\ \ kNm > 72{,}570kNm$ (OK)

Tulangan geser

Kuat geser beton

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

$= \frac{\sqrt{18}}{6} x300x250x10^{-3}$

$= 53{,}033\ kN$

Tahanan geser beton

$\phi Vc = 0{,}75x53{,}033$

$= 39{,}775\ kN$

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

Kuat geser sengkang

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

$= \frac{53{,}033 - 0{,}75x39{,}775}{0{,}75}$

$= 24{,}425N$

Luas tulangan geser sengkang

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

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

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

Jarak sengkang yang diperlukan

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

$= 157{,}08x240 \frac{300}{24{,}425Nx16^3}$

$= 291{,}55\ mm$

Jarak sengkang maksimum

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

$= \frac{328{,}75}{2}$

$= 139{,}17\ mm$

Jarak sengkang yang digunakan

$s = 139{,}17\ mm \cong 130\ mm$

Sengkang yang digunakan, $2P10 - 100$

4.2.4 Data Balok 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 = 14 mm

Diameter sengkang, P = 10 mm

Tebal selimut beton, ts = 40 mm

Momen rencana positif, Mu^+ = 19,680 kNm

Momen rencana negatif, Mu^- = 14,210 kNm

Gaya geser rencana, Vu = 33,910 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

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

$$= 40 + 10 + \frac{14}{2}$$

$$= 57\ mm$$

Jumlah tulangan dalam satu baris

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

$$= \frac{250 - 2x57}{25 + 14}$$

$$= 3{,}49 \cong 3\ buah$$

Jarak horizontal pusat ke pusat antar tulangan

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

$$= \frac{250 - 3x14 - 2x57}{3 - 1}$$

$$= 47\ mm$$

Jarak vertikal pusat ke pusat antar tulangan

$$y = D + 25$$

$$= 14 + 25$$

$$= 39\ mm$$

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

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

$= 0{,}75x0{,}0387x240 \left[1 - 0{,}5x0{,}75x0{,}0378 \frac{240}{0{,}85x14}\right]$

$= 5{,}3807$

Rasio tulangan minimum

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

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

$= 0{,}0058$

Rasio tulangan maksimun

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

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

$= 0{,}02903$

Tulangan momen positif

Momen positif nominal rencana

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

$= \frac{19{,}680}{0{,}80}$

$= 24{,}6kNm$

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

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 250 - 100$

$= 150\ mm$

Faktor tahanan momen

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

$= \frac{24{,}6x\ 10^6}{250\ x\ 150}$

$= 4{,}3733$

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

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$$= 0{,}85\frac{20}{240}x\left[1-\sqrt{1-\frac{2x4{,}3733}{0{,}85x18}}\right]$$

$$= 0{,}0220$$

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

Luas tulangan yang diperlukan

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

$$= 0{,}0220x2500\ x\ 150$$

$$= 826{,}0483\ mm$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$$= \frac{826{,}0483}{\frac{\pi}{4}14^2}$$

$$= 5{,}3661 \cong 6buah$$

Luas tulangan yang dipakai

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

$$= 6x\frac{\pi}{4}x14^2$$

$$= 923{,}6282\ mm$$

Jumlah baris tulangan

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

$$= \frac{6}{3}$$

$$= 2$$

Tabel 4.10 Tulangan momen positif ringbalk

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	3	57	171
2	3	96	288
3	0	0	0
n =	6	Σ[n_i x y_i] =	459

Letak titik berat tulangan

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

$= \frac{459}{6}$

$= 76{,}5\ mm$

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 250 - 76{,}5$

$= 173{,}5\ mm$

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

$= \frac{923{,}6282\ \ x240}{0{,}85x18x150}$

$= 57{,}953$ mm

Momen nominal

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

$= 923{,}6282x240x\left(173{,}5\ - \frac{57{,}953}{2}\right)x10^6$

$= 32{,}037kNm$

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

$= \frac{57{,}953}{0{,}85}$

$= 68{,}1802$

Regangan tulangan tarik

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

$= \frac{173{,}5-68{,}18024}{68{,}1802}x0{,}003$

$= 0{,}0046$

Kontrol regangan tulangan tarik, $= 0{,}75$

Tahanan momen balok

$\phi Mn = 0{,}75x32{,}037$

$= 24{,}0275kNm$

Kontrol momen balok

$\phi Mn \geq Mu^+$

$24{,}0275\ kNm > 19{,}680\ kNm$ (OK)

Tulangan momen negatif

Momen negatif nominal rencana

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

$= \frac{14,2210}{0,80}$

$= 17,7625 kNm$

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

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 250 - 100$

$= 150\ mm$

Faktor tahanan momen

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

$= \frac{17,7625x\ 10^6}{250\ x\ 150}$

$= 3,1578$

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

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$= 0,85 \frac{18}{240} x \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x3,1578}{0,85x18}}\right]$

$= 0,01490$

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

Luas tulangan yang diperlukan

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

$= 0,01490x\ 250\ x\ 150$

$= 558,6845mm$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$= \frac{558,6845mm}{\frac{\pi}{4}14^2}$

$= 3,6293 \cong 4\ buah$

Luas tulangan yang dipakai

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

$= 4x\frac{\pi}{4}x14^2$

$= 615{,}7522\ mm$

Jumlah baris tulangan

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

$= \frac{6}{3}$

$= 2$

Tabel 4.11 Tulangan momen negatif ringbalk

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	3	57	171
2	3	96	288
3	0	0	0
n =	6	Σ[n_i x y_i] =	459

Letak titik berat tulangan

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

$= \frac{459}{6}$

$= 76{,}5\ mm$

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 250 - 76{,}5$

$= 173{,}5\ mm$

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

$= \frac{615{,}7522\ x240}{0{,}85x18x150}$

$= 57{,}953$ mm

Momen nominal

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

$= 615{,}7522\ x240x\left(173{,}5 - \frac{57{,}953}{2}\right)x10^6$

$= 32{,}037\ kNm$

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

$= \frac{57,953}{0,85}$

$= 68,1802$

Regangan tulangan tarik

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

$= \frac{173,5 \quad -68,1802}{68,1802} x0,003$

$= 0,0046$

Kontrol regangan tulangan tarik, $\phi = 0,75$

Tahanan momen balok

$\phi Mn = 0,75x32,037$

$= 24,0275\ kNm$

Kontrol momen balok

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

$24,0275\ \ kNm > 19,680kNm$ (OK)

Tulangan geser

Kuat geser beton

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

$= \frac{\sqrt{18}}{6} x250x150x10^{-3}$

$= 26,517\ kN$

Tahanan geser beton

$\phi Vc = 0,75x26,517$

$= 19,887\ kN$

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

Kuat geser sengkang

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

$= \frac{33,910 - 0,75x19,887}{0,75}$

$= 18,697kN$

Luas tulangan geser sengkang

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

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

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

Jarak sengkang yang diperlukan

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

$= 157{,}08x240 \frac{250}{157{,}08\, x14^3}$

$= 302{,}45\, mm$

Jarak sengkang maksimum

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

$= \frac{250}{2}$

$= 86{,}75mm$

Jarak sengkang yang digunakan

$s = 86{,}75\, mm \cong 80\, mm$

Sengkang yang digunakan, $2P10 - 50$

4.2.5 Data balok Gording

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	= 10 mm
Diameter sengkang, P	= 10 mm
Tebal selimut beton, ts	= 30 mm
Momen rencana positif, Mu^+	= 9,380 kNm
Momen rencana negatif, Mu^-	= 15,770 kNm
Gaya geser rencana, Vu	= 28,360 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

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

$$= 30 + 10 + \frac{10}{2}$$

$$= 45mm$$

Jumlah tulangan dalam satu baris

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

$$= \frac{200-2x45}{25+10}$$

$$= 3{,}14 \cong 3buah$$

Jarak horizontal pusat ke pusat antar tulangan

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

$$= \frac{200-3x10-2x45}{3-1}$$

$$= 40\ mm$$

Jarak vertikal pusat ke pusat antar tulangan

$$y = D + 25$$

$$= 10 + 25$$

$$= 35\ mm$$

Rasio tulangan pada kondisi balance

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

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

$$= 0{,}03870$$

Faktor tahanan momen maksimum

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

$$= 0{,}75x0{,}03870x240 \left[1 - 0{,}5x0{,}75x0{,}03870 \frac{240}{0{,}85x18}\right]$$

$$= 5{,}3870$$

Rasio tulangan minimum

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

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

$$= 0{,}0058$$

Rasio tulangan maksimun

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

$= 0{,}75\ x\ 5{,}3870$

$= 0{,}02903$

Tulangan momen positif

Momen positif nominal rencana

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

$= \frac{9{,}38}{0{,}80}$

$= 11{,}7250 kNm$

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

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 250 - 80$

$= 170\ mm$

Faktor tahanan momen

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

$= \frac{11{,}7250\ x\ 10^6}{200\ x\ 170}$

$= 2{,}0285$

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

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$= 0{,}85 \frac{18}{240} x \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x2{,}0285}{0{,}85x18}}\right]$

$= 0{,}0091$

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

Luas tulangan yang diperlukan

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

$= 0{,}0091 x\ 200\ x\ 170$

$= 309{,}4071\ mm$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$$= \frac{309,4071}{\frac{\pi}{4}10^2}$$

$$= 3,9403 \cong 4 buah$$

Luas tulangan yang dipakai

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

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

$$= 314,1593\ mm$$

Jumlah baris tulangan

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

$$= \frac{4}{3}$$

$$= 1,33$$

Tabel 4.12 Tulangan momen positif gording

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	3	45	135
2	1	80	80
3	0	0	0
n =	4	$\Sigma[n_i \text{ x } y_i]$ =	215

Letak titik berat tulangan

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

$$= \frac{215}{4}$$

$$= 53,75\ mm$$

Tinggi efektif balok

$$d = h - d'$$

$$= 250 - 53,75$$

$$= 196,25\ mm$$

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

$$= \frac{314,1593\ \ x240}{0,85x18x200}$$

$$= 24,60 \text{ mm}$$

Momen nominal

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

$= 314{,}1593x240x\left(170 - \frac{24{,}60}{2}\right) x10^6$

$= 13{,}868$

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

$= \frac{24{,}60}{0{,}85}$

$= 28{,}9882$

Regangan tulangan tarik

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

$= \frac{196{,}25 - 28{,}9882}{28{,}9882} x0{,}003$

$= 0{,}0173$

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

Tahanan momen balok

$\phi Mn = 0{,}9x13{,}868$

$= 12{,}4812 kNm$

Kontrol momen balok

$\phi Mn \geq Mu^+$

$12{,}4812\ \ kNm > 9{,}380\ kNm$ (OK)

Tulangan momen negatif

Momen negatif nominal rencana

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

$= \frac{15{,}770}{0{,}80}$

$= 19{,}7125 kNm$

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

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 250 - 100$

$= 150\ mm$

Faktor tahanan momen

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

$$= \frac{19{,}7125x \; 10^6}{200 \; x \; 150}$$

$$= 4{,}3806$$

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

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$$= 0{,}85 \frac{18}{240} x \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x4{,}3806}{0{,}85x18}}\right]$$

$$= 0{,}02207$$

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

Luas tulangan yang diperlukan

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

$$= 0{,}02207x \; 200 \; x \; 150$$

$$= 662{,}2188mm$$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$$= \frac{662{,}2188mmmm}{\frac{\pi}{4}10^2}$$

$$= 8{,}4316 \cong 9 \; buah$$

Luas tulangan yang dipakai

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

$$= 9x \frac{\pi}{4} x10^2$$

$$= 706{,}8583 \; mm$$

Jumlah baris tulangan

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

$$= \frac{9}{3}$$

$$= 3$$

Tabel 4.13Tulangan momen negatif gording

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	3	45	135
2	3	80	240
3	3	115	345
n =	9	Σ[n_i x y_i] =	720

Letak titik berat tulangan

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

$$= \frac{720}{9}$$

$$= 80\ mm$$

Tinggi efektif balok

$$d = h - d'$$

$$= 250 - 80$$

$$= 170\ mm$$

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

$$= \frac{706{,}8583\ x240}{0{,}85x18x200}$$

$$= 55{,}440\ \text{mm}$$

Momen nominal

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

$$= 706{,}8583\ x240x\left(170 - \frac{55{,}440}{2}\right)x10^6$$

$$= 24{,}137\ kNm$$

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

$$= \frac{55{,}440}{0{,}85}$$

$$= 65{,}2234$$

Regangan tulangan tarik

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

$$= \frac{170\ -65{,}2234}{65{,}22348}x0{,}003$$

$$= 0{,}0048$$

Kontrol regangan tulangan tarik $\phi = 0{,}75$

Tahanan momen balok

$\phi Mn = 0{,}75x24{,}137$

$= 18{,}103kNm$

Kontrol momen balok

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

$18{,}103\ kNm > 15{,}770kNm$ (OK)

Tulangan geser

Kuat geser beton

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

$= \frac{\sqrt{20}}{6} x200x150x10^{-3}$

$= 24{,}042\ kN$

Tahanan geser beton

$\phi Vc = 0{,}75x24{,}042$

$= 18{,}031\ kN$

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

Kuat geser sengkang

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

$= \frac{28{,}360 - 0{,}75x18{,}031}{0{,}75}$

$= 10{,}329kN$

Luas tulangan geser sengkang

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

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

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

Jarak sengkang yang diperlukan

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

$= 157{,}08x240 \frac{150}{157{,}08\ x10^3}$

$= 465{,}36\ mm$

Jarak sengkang maksimum

$$s_{maks} = \frac{d}{2}$$
$$= \frac{170}{2}$$
$$= 98{,}13 mm$$

Jarak sengkang yang digunakan

$$s = 98\ mm \cong 90\ mm$$

Sengkang yang digunakan, $2P10 - 50$

4.2.6 Data balok kuda-kuda

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	= 10 mm
Tebal selimut beton, ts	= 40 mm
Momen rencana positif, Mu^+	= 7,050 kNm
Momen rencana negatif, Mu^-	= 4,920 kNm
Gaya geser rencana, Vu	= 3,130 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

$$d_s = t_s + P + \frac{D}{2}$$
$$= 40 + 10 + \frac{10}{2}$$
$$= 55\ mm$$

Jumlah tulangan dalam satu baris

$$n_s = \frac{b - 2d_s}{25 + D}$$
$$= \frac{200 - 2x55}{25 + 10}$$
$$= 2{,}57 \cong 2\ buah$$

Jarak horizontal pusat ke pusat antar tulangan

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

$= \frac{200 - 6x10 - 2x55}{2 - 1}$

$70\ mm$

Jarak vertikal pusat ke pusat antar tulangan

$y = D + 25$

$= 10 + 25$

$= 35\ mm$

Rasio tulangan pada kondisi balance

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

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

$= 0{,}0378$

Faktor tahanan momen maksimum

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

$= 0{,}75x0{,}0378x240 \left[1 - 0{,}5x0{,}75x0{,}0378 \frac{240}{0{,}85x18}\right]$

$= 5{,}3807$

Rasio tulangan minimum

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

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

$= 0{,}0058$

Rasio tulangan maksimun

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

$= 0{,}75\ x\ 0{,}0430$

$= 0{,}02903$

Tulangan momen positif

Momen positif nominal rencana

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

$= \frac{7{,}050}{0{,}80}$

$= 8{,}8125$

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

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 100 - 100$

$= 100\ mm$

Faktor tahanan momen

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

$= \frac{8{,}8125x\ 10^6}{200\ x\ 100}$

$= 4{,}4063$

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

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$= 0{,}85 \frac{18}{240} x \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x4{,}4063}{0{,}85x18}}\right]$

$= 0{,}0222$

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

Luas tulangan yang diperlukan

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

$= 0{,}0222x\ 200\ x\ 100$

$= 444{,}7610\ mm$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$= \frac{444{,}7610}{\frac{\pi}{4}10^2}$

$= 5{,}6629 \cong 6buah$

Luas tulangan yang dipakai

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

$= 6x\frac{\pi}{4}x10^2$

$= 471{,}2389\ mm$

Jumlah baris tulangan

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

$= \frac{6}{2}$

$= 3$

Tabel 4.14 Tulangan momen positif kuda-kuda

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	2	55	110
2	2	90	180
3	2	125	250
n =	6	Σ[n_i x y_i] =	540

Letak titik berat tulangan

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

$= \frac{540}{6}$

$= 90\ mm$

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 200 - 90$

$= 110\ mm$

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

$= \frac{471{,}2389\ x240}{0{,}85x18x200}$

$= 36{,}960$ mm

Momen nominal

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

$= 471{,}2389x240x\left(110\ - \frac{36{,}960}{2}\right)x10^6$

$= 10{,}351 kNm$

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

$= \frac{36{,}960}{0{,}85}$

$= 43{,}4823$

Regangan tulangan tarik

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

$= \frac{110 - 43{,}4823}{43{,}4823} x 0{,}003$

$= 0{,}0046$

Kontrol regangan tulangan tarik, $\phi = 0{,}75$

Tahanan momen balok

$\phi Mn = 0{,}75 x 10{,}351$

$= 7{,}7630 kNm$

Kontrol momen balok

$\phi Mn \geq Mu^+$

$7{,}7630\ kNm > 7{,}050\ kNm$ (OK)

Tulangan momen negatif

Momen negatif nominal rencana

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

$= \frac{4{,}920}{0{,}80}$

$= 6{,}15 kNm$

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

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 200 - 100$

$= 100\ mm$

Faktor tahanan momen

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

$= \frac{6{,}15 x\ 10^6}{200\ x\ 100}$

$= 3{,}075$

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

Rasio tulangan yang diperlukan

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

$= 0{,}85 \frac{18}{240} x \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2x3{,}075}{0{,}85x18}}\right]$

$= 0{,}01445$

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

Luas tulangan yang diperlukan

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

$= 0{,}01445x \ 200 \ x \ 100$

$= 289{,}0043$

Jumlah tulangan yang diperlukan

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

$= \frac{289{,}0043mm}{\frac{\pi}{4}10^2}$

$= 3{,}6797 \cong 4 \ buah$

Luas tulangan yang dipakai

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

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

$= 314{,}1593 \ mm$

Jumlah baris tulangan

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

$= \frac{4}{2}$

$= 2$

Tabel 4.15 Tulangan momen negatif kuda-kuda

Baris ke	Jumlah n_i	Jarak y_i	Jumlah jarak n_i x y_i
1	2	55	110
2	2	90	180
3	0	0	0
n =	4	$\Sigma[n_i$ x $y_i]$ =	290

Letak titik berat tulangan

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

$= \frac{290}{4}$

$= 72{,}5 \ mm$

Tinggi efektif balok

$d = h - d'$

$= 200 - 72{,}5$

$= 127{,}5 \ mm$

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

$= \frac{289,0043\ x240}{0,85x18x200}$

$= 24,640$ mm

Momen nominal

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

$= 289,0043\ x240x\left(127,5 - \frac{24,640}{2}\right)x10^6$

$= 8,684\ kNm$

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

$= \frac{24,640}{0,85}$

$= 28,9882$

Regangan tulangan tarik

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

$= \frac{127,5\ -28,9882}{28,9882}x0,003$

$= 0,0102$

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

Tahanan momen balok

$\phi Mn = 0,9x8,684$

$= 7,816\ kNm$

Kontrol momen balok

$\phi Mn \geq Mu^+$

$7,816\ \ kNm > 4,920kNm$ (OK)

Tulangan geser

Kuat geser beton

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

$= \frac{\sqrt{18}}{6}x200x100x10^{-3}$

$= 14,142\ kN$

Tahanan geser beton

$\phi Vc = 0,75x14,142$

$= 10,607kN$

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

Kuat geser sengkang

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

$$= \frac{3{,}130 - 0{,}75x10{,}607}{0{,}75}$$

$$= 3{,}130kN$$

Luas tulangan geser sengkang

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

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

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

Jarak sengkang yang diperlukan

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

$$= 157{,}08x240 \frac{100}{3{,}130\ x10^3}$$

$$= 1204{,}44\ mm$$

Jarak sengkang maksimum

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

$$= \frac{110}{2}$$

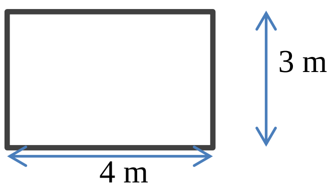
$$= 55mm$$

Jarak sengkang yang digunakan

$s = 55\ mm \cong 50\ mm$

Sengkang yang digunakan, $2P10 - 50$

4.2.7 Data Plat lantai



Data Bahan Struktur

Fc' = 18 MPa

Fy = 240 Mpa

Data Plat Lantai

Lx = 3 m

Ly = 4 m

H = 200 mm

Ly/Lx = 1.11 m

Diameter tulangan yang digunakan

Φ = 10 mm

Ts = 40 mm

Beban Plat

1. Beban Mati

   Q_D = 1.511 kN/m

2. Beban Hidup

   Q_L = 2.5 kN/m

3. Beban Rencana Terfaktor

   Qu = $1.2 \times Qd + 1.6 \times QL$

   = $1.2 \times 1.511 + 1.6 \times 2.5$

   = 5.813 kN/m^2

Momen rencana maksimum

Mu = $129.603\ kN/m$

A. Penulangan Plat

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

ρb = $\beta 1 \times 0.85 \times \frac{fc'}{fy} \times \frac{600}{600+fy}$

= $0.85 \times 0.85 \times \frac{25}{240} \times \frac{600}{(600+240)}$

= 0.0538

Tahanan momen max

Rmax = $0.75 \times \rho b \times fy \times 1 - ½ \times 0.75 \times \rho b \times \frac{fy}{0.85 \times fc'}$

= $0.75 \times 0.0538 \times 2400 \times 1 - ½ \times 0.75 \times 0.0538 \times \frac{240}{0.85 \times 25}$

= 7.4732

Faktor reduksi kekuatan lentur $\emptyset$ = 0.80

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton

Ds $= ts + P + \frac{D}{2}$

$= 30 + \frac{12}{2}$

$= 36$ mm

Tebal efektif plat lantai

d $= h - ds$

$= 200 - 36 = 164\ mm$

Momen nominal rencana

Mn = Mu/ Ø

$= \frac{129.603}{0.80} = 162.004\ kNm$

Faktor tahanan momen

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

$= 162.004 \times \frac{10^6}{(1000 \times 164^2)} = 6.02335$

Rn $< Rmax$ → OK

Rasio tulangan yang diperlukan

ρ $= 0.85 \times \frac{fc\prime}{fy}\left[1 - \sqrt{\frac{1-2 \times Rn}{0.85 \times fc'}}\right]$

$= 0.85 \times \frac{25}{240}\left[1 - \sqrt{\frac{1-2 \times .6.02335}{0.85 \times 25}}\right]$

$= 0.0303$

ρ min $= 0.0025$

Rasio tulangan yang digunakan

$\rho = 0.0303$

Luas tulangan yang digunakan

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

$= 0.0303 \times 1000 \times 164 = 4969.2\ mm^2$

Jarak tulangan yang diperlukan

S $= \frac{\pi}{4} \times Ø^2 \times \frac{b}{As}$

$= \frac{\pi}{4} \times 12^2 \times \frac{1000}{4969.2} = 23\ mm$

Smax = $2 \times h$

= $2 \times 200 = 400$ mm

Smax = 200 mm

Jarak sengkang yang harus digunakan

S = 23 mm

Diambil jarak sengkang

S = 20 mm

Digunakan tulangan

Ø10 - 20

Luas tulangan terpakai

S = $\frac{\pi}{4} \times \emptyset^2 \times \frac{b}{S}$

= $\frac{\pi}{4} \times 12^2 \times \frac{1000}{20} = 5655\ mm^2$

B. Kontrol Lendutan Plat

$E_c = 4700 \times \sqrt{25} = 23500\ Mpa$

$E_S = 200000\ Mpa$

Beban merata terfaktor pada plat

Q = QD + QL

= 1.511 + 2.5 = 4.011

Panjang bentang plat

Lx = 4500 mm

Batas lendutan max

= Lx/240 = 18.750 mm

Momen inersia brutto penampang plat

Ig = $1/12 \times b \times h^3$

= $\frac{1}{12} \times 1000 \times 200^3 = 666666666.7\ mm^3$

Modulus keruntuhan lentur beton

fr = $0.7 \times \sqrt{fc'}$

= $0.7 \times \sqrt{25}$ = 3.5 Mpa

Nilai perbandingan modulus elastis

n = Es / Ec

= $\frac{200000}{23500} = 8.94$

Jarak garis netral terhadap sisi atas beton

$c = n \times \frac{As}{b}$

$= 8.94 \times \frac{4969.2}{1000} = 44.42\ mm$

Momen inersia penampang retak yang ditransformasikan ke beton

$Icr = \frac{1}{3} \times b \times c^3 + n \times As \times (d - c)^2$

$= \frac{1}{3} \times 1000 \times 44.42^3 + 8.94 \times 4969.2 \times (164 - 44.42)^2$

$= 211777470000\ mm^4$

Momen retak

$Mcr = fr \times \frac{Ig}{yt}$

$Mcr = 3.5 \times \frac{666666666.7}{75} = 23333333\ Nmm$

Momen maksimum akibat beban (tanpa faktor beban)

$Ma = \frac{1}{8} \times Q \times Lx^2$

$Ma = \frac{1}{8} \times 4.011 \times 4500^2 = 10152186\ Nmm$

Lendutan elastis seketika akibat beban mati dan beban hidup

$Ie = (Mcr / Ma)^3 \times Ig + [\ 1 - (Mcr / Ma)^3\ ] \times Icr$

$Ie = (23333333/10152186)^3 \times 666666666.7 + [\ 1 - (23333333/\ 10152186\ )^3\ ] \times 211777470000$

$= 366458670\ Nmm$

Lendutan elastis seketika akibat beban mati dan beban hidup

$\delta e = \frac{5}{384} \times Q \times \frac{L^4}{Ec \times * Ie}$

$= \frac{5}{384} \times 4.110 \times \frac{4500^4}{23500 \times 366458670} = 2.487\ mm$

Rasio tulangan slab lantai

$\rho = \frac{As}{(\ b \times d\ )}$

$\rho = \frac{4965}{(\ 1000 \times 164.0\ )} = 0.0345$

Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati (jangka waktu > 5 tahun) nilai

$\xi = 2.0$

$\lambda = \frac{\xi}{(1+50 \times \rho)}$

$= \frac{2}{(1+50 \times 0.0345)} = 0.7342$

Lendutan jangka panjang akibat rangkak dan susut

δg = l × $\frac{5}{384}$ × 4.110 × 5000^4 / (7806 × 340817266) = 1.826 mm

Lendutan total

δtot = $\delta e + \delta g$

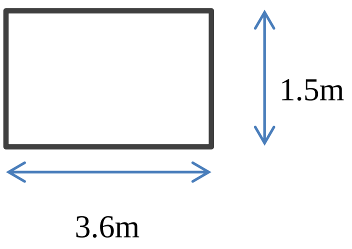
= 2.487 + 1.826 = 4.312 mm

Syarat

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

4.312 mm ≤ 18.750 mm … Aman (ok)

4.2.8 Plat Tangga



A. Data Bahan Struktur

Fc' = 18 MPa

Fy = 240 Mpa

B. Data Plat Lantai

Lx = 1.50 m

Ly = 3.61 m

H = 150 mm

Ly/Lx = 2.41 m

Diameter tulangan yang digunakan

Φ = 10 mm

Ts = 40 mm

Beban Plat

1. Beban Mati

   Q_D = 2.412 kN/m

2. Beban Hidup

   Q_L = 3.000 kN/m

3. Beban Rencana Terfaktor

Qu = $1.2 \times Qd + 1.6 \times QL$

= $1.2 \times 2.412 + 1.6 \times 3.000$

= 7.694 kN/M^2

Momen rencana maksimum

Mu = $65.928\ kN/m$

Penulangan Plat

Rasio tulangan pada kondisi *balance*

ρb = $\beta 1 \times 0.85 \times \frac{fc\prime}{fy} \times \frac{600}{600+fy}$

= $0.85 \times 0.85 \times \frac{25}{240} \times \frac{600}{(600+240)}$

= 0.0538

Tahanan momen max

Rmax = $0.75 \times \rho b \times$ fy $\times 1 - ½ \times 0.75 \times \rho b \times \frac{fy}{0.85 \times fc'}$

= $0.75 \times 0.0538 \times 240 \times 1 - ½ \times 0.75 \times 0.0538 \times \frac{240}{0.85 \times 25}$

= 7.4732

Faktor reduksi kekuatan lentur $\emptyset$ = 0.80

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton

ds = ts + P + $\frac{D}{2}$

= $20 + \frac{12}{2}$

= 26 mm

Tebal efektif plat tangga

d = $h - ds$

= $150 - 26 = 124\ mm$

Momen nominal rencana

Mn = Mu/ $\emptyset$

= $\frac{65.928}{0.80} = 82.410\ kNm$

Faktor tahanan momen

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

= $82.410 \times \frac{10^6}{(1000 \times 124^2)} = 5.3683$

Rn $< Rmax$ → OK

Rasio tulangan yang diperlukan

$\rho \quad = 0.85 \times \frac{fc'}{fy}\left[1 - \sqrt{\frac{1-2 \times Rn}{0.85 \times fc'}}\right]$

$= 0.85 \times \frac{25}{240}\left[1 - \sqrt{\frac{1-2 \times 5.36830}{0.85 \times 25}}\right]$

= 0.0263

ρ min = 0.0025

Rasio tulangan yang digunakan

$\rho = 0.0263$

Luas tulangan yang digunakan

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

= $0.0263 \times 1000 \times 124 = 3254\ mm^2$

Jarak tulangan yang diperlukan

S = $\frac{\pi}{4} \times \emptyset^2 \times \frac{b}{As}$

= $\frac{\pi}{4} \times 12^2 \times \frac{1000}{3254} = 35\ mm$

Smax = $2 \times h$

= $2 \times 150 = 300$ mm

Smax = 200 mm

Jarak sengkang yang harus digunakan

S = 35 mm

Diambil jarak sengkang

S = 30 mm

Digunakan tulangan

Ø10 - 30

Luas tulangan terpakai

As = $\frac{\pi}{4} \times \emptyset^2 \times \frac{b}{S}$

= $\frac{\pi}{4} \times 12^2 \times \frac{1000}{30} = 3770\ mm^2$

C. Kontrol Lendutan Plat

$E_c = 4700 \times \sqrt{25} = 23500\ Mpa$

$E_S = 200000\ Mpa$

Beban merata terfaktor pada plat

Q = QD + QL

= 2.412 + 3.000 = 5.412 kN/m

Panjang bentang plat

Lx = 1500 mm

Batas lendutan max

= Lx/240 = 6.250 mm

Momen inersia brutto penampang plat

Ig = $1/12 \times b \times h^3$

= $1/12 \times 1000 \times 150^3 = 280687875\ mm^4$

Modulus keruntuhan lentur beton

fr = $0.7 \times \sqrt{fc'}$

= $0.7 \times \sqrt{25}$ = 3.5 Mpa

Nilai perbandingan modulus elastis

n = Es / Ec

= $\frac{200000}{23500} = 8.51$

Jarak garis netral terhadap sisi atas beton

c = $n \times \frac{As}{b}$

= $8.51 \times \frac{3770}{1000} = 32.084\ mm$

Momen inersia penampang retak yang ditransformasikan ke beton

Icr = $\frac{1}{3} \times b \times c^3 + n \times As \times (d - c)^2$

= $\frac{1}{3} \times 1000 \times 32.084^3 + 8.51 \times 3770 \times (123.9 - 32.084)^2$

= 281483986 mm^4

Momen retak

Mcr = fr $\times \frac{Ig}{yt}$

Mcr = $3.5 \times \frac{280687875}{74.95}$ = 13107506 Nmm

Momen maksimum akibat beban (tanpa faktor beban)

$Ma = \frac{1}{8} \times Q \times Lx^2$

$Ma = \frac{1}{8} \times 5.412 \times 1500^2 = 1522125$ Nmm

Lendutan elastis seketika akibat beban mati dan beban hidup

$Ie = (Mcr/\ Ma)^3 \times Ig + [\ 1 - (Mcr/\ Ma)^3\ ] \times Icr$

$Ie = (13107506/\ 1522125)^3 \times 280687875 + [\ 1 - (13107506\ /\ 1522125)^3\ ] \times 281483986$

$= 226889209$ Nmm

Lendutan elastis seketika akibat beban mati dan beban hidup

$\delta e = \frac{5}{384} \times Q \times \frac{L^4}{Ec\ x\ Ie}$

$= \frac{5}{384} \times 5.412 \times \frac{1500^4}{23500 \times 226889209} = 0.067\ mm$

Rasio tulangan slab lantai

$\rho = \frac{As}{(b \times d)}$

$\rho = \frac{3770}{(1000 \times 124)} = 0.0304$

Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati (jangka waktu > 5 tahun) nilai

$\xi = 2.0$

$\lambda = \frac{\xi}{(1+50 \times \rho)}$

$= \frac{2}{(1+50 \times 0.0304)} = 0.7932$

Lendutan jangka panjang akibat rangkak dan susut

$\delta g = l \times \frac{5}{384} \times 4.886 \times 1500^4 /(27806 \times 89476824330) = 0.053$ mm

Lendutan total

$\delta tot = \delta e + \delta g$

$= 0.067 + 0.053 = 0.12$ mm

Syarat :

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

0.12 mm $\leq$ 6.250 mm … Aman (ok)

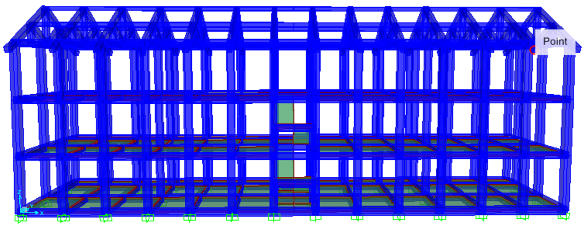
4.3 Pembahasan

4.3.1 Evaluasi Sekolah Tahan Gempa

Pada penelitian ini Bentuk Sekolah mengikuti kaidah sekolah tahan gempa pada Buku Panduan Sekolah Tahan Gempa yang diterbitkan DIRJEN Pendidikan Menengah KEMENDIKNAS

Gedung Sekolah

Berdasarkan pemodelan struktur dari aturan sekolah tahan gempa dihasilkan model yang masuk dalam kategori aman dan efisien, dan juga terdapat beberapa struktur utama sebagai penyokong utama terhadap kombinasi gaya yang terjadi di dalam bangunan itu seperti kolom,balok sloof,balok induk,dan balok ringbalk terlihat pada gambar yang telah dimodelkan dalam *Software* SAP2000



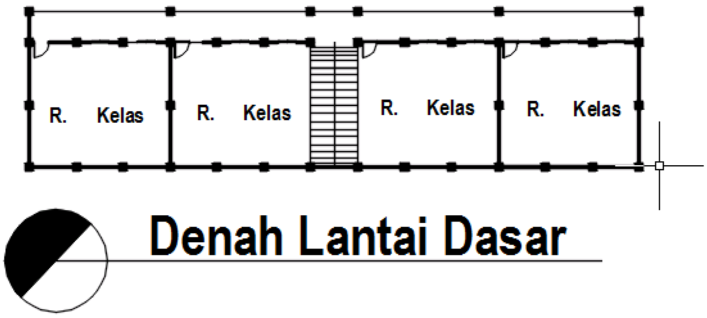
Gambar 4.3.Pemodelan Struktur Utama

Denah Bangunan Sekolah

Mengacu pada aturan bangunan sekolah tahan gempa (2010), terdapat beberapa syarat desain denah yaitu:

1. Tata letak bangunan sederhana dan simetris .
2. Pembagian beban dan berat yang terjadi pada bangunan tersebut harus merata tidak terjadi eksentrisitas dan penumpukan beban pada tiap sisi.
3. Tinggi bangunan tidak lebih dari empat kali lebar bangunan.

4. Struktur bangunan dalam keadaan monolit yaitu sama dengan maksud menghindari kinerja struktur yang berbeda beda pada saat terjadi gaya gempa.



Gambar 4.4 Denah lantai Dasar-lantai 3

Berdasarkan Gambar 4.4 diatas dapat diketahui bahwa pemodelan denah telah mengikuti aturan yang terdapat untuk memodelkan sekolah tahan gempa yaitu denah struktur sederhana dan simetris distribusi berat struktur merata dan juga bangunan monolit karena struktur dari atap sampai ke sloof digunakan bahan beton.