

## BAB IV

### DESAIN BALOK BETON BERTULANG MUTU TINGGI

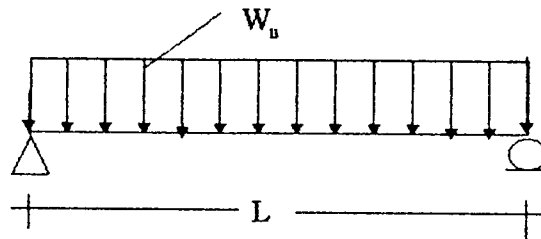
Dalam tugas akhir ini, tinjauan perencanaan dilakukan terhadap beban mati dan beban hidup yang bekerja pada balok dengan mutu beton dan baja tulangan telah diketahui. Selanjutnya proses perhitungan desain balok beton bertulang terhadap kuat lentur dan geser ini, dibagi dalam beberapa langkah/tahap.

#### 4.1 Data dan Asumsi Desain

Perencanaan balok beton bertulang ini mengacu pada peraturan-peraturan yang berlaku. Pembebanan didasarkan pada Peraturan Pembebanan Indonesia ( PPI ) 1983 dan perhitungan pendesainan balok mengacu pada standar SNI T-15-1991-03 dan *ACI Building Code*, serta peraturan-peraturan lain yang relevan.

Untuk mengetahui keefektifan beton mutu tinggi terhadap kenaikan mutu baja, dimensi penampang dan pengaruhnya pada panjang bentang, balok tersebut direncanakan dengan ketentuan sebagai berikut ( Gambar 4.1 ).

1. Mutu Beton  $f_c' = 40 \text{ MPa}$ ,  $60 \text{ MPa}$ , dan  $80 \text{ MPa}$ .
2. Mutu baja tulangan  $f_y = 300 \text{ MPa}$ ,  $350 \text{ MPa}$ , dan  $400 \text{ MPa}$ .
3. Lebar balok (  $b$  ) =  $400 \text{ mm}$ ,  $450 \text{ mm}$ , dan  $500 \text{ mm}$ .
4. Panjang bentang  $L = 9 \text{ m}$ ,  $12 \text{ m}$ , dan  $15 \text{ m}$ .



Gambar 4.1 Balok sederhana

Untuk menghitung pembebanan yang terjadi pada balok, maka balok diasumsikan sebagai balok lantai pada gedung perpustakaan, dengan tebal pelat lantai diambil 120 mm dan jarak antar balok 5 m. Berdasarkan asumsi tersebut, maka beban-beban yang bekerja pada balok adalah sebagai berikut ini.

a. Beban mati (  $W_D$  ) :

$$\text{- Penutup lantai} = 24 \times 2 \times 5 = 240 \text{ kg/m}$$

$$\text{- Spesi} = 21 \times 2 \times 5 = 210 \text{ kg/m}$$

$$\text{- Pasir} = 1600 \times 0,04 \times 5 = 320 \text{ kg/m}$$

$$\text{- Pelat} = 2400 \times 0,12 \times 5 = 1440 \text{ kg/m}$$

$$W_D = 2210 \text{ kg/m} = 22,10 \text{ kN/m}$$

b. Beban akibat berat sendiri (  $W_0$  ) :

$$W_0 = 0,5 \times 1 \times 24 = 1200 \text{ kg/m} = 12 \text{ kN/m} \text{ (diambil dimensi balok terbesar).}$$

c. Beban hidup (  $W_L$  ) :

$$W_L = 400 \times 5 = 2000 \text{ kg/m} = 20 \text{ kN/m}$$

Diperoleh beban kerja :

$$W_U = 1,2 (W_D + W_0) + 1,6 W_L$$

$$= 1,2 (22,1 + 12) + 1,6 \cdot 20 = 72,92 \text{ kN/m}$$

## 4.2 Kekuatan Lentur

### 4.2.1 Untuk Penampang Terlentur Bertulangan Sebelah

Dengan menggunakan asumsi-asumsi sebelumnya, dan diambil nilai  $f_c' = 40$  MPa,  $f_y = 350$  MPa,  $b = 400$  mm,  $h = 900$  mm dan  $L = 15$  m, perencanaan kekuatan lentur dapat dilakukan sebagai berikut.

#### 1. Rasio Tulangan

##### a. Rasio tulangan seimbang

$$\rho_b = \frac{\alpha_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta_1 \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

dengan nilai :  $\alpha_1 = 0,85 - \frac{f_c'}{800} \geq 0,725$

$$= 0,85 - \frac{40}{800} = 0,8$$

$$\beta_1 = 0,95 - \frac{f_c'}{400} \geq 0,70$$

$$= 0,95 - \frac{40}{400} = 0,85$$

sehingga diperoleh :  $\rho_b = \frac{0,8 \cdot 40}{350} \cdot 0,85 \left( \frac{600}{600 + 350} \right) = 0,0491$

##### b. Rasio tulangan maksimum

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0491 = 0,03681$$

c. Rasio tulangan minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{350} = 0,004$$

2. Momen yang terjadi pada balok

$$M_u = \frac{1}{8} W_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 72,92 \cdot 15^2 = 2050,875 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Didapatkan momen nominal balok :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{2050,875}{0,8} = 2563,5938 \text{ kN} \cdot \text{m} = 2,5636 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

3. Momen tahanan balok

$$M_n = k \cdot b \cdot d^2$$

$$\text{dengan : } k = \rho \cdot f_y \cdot \left( 1 - \frac{1}{2} \rho \cdot m \right)$$

$$= \rho \cdot f_y \cdot \left[ 1 - \frac{1}{2} \rho \cdot \left( \frac{f_y}{\alpha_1 \cdot f_c'} \right) \right]$$

$$= 0,03681 \cdot 350 \cdot \left[ 1 - \frac{1}{2} \cdot 0,03681 \cdot \left( \frac{350}{0,8 \cdot 40} \right) \right] = 10,2904$$

$$d = h - 100 = 900 - 100 = 800 \text{ mm}$$

$$\text{sehingga } M_n = 10,2904 \times 400 \times 800^2 = 2,634 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}.$$

Karena nilai  $M_n = 2,634 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm} > 2,5636 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$ , maka digunakan tulangan sebelah ( tulangan Tarik ) saja.

4. Rasio tulangan dibutuhkan

$$k = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{2,5636 \cdot 10^9}{400 \times 800^2} = 10,0140 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{\alpha_1 \cdot f_c'} = \frac{350}{0,8 \times 40} = 10,9375$$

maka diperoleh rasio tulangan dibutuhkan :

$$\rho = \frac{1}{m} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2m \cdot k}{f_y}} \right) = \frac{1}{10,9375} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10,9375 \times 10,014}{350}} \right) = 0,0355$$

#### 5. Luas tulangan tarik

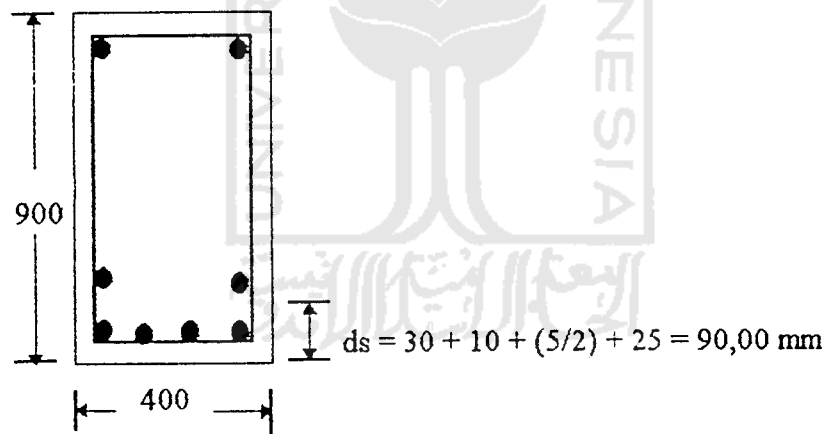
$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0305 \times 400 \times 800 = 11361,8 \text{ mm}^2$$

#### 6. Kebutuhan tulangan

Digunakan tulangan  $\varnothing 50 \text{ mm}$ , dengan luas =  $1963,5 \text{ mm}^2$ .

Diperoleh jumlah tulangan yang digunakan =  $\frac{11361,8}{1963,5} = 5,79 \approx 6 \text{ buah}$



#### 7. Keseimbangan gaya dalam

$$C = T$$

Anggapan baja tarik telah mencapai regangan leleh, saat beton tekan mencapai regangan 0.003

$$\text{dengan } C = \alpha \cdot f_c' \cdot b \cdot a = 0,8 \times 40 \times 400 \times a = 12800a$$

$$T = A_s \cdot f_y = 11781 \times 350 = 41253350$$

maka,  $a = \frac{4123350}{12800} = 322,14 \text{ mm}$  dan

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{322,14}{0,85} = 378,98 \text{ mm}$$

#### 8. Periksa regangan baja tarik

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{350}{2,10^5} = 0,00175$$

$$\varepsilon_s = \frac{d_{\text{baru}} - c}{c} \times \varepsilon_{\text{ck}}$$

dengan :  $d_{\text{baru}} = h - d_s$

$$= 900 - \left( 30 + 10 + \frac{50}{2} + \frac{2}{6} \left( \frac{50}{2} + 25 + \frac{50}{2} \right) \right) = 810 \text{ mm}$$

maka,  $\varepsilon_s = \frac{d_{\text{baru}} - c}{c} \times \varepsilon_{\text{ck}} = \frac{810 - 378,98}{378,98} \times 0,003 = 0,0034 > \varepsilon_y = 0,00175$

berarti anggapan bahwa tulangan tarik telah leleh adalah benar, sehingga  $f_s = f_y$

#### 9. Kontrol kapasitas penampang

$$M_n = T \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

dengan :  $T = A_s \cdot f_y = 4123350$

$$M_n = 4123350 \left( 810 - \frac{322,14}{2} \right) = 2675,772 \text{ kNm} > 2563,6 \text{ kNm}$$

#### 4.2.1 Untuk Penampang Terlentur Bertulangan Rangkap

Dengan menggunakan asumsi-asumsi sebelumnya, dan diambil nilai  $f_c' = 40$  MPa,  $f_y = 350$  MPa,  $b = 400$  mm,  $h = 700$  mm, dan  $L = 15$  m, perencanaan kekuatan lentur dapat dilakukan sebagai berikut.

## 1. Rasio Tulangan

### a. Rasio tulangan seimbang

$$\rho_b = \frac{\alpha_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta_1 \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\text{dengan nilai : } \alpha_1 = 0,85 - \frac{f_c'}{800} \geq 0,725$$

$$= 0,85 - \frac{40}{800} = 0,8$$

$$\beta_1 = 0,95 - \frac{f_c'}{400} \geq 0,70$$

$$= 0,95 - \frac{40}{400} = 0,85$$

$$\text{sehingga diperoleh : } \rho_b = \frac{0,8 \cdot 40}{350} \cdot 0,85 \left( \frac{600}{600 + 350} \right) = 0,0491$$

### b. Rasio tulangan maksimum

$$\rho_{maks} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,0491 = 0,03681$$

### c. Rasio tulangan minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{350} = 0,004$$

## 2. Momen yang terjadi pada balok

$$M_u = \frac{1}{8} W_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 72,92 \cdot 15^2 = 2050,875 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Didapatkan momen nominal balok :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{2050,875}{0,8} = 2563,5938 \text{ kN} \cdot \text{m} = 2,563610^9 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

### 3. Momen tahanan balok

$$M_n = k \cdot b \cdot d^2$$

$$\text{dengan : } k = \rho \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \rho \cdot m\right)$$

$$= \rho \cdot f_y \cdot \left[1 - \frac{1}{2} \rho \cdot \left(\frac{f_y}{\alpha_1 \cdot f'_c}\right)\right]$$

$$= 0,03681 \cdot 350 \left[1 - \frac{1}{2} \cdot 0,03681 \left(\frac{350}{0,840}\right)\right] = 10,2904 \text{ MPa}$$

$$d = h - 100 = 700 - 100 = 600 \text{ mm}$$

$$\text{sehingga } M_n = 10,2904 \times 400 \times 600^2 = 1,482 \cdot 10^9 \text{ N-mm.}$$

Karena nilai  $M_n = 1,482 \cdot 10^9 \text{ N-mm} < 2,5636 \cdot 10^9 \text{ N-mm}$ , maka digunakan tulangan rangkap.

### 4. Rasio tulangan dibutuhkan

$$\rho = 0,9 \rho_{maks} = 0,9 \cdot 0,03681 = 0,0331$$

### 5. Luas tulangan tarik perlu

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0331 \times 400 \times 600 = 7944,00 \text{ mm}^2$$

### 6. letak garis netral

$$a = \frac{A_{s1} \cdot f_y}{\alpha \cdot f'_c \cdot b} = \frac{7944,00 \times 350}{0,80 \times 40 \times 400} = 217,219 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{217,219}{0,85} = 255,551 \text{ mm}$$

### 7. Momen tulangan tarik

Anggapan baja tarik telah leleh



$$T_1 = A_{s1} \cdot f_y = 7944,00 \times 350 = 2780400N$$

$$M_{n1} = T_1 \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) = 2780400 \times \left( 600 - \frac{217,219}{2} \right) = 1,366.10^9 N - mm$$

8. Kelebihan momen yang harus ditahan oleh tulangan tekan dan tambahan untuk tulangan tarik

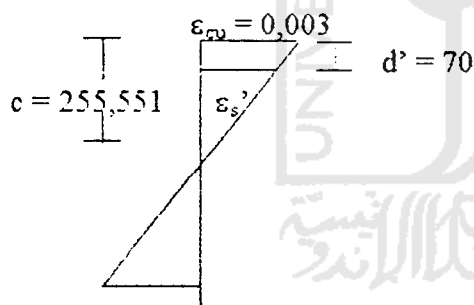
$$M_{n2} = M_n - M_{n1} = 2,5636.10^9 - 1,366.10^9 = 1,197.10^9 N - mm$$

$$M_{n2} = C_s \cdot (d - d') = T_2 (d - d')$$

dengan  $d'$  diperkirakan = 70 mm, sehingga:

$$T_2 = C_s = \frac{M_{n2}}{(d - d')} = \frac{1,197.10^9}{(600 - 70)} = 2259116N$$

9. Periksa regangan tulang tekan



$$\epsilon_s' = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_{\alpha} = \frac{255,551 - 70}{255,551} \times 0,003 = 0,0022$$

karena  $\epsilon_s' = 0,0022 > \epsilon_y = 0,00175$  berarti  $f_s' = f_y = 350MPa$

10. Luas tulangan tekan dan tambahan luas tulangan tarik

$$A_s' = \frac{C_s}{f_s'} = \frac{2259116}{350} = 6454,62mm^2$$

$$A_{s2} = \frac{T_2}{f_y} = \frac{2259116}{350} = 6454,62mm^2$$

### 11. Luas tulangan tarik seluruhnya

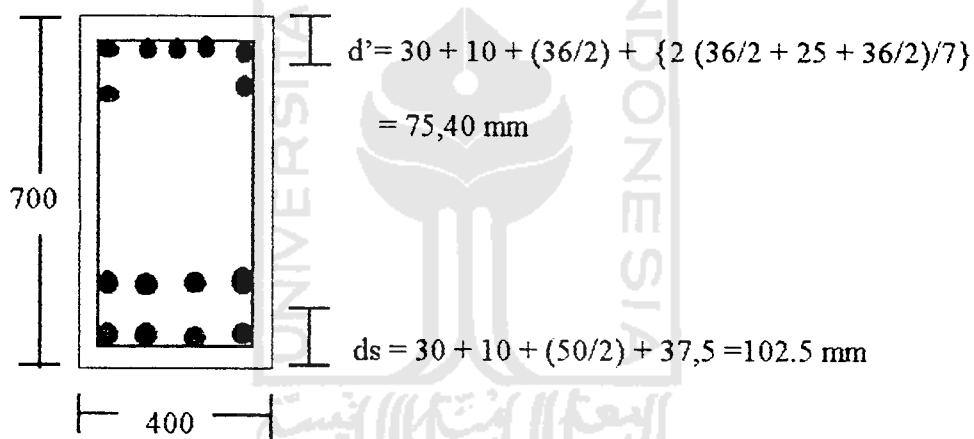
$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 7944,00 + 6454,62 = 14398,62 \text{ mm}^2$$

### 12. Jumlah tulangan

Untuk tulangan tarik digunakan  $\varnothing 50$  mm dengan luas =  $1963,5 \text{ mm}^2$  dan untuk tulangan tekan digunakan  $\varnothing 36$  mm dengan luas =  $1017,9 \text{ mm}^2$ .

$$\text{Jumlah tulangan tarik} = \frac{14398,50}{1963,5} = 7,33 \approx 8 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah tulangan tekan} = \frac{6454,62}{1017,9} = 6,34 \approx 7 \text{ buah}$$



$$\text{Luas tulangan tarik } A_s = 15708,0 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas tulangan tekan } A_s' = 7125,30 \text{ mm}^2$$

$$d_s = 102,5 \text{ mm} \text{ maka } d = 700 - 102,5 = 597,50 \text{ mm}$$

$$d' = 75,40 \text{ mm}$$

$$\text{maka : } C_c = \alpha_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot a = 0,8 \times 40 \times 400 \times a = 12800 \cdot a$$

$$C_s = A_s' \cdot f_y = 7125,30 \times 350 = 2265845 \text{ N}$$

### 13. Keseimbangan gaya-gaya dalam

$$T = C_c + C_s$$

dengan :  $T = A_s \cdot f_y = 15708,0 \times 350 = 5497800N$

maka ,  $a = \frac{5497800 - 2265845}{12800} = 252,50mm$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{252,50}{0,85} = 297,05mm$$

14. Periksa regangan-regangan baja yang terjadi

$$\varepsilon_s' = \frac{c - d'}{c} \times \varepsilon_{\alpha} = \frac{297,05 - 75,40}{297,05} \times 0,003 = 0,0022 > \varepsilon_y = 0,00175$$

$$\varepsilon_s = \frac{d - c}{c} \times \varepsilon_{\alpha} = \frac{597,50 - 297,05}{297,05} \times 0,003 = 0,00303$$

15. Momen Nominal

$$C_c = 12800 \cdot a = 12800 \times 252,50 = 3232000N$$

$$M_n = C_c \left( d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d')$$

$$M_n = 3232000 \left( 597,50 - \frac{252,50}{2} \right) + 2265845 (597,50 - 75,4) N - mm$$

$$M_n = 2,7092310^9 N - mm > \frac{M_u}{\phi} = 2,563610^9 N - mm$$

Jadi dimensi balok mampu untuk memikul beban dengan penulangan rangkap.

### 4.3 KEKUATAN GESER

Untuk perhitungan kuat geser disini, diambil nilai  $f_y = 350$  MPa,  $b = 400$  mm,  $h = 700$  mm,  $d = 590$  mm dan  $L = 15$  m. Memikul beban ultimit seperti asumsi sebelumnya,  $W_u = 72,92$  kN/m.

Direncanakan penulangan geser untuk :

#### 4.3.1 Nilai $f_c' = 40$ MPa

1. Momen yang terjadi pada balok

$$M_u = \frac{1}{8} W_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 72,92 \cdot 15^2 = 2050,875 \text{ kN-m}$$

Didapatkan momen nominal balok :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{2050,875}{0,8} = 2563,5938 \text{ kN-m} = 2,5636 \cdot 10^9 \text{ N-mm}$$

2. Gaya geser maksimum pada ujung bentang

$$V_u = \frac{1}{2} \cdot W_u \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 72,92 \cdot 15 = 546,9 \text{ kN}$$

3. Gaya geser pada penampang kritis sejauh  $d$  dari perletakan

$$V_{ud} = \frac{0,5L - d}{0,5L} \cdot V_u = \frac{7,5 - 0,59}{7,5} \cdot 546,9 = 503,8772 \text{ kN}$$

4. Kekuatan geser beton

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{40} \cdot 400 \cdot 590 \cdot 10^{-3} = 248,765 \text{ kN}$$

5. Kekuatan geser tulangan geser

$$V_{sl} = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = \frac{1}{3} \sqrt{40} \cdot 400 \cdot 590 \cdot 10^{-3} = 497,532 \text{ kN}$$

$$V_{s2} = \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \frac{2}{3} \sqrt{40} \cdot 400 \cdot 590 \cdot 10^{-3} = 995,064 \text{ kN}$$

#### 6. Jarak tulangan geser

Untuk geser, faktor reduksi kekuatan  $\phi = 0,6$ , maka :

$$\phi V_c = 0,6 \times 248,766 = 149,2596 \text{ kN}$$

$$\phi V_{s1} = 0,6 \times 497,532 = 298,5192 \text{ kN}$$

$$\phi V_{s2} = 0,6 \times 995,064 = 597,0384 \text{ kN}$$

$$\phi (V_c + V_{s1}) = 0,6 \times (248,766 + 497,532) = 447,7788 \text{ kN}$$

$$\phi (V_c + V_{s2}) = 0,6 \times (248,766 + 995,064) = 746,2980 \text{ kN}$$

Ternyata :  $\phi V_c < V_u < \phi (V_c + V_{s2})$ , berarti ukuran penampang dapat digunakan,

tetapi diperlukan tulangan geser, dan pada daerah  $V_u > \phi (V_c + V_{s1})$ , sengkang

maksimum  $\frac{d}{4}$  atau 300 mm, maka dicari :

a. titik dengan nilai  $V_u = \phi (V_c + V_{s1}) = 447,7788 \text{ kN}$ , yaitu :

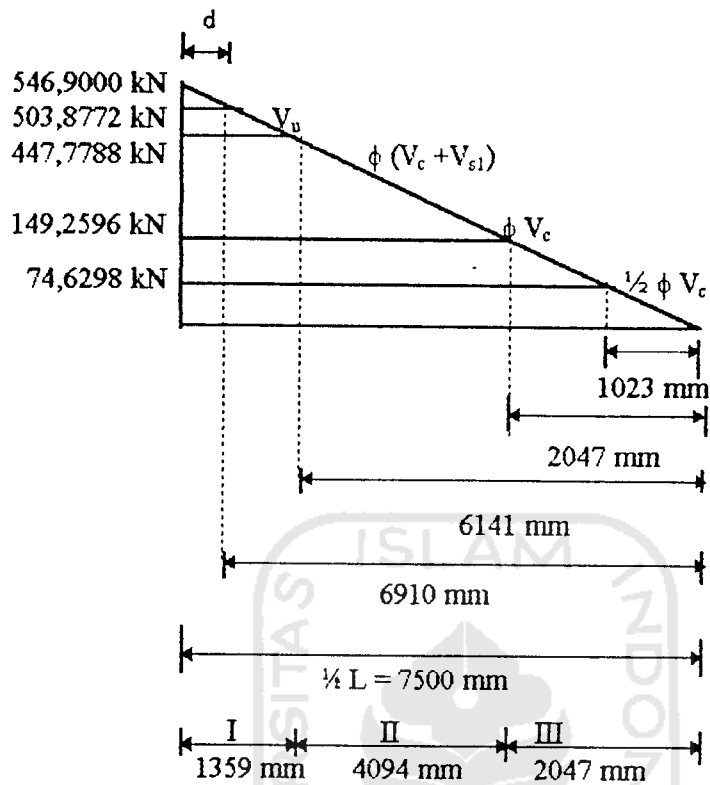
$$x_1 = \frac{447,7788}{546,9} \times 7500 = 6140,6857 \text{ mm} = 6141 \text{ mm dari tengah bentang}$$

b. titik dengan gaya geser =  $\phi V_c = 149,2596 \text{ kN}$ , yaitu :

$$x_2 = \frac{149,2596}{546,9} \times 7500 = 2046,895 \text{ mm} = 2047 \text{ mm dari tengah bentang}$$

c. titik dengan gaya geser =  $\frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \cdot 149,2596 = 74,6298$ , yaitu :

$$x_3 = \frac{74,6298}{546,9} \times 7500 = 1023,4476 \text{ mm} = 1023 \text{ mm dari tengah bentang}$$



Digunakan sengkang dengan  $\varnothing 10$  mm dengan  $A_s = 2(\pi \cdot 5^2) = 157 \text{ mm}^2$

a. Jarak sengkang untuk daerah I :

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 503,8772 - 149,2596 = 354,6176 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{354,6176}{0,6} = 591,0293 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_s \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{591,0293} = 55 \text{ mm} \leq \frac{d}{4} = 147,5 \text{ mm}$$

dipakai sengkang  $\varnothing 10-50$  mm

b. Jarak sengkang untuk daerah II

Untuk daerah II ini, dibagi menjadi 4 bagian dengan lebar 1000 mm, 1000 mm, 1000 mm dan 1095 mm .

1. Daerah II-1, dengan lebar 1000 mm dan  $V_u = 447,7788$  kN

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 447,7788 - 149,2596 = 298,5192 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{298,5192}{0,6} = 497,532 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{497,532 \times 10^3} = 65,1626 \text{ mm}$$

dipakai sengkang  $\emptyset 10-60$  mm

2. Daerah II-2, dengan lebar 1000 mm

$$V_u = \frac{5141}{7500} \times 546,9 = 374,8817 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 374,8817 - 149,2596 = 225,6221 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{225,6221}{0,6} = 376,037 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{376,037 \times 10^3} = 86,216 \text{ mm}$$

dipakai sengkang  $\emptyset 10-80$  mm

3. Daerah II-3, dengan lebar 1000 mm

$$V_u = \frac{4141}{7500} \times 546,9 = 301,9617 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 301,9617 - 149,2596 = 152,7021 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{152,7021}{0,6} = 254,5035 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{254,5035 \times 10^3} = 127,39 \text{ mm}$$

dipakai sengkang  $\emptyset 10-120$  mm

4. Daerah II-4, dengan lebar 1094 mm

$$V_u = \frac{3141}{7500} \times 546,9 = 229,0417 \text{ kN}$$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 229,0417 - 149,2596 = 79,78 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{79,78}{0,6} = 132,9704 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{v_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{132,9704 \times 10^3} = 243,817 \text{ mm}$$

dipakai sengkang  $\varnothing 10$ -240 mm

c. Jarak sengkang untuk daerah III

Daerah III merupakan daerah tulangan geser minimum :

$$s = \frac{3 \cdot A_v \cdot f_y}{b} = \frac{3 \times 157 \times 350}{400} = 412,125 \text{ mm} > \frac{d}{2} = 295 \text{ mm}$$

dipakai sengkang  $\varnothing 10$ -290 mm

4.3.2 Nilai  $f_c' = 80 \text{ MPa}$

1. Momen yang terjadi pada balok

$$M_u = \frac{1}{8} W_u \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 72,92 \cdot 15^2 = 2050,875 \text{ kN-m}$$

Didapatkan momen nominal balok :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{2050,875}{0,8} = 2563,5938 \text{ kN-m} = 2,5636 \cdot 10^9 \text{ N-mm}$$

2. Gaya geser maksimum pada ujung bentang

$$V_u = \frac{1}{2} \cdot W_u \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 2050,875 \times 15 = 546,9 \text{ kN}$$





3. Gaya geser pada penampang kritis sejauh  $d$  dari perletakan

$$V_{\alpha d} = \frac{0,5L - d}{0,5L} \cdot V_{\alpha} = \frac{7,5 - 0,59}{7,5} \cdot 546,9 = 503,877 \text{ kN}$$

4. Kekuatan geser beton

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{80} \cdot 400 \cdot 590 \cdot 10^{-3} = 351,808 \text{ kN}$$

5. Kekuatan geser tulangan geser

$$V_{s1} = \frac{1}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \frac{1}{3} \sqrt{80} \cdot 400 \cdot 590 \cdot 10^{-3} = 703,616 \text{ kN}$$

$$V_{s2} = \frac{2}{3} \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \frac{2}{3} \sqrt{80} \cdot 400 \cdot 590 \cdot 10^{-3} = 1407,232 \text{ kN}$$

6. Jarak tulangan geser

Untuk geser faktor reduksi kekuatan  $\phi = 0,6$  maka :

$$\phi V_c = 0,6 \times 351,808 = 211,0848 \text{ kN}$$

$$\phi V_{s1} = 0,6 \times 703,616 = 422,1696 \text{ kN}$$

$$\phi V_{s2} = 0,6 \times 1407,232 = 844,3392 \text{ kN}$$

$$\phi(V_c + V_{s1}) = 0,6(351,808 + 703,616) = 633,2544 \text{ kN}$$

$$\phi(V_c + V_{s2}) = 0,6(351,808 + 1407,232) = 844,3392 \text{ kN}$$

Ternyata :  $\phi V_c = 211,0848 < V_{\alpha} = 503,8772 < \phi(V_c - V_{s2}) = 633,2544 \text{ kN}$ , berarti

ukuran penampang dapat digunakan dan jarak sengkang maksimum  $d/2$  atau 600 mm,

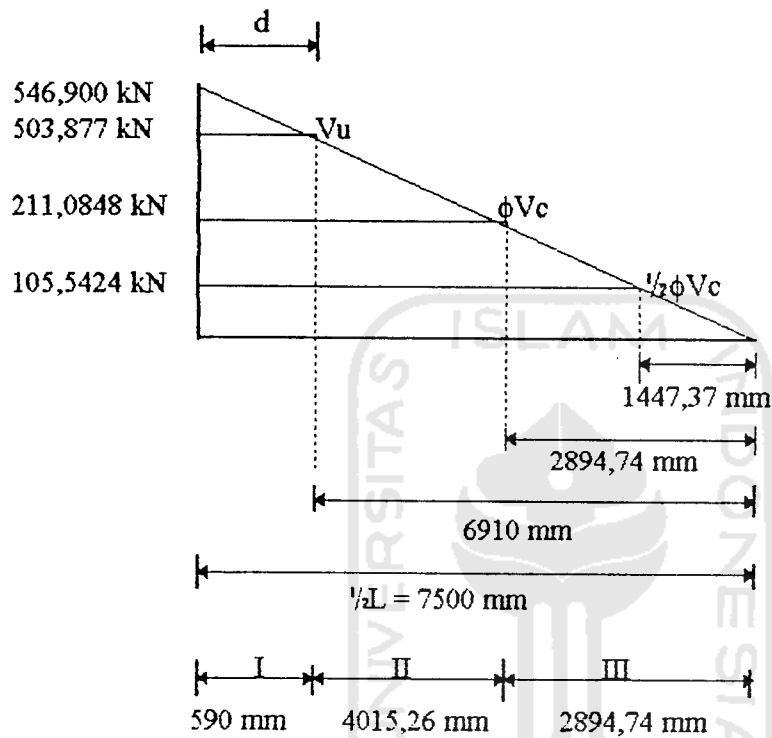
maka dicari :

a. titik dimana gaya geser =  $\phi V_c = 211,0848 \text{ kN}$ , yaitu :

$$x_1 = \frac{211,0848}{546,9} \times 7500 = 2894,74 \text{ mm}$$

b. titik dimana gaya geser =  $\frac{1}{2}\phi V_c = 105,5424 \text{ kN}$

$$x_2 = \frac{105,5424}{546,9} \times 7500 = 1447,37 \text{ mm}$$



Digunakan sengkang dengan  $\varnothing 10$  dengan  $A_v = 2(\pi \cdot 5^2) = 157 \text{ mm}^2$

a. Jarak sengkang untuk daerah I (penampang kritis):

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 503,877 - 211,0848 = 292,7922 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{292,7922}{0,6} = 487,987 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{487,987 \times 10^3} = 66,44 \text{ mm}$$

dipakai sengkang  $\varnothing 10-60 \text{ mm}$

b. Perhitungan jarak sengkang untuk daerah II dibagi menjadi empat bagian dengan lebar 1000 mm, 1000 mm, 1000 mm, dan 1015,28 mm.

1. Daerah II-1, daerah penampang kritis dengan lebar 1000 mm dan  $V_u = 503,877 \text{ kN}$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 503,877 - 211,0848 = 292,7922 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{292,7922}{0,6} = 487,987 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{487,987 \times 10^3} = 66,44$$

dipakai sengkang  $\emptyset 10-60 \text{ mm}$

2. Daerah II-2 dengan 1000 mm dan  $V_u = 430,9572 \text{ kN}$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 430,9572 - 211,0848 = 219,8724 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{219,8724}{0,6} = 366,4540 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{366,4540 \times 10^3} = 88,47 \text{ mm}$$

dipakai sengkang  $\emptyset 10-80 \text{ mm}$

3. Daerah II-3 dengan lebar 1000 mm dan  $V_u = 358,0372 \text{ kN}$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 358,0372 - 211,0848 = 146,9524 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{146,9524}{0,6} = 244,9207 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{244,9207 \times 10^3} = 132,37 \text{ mm}$$

dipakai sengkang  $\emptyset 10-130 \text{ mm}$

4. Daerah II-4 dengan lebar 1000 mm dan  $V_u = 285,1172 \text{ kN}$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c = 285,1172 - 211,0848 = 74,0324 kN$$

$$V_s = \frac{74,0324}{0,6} = 123,3873 kN$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157 \times 350 \times 590}{123,3873 \times 10^3} = 262,75 mm < \frac{d}{2} = 295 mm$$

dipakai sengkang  $\varnothing 10$ -130 mm

c. Jarak sengkang untuk daerah III

Daerah III adalah daerah tulangan geser minimum dengan jarak sengkang minimum

$$\frac{A_v \cdot f_y}{b} = \frac{157 \cdot 350}{400} = 137,38 \text{ mm}$$

$$s = \frac{105 \cdot f_y \cdot A_v}{f_c' \cdot b} = \frac{105 \times 350 \times 157}{80 \times 400} = 180,305 > \frac{A_v \cdot f_y}{b} = \frac{157 \cdot 350}{400} = 137,38$$

dipakai sengkang  $\varnothing 10$ -130 mm

Karena pada daerah II-4 jarak sengkang melebihi jarak tulangan geser minimum maka pada daerah II-4 digunakan jarak sengkang sama dengan daerah tulangan geser minimum yaitu 130 mm.