BAB V

PERENCANAAN STRUKTUR NON PORTAL BETON BERTULANG

Pada bab ini dibahas perencanaan struktur non portal beton bertulang meliputi, perencanaan pelat, perencanaan balok anak, perencanaan balok tribun, dan perencanaan tangga.

5.1 Perencanaan Pelat

Perencanaan pelat meliputi pelat lantai dan pelat tribun, denah pelat lantai dan pelat tribun disajikan pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2.

5.1.1 Pembebanan Pelat

Perhitungan beban pelat sesuai dengan ketentuan PPPURDG 1987, sebagai berikut ini :

1. Beban pelat lantai

a. Beban mati

- Pelat beton : 0,12 . 24 = 2,880 kN/m^2
- Tegel : 0,02 . 24 = 0,480 kN/m^2
- Spesi : 0,04 . 21 = 0,840 kN/m^2

w_D = 4,200 kN/m^2

b. Beban hidup

- Gedung Olah Raga : w_L = 400 kg/m^2 = 4,000 kN/m^2

c. Beban rencana pelat lantai (w_u)

w_u= 1,2 w_D + 1,6 w_L

= 1,2 . 4,200 + 1,6 . 4,000

= 11,400 kN/m^2

2. Beban pelat tribun

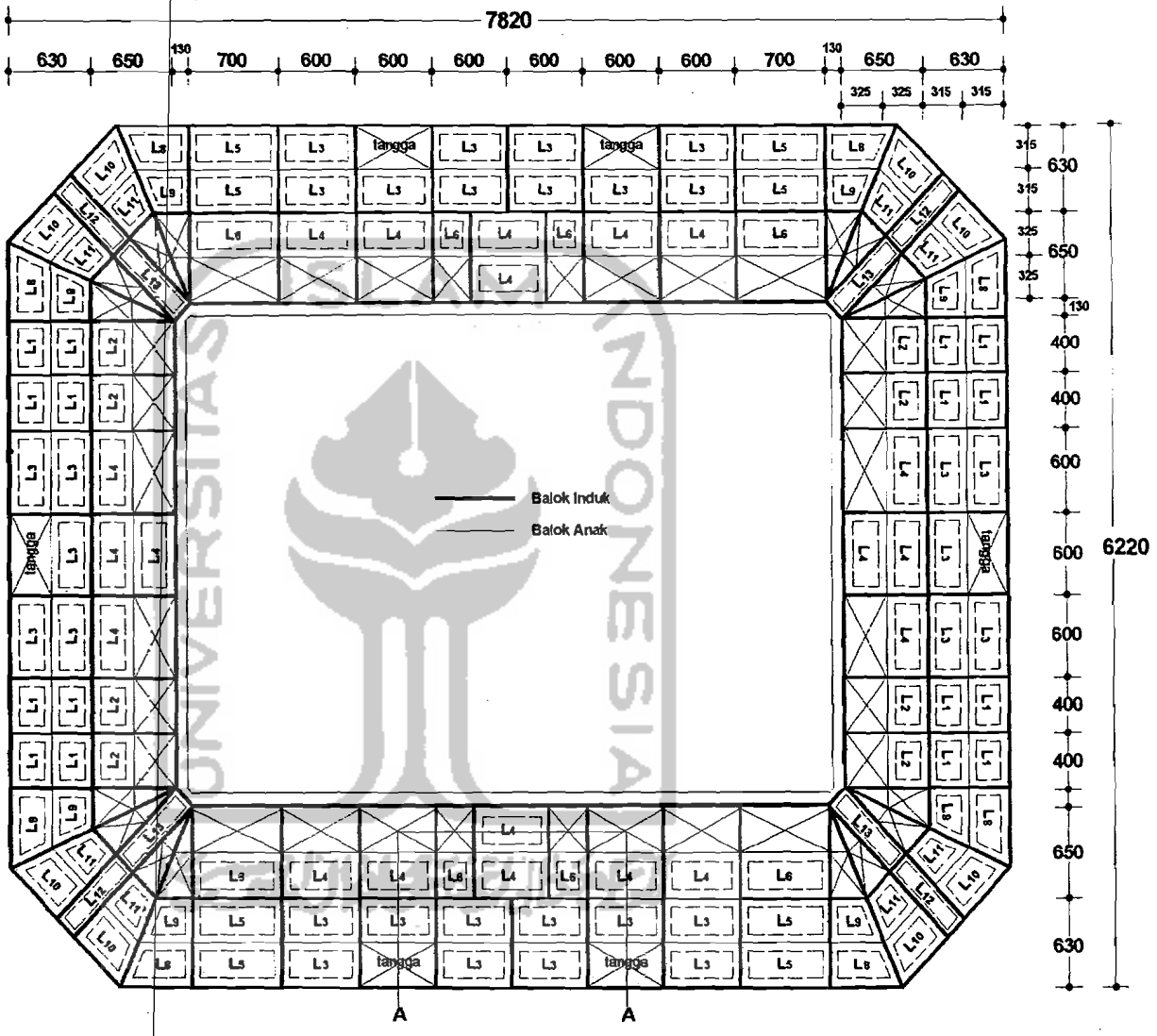
a. Beban mati

- Pelat beton : 0,10 . 24 = 2.400 kN/m^2
- Finishing : 0,02 . 24 = 0,480 kN/m^2

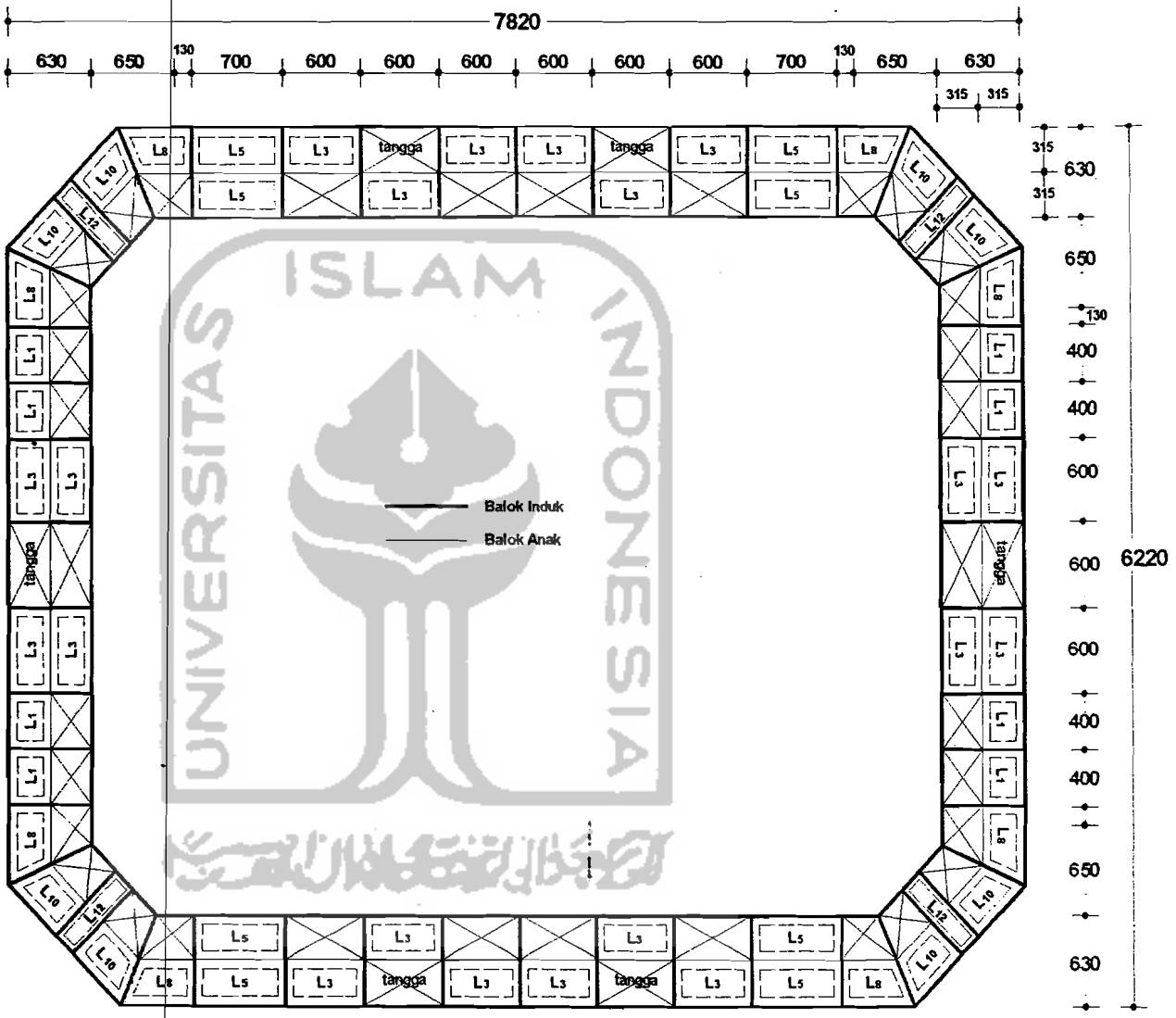
w_D = 2,880 kN/m^2

b. Beban hidup

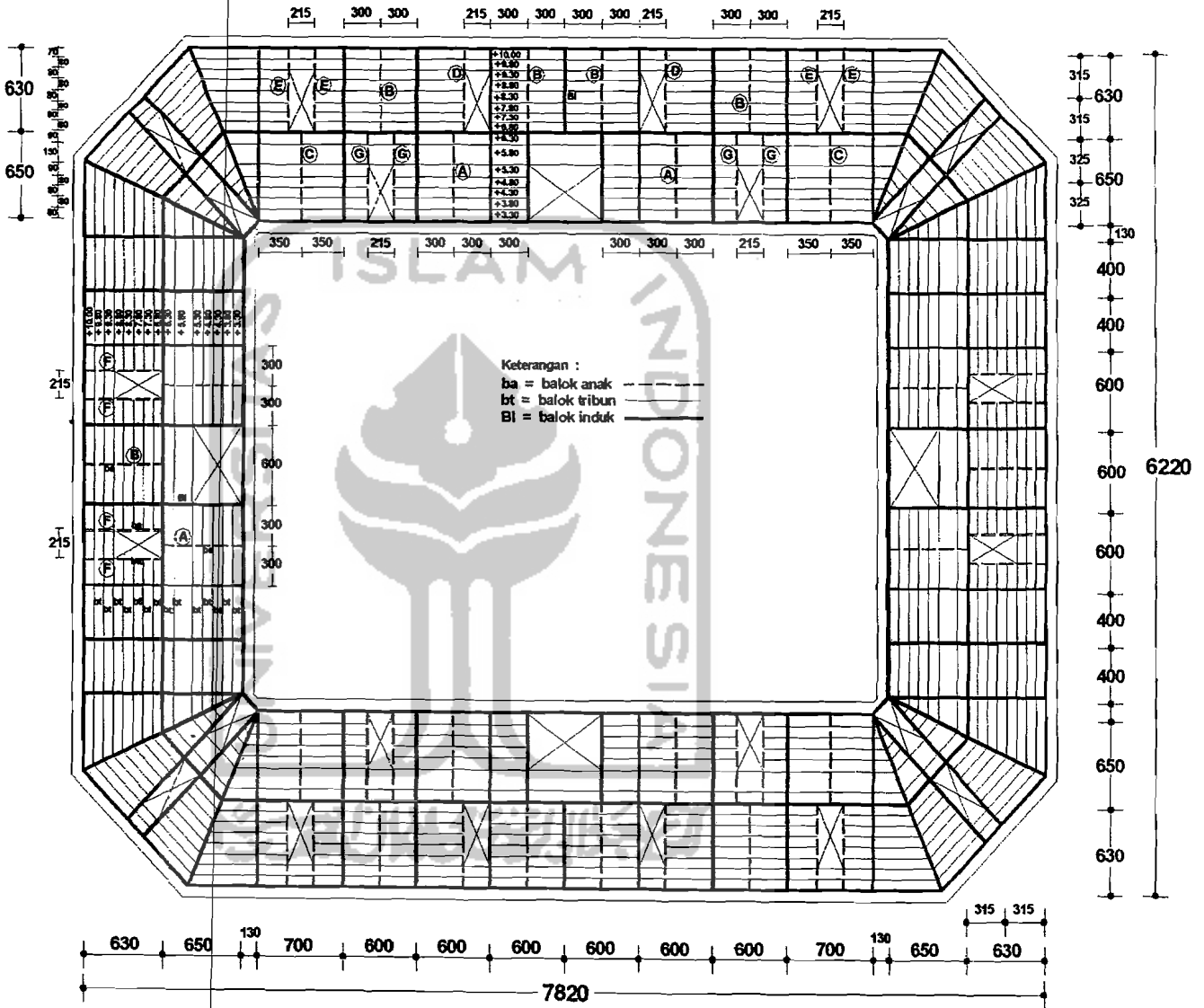
- Beban hidup Gedung Olah Raga : w_D = 500 kg/m^2 = 5,000 kN/m^2



Gambar 5.1.a Denah Rencana Pelat Lantai 1



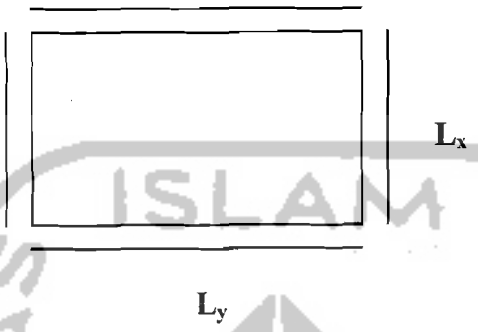
Gambar 5.1.b Denah Rencana Pelat Lantai 2



Gambar 5.2 Denah Rencana Tribun dan Balok Anak Tribun

5.1.2 Penulangan Pelat Lantai

Sebagai contoh untuk langkah-langkah perencanaan pelat adalah Perencanaan pelat lantai L1, sebagai berikut ini :



Gambar 5.3 Pelat lantai L1

$L_x = 3{,}150$ m

$L_y = 4{,}000$ m

Koefisien momen

$\frac{L_y}{L_x} = \frac{4{,}000}{3.150} = 1{,}270$ Pelat dua arah

Untuk pelat keempat tepinya terjepit elastis, dari Tabel 13.3.2 PBI 1971, didapat :

$c_{lx} = - c_{tx} = 48{,}80$

$c_{ly} = - c_{ty} = 38$

Menentukan tebal minimum pelat lantai

Pelat terlebar : $L_x = 3{,}250$ m dan $L_y = 7{,}000$ m

$$\beta = \frac{L_y}{L_x} = \frac{7{,}000}{3{,}250} = 2{,}150$$

$$h \geq \frac{L_x\left(0{,}8 + f_y/1500\right)}{36 + 9\beta}$$

$$h \geq \frac{3250\left(0,8 + {}^{240}/_{1500}\right)}{36 + 9.2,150}$$

$120 \geq 56,369$ mm

Jadi tebal pelat lantai dipakai $h = 120$ mm.

$w_u = 11,400$ kN/m^2

$M = 0,001 \,.\, w_u \,.\, L_x^2 \,.\, c$

$Ml_x = 0,001 \,.\, 11,400 \,.\, 3,150^2 \,.\, 48,80 = 5,520$ kNm

$Mt_x = -0,001 \,.\, 11,400 \,.\, 3,150^2 \,.\, 48,80 = -5,520$ kNm

$Ml_y = 0,001 \,.\, 11,400 \,.\, 3,150^2 \,.\, 38 = 4,298$ kNm

$Mt_y = -0,001 \,.\, 11,400 \,.\, 3,150^2 \,.\, 38 = -4,298$ kNm

Penulangan sejajar arah x

a. Tulangan lapangan (l_x)

Digunakan tulangan pokok P8

tinggi manfaat

- lapangan arah-x $d' = 15 + 0,5 \,.\, 8 = 19$ mm

$d = 120 - 19 = 101$ mm

$M_u = M_{lx} = 5,520$ kNm

${M_u}/{0,8} = {5,520}/{0,8} = 6,900$ kNm

${M_u}/{0,8} = C_c \left[d - \left({a}/{2}\right)\right] = 0,85 \,.\, f'_c \,.\, b \,.\, a \left[d - \left({a}/{2}\right)\right]$

$6,900 \,.\, 10^6 = 0,85 \,.\, 20 \,.\, 1000 \,.\, a \,.\, \left[101 - \left({a}/{2}\right)\right]$

$6,900 \,.\, 10^6 = 1717000a - 8500a^2$

dari persamaan di atas didapat $a = 4,102$ mm

$0{,}85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a = A_{s\,perlu} \cdot f_y$

$0{,}85 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot 4{,}102 = A_{s\,perlu} \cdot 240$

$A_{s\,perlu} = 290{,}558 \text{ mm}^2$

$A_{s\,min} = 0{,}0025 \cdot b \cdot h = 0{,}0025 \cdot 1000 \cdot 120 = 300 \text{ mm}^2$

$A_{s\,perlu} < A_{s\,min}$, maka dipakai $A_{s\,min}$

tersedia tulangan P8 $A_{tulangan} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot p^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 8^2 = 50{,}265 \text{ mm}^2$

jarak tulangan perlu, $s_{perlu} = (50{,}265 \cdot 1000)/300 = 167{,}550$ mm

dipakai **P8 – 150**

Luas tulangan dipakai $A_{s\,pakai} = (50{,}265 \cdot 1000)/150 = 335{,}100 \text{ mm}^2$

$A_{s\,pakai} = 335{,}100 \text{ mm}^2 > A_{s\,min} = 300 \text{ mm}^2$ -aman-

b. Tulangan tumpuan (t_x)

Digunakan tulangan pokok P8

tinggi manfaat

- lapangan arah-x $d' = 15 + 0{,}5 \cdot 8 = 19$ mm

$d = 120 - 19 = 101$ mm

$Mu = Mlx = 5{,}520$ kNm

$\frac{M_u}{0{,}8} = \frac{5{,}520}{0{,}8} = 6{,}900$ kNm

$\frac{M_u}{0{,}8} = C_c \left[d - \left(\frac{a}{2}\right)\right] = 0{,}85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \left[d - \left(\frac{a}{2}\right)\right]$

$6{,}900 \cdot 10^6 = 0{,}85 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot a \cdot \left[101 - \left(\frac{a}{2}\right)\right]$

$6{,}900 \cdot 10^6 = 1717000a - 8500a^2$

dari persamaan di atas didapat $a = 4{,}102$ mm

$0{,}85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a = A_{s\,perlu} \cdot f_y$

0,85 . 20 . 1000 . 4,102 = $A_{s\ perlu}$. 240

$A_{s\ perlu}$ = 290,558 mm^2

$A_{s\ min}$ = 0,0025 . b . h = 0,0025 . 1000 . 120 = 300 mm^2

$A_{s\ perlu} < A_{s\ min}$, maka dipakai $A_{s\ min}$

tersedia tulangan P8 $A_{s\ tulangan}$ = ¼.π.p^2 = ¼.π.8^2 = 50,265 mm^2

jarak tulangan perlu, s_{perlu} = (50,265 . 1000)/300 = 167,550 mm

dipakai **P8 – 150**

Luas tulangan dipakai $A_{s\ pakai}$ = (50,265 . 1000)/150 = 335,100 mm^2

$A_{s\ pakai}$ = 335,100 mm^2 > $A_{s\ min}$ = 300 mm^2 -aman-

- Penulangan bagi

$A_{s\ perlu}$ = 0,0014 . 1000 . 120 = 168 mm^2

tersedia tulangan P6, $A_{s\ tulangan}$ = ¼.π.p^2 = ¼.π.6^2 = 28,274 mm^2

jarak tulangan perlu, s_{perlu} = (28,274 . 1000)/168 = 168,298 mm^2

dipakai tulangan bagi **P6 – 150**

Luas tulangan dipakai $A_{s\ pakai}$ = (28,274 . 1000)/150 = 188,493 mm^2

$A_{s\ pakai}$ = 188,493 mm^2 > $A_{s\ perlu}$ = 168 mm^2 -aman-

Dengan cara yang sama dapat dihitung untuk semua pelat lantai, disajikan pada Tabel 5.1 .

5.1.3 Penulangan Pelat Tribun

- Tribun jenis a

Asumsi sebagai pelat tertumpu sederhana

$M_D = (1/8) \cdot 2.880 \cdot 0{,}80^2 = 0.230$ kNm

$M_L = (1/8) \cdot 5{,}00 \cdot 0{,}80^2 = 0{,}400$ kNm

$M_U = 1{,}2\, M_D + 1{,}6\, M_L$

$= 1{,}2 \cdot 0{,}230 + 1{,}6 \cdot 0{,}400$

$= 0.920$ kNm

Digunakan tulangan pokok P8

tinggi manfaat

- lapangan arah-x $d' = 15 + 0{,}5 \cdot 8 = 19$ mm

$d = 100 - 19 = 81$ mm

$M_u = 0{,}920$ kNm

$M_u/0{,}8 = 0{,}920/0{,}8 = 1.150$ kNm

$M_u/0{,}8 = C_c \left[d - (a/2)\right] = 0{,}85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \left[d - (a/2)\right]$

$1{,}150 \cdot 10^6 = 0{,}85 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot a \cdot \left[81 - (a/2)\right]$

$1{,}150 \cdot 10^6 = 1377000a - 8500a^2$

dari persamaan di atas didapat $a = 0{,}839$ mm

$0{,}85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a = A_{s\,perlu} \cdot f_y$

$0{,}85 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot 0{,}839 = A_{s\,perlu} \cdot 240$

$A_{s\,perlu} = 59{,}429$ mm^2

$A_{s\,min} = 0{,}0025 \cdot b \cdot h = 0{,}0025 \cdot 1000 \cdot 120 = 300$ mm^2

$A_{s\,perlu} < A_{s\,min}$, maka dipakai $A_{s\,min}$

tersedia tulangan P8 $A_{tulangan} = ¼.\pi.p^2 = ¼.\pi.8^2 = 50{,}265$ mm^2

jarak tulangan perlu, $s_{perlu} = (50{,}265 .1000)/300 = 167{,}552$ mm

dipakai **P8 – 150**

Luas tulangan dipakai $A_{s\,pakai} = (50{,}265 . 1000)/150 = 335{,}100$ mm^2

$A_{s\,pakai} = 335{,}100$ mm^2 > $A_{s\,min} = 300$ mm^2 -aman-

- Penulangan bagi

$A_{s\,perlu} = 0{,}0014 . 1000 . 120 = 168$ mm^2

tersedia tulangan P6, $A_{s\,tulangan} = ¼.\pi.p^2 = ¼.\pi.6^2 = 28{,}274$ mm^2

jarak tulangan perlu, $s_{perlu} = (28{,}274 . 1000)/168 = 168{,}298$ mm^2

dipakai tulangan bagi **P6 – 150**

Luas tulangan dipakai $A_{s\,pakai} = (28{,}274 . 1000)/150 = 188{,}493$ mm^2

$A_{s\,pakai} = 188{,}493$ mm^2 > $A_{s\,perlu} = 168$ mm^2 -aman-

Karena struktur tak terlindung maka digunakan tulangan rangkap.

- Tribun jenis b

Asumsi sebagai pelat tertumpu sederhana

$M_D = (1/8) . 2.880 . 1{,}50^2 = 0.810$ kNm

$M_L = (1/8) . 5{,}00 . 1{,}50^2 = 1{,}406$ kNm

$M_U = 1{,}2\,M_D + 1{,}6\,M_L$

$= 1{,}2 . 0.810 + 1{,}6 . 1{,}406$

$= 3.222$ kNm

Digunakan tulangan pokok P8

tinggi manfaat

- lapangan arah-x $d' = 15 + 0{,}5 \cdot 8 = 19$ mm

$d = 100 - 19 = 81$ mm

$M_u = 3{,}222$ kNm

$M_u/0{,}8 = 3{,}222/0{,}8 = 4.0275$ kNm

$M_u/0{,}8 = C_c \left[d - (a/2)\right] = 0{,}85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \left[d - (a/2)\right]$

$4{,}028 \cdot 10^6 = 0{,}85 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot a \cdot \left[81 - (a/2)\right]$

$4{,}028 \cdot 10^6 = 1377000a - 8500a^2$

dari persamaan di atas didapat $a = 2{,}980$ mm

$0{,}85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a = A_{s\,perlu} \cdot f_y$

$0{,}85 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot 2{,}980 = A_{s\,perlu} \cdot 240$

$A_{s\,perlu} = 211{,}083$ mm^2

$A_{s\,min} = 0{,}0025 \cdot b \cdot h = 0{,}0025 \cdot 1000 \cdot 120 = 300$ mm^2

$A_{s\,perlu} < A_{s\,min}$, maka dipakai $A_{s\,min}$

tersedia tulangan P8 $A_{tulangan} = \frac{1}{4}.\pi.p^2 = \frac{1}{4}.\pi.8^2 = 50{,}265$ mm^2

jarak tulangan perlu, $s_{perlu} = (50{,}265 \cdot 1000)/300 = 167{,}552$ mm

dipakai **P8 – 150**

Luas tulangan dipakai $A_{s\,pakai} = (50{,}265 \cdot 1000)/150 = 335{,}100$ mm^2

$A_{s\,pakai} = 335{,}100$ mm^2 > $A_{s\,min} = 300$ mm^2 -aman-

- Penulangan bagi

$A_{s\,perlu} = 0{,}0014 \cdot 1000 \cdot 120 = 168$ mm^2

tersedia tulangan P6, $A_{s\,tulangan} = \frac{1}{4}.\pi.p^2 = \frac{1}{4}.\pi.6^2 = 28{,}274$ mm^2

jarak tulangan perlu, s_{perlu} = (28,274 . 1000)/168 = 168,298 mm^2

dipakai tulangan bagi **P6 – 150**

Luas tulangan dipakai $A_{s\ pakai}$ = (28,274 . 1000)/150 = 188,493 mm^2

$A_{s\ pakai}$ = 188,493 mm^2 > $A_{s\ perlu}$ = 168 mm^2 -aman-

Karena struktur tak terlindung maka digunakan tulangan rangkap.

5.1.4 Penulangan Balok Tribun

- Tribun jenis a

Pembebanan balok tribun

a. Beban mati

- Berat pelat beton + finishing : 0,12 . 0,8 . 24 = 2.300 kN/m^2
- Berat balok : 0,20 . 0,50 . 24 = 2,400 kN/m^2

w_D = 4.700 kN/m^2

b. Beban hidup

- Beban hidup Gedung Olah Raga : w_L = 0,8 . 5 = 4,000 kN/m^2

c. Beban rencana balok tribun (w_u)

w_u= 1,2 w_D + 1,6 w_L

= 1,2 . 4,700 + 1,6 . 4,000 = 12,000 kN/m^2

Perhitungan momen

$M_u = (1/11) . w_u . L^2$ $M_u/\varnothing$ = 17,450/0,8 = 21.8125 kNm

= (1/11) . 12,000 . 4^2

= 17.450 kNm

$M_u = (1/24) . w_u . L^2$ $M_u/\varnothing$ = 8,000/0,8 = 10,000 kNm

$= (1/24) . 12{,}000 . 4^2$

$= 8{,}000$ kNm

Perhitungan penulangan lentur balok tribun

- Untuk momen positif / lapangan ($M_{u\ lap}$ = 17,450 kNm) = momen terbesar

- Menentukan nilai rasio tulangan (ρ)

$$\rho_b = \frac{0{,}85.f'_c}{f_y}\beta_1\left(\frac{600}{600+f_y}\right)$$

$$= \frac{0{,}85.20}{400}0{,}85\left(\frac{600}{600+400}\right) = 0{,}0217$$

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

$\rho_{maks} = 0{,}75 . \rho_b = 0{,}75 . 0\ 0217 = 0{,}0163$

$\rho = 0{,}5\ \rho_{maks} = 0{,}5 . 0{,}0163 = 0{,}00815 > \rho_{min} = 0{,}0035$ - ok-

- Menentukan tinggi efektif (d) dan lebar (b) penampang balok

$$m = \frac{f_y}{0{,}85.f'_c} = \frac{400}{0{,}85.20} = 23{,}529$$

$R_n = \rho . f_y . (1 - ½. \rho. m)$

$= 0{,}00815 . 400\ (1 - ½.0{,}00815 . 23{,}529) = 2{,}947$ MPa

$$b . d^2 = \frac{M_U/\phi}{R_n} = \frac{21{,}813.10^6}{2{,}947}$$

$200 . d^2 = 7401764.506278$

$d = 192.377$ mm = 193 mm

$b = 200$ mm ; $d = 193$ mm

$h = d + pb + Ø$ sengkang + ½. Øtulangan rencana

Dipakai tulangan sengkang Ø 8 mm dan tulangan pokok Ø 13 mm

h = 193 + 40 + 8 + 13/2 = 247.500 mm < h asumsi = 500 mm -ok-

$d = h - pb$ - Ø sengkang - ½. Øtulangan rencana

= 500 – 40 – 8 – 13/2 = 445,500 mm

Jadi dimensi balok anak adalah

b = 200 mm ; h = 500 mm dan d = 445,500 mm

- Penulangan balok tribun (direncanakan dengan penulangan sebelah)

- Menentukan ρ_{ada} dan Rn_{ada}

$$R_{nada} = \frac{M_U / \phi}{b.d^2} = \frac{21{,}813.10^6}{200.445{,}500^2} = 0.5495 \text{ MPa}$$

$$\rho_{ada} = \frac{R_{n\,ada}}{R_n}\rho$$

$$\rho_{ada} = \frac{0{,}5495}{2{,}947}0{,}00815 = 0.0015197 < \rho_{min} = 0{,}0035$$

Dipakai ρ_{min} = 0,0035

- Menentukan luas tulangan (A_s)

$A_s = \rho_{ada} . b . d$

= 0,0035 . 200 . 445.5 = 311,850 mm^2

$n = \frac{A_s}{A_{1\phi}}$; $A_{1\phi}$ = 1/4 . π . Øtulangan pokok = ¼ . π . 13^2 = 132.732 mm^2

$= \frac{311{,}850}{132{,}732} = 2{,}349$ dipakai tulangan **3D13**

$A_{s\ ada} = n . A_{1\phi} = 3 . 132{,}732 = 398{,}196$ mm^2 > A_s -ok-

- Kontrol kapasitas lentur yang terjadi

$$a = \frac{A_{s\,ada}.f_y}{0{,}85.f'_c.b} = \frac{398{,}196.400}{0{,}85.20.200} = 46{,}847 \text{ mm}$$

$$M_n = As_{ada}.f_y.\left(d - a/2\right) \geq M_u/\phi$$

$$= 398{,}196 \,.\, 400 \,.\left(445{,}5 - 46{,}847/2\right) \geq 21{,}813 \text{ kNm}$$

$$= 67{,}228 \text{ kNm} \geq 21{,}813 \text{ kNm} \qquad \text{-aman-}$$

- Penulangan lentur balok tribun negatif / tumpuan ($M_{u\,tump}$ = 8,000 kNm)

(direncanakan dengan penulangan sebelah)

- Menentukan ρ_{ada} dan R_{nada}

$$R_{nada} = \frac{M_U/\phi}{b.d^2} = \frac{10{,}000.10^6}{200.445{,}5^2} = 0.250 \text{ MPa}$$

$$\rho_{ada} = \frac{Rn_{ada}}{Rn}\rho$$

$$\rho_{ada} = \frac{0{,}250}{2{,}947}0{,}00815 = 0.00069 < \rho_{min} = 0{,}0035$$

Dipakai ρ_{min} = 0,0035

- Menentukan luas tulangan (A_s)

$A_s = \rho_{ada}.\ b\ .\ d$

$= 0{,}0035.\ 200\ .\ 445{,}5 = 311{,}850 \text{ mm}^2$

$n = \frac{A_s}{A_{1\phi}}$; $A_{1\varnothing}$ = 1/4 . π . Øtulangan pokok = ¼ . π . 13^2 = 132.732 mm^2

$= \frac{311{,}850}{132{,}732} = 2{,}349$ dipakai tulangan **3D13**

$A_{s\,ada} = n\ .\ A_{1\varnothing} = 3\ .\ 132{,}732 = 398{,}196 \text{ mm}^2 > A_s$ -ok-

- Kontrol kapasitas lentur yang terjadi

$$a = \frac{As_{ada} \cdot f_y}{0{,}85 . f'_c . b} = \frac{398{,}196.400}{0{,}85.20.200} = 46{,}847 \text{ mm}$$

$$M_n = As_{ada.} f_y . \left(d - a/2\right) \geq M_u/\phi$$

$$= 398{,}196 \,.\, 400 \,.\left(445{,}5 - 46{,}847/2\right) \geq 10{,}000 \text{ kNm}$$

$$= 67{,}228 \text{ kNm} \geq 10{,}000 \text{ kNm} \quad \text{-aman-}$$

Karena tinggi balok tribun > 300 mm maka pada tengah balok tribun dipasang tulangan susut **2D10**.

- Tribun jenis b

Pembebanan balok tribun

a. Beban mati

- Berat pelat beton + finishing : 0,12 . 1,50 . 24 = 4,320 kN/m^2
- Berat balok : 0,20 . 0,50 . 24 = 2,400 kN/m^2

w_D = 6,720 kN/m^2

b. Beban hidup

- Beban hidup Gedung Olah Raga : w_D = 1,5 . 5 = 7,500 kN/m^2

c. Beban rencana balok tribun (w_u)

w_u= 1,2 w_D + 1;6 w_L

= 1,2 . 6,720 + 1,6 . 7,500

= 20,064 kN/m^2

Perhitungan momen

$M_u = (1/11) \,.\, w_u \,.\, L^2$ $\qquad M_u/\varnothing = 29{,}184/0{,}8 = 36{,}480$ kNm

$= (1/11) \,.\, 20{,}064 \,.\, 4^2$

$= 29{,}184$ kNm

$M_u = (1/24) \,.\, w_u \,.\, L^2$ $\qquad M_u/\varnothing = 13{,}376/0{,}8 = 16{,}720$ kNm

$= (1/24) \,.\, 20{,}064 \,.\, 4^2$

$= 13{,}376$ kNm

Perhitungan penulangan lentur balok tribun

- Untuk momen positif / lapangan ($M_{u\ lap} = 29{,}184$ kNm) = momen terbesar

- Menentukan nilai rasio tulangan (ρ)

$$\rho_b = \frac{0{,}85.f'_c}{f_y}\beta_1\left(\frac{600}{600+f_y}\right)$$

$$= \frac{0{,}85.20}{400}0{,}85\left(\frac{600}{600+400}\right) = 0{,}0217$$

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

$\rho_{maks} = 0{,}75 \,.\, \rho_b = 0{,}75 \,.\, 0\ 0217 = 0{,}0163$

$\rho = 0{,}5\ \rho_{maks} = 0{,}5 \,.\, 0{,}0163 = 0{,}00815 > \rho_{min} = 0{,}0035$ - ok-

- Menentukan tinggi efektif (d) dan lebar (b) penampang balok

$$m - \frac{f_y}{0{,}85.f'_c} = \frac{400}{0{,}85.20} = 23{,}529$$

$R_n = \rho \,.\, f_y \,.\, (1 - \tfrac{1}{2}.\, \rho.\, m)$

$= 0{,}00815 \,.\, 400\ (1 - \tfrac{1}{2}.0{,}00815 \,.\, 23{,}529) = 2{,}947$ MPa

$$b \,.\, d^2 = \frac{M_U/\phi}{R_n} = \frac{36{,}480.10^6}{2{,}947}$$

$200 \,.\, d^2 = 12378690{,}190$

d = 248,784 mm = 249 mm

b = 200 mm ; d = 445 mm

$h = d + pb +$ Ø sengkang + ½. Øtulangan rencana

Dipakai tulangan sengkang Ø 8 mm dan tulangan pokok Ø 13 mm

h = 249 + 40 + 8 + 13/2 = 303,500 mm < h asumsi = 500 mm -ok-

Jadi dimensi balok anak adalah

b = 200 mm ; h = 500 mm dan d = 445,5 mm

- Penulangan balok tribun (direncanakan dengan penulangan sebelah)

- Menentukan ρ_{ada} dan R_{nada}

$$R_{nada} = \frac{M_U / \phi}{b.d^2} = \frac{36,480.10^6}{200.445,50^2} = 0,919 \text{ MPa}$$

$$\rho_{ada} = \frac{Rn_{ada}}{Rn} \rho$$

$$\rho_{ada} = \frac{0,919}{2,947} 0,00815 = 0,00254 < \rho_{min} = 0,0035$$

Dipakai ρ_{min} = 0,0035

- Menentukan luas tulangan (A_s)

$A_s = \rho_{ada} . b . d$

= 0,0035. 200 . 445,5 = 311,850 mm^2

$n = \frac{A_s}{A_{1\phi}}$; $A_{1\phi}$ = 1/4 . π . Øtulangan pokok = ¼ . π . 13^2 = 132.732 mm^2

$= \frac{311,850}{132,732} = 2,349$ dipakai tulangan **3D13**

$A_{s\ ada} = n . A_{1\phi} = 3 . 132,732 = 398,196 \text{ mm}^2 > A_s$ -ok-

- Kontrol kapasitas lentur yang terjadi

$$a = \frac{As_{ada}.f_y}{0{,}85.f'_c.b} = \frac{398{,}196.400}{0{,}85.20.200} = 46{,}847 \text{ mm}$$

$$M_n = As_{ada}.f_y.\left(d - a/2\right) \geq Mu/\phi$$

$$= 398{,}196 \,.\, 400 \,.\left(445{,}5 - 46{,}847/2\right) \geq 36{,}480 \text{ kNm}$$

$$= 67{,}228 \text{ kNm} \geq 36{,}480 \text{ kNm} \quad \text{-aman-}$$

Karena tinggi balok tribun > 300 mm maka pada tengah balok tribun dipasang tulangan susut **2D10**.

- Penulangan lentur balok tribun negatif / tumpuan ($M_{u\ tump}$ = 13,376 kNm)

(direncanakan dengan penulangan sebelah)

- Menentukan ρ_{ada} dan R_{nada}

$$R_{nada} = \frac{M_U/\phi}{b.d^2} = \frac{16{,}720.10^6}{200.445{,}5^2} = 0{,}421 \text{ MPa}$$

$$\rho_{ada} = \frac{Rn_{ada}}{Rn}\rho$$

$$\rho_{ada} = \frac{0{,}421}{2{,}947}0{,}00815 = 0{,}00116 < \rho_{min} = 0{,}0035$$

Dipakai ρ_{min} = 0,0035

- Menentukan luas tulangan (A_s)

$$A_s = \rho_{ada}.\ b\ .\ d$$

$$= 0{,}0035.\ 200\ .\ 445{,}5 = 311{,}850 \text{ mm}^2$$

$n = \frac{As}{A_{1\phi}}$; $A_{1\varnothing}$= 1/4 . π . Øtulangan pokok = ¼ . π . 13^2 = 132.732 mm^2

$= \frac{311,850}{132,732} = 2,349$ dipakai tulangan **3D13**

$A_{s\ ada} = n\ .\ A_{1\phi} = 3\ .\ 132,732 = 398,196\ mm^2 > A_s$ -ok-

- Kontrol kapasitas lentur yang terjadi

$$a = \frac{As_{ada}.f_y}{0,85.f'_c.b} = \frac{398,196.400}{0,85.20.200} = 46,847\ mm$$

$$M_n = As_{ada.}f_y.\left(d - a/2\right) \geq Mu/\phi$$

$$= 398,196\ .\ 400\ .\left(445,5 - 46,847/2\right) \geq 36,480\ kNm$$

$= 67,228\ kNm \geq 36,480\ kNm$ -aman-

Karena tinggi balok tribun > 300 mm maka pada tengah balok tribun dipasang tulangan susut **2D10**.

5.1.5 Perencanaan Tulangan Pelat Dengan Struktur Kantilever

- Penulangan Pelat Kantilever pada Pelat Lantai

Beban pelat lantai

a. Beban mati

- Pelat beton : 0,12 . 24 $= 2,880\ kN/m^2$
- Tegel : 0,02 . 24 $= 0,480\ kN/m^2$
- Spesi : 0,04 . 21 $= 0,840\ kN/m^2$

$w_D = 4,200\ kN/m^2$

b. Beban hidup

- Gedung Olah Raga : $w_L = 400\ kg/m^2 = 4,000\ kN/m^2$

c. Beban rencana pelat lantai (w_u) .

$w_u = 1{,}2\ w_D + 1{,}6\ w_L$

$= 1{,}2\ .\ 4{,}200 + 1{,}6\ .\ 4{,}000$

$= 11{,}400\ \text{kN/m}^2$

$M_u = ½.\ w_u\ .\ l^2$

$= ½.\ 11{,}400\ .\ 1{,}075^2$

$= 6{,}587\ \text{kNm}$

Tebal pelat lantai dipakai $h = 120$ mm.

Digunakan tulangan pokok P8

tinggi manfaat

$d' = 15 + 0{,}5\ .\ 8 = 19$ mm

$d = 120 - 19 = 101$ mm

$M_u/_{0,8} = 6{,}587/_{0,8} = 8{,}234$ kNm

$M_u/_{0,8} = C_c\ \left[d - \left(a/_2\right)\right] = 0{,}85\ .\ f'_c\ .\ b\ .\ a\ \left[d - \left(a/_2\right)\right]$

$8{,}234\ .\ 10^6 = 0{,}85\ .\ 20\ .\ 1000\ .\ a\ .\ \left[101 - \left(a/_2\right)\right]$

$8{,}234\ .\ 10^6 = 1717000a - 8500a^2$

dari persamaan di atas didapat $a = 4{,}915$ mm

$0{,}85\ .\ f'_c\ .\ b\ .\ a = A_{s\ perlu}\ .\ f_y$

$0{,}85\ .\ 20\ .\ 1000\ .\ 4{,}915 = A_{s\ perlu}\ .\ 240$

$A_{s\ perlu} = 348{,}146\ \text{mm}^2$

$A_{s\ min} = 0{,}0025\ .\ b\ .\ h = 0{,}0025\ .\ 1000\ .\ 120 = 300\ \text{mm}^2$

$A_{s\ perlu} > A_{s\ min}$, maka dipakai $A_{s\ perlu}$

tersedia tulangan P8 $A_{s\ tulangan} = ¼.\pi.p^2 = ¼.\pi.8^2 = 50{,}265\ mm^2$

jarak tulangan perlu, $s_{perlu} = (50{,}265\ .\ 1000)/348{,}146 = 144{,}379$ mm

dipakai **P8 – 140**

Luas tulangan dipakai $A_{s\ pakai} = (50{,}265\ .\ 1000)/140 = 359{,}036\ mm^2$

$A_{s\ pakai} = 359{,}036\ mm^2 > A_{s\ perlu} = 348{,}146\ mm^2$ -aman-

- Penulangan Pelat Kantilever pada Pelat Tribun

Beban pelat tribun

a. Beban mati

- Pelat beton : 0,10 . 24 = 2,400 kN/m^2
- Finishing : 0,02 . 24 = 0,480 kN/m^2

$w_D = 2{,}880\ kN/m^2$

b. Beban hidup

- Beban hidup Gedung Olah Raga : $w_D = 500\ kg/m^2 = 5{,}000\ kN/m^2$

c. Beban rencana pelat lantai (w_u)

$w_u = 1{,}2\ w_D + 1{,}6\ w_L$

$= 1{,}2\ .\ 2.880 + 1{,}6\ .\ 5{,}000 = 11{,}456\ kN/m^2$

$M_u = ½.\ w_u\ .\ L^2 = ½.\ 11{,}456\ .\ 1.075^2 = 6{,}619$ kNm

Digunakan tulangan pokok P8

tinggi manfaat

- lapangan arah-x $d' = 15 + 0{,}5\ .\ 8 = 19$ mm

$d = 100 - 19 = 81$ mm

$M_u = 6{,}619$ kNm

$M_u/_{0,8} = 6,619/_{0,8} = 8,274$ kNm .

$M_u/_{0,8} = C_c \left[d - (a/2)\right] = 0,85 \,.\, f'_c \,.\, b \,.\, a \left[d - (a/2)\right]$

$8,274 \,.\, 10^6 = 0,85 \,.\, 20 \,.\, 1000 \,.\, a \,.\, \left[81 - (a/2)\right]$

$8,274 \,.\, 10^6 = 1377000a - 8500a^2$

dari persamaan di atas didapat $a = 6,250$ mm

$0,85 \,.\, f'_c \,.\, b \,.\, a = A_{s\,perlu} \,.\, f_y$

$0,85 \,.\, 20 \,.\, 1000 \,.\, 6,250 = A_{s\,perlu} \,.\, 240$

$A_{s\,perlu} = 442,708$ mm^2

$A_{s\,min} = 0,0025 \,.\, b \,.\, h = 0,0025 \,.\, 1000 \,.\, 120 = 300$ mm^2

$A_{s\,perlu} > A_{s\,min}$, maka dipakai $A_{s\,perlu}$

tersedia tulangan P8 $A_{tulangan} = \frac{1}{4}.\pi.p^2 = \frac{1}{4}.\pi.8^2 = 50,265$ mm^2

jarak tulangan perlu, $s_{perlu} = (50,265 \,.1000)/\, 442,708 = 113,540$ mm

dipakai **P8 – 110**

Luas tulangan dipakai $A_{s\,pakai} = (50,265 \,.\, 1000)/110 = 456,955$ mm^2

$A_{s\,pakai} = 456,955$ mm^2 > $A_{s\,perlu} = 442,708$ mm^2 -aman-

5.1.6 Perencanaan Tulangan Lisplank

Beban pelat lisplank

a. Beban mati

- Pelat beton : 0,12 . 24 = 2,880 kN/m^2
- Tegel : 0,02 . 24 = 0,480 kN/m^2
- Spesi : 0,04 . 21 = 0,840 kN/m^2

w_D = 4,200 kN/m^2

Beban P = 0,1 . 0,760 .24 = 1,824 kN

b. Beban hidup

- Gedung Olah Raga : w_L = 400 kg/m^2 = 4,000 kN/m^2

c. Beban rencana pelat lantai (w_u)

w_u = 1,2 w_D + 1,6 w_L = 1,2 . 4,200 + 1,6 . 4,000 = 11,400 kN/m^2

P_u = 1,2 . P = 1,2 . 1,824 = 2,189 kN

M_u = ½. w_u . L^2 + P_u . L

= ½. 11,400 . 1,20^2 + 2,189 . 1,3

= 11,054 kNm

Tebal pelat lantai dipakai h = 120 mm.

Digunakan tulangan pokok P10

tinggi manfaat

d' = 15 + 0,5 . 10 = 20 mm

d = 120 – 20 = 100 mm

$M_u/_{0,8} = 11{,}054/_{0,8} = 13{,}818$ kNm

$M_u/_{0,8} = C_c \left[d - (a/2)\right] = 0{,}85 \,.\, f'_c \,..b \,.\, a \left[d - (a/2)\right]$

$13{,}818 \,.\, 10^6 = 0{,}85 \,.\, 20 \,.\, 1000 \,.\, a \,.\, \left[100 - (a/2)\right]$

$13{,}818 \,.\, 10^6 = 1700000a - 8500a^2$

dari persamaan di atas didapat a = 8,488 mm

$0{,}85 \,.\, f'_c \,.\, b \,.\, a = A_{s\,perlu} \,.\, f_y$

$0{,}85 \,.\, 20 \,.\, 1000 \,.\, 8{,}488 = A_{s\,perlu} \,.\, 240$

$A_{s\ perlu}$ = 601,233 mm^2

$A_{s\ min}$ = 0,0025 . b . h = 0,0025 . 1000 . 120 = 300 mm^2

$A_{s\ perlu} > A_{s\ min}$, maka dipakai $A_{s\ perlu}$

tersedia tulangan P10 $A_{s\ tulangan}$ = ¼.π.p^2 = ¼.π.10^2 = 78,540 mm^2

jarak tulangan perlu, s_{perlu} = (78,540 . 1000)/ 601,233 = 130,631 mm

dipakai **P10 – 130**

Luas tulangan dipakai $A_{s\ pakai}$ = (78,540 . 1000)/130 = 604,152 mm^2

$A_{s\ pakai}$ = 604,152 mm^2 > $A_{s\ perlu}$ = 601,233 mm^2 . -aman-

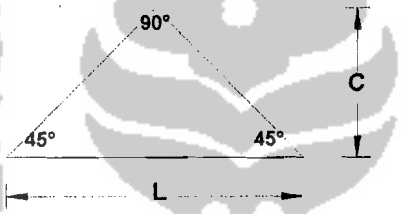
5.2 Perencanaan Balok Anak

Perencanaan balok anak dibagi dalam beberapa tahap, yaitu pembebanan balok anak, analisis struktur balok anak, serta penulangan lentur dan penulangan geser balok anak. Balok anak yang direncanakan disajikan dalam Gambar 5.6 dan Gambar 5.7.

5.2.1 Pembebanan Balok Anak

Pembebanan pada balok anak sesuai dengan ketentuan PPPURDG 1987, sedangkan beban pelat sesuai dengan perhitungan sebelumnya.

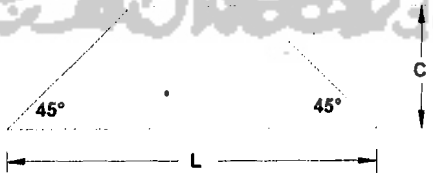
- Untuk beban bentuk pendek:



Gambar 5.4 Distribusi beban merata pada bentang pendek

Beban merata = beban per m^2 . 2/3 .C

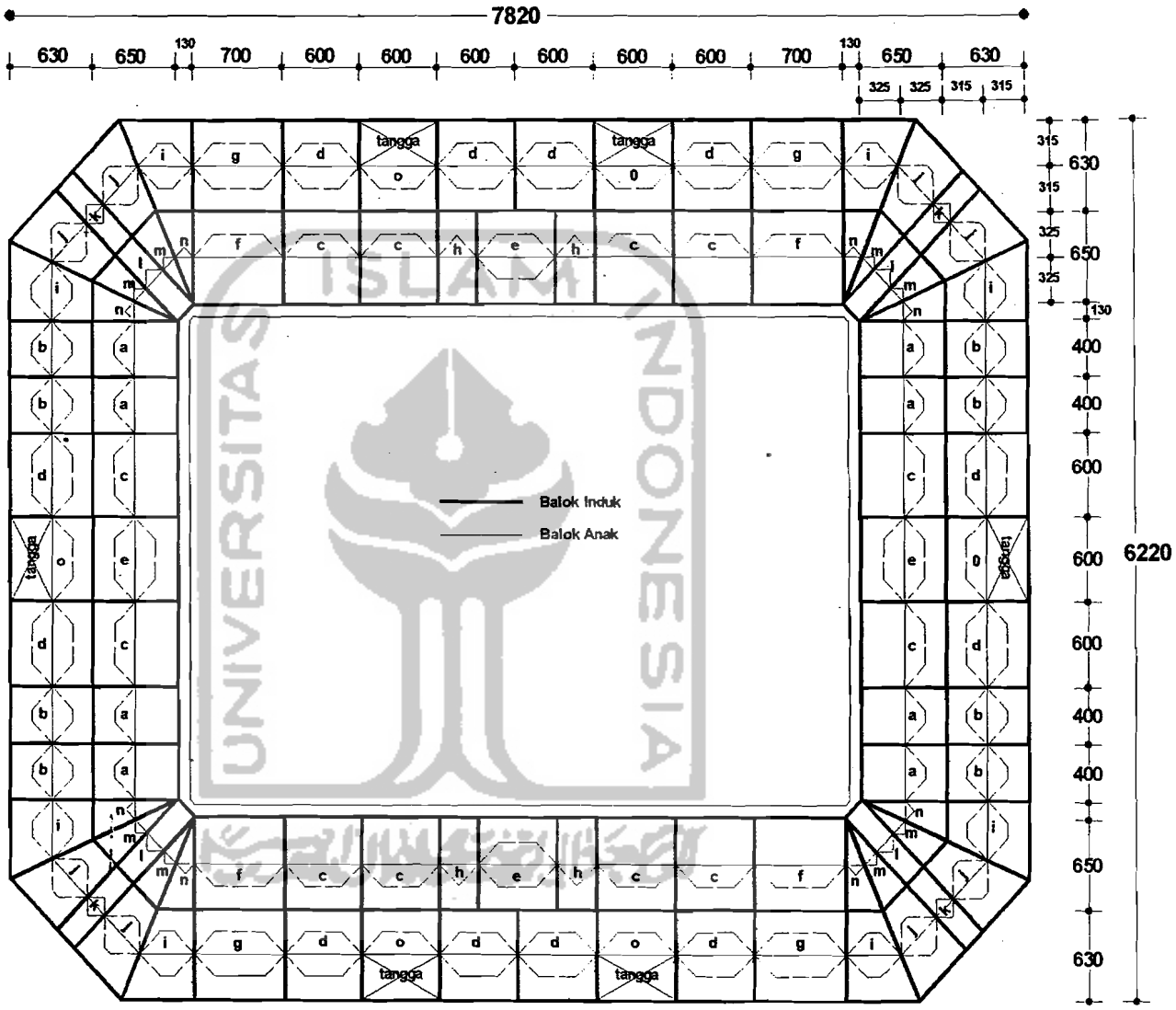
- Untuk beban bentang panjang



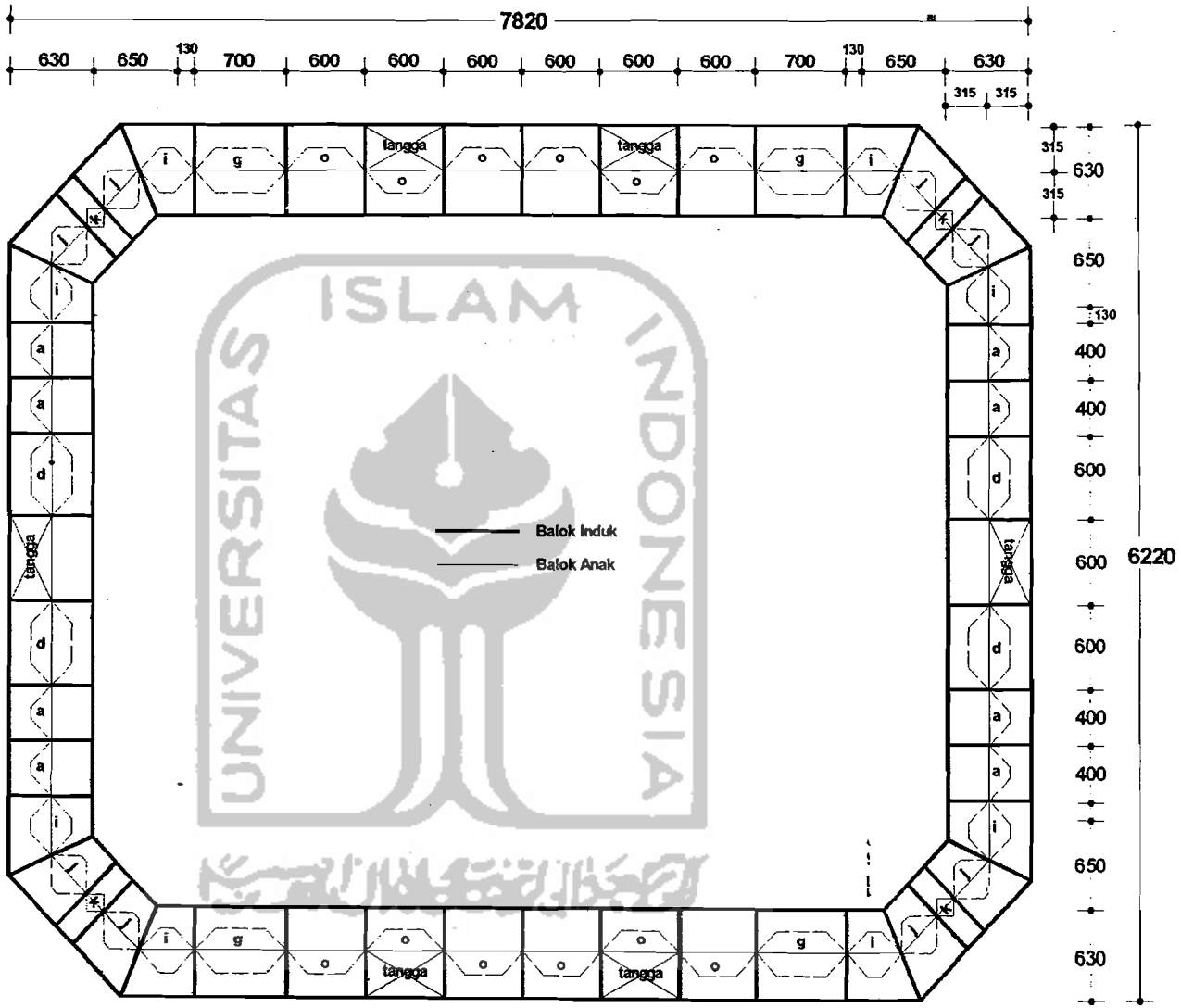
Gambar 5.5 Distribusi beban merata pada bentang panjang

Beban merata = beban per m^2 . $(1 - (4/3 \, . \, C^2/L^2))$. C

Distribusi beban pelat pada balok anak disajikan pada Gambar 5.6 dan Gambar 5.7.



Gambar 5.6 Denah Tipe Balok Anak dan Distribusi Beban Balok Anak Lantai 1



Gambar 5.7 Denah Tipe Balok Anak dan Distribusi Beban Balok Anak Lantai 2

5.2.2 Distribusi Pembebanan Merata Balok Anak

5.2.2.1 Balok Anak Lantai

1. Balok anak lantai type a

a. Beban mati

- Pelat : $(1 - (4/3 \,.\, 1{,}625^2/4^2)) \,.\, 1{,}625 \,.\, 4{,}200 = 5{,}323$ kN/m

- Balok anak : 0,3 . 0,4

$q_D = 5{,}323$ kN/m

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : $q_L = (1-(4/3 \,.1{,}625^2/4^2))1{,}625.4{,}000 = 5{,}070$ kN/m

2. Balok anak lantai type b

a. Beban mati

- Pelat : $2\,(1 - (4/3 \,.\, 1{,}575^2/4^2)) \,.\, 1{,}575 \,.\, 4{,}200 = 10{,}495$ kN/m

- Balok anak : 0,3 . 0,4

$q_D = 10{,}495$ kN/m

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : $q_L - 2(1-(4/3.1{,}575^2/4^2))1{,}575.4{,}00 = 9{,}995$ kN/m

3. Balok anak lantai type c

a. Beban mati

- Pelat : $(1 - (4/3 \,.\, 1{,}625^2/6^2)) \,.\, 1{,}625 \,.\, 4{,}200 = 6{,}158$ kN/m

- Balok anak : 0,3 . 0,4

$q_D = 6{,}158$ kN/m

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : $q_L = (1-(4/3.1{,}625^2/6^2))\ 1{,}625.4{,}000 = 5{,}864$ kN/m

4. Balok anak lantai type d

a. Beban mati

- Pelat : 2 (1 – (4/3 . $1{,}575^2/6^2$)) . 1,575 . 4,200 = 12,014 kN/m

- Balok anak : 0,3 . 0,4

q_D = 12,014 kN/m

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : q_L =2(1–(4/3.$1{,}575^2/6^2$))1,575.4,00 = 11,442 kN/m

5. Balok anak lantai type e

a. Beban mati

- Pelat : 2 (1 – (4/3 . $1{,}625^2/6^2$)) . 1,625 . 4,200 = 12,315 kN/m

- Balok anak : 0,3 . 0,4

q_D = 12.315 kN/m

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : q_L=2(1–(4/3.$1{,}625^2/6^2$))1,625.4,00= 11,729 kN/m

6. Balok anak lantai type f

a. Beban mati

- Pelat : (1 – (4/3 . $1{,}625^2/7^2$)) . 1,625 . 4,200 = 6,335 kN/m

- Balok anak : 0,30 . 0,40

q_D = 6,335 kN/m

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : q_L= (1–(4/3.$1{,}625^2/7^2$))1,625.4,000 = 6,033 kN/m

7. Balok anak lantai type g

a. Beban mati

- Pelat : 2 (1 – (4/3 . $1{,}575^2/7^2$)) . 1,575 . 4,200 = 12,337 kN/m

- Balok anak : 0,3 . 0,4

q_D = 12,337 kN/m

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : $q_L = 2(1-(4/3.1{,}575^2/7^2))1{,}575.4{,}00 = 11{,}749$ kN/m

8. Balok anak lantai type h

a. Beban mati

- Pelat : (1 – (4/3 . $1{,}625^2/.3^2$)) . 1,625 . 4,200 = 4,155 kN/m

- Balok anak : 0,3 . 0,4

q_D = 4,155 kN/m

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : $q_L = (1-(4/3.1{,}625^2/3^2))1{,}625.4{,}00 = 3{,}957$ kN/m

9. Balok anak lantai type i

a. Beban mati

- Pelat : 2 (1 – (4/3 . $1{,}575^2/4{,}55^2$)) . 1,575 . 4,200 = 11,116 kN/m

- Balok anak : 0,3 . 0,4

q_D = 11,116 kN/m

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga: $q_L = 2(1-(4/3.1{,}575^2/4{,}55^2))1{,}575.4{,}00 = 10{,}587$ kN/m

10. Balok anak lantai type j

a. Beban mati

- Pelat : 2 (1 – (4/3 . $1{,}575^2/5{,}75^2$)) . 1,575 . 4,200 = 11,906 kN/m

- Balok anak : 0,3 . 0,4

q_D = 11,906 kN/m

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga:q_L=2(1–(4/3.1,575^2/5,75^2))1,575.4,00=11,339 kN/m

11. Balok anak lantai type k

a. Beban mati

- Pelat : 2 (1,075 . 1,575) . 4,200 = 14,222 kN/m

- Balok anak : 0,3 . 0,4

q_D = 14,222 kN/m

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : q_L = 2(1,075 . 1,575) .4,00 = 13,545 kN/m

12. Balok anak lantai type l

a. Beban mati

- Pelat : 2 (1,075 . 1,625) . 4,200 = 14,674 kN/m

- Balok anak : 0,3 . 0,4

q_D = 14,674 kN/m

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : q_L = 2(1,075 . 1,625) .4,00 = 13,975 kN/m

5.2.2.2 Balok Anak Tribun

1. Balok anak tribun type a

a. Beban mati

- Pelat : 2 (1 – (4/3 . 1,5^2/6,50^2)) . 1,50 . 2,880 = 8,027 kN/m

- Balok tribun (P): 0,2 . 0,5 . 3,00 . 24 = 7.200 kN

- Balok anak : 0,3 . 0,4

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : $q_L = 2(1-(4/3.1,5^2/6,5^2))1,50.5,00 = 13,935$ kN/m

2. Balok anak tribun type b

a. Beban mati

- Pelat : $2\ (1 - (4/3\ .\ 1,50^2/6,30^2))\ .\ 1,50\ .\ 2,880 = 7,987$ kN

- Balok tribun (P): 0,2 . 0,5 . 3,00 . 24 = 7.200 kN/m

- Balok anak : 0,3 . 0,4

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : $q_L = 2(1-(4/3.1,5^2/6,3^2))1,50.5,00 = 13,866$ kN/m

3. Balok anak tribun type c

a. Beban mati

- Pelat : $2\ (1 - (4/3\ .\ 1,75^2/6,50^2))\ .\ 1,75\ .\ 2,880 = 9,106$ kN/m

- Balok tribun (P): 0,2 . 0,5 . 3,500 . 24 = 8,400 kN

- Balok anak : 0,3 . 0,4

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : $q_L = 2(1-(4/3.1,75^2/6,5^2))1,75.5,0 = 15,809$ kN/m

4. Balok anak tribun type d

a. Beban mati

- Pelat : $(1 - (4/3\ .\ 1,93^2/6,30^2))\ .\ 1,93\ .\ 2,880 = 4,863$ kN/m

- Balok tribun (P): 0,2 . 0,5 . 1,925 . 24 = 4.620 kN

- Balok anak : 0,3 . 0,4

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : q_L =(1–(4/3.1,93^2/6,3^2))1,93.5,00 = 8,442 kN/m

5. Balok anak tribun type e

a. Beban mati

- Pelat : (1 – (4/3 . 1,21^2/6,30^2)) . 1,21 . 2,880 = 3,313 kN/m

- Balok tribun (*P*): 0,2 . 0,5 . 1,213 . 24 = 2,911 kN

- Balok anak : 0,3 . 0,4

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : q_L =(1– (4/3.1,21^2/6,3^2))1,21.5,00 = 5,752 kN/m

6. Balok anak tribun type f

a. Beban mati

- Pelat : (1 – (4/3 . 0,96^2/6,30^2)) . 0,96 . 2,880 = 2,679 kN/m

- Balok tribun (*P*): 0,2 . 0,5 . 0,963 . 24 = 2,311 kN

- Balok anak : 0,3 . 0,4

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : q_L = (1–(4/3.0,96^2/6,3^2)) 0,96.5,00 = 4,651 kN/m

7. Balok anak tribun type g

a. Beban mati

- Pelat : (1 – (4/3 . 0,96^2/6,50^2)) ..0,96 . 2,880 = 2,684 kN/m

- Balok tribun (*P*): 0,2 . 0,5 . 0,963 . 24 = 2,311 kN

- Balok anak : 0,3 . 0,4

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : q_L = (1–(4/3.0,96^2/6,5^2)) 0,96.5,00 = 4,660 kN/m

8. Balok anak tribun type h

a. Beban mati

- Pelat : $(1 - (4/3 \,.\, 1{,}50^2/6{,}50^2)) \,.\, 1{,}50 \,.\, 2{,}880 = 4{,}013$ kN/m

- Balok tribun (P): $0{,}2 \,.\, 0{,}5 \,.\, 24 = 2{,}400$ kN/m

- Balok anak : 0,3 . 0,4

b. Beban hidup

- Lantai Gedung Olah Raga : $q_L = (1-(4/3.1{,}50^2/6{,}5^2))1{,}50.5{,}00 = 6{,}967$ kN/m

5.2.3 Analisis Struktur

Analisis struktur balok anak dihitung menggunakan program aplikasi komputer SAP 2000, dengan pemasukan data-data sebagai berikut:

1. Nomor joint dan frame,
2. Dukungan balok dianggap sendi.
3. Ukuran penampang balok anak.
4. Modulus elastisitas beton $E = 4700\sqrt{f'_c}$ dengan $f'_c = 20$ MPa.

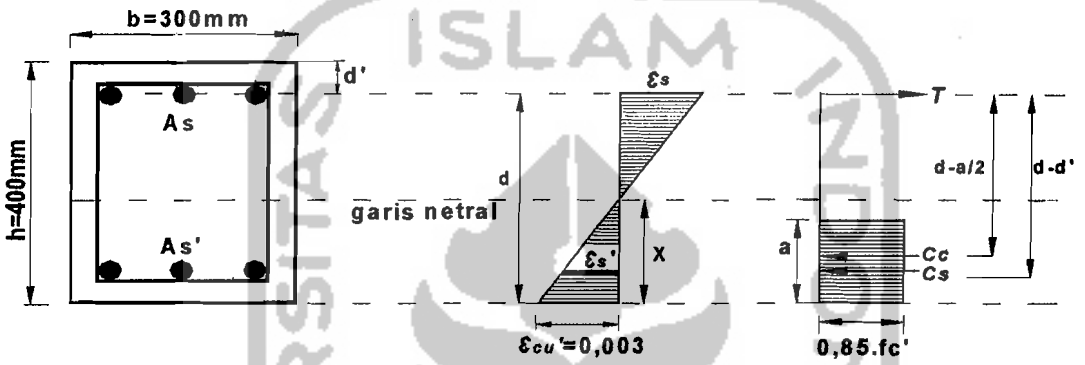
   Jadi $E = 4700\sqrt{20} = 21019{,}03899$ MPa
5. Pembebanan balok anak meliputi beban mati dan beban hidup.
6. Jenis pembebanan, beban merata.

Data-data input program komputer dan hasil output program disajikan dalam lampiran-lampiran. Dalam hal ini gaya-gaya dalam untuk kepentingan perencanaan disajikan dalam Tabel 5.2 Momen Rencana Balok Anak, Tabel 5.3 Gaya Geser Rencana dan Reaksi Dukungan Balok Anak.

5.2.4 Penulangan Lentur Balok Anak

Sebagai contoh perhitungan lentur balok anak dan perhitungan momen nominal aktual balok ditinjau pada balok anak type g adalah sebagai berikut (Cara perhitungan menurut: Dipohusodo,1996):

- Untuk momen negatif/ tumpuan ($M_{u\ tump}$ = 150.666 kNm)



Gambar 5.8 Analisis balok bertulangan rangkap tumpuan untuk momen negatif

$$\rho_b - \frac{0{,}85.f'_c}{f_y}\beta_1\left(\frac{600}{600+f_y}\right)$$

$$= \frac{0{,}85.20}{400}0{,}85\left(\frac{600}{600+400}\right) = 0{,}0217$$

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

$\rho_{maks} = 0{,}75\ .\ \rho_b = 0{,}75\ .\ 0\ 0217 = 0{,}0163$

$\rho_{min} < \rho \leq \rho_{maks}$ diambil $\rho = (0{,}0035 + 0{,}0217)/4 = 0{,}0063$

d' = P(selimut beton) + Ø tul. Sengkang + ½.Ø tul.lentur

= 40 + 10 + ½.25 = 62,50 mm

$d = h - d' = 400 - 62{,}5 = 337{,}5$ mm

$$x = \frac{600}{(600 + f_y)} \times d = \frac{600}{(600 + 400)} \times 337{,}50 = 202{,}5 \text{ mm}$$

$a = \beta_1 . x = 0{,}85 . 202{,}500 = 172{,}125$ mm

Luas tulangan tarik

$A_{s1} = \rho . b . d = 0{,}0063 . 300 . 337{,}5 = 637{,}875$ mm^2

$T_1 = A_{s1} . f_y = 637.875 . 400 = 255150$ kN

$M_{n1} = T_1 . (d - a/2) = 255150 . (337{,}5 - 172{,}125/2)$

$= 64{,}154$ kNm $< (M_u/0{,}8 = 80{,}193$ kNm)

$M_n = M_u/0{,}8 = 150.666 /0{,}8 = 188{,}332$ kNm

$M_{n2} = M_n - M_{n1} = 188{,}332 - 80{,}193 = 108{,}194$ kNm

$M_{n2} = C_s . (d - d')$ atau $M_{n2} = T_2 . (d - d')$

$T_2 = C_s = M_{n2}/(d - d') = 108{,}194 . 10^6/(337.5 - 62{,}50) = 393430{,}909$ kN

Periksa regangan tulangan tekan:

$\varepsilon_s = [(x - d')/x]\ \varepsilon_{cu} = [(202.5 - 62{,}50)/202{,}50]0{,}003 = 0{,}0021$

$\varepsilon_y = fy/Es = 400/ 200000 = 0{,}002$

$\varepsilon_s > \varepsilon_y$

Dianggap baja tekan telah leleh saat beton tekan mencapai regangan hancur 0,003

dan $f's = f_y = 400$ MPa

Luas tulangan tekan:

$A_s' = C_s/f_s = 393430{,}909/400 = 983{,}577$ mm^2

Tambahan luas tulangan tarik:

$A_{s2} = T_2/f_y = 393430{,}909/400 = 983{,}577$ mm^2

Luas tulangan tarik:

$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 637{,}875 + 983{,}577 = 1621{,}452\ \text{mm}^2$

Dipakai tulangan:

- Tulangan tarik/atas : **4D25** = 1963,495 $\text{mm}^2 > A_s = 1621{,}452\ \text{mm}^2$

- Tulangan tekan/bawah : **3D25** = 1472,622 $\text{mm}^2 > A_s' = 983{,}577\ \text{mm}^2$

Periksa kapasitas penampang:

$A_s = 1963{,}495\ \text{mm}^2$, $A_s' = 1472{,}622\ \text{mm}^2$

$d' = 62{,}50$ mm , $d = 337{,}5$ mm

Anggap tulangan tarik dan tulangan tekan telah leleh:

$C_c = 0{,}85 \,.\, f'_c \,.\, b \,.\, a = 0{,}85 \,.20\,.\, 300\,.\, a = 5100a$

$C_s = A_s' \,.\, (f_y - 0{,}85 \,.\, f'_c) = 1472{,}622\,.\,(400 - 0{,}85\,.\,20) = 752018{,}741$ N

$T = A_s \,.\, f_y = 1963{,}495\,.\,400 = 785398$ N

Keseimbangan gaya-gaya dalam:

$T = C_c + C_s$

$785398 = 5100a + 752018{,}741$

$a = 6{,}545$ mm

$x = a/\beta_1 - 6{,}545/0{,}85 = 7{,}700$ mm

$\varepsilon_s' = [(x - d')/x]\ \varepsilon_{cu} = [(7{,}700 - 62{,}50)/7{,}700]0{,}003 = -0{,}0213 < (\varepsilon_y = 0{,}002)$

$\varepsilon_s = [(d - x)/x]\ \varepsilon_{cu} = [(337{,}5 - 7{,}700)/7{,}700]0{,}003 = 0{,}128 > (\varepsilon_y = 0{,}002)$

Anggapan tidak benar, tulangan tekan belum leleh diperlukan mencari garis netral terlebih dahulu:

Untuk mendapat nilai x digunakan persamaan sebagai berikut:

$(0{,}85 \,.\, f'_c \,.\, b \,.\, \beta_1).\, x^2 + (600 \,.\, A_s' - A_s \,.\, f_y) \,.\, x \quad 600 \,.\, d' \,.\, A_s' = 0$

$(0{,}85.20\,.300\,.0{,}85)x^2 + (600.1472{,}622 - 1963{,}495\,.400)x - 600\,.62{,}5.1472{,}622 = 0$

$4335\,x^2 + 392699\,x - 73631062{,}50 = 0$

dari persamaan di atas didapat $x = 92{,}664$ mm

$f_s' = [(x - d')/x]600 = [(92{,}664 - 62{,}50)/92{,}664]600 = 195{,}312\text{MPa} < (f_y = 400\text{MPa})$

Periksa rasio tulangan

$\rho = A_{sl}/(b \,.\, d)$

$= A_s - [(A_s'.f_s')/f_y]/(b.d)$

$= 1963{,}495 - [(1472{,}622.195{,}312)/400]/(300.337{,}5)$

$= 0{,}0123$

$(\rho_{min}\, 0{,}0035) < \rho = 0{,}0123 \leq (\rho_{maks} = 0{,}0163)$, memenuhi syarat

$a = 0{,}85 \,.\, x = 0{,}85 \,.\, 92{,}664 = 78{,}764$ mm

Hitung momen nominal aktual negatif tumpuan:

$C_c = 0{,}85 \,.\, f'_c \,.\, b \,.\, a = 0{,}85 \,.\, 20 \,.\, 300 \,.\, 78{,}764 \,.\, 10^{-3} = 401{,}696$ kN

$C_s = A_s' \,.\, f_s' = 1472{,}622 \,.\, 195{,}312 \,.\, 10^{-3} = 383{,}494$ kN

$M_{nak} = C_c\,[d - (a/2')] + C_s.(d - d')$

$= 401{,}696\,[337{,}5 - (78{,}764/2)] + 383{,}494.(337{,}5 - 62{,}5)\,10^{-3} = 225{,}214$ kNm

$(\Phi\, M_{nak\ tump} = 0{,}8 \,.\, 225{,}214 = 180{,}171\text{ kNm}) > (M_{u\ tump} = 150{,}666\text{ kNm})$ – aman-

- Untuk momen positif/ lapangan ($M_{u\ lap} = 94{,}953$ kNm)

$$\rho_b = \frac{0{,}85.f'_c}{f_y}\beta_1\left(\frac{600}{600 + f_y}\right)$$

$$= \frac{0{,}85.20}{400}0{,}85\left(\frac{600}{600 + 400}\right) = 0{,}0217$$

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

$\rho_{maks} = 0{,}75 \,.\, \rho_b = 0{,}75 \,.\, 0\ 0217 = 0{,}0163$

$\rho_{min} < \rho \leq \rho_{maks}$ diambil $\rho = (0{,}0035 + 0{,}0217)/4 = 0{,}0063$

$d' = P$(selimut beton) + Ø tul. Sengkang + ½.Ø tul.lentur

$= 40 + 10 + ½.25 = 62{,}50$ mm

$d = h - d' = 400 - 62{,}5 = 337{,}50$ mm

$$x = \frac{600}{(600 + fy)} \times d = \frac{600}{(600 + 400)} \times 337{,}50 = 202{,}500 \text{ mm}$$

$a = \beta_1 . x = 0{,}85 . 202{,}50 = 172{,}125$ mm

Luas tulangan tarik

$A_{s1} = \rho . b . d = 0{,}0063 . 300 . 337{,}50 = 637{,}875$ mm^2

$T_1 = A_{s1} . f_y = 637{,}875 . 400 = 255150$ kN

$M_{n1} = T_1 . (d - a/2) = 255150 . (337{,}50 - 172{,}125/2)$

$= 64{,}154$ kNm < ($M_u/0{,}8 = 80{,}193$ kNm)

$M_n = M_u/0{,}8 = 94{,}953 /0{,}8 = 118{,}691$ kNm

$M_{n2} = M_n - M_{n1} = 118{,}691 - 80{,}193 = 38{,}498$ kNm

$M_{n2} = C_s . (d - d')$ atau $M_{n2} = T_2 . (d - d')$

$T_2 = C_s = M_{n2}/(d - d') = 38{,}498 . 10^6/(337{,}50 - 62{,}50) = 139993{,}636$ kN

Periksa regangan tulangan tekan:

$\varepsilon_s = [(x - d')/x]\ \varepsilon_{cu} = [(202{,}50 - 62{,}50)/202{,}50]0{,}003 = 0{,}0021$

$\varepsilon_y = f_y/E_s = 400/ 200000 = 0{,}002$

$\varepsilon_s > \varepsilon_y$

Dianggap baja tekan telah leleh saat beton tekan mencapai regangan hancur 0,003

dan $f'_s = f_y = 400$ MPa

Luas tulangan tekan:

$A_s' = C_s/f_s = 139993{,}636/400 = 349{,}984$ mm^2

Tambahan luas tulangan tarik:

$A_{s2} = T_2/f_y = 139993{,}636/400 = 349{,}984 \text{ mm}^2$

Luas tulangan tarik:

$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 637{,}875 + 349{,}984 = 987{,}859 \text{ mm}^2$

Dipakai tulangan:

- Tulangan tarik/atas : **3D25** = 1472,621 $\text{mm}^2 > A_s = 987{,}859 \text{ mm}^2$

- Tulangan tekan/bawah : **2D25** = 981,748 $\text{mm}^2 > A_s' = 349{,}984 \text{ mm}^2$

Periksa kapasitas penampang:

$A_s = 1472{,}621 \text{ mm}^2$, $A_s' = 981{,}748 \text{ mm}^2$

$d' = 62{,}50$ mm , $d = 337{,}50$ mm

Anggap tulangan tarik dan tulangan tekan telah leleh:

$C_c = 0{,}85 \, . \, f'_c \, . \, b \, . \, a = 0{,}85 \, .20 \, . \, 300 \, . \, a = 5100a$

$C_s = A_s' \, . \, (f_y - 0{,}85 \, . \, f'_c) = 981{,}748 \, . \, (400 - 0{,}85 \, . \, 20) = 564014{,}056$ N

$T = A_s \, . \, f_y = 1472{,}621 \, . \, 400 = 589048{,}622$ N

Keseimbangan gaya-gaya dalam:

$T = C_c + C_s$

$589048{,}622 = 5100a + 564014{,}056$

$a = 4{,}909$ mm

$x = a/\beta_1 = 4{,}909/0{,}85 = 5{,}775$ mm

$\varepsilon_s' = [(x - d')/x] \, \varepsilon_{cu} = [(5{,}775 - 62{,}50)/5{,}775] 0{,}003 = -0{,}0295 < (\varepsilon_y = 0{,}002)$

$\varepsilon_s = [(d - x)/x] \, \varepsilon_{cu} = [(337{,}50 - 5{,}775)/5{,}775] 0{,}003 = 0{,}172 > (\varepsilon_y = 0{,}002)$

Anggapan tidak benar, tulangan tekan belum leleh diperlukan mencari garis netral terlebih dahulu:

Untuk mendapat nilai x digunakan persamaan sebagai berikut:

$(0{,}85 . f'c . b . \beta_1) . x^2 + (600 . A_s' - A_s . f_y) . x - 600 . d' . A_s' = 0$

$(0{,}85.20.300.0{,}85)\, x^2 + (600.981{,}748 - 1472{,}621.400)x - 600.62{,}5 .981{,}748 = 0$

$4335\, x^2 + 294524{,}20\, x - 55223287{,}50 = 0$

dari persamaan di atas didapat $x = 83{,}883$ mm

$f_s' = [(x - d')/x]600 = [(83{,}883 - 62{,}50)/83{,}883].600 = 152{,}949 < (f_y = 400\text{MPa})$

Periksa rasio tulangan

$\rho = A_{s1}/(b . d)$

$= A_s - [(A_s' . f_s')/f_y]/(b.d)$

$= 1472{,}621 - [(981{,}748.152{,}949)/400]/(300.337{,}50)$

$= 0{,}0108$

$(\rho_{min}\, 0{,}0035) < \rho = 0{,}0108 \leq (\rho_{maks} = 0{,}0163)$, memenuhi syarat

$a = 0{,}85 . x = 0{,}85 . 83{,}883 = 71{,}301$ mm

Hitung momen nominal aktual negatif tumpuan:

$C_c = 0{,}85 . f'_c . b . a = 0{,}85 . 20 . 300 . 71{,}301 . 10^{-3} = 363{,}633$ kN

$C_s = A_s' . f_s' = 981{,}748 . 152{,}949 . 10^{-3} = 225{,}236$ kN

$M_{mak} = C_c\, [d - (a/2')] + C_s . (d - d')$

$= 363{,}633\, [337{,}5 - (71{,}301/2)] + 225{,}236.(337{,}5 - 62{,}5) . 10^{-3}$

$= 171{,}702$ kNm

$(\Phi\, M_{mak\ lap} = 0{,}8 . 171{,}702 = 137{,}362\ \text{kNm}) > (M_{u\ lap} = 94{,}953\ \text{kNm})$ -- aman-

Dengan cara yang sama didapat penulangan lentur untuk semua balok anak, disajikan dalam Tabel 5.4.

5.2.5 Penulangan Geser Balok Anak

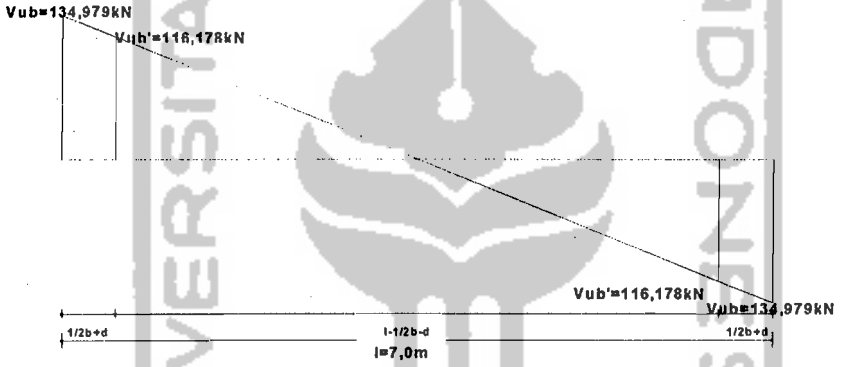
Sebagai contoh perhitungan penulangan geser balok anak ditinjau pada balok anak type g adalah sebagai berikut ini (Dipohusodo, 1996)

$V_{u,b}$ = 134,979 kN

$V_{u,b}' = \left|(2.V_{u,b}).(l - 1/2.b - d)/l\right| - V_{u,b}$ (lihat Gambar 5.9)

$= \left[(2.134,979).(7 - 1/2.0,30 - 0,3375)/7\right] - 134,979$

= 116,178 kN



Gambar 5.9 Distribusi gaya geser balok anak type g

$V_c = 1/6.\sqrt{f'c}\,.\,b\,.\,d$

$= 1/6.\sqrt{20}\,.350\,.\,337,50\,.\,10^{-3} = 75,467$ kN

$V_s = V_{u,b}'/0,6 - V_c$

$= 116,178/0,6 - 75,467 = 118,164$ kN

$S = A_v\,.\,f_y\,.\,d/V_s$

Dipakai sengkang P10, mutu baja f_y = 240 MPa

$A_v = 1/4.\pi.d^2 = 1/4.3,14.10^2 = 78,54$ mm^2

$S = (78,54\,.\,240.337,50)/\,118,164\,.\,10^3 = 53,838$ mm

$S_{maks} = d/2 = 337,5/2 = 168,750$ mm

Dipakai sengkang **P10 – 50**

Kontrol kuat geser:

$V_{u,b}' \leq 0{,}6 \,.\, (V_c + V_s)$

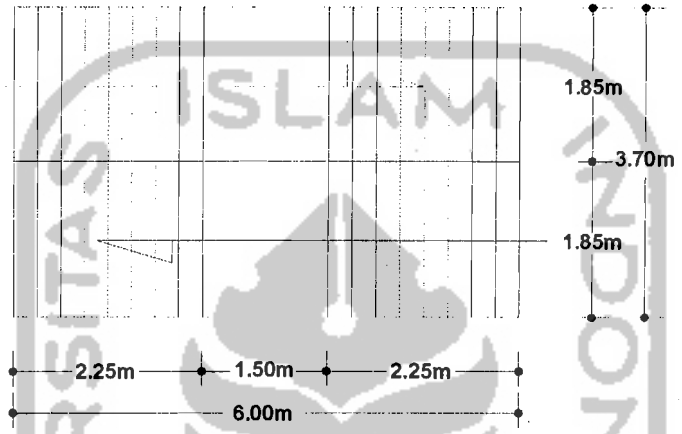
$116{,}178 \leq 0{,}6 \,.\, (75{,}467 + (78{,}54 \,.\, 240 \,.\, 337{,}50)/50 \,.10^3)$

$116{,}178 \leq 121{,}621$ kN - aman-

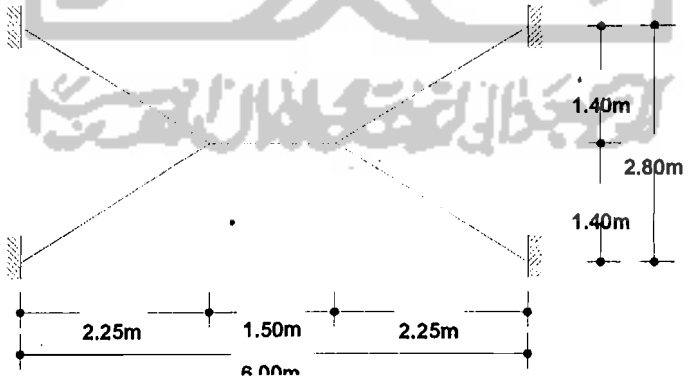
Dengan cara yang sama didapat penulangan geser untuk semua balok anak, disajikan dalam Tabel 5.5

5.3 Perencanaan Tangga

Perencanaan tangga meliputi perencanaan optrede dan antrede, pembebanan tangga dan bordes, penulangan pelat tangga dan bordes, penulangan balok bordes. Perencanaan tangga disajikan pada Gambar 5.10 dan Gambar 5.11.



Gambar 5.10 Tangga tampak atas



Gambar 5.11 Tangga tampak samping

5.3.1 Perencanaan Optrede dan Antrede

Langkah-langkah perencanaan optrede dan antrede adalah sebagai berikut ini:

$tg\ \alpha^{\circ} = O/A = 1{,}4/2{,}25 = 0{,}622$

$\alpha^{\circ} = 31{,}891^{\circ}$

$O = A \,.\, 0{,}622$

$2 \,.\, O + A = 65$

$2 \,.\, 0{,}622 \,.\, A + A = 65$

dari persamaan di atas didapat $A = 28{,}966$ cm, diambil $A = 29$ cm

$O = 29 \,.\, 0{,}622 = 18{,}038$ cm, diambil $O = 18$ cm

Jumlah Optrede = 140/18 = 7,778 = 8 buah

Jumlah Antrede = 8 – 1 = 7 buah

Tinggi injakan, $O = 140/8 = 17{,}50$ cm

Lebar injakan, $A = 225/7 = 32{,}143$ cm

Tebal pelat tangga

$h_t = 140$ mm

$h_b = (h_t/cos\ \alpha) + \frac{1}{2}.O$

$= (140/cos\ 31{,}891^{\circ}) + \frac{1}{2}.\ 175 - 252$ mm

5.3.2 Pembebanan Tangga dan Bordes

Pembebanan tangga dan bordes menurut PPPURDG 1987.

a. Beban mati (per 1 m):

- Berat tangga : ½. 0,175. 1 . 24 = 2,10 kN/m (tidak termasuk pelat)
- Tegel : 0,02 . 1 . 24 = 0,480 kN/m
- Spesi : 0,04 . 1 . 21 = 0,840 kN/m
- Sandaran : 0,08 . 1 . 24 = 1,920 kN/m

w_D = 5,340 kN/m

b. Beban hidup (per 1 m)

- Tangga: w_L = 3 kN/m

5.3.3 Analisis Struktur Tangga dan Bordes

Analisis struktur tangga dihitung menggunakan program aplikasi komputer SAP 2000, dengan pemasukan data-data sebagai berikut:

1. Nomor joint dan elemen sesuai dengan Gambar 5.11
2. Dukungan pada no joint dianggap jepit.
3. Beban tangga dan bordes terdiri dari beban mati dan beban hidup.
4. Ukuran penampang pelat tangga dan bordes: b = 1000 mm, h = 140 mm.
5. Modulus elastisitas beton $E = 4700\sqrt{f'_c}$ dengan f'_c = 20 MPa.

   Jadi $E = 4700\sqrt{20}$ = 21019,03899 MPa

   Data input program dan hasil hitungan disajikan dalam lampiran-lampiran.

5.3.4 Penulangan Pelat Tangga dan Bordes

Penulangan pelat tangga dan bordes, dipilih pelat tangga yang memiliki momen yang terbesar untuk mewakili tulangan atas dan bawah, sebagai berikut:

M_D = 28,317 kN/m

M_L = 9,834 kN/m

M_u = 1,2 . M_D + 1,6 M_L

= 1,2 . 28,317 + 1,6 . 9,834 = 49,714 kN/m

Digunakan tulangan pokok P12

h = 140 mm

d' = 15 + ½.12 = 21 mm

d h d' = 140 – 21 = 119 mm

M_u = 49,714 kN/m

$M_u/0{,}8 = 49{,}714/0{,}8 = 62{,}143$ kNm

$M_u/0{,}8 = C_c \left[d - (a/2)\right] = 0{,}85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a \left[d - (a/2)\right]$

$62{,}143 \cdot 10^6 = 0{,}85 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot a \cdot \left[119 - (a/2)\right]$

$62{,}143 \cdot 10^6 = 2023000a - 8500a^2$

dari persamaan di atas didapat a = 36,235 mm

$0{,}85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a = A_{s\,perlu} \cdot f_y$

$0{,}85 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot 36{,}235 = A_{s\,perlu} \cdot 240$

$A_{s\,perlu}$ = 2566,646 mm^2

$A_{s\,min}$ = 0,0025 . b . h = 0,0025 . 1000 . 140 = 350 mm^2

$A_{s\,perlu} > A_{s\,min}$, maka dipakai $A_{s\,perlu}$

tersedia tulangan P12 $A_{s\ tulangan} = ¼.\pi.p^2 = ¼.\pi.12^2 = 113{,}097\ mm^2$

jarak tulangan perlu, $s_{perlu} = (113{,}097\ .\ 1000)/\ 2566{,}646 = 44{,}064\ mm$

dipakai **P12 – 40**

Luas tulangan dipakai $A_{s\ pakai} = (113{,}097\ .\ 1000)/40 = 2827{,}425\ mm^2$

$A_{s\ pakai} = 2827{,}425\ mm^2 > A_{s\ perlu} = 2566{,}646\ mm^2$ -aman-

- Penulangan bagi/susut

$A_{s\ perlu} = 0{,}0018\ .\ 1000\ .\ 140 = 252\ mm^2$

tersedia tulangan P8, $A_{s\ tulangan} = ¼.\pi.p^2 = ¼.\pi.8^2 = 50{,}265\ mm^2$

jarak tulangan perlu, $s_{perlu} = (50{,}265\ .\ 1000)/\ 252 = 199{,}464\ mm^2$

dipakai tulangan bagi **P8 – 150**

Luas tulangan dipakai $A_{s\ pakai} = (50{,}265\ .\ 1000)/150 = 335{,}100\ mm^2$

$A_{s\ pakai} = 335{,}100\ mm^2 > A_{s\ perlu} = 252\ mm^2$ -aman-