

BAB IV

PERHITUNGAN PERENCANAAN

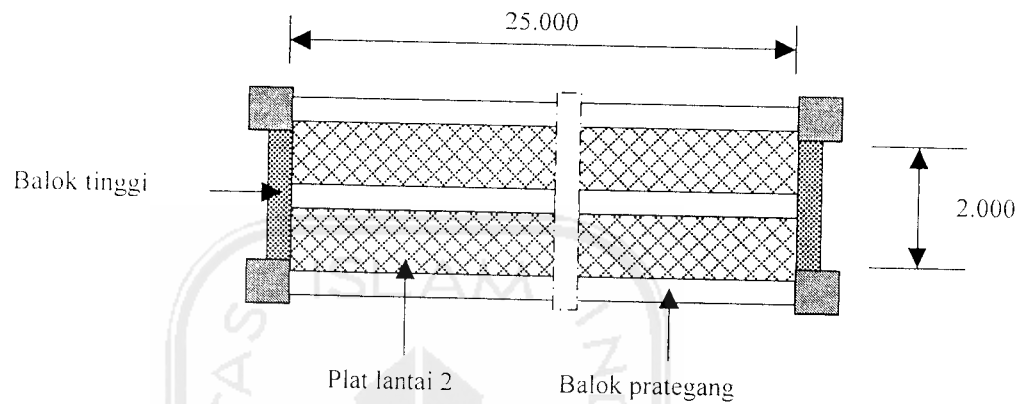
4.1. Umum

Untuk memperjelas uraian yang telah diungkapkan pada bab-bab sebelumnya, pada bagian ini akan diberikan suatu aplikasi perencanaan balok tinggi. Analisis yang akan dilakukan meliputi perhitungan dimensi balok serta penulangan balok.

4.2. Perencanaan Elemen Balok

Bangunan direncanakan untuk gedung pertemuan. Gedung pertemuan ini memerlukan lebar bentang 25 m sesuai dengan lebar gedung dan tidak diinginkan adanya kolom ditengah-tengah ruangan. Akibatnya diperlukan sebuah balok prategang dengan panjang minimal 25 m. Untuk mendukung balok prategang tersebut digunakan kolom yang berada di tepi gedung. Balok prategang yang digunakan menurut perencanaan harus dipasang pada setiap jarak 1000 mm sehingga ada sebagian balok prategang yang terletak tidak pada kolom, karena jarak kolom yang direncanakan adalah setiap bentang 2500 mm. Oleh karena itu, diperlukan sebuah balok yang mampu menahan

atau sebagai tumpuan dari balok prategang tersebut. Gambaran perencanaan balok dan kolom gedung tersebut adalah seperti gambar 4.1. berikut :



Gambar 4.1. Tampak bawah struktur pembebanan plat lantai

1. Dimensi Balok Tinggi

Karena direncanakan untuk gedung pertemuan, maka diinginkan gedung tersebut mempunyai bentang cukup panjang dan tidak diinginkan terdapat kolom di tengah ruangan. Panjang bentang gedung pertemuan ini direncanakan sebesar 25 m sesuai dengan lebar gedung pertemuan. Berdasarkan ketentuan tersebut, maka untuk balok utama digunakan balok prategang. Beberapa balok prategang ditumpu oleh kolom-kolom tepi, tetapi ada beberapa balok yang berada diantara kolom-kolom tepi. Untuk balok prategang tersebut, balok prategang ditumpu oleh balok tepi. Uraian tersebut dapat dilihat seperti pada gambar 4.1 di atas. Karena menumpu beban balok

prategang yang cukup besar, maka balok tepi direncanakan sebagai balok tinggi.

Dimensi kolom direncanakan $500 \times 500 \text{ mm}^2$.

Jarak bersih (l_n) antar kolom direncanakan sepanjang 2000 mm

Balok tinggi : $l_n/d < 5$

$$l_n/5 < d$$

$$2000/5 < d \rightarrow d > 400 \text{ mm}$$

Tinggi efektif balok (d) diasumsikan sebesar 0,9 tinggi balok (H),

$$d = 0,9 H, \text{ maka tinggi balok } (H) = d/0,9$$

$$H = 400/0,9 = 444,44 \text{ mm} \rightarrow \text{dipakai tinggi balok } 450 \text{ mm}$$

Karena tinggi balok (H) = 450 mm maka tinggi efektif balok (d) = 0,9 H ,

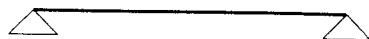
$$d = 0,9 \times 450 = 405 \text{ mm}$$

Di asumsikan lebar balok (b_w) = $\frac{1}{2}$ x tinggi balok = $\frac{1}{2} \times 450 = 225 \text{ mm}$

Maka diperoleh dimensi balok tepi = $225 \times 450 \text{ mm}^2$.

2. Tebal Pelat Lantai Gedung Pertemuan

Dari peraturan beton diperoleh ketentuan :



Pelat mendukung satu arah seperti gambar disamping, mempunyai syarat tebal minimum pelat untuk mutu baja (f_y) = 240 Mpa adalah : $L/27$ (satu per dua puluh bentang balok).

Jarak antar balok prategang :

Dari as kolom ke as kolom = $2000 + (2 \times 1/2 \times 500) = 2500$ mm

Dari 2 kolom terdapat 3 balok prategang, maka jarak antar balok prategang adalah :

$$Y = \{2500 - (400 + 2 \times 1/2 \times 400)\} \times 1/2 = 850 \text{ mm.}$$

$$h = L/27 \times \{0,4 + (f_y/700)\}$$

$$= 850/27 \times \{0,4 + (240/700)\}$$

$$= 4,3175 \text{ mm} \rightarrow \text{maka digunakan tebal pelat lantai (h) = 120 mm}$$

3. Beban Pelat Lantai Gedung Pertemuan

a. Beban mati akibat berat sendiri pelat

$$\text{Berat sendiri} : 0,12 \times 23 = 2,76$$

$$\text{Spesi (t:1 cm)} : 0,01 \times 1,1 = 0,011$$

$$\text{Penutup lantai (t:2,5 cm)} : 0,025 \times 1,1 = 0,0275$$

$$q_D = 2,7985 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{dibulatkan : } q_D = 2,8 \text{ kN/m}^2$$

b. Beban hidup sebagai gedung pertemuan

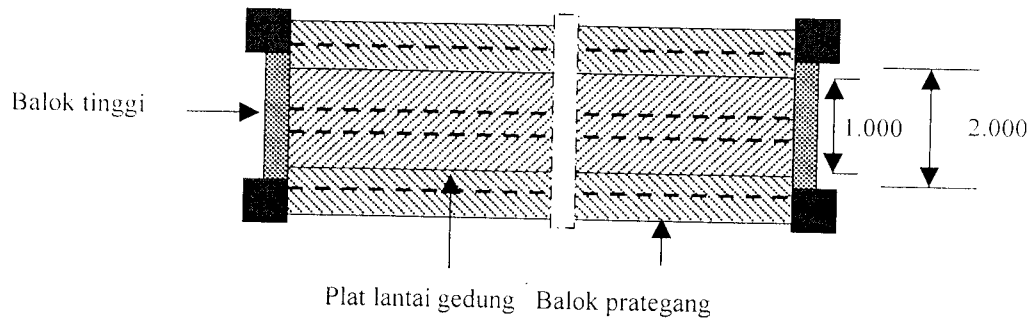
$$q_L = 4 \text{ kN/m}^2$$

c. Beban ultimit

$$q_U = 1,2 q_D + 1,6 q_L$$

$$= 9,76 \text{ kN/m}^2$$

4. Pembebanan balok



Gambar 4.2. Distribusi beban plat lantai

Balok prategang yang digunakan direncanakan mempunyai dimensi $350 \times 1250 \text{ mm}^2$ dan panjang 25,6 m. Berat balok beton prategang tersebut adalah 21,20 ton (berdasarkan data penampang balok pracetak produksi Buntu untuk panjang 25,6 m "Pracetak buntu Type II"). Berat balok prategang per m' adalah : $21,20/25,6 = 0,8281 \text{ ton/m} = 8,281 \text{ kN/m}$

Beban balok prategang panjang 25,6 m :

$$\text{Berat sendiri} : \quad = 8,281$$

$$Q_{eq} : (1/2 \times 1,0 \times 2) \times 9,76 = 9,76$$

$$q \text{ balok prategang} = 18,041 \text{ kN/m}$$

Sebagai beban titik bagi balok 2 m (P)

$$P = 1/2 \times (18,041 \times 25,6) = 230,9248 \text{ kN}$$

Beban balok tepi (panjang 2,5 m) :

$$\text{Berat sendiri} : 0,225 \times 0,45 \times 23 = 2,329 \text{ kN/m}$$

5. Hitungan Gaya Geser

Reaksi pada tumpuan (R_A dan R_B)

$$\begin{aligned}
 R_A &= R_B \\
 &= \left(\frac{1}{2} \times q \text{ balok} \times L\right) + \left(\frac{1}{2} \times P\right) \\
 &= \left(\frac{1}{2} \times 2,329 \times 2,5\right) + \left(\frac{1}{2} \times 230,9248\right) \\
 &= 118,374 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Jarak penampang kritis

Berdasarkan teori di SK SNI T-15-1991-03 bahwa untuk pembebanan terbagi rata penampang kritis bagi geser harus diambil pada suatu jarak $0,25 l_n$ dari permukaan perletakkan.

$$\begin{aligned}
 Z &= 0,25 l_n \\
 &= 0,25 \times 2 = 0,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Menghitung gaya geser rencana (V_u)

$$\begin{aligned}
 V_u &= R_A - \{ q \text{ balok} \times (0,25 l_n) \} \\
 &= 118,374 - (2,329 \times 0,5) \\
 &= 117,2095 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Menghitung kuat geser nominal (V_n)

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \times 1/18 \times [10 + l_n/d] \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\ &= 0,6 \times 1/18 \times [10 + 4,938] \sqrt{25} \times 225 \times 405 \\ &= 226870,9 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\phi V_n = 226,8709 \text{ kN} > V_u$$

6. Hitungan Momen

$$\begin{aligned}\text{a. } \mu &= R_A \times (0,25 l_n) - \left\{ \frac{1}{2} \times q \text{ balok} \times (0,25 l_n)^2 \right\} \\ &= (118,374 \times 0,5) - \left(\frac{1}{2} \times 2,329 \times 0,5^2 \right) \\ &= 58,896 \text{ kNm}\end{aligned}$$

b. Momen maksimum akibat beban terbagi rata pada balok tepi

$$M_{tump} = 1/16 \times q \text{ balok} \times L^2 = 1/16 \times 2,329 \times 2,5^2 = 0,9098 \text{ kNm}$$

$$M_{lap} = 1/14 \times q \text{ balok} \times L^2 = 1/14 \times 2,329 \times 2,5^2 = 1,0397 \text{ kNm}$$

c. Momen maksimum akibat beban terpusat (berdasarkan PBI'71 hal

$$117) M_o = \frac{1}{4} \times P \times L = \frac{1}{4} \times 230,9248 \times 2,5 = 144,328 \text{ kNm.}$$

$$M_{lap} = 4/5 M_o = 4/5 \times 144,328 = 115,4624 \text{ kNm}$$

$$M_{tump} = \frac{1}{2} M_o = \frac{1}{2} \times 144,328 = 72,164 \text{ kNm}$$

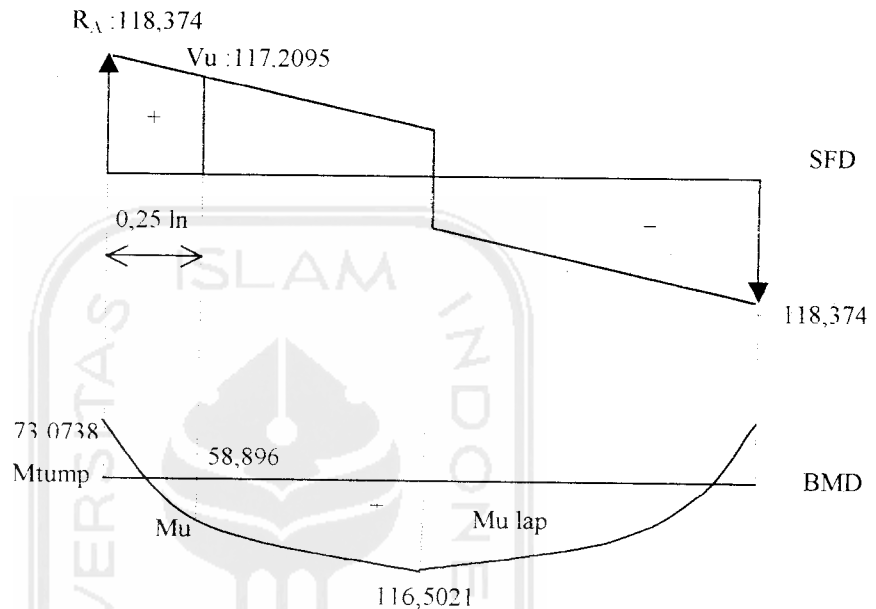
Maka momen maksimum yang terjadi di tepi bentang adalah :

$$M_{tump} = 0,9098 + 72,164 = 73,0738 \text{ kNm}$$

Maka momen maksimum yang terjadi di tengah bentang adalah :

$$M_{lap} = 1,0397 + 115,4624 = 116,5021 \text{ kNm}$$

Gambar bidang geser (*Shearing Force Diagram = SFD*) dan gambar bidang momen (*Bending Moment Diagram = BMD*) ditunjukkan pada gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3. SFD dan BMD

7. Hitungan tulangan lentur balok

Kebutuhan tulangan pokok balok dihitung berdasarkan momen terbesar yang terjadi pada balok tersebut. Tulangan lapangan dihitung sebagai berikut:

$$\frac{M_{lap}}{bd^2} = \frac{116,5021}{(0,225 \times 0,405^2)} = 3156,8$$

Berdasarkan buku “grafik dan tabel perhitungan beton bertulang” karangan W.C. Vis dan Gideon Kusuma Jilid 4 halaman 46 diperoleh angka $\rho = 0,0183$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'c}{f_y} \cdot 0,85 \left(\frac{600}{600 + f_v} \right) = 0,0368$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,0044$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0368 = 0,0276$$

$\rho < \rho_{\max}$, maka untuk menghitung kebutuhan tulangan utama balok digunakan rumus:

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0183 \times 225 \times 405 = 1667,875 \text{ mm}^2$$

Dipilih digunakan tulangan deform $f_y : 320$ Mpa dengan diameter 22 mm, maka luas 1 tulangan = $380,13 \text{ mm}^2$. Jumlah tulangan yang diperlukan :

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{1667,875}{380,13} = 4,39 \text{ buah} \sim 5 \text{ buah}$$

Maka untuk tulangan lapangan balok tinggi digunakan 5 D 22.

Tulangan tumpuan dihitung sebagai berikut:

$$\frac{M_{\text{tump}}}{bd^2} = \frac{73,0738}{(0,225 \times 0,405^2)} = 1980,02$$

Berdasarkan buku “grafik dan tabel perhitungan beton bertulang” karangan W.C. Vis dan Gideon Kusuma Jilid 4 halaman 46 diperoleh angka $\rho = 0,0109$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \cdot 0,85 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,0368$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{320} = 0,0044$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,75 \times 0,0368 = 0,0276$$

$\rho < \rho_{max}$, maka untuk menghitung kebutuhan tulangan utama balok digunakan rumus:

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0109 \times 225 \times 405 = 993,2625 \text{ mm}^2$$

Dipilih digunakan tulangan deform fy : 320 Mpa dengan diameter 22 mm, maka luas 1 tulangan = 380,13 mm². Jumlah tulangan yang diperlukan :

$$\text{Jumlah tulangan} = \frac{993,2625}{380,13} = 2,6 \text{ buah} \sim 3 \text{ buah}$$

Maka untuk tulangan tumpuan balok tepi tinggi digunakan 3 D 22

8. Hitungan tulangan geser balok

Menghitung faktor pengali balok tinggi :

$$3,5 - 2,5 = 3,5 - 2,5 \frac{M_u}{V_u \cdot d} = 3,5 - 2,5 \frac{58,896}{117,2095 \times 0,405} = 0,4$$

Besar faktor pengali balok tinggi tersebut minimal adalah 1,0 maka digunakan nilai minimal : 1,0

Menghitung V_c :

$$\begin{aligned} V_c &= \left[3,5 - 2,5 \frac{M_u}{V_u \cdot d} \right] \left[1,7 \left(\sqrt{f_c} + 120 \rho \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) \right] b_w \times d \\ &= \left[3,5 - 2,5 \frac{58,896}{117,2095 \times 0,405} \right] \left[1,7 \left(\sqrt{25} + 120 \times 0,0234 \frac{117,2095 \times 0,405}{58,896} \right) \right] \times 0,225 \times 0,405 \\ &= 94,552 \text{ kN} \end{aligned}$$

Bandingkan dengan nilai V_c yang diperoleh dari :

$$\begin{aligned} V_c &= \left[\sqrt{f_c} / 2 \right] \times b_w \times d \\ &= \left[\sqrt{25} / 2 \right] \times 0,225 \times 0,405 \\ &= 227,813 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka dipakai nilai $V_c = 94,552 \text{ kN}$

Bila : $V_u / \phi > V_c$ maka perlu tulangan geser

$V_u / \phi \leq V_c$ maka tidak perlu tulangan geser

$V_u / \phi = 117,2095 / 0,6 = 195,349 \text{ kN} > V_c = 94,552 \text{ kN}$, maka perlu tulangan geser.

Menghitung kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan (V_s)

$$V_s = \left[\frac{A_v}{s} \left(\frac{1 + \ln/d}{12} \right) + \frac{A_{vh}}{s_2} \left(\frac{11 - \ln/d}{12} \right) \right] f_y d$$

$$s \leq d/5 \text{ atau maksimum } 0,05 \text{ m}$$

$$s_2 \leq d/3 \text{ atau maksimum } 0,05 \text{ m}$$

$$A_v = 0,0015 \times b_w \times s$$

$$A_{vh} = 0,0025 \times b_w \times s_2$$

Perhitungan :

$$s = 0,405\text{m}/5 = 0,0081 \text{ m}$$

$$s_2 = 0,405\text{m}/3 = 0,135 \text{ m, maka digunakan } s_2 = 0,05 \text{ m}$$

$$A_v = 0,0015 \times 0,25 \times 0,0081 = 3,0375 \times 10^{-6} \text{ m}^2 = 3,0375 \text{ mm}^2$$

$$A_{vh} = 0,0025 \times 0,25 \times 0,05 = 3,125 \times 10^{-5} \text{ m}^2 = 31,25 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_s &= \left\{ \frac{A_v}{s} \left(\frac{1 + \ln/d}{12} \right) + \frac{A_{vh}}{s_2} \left(\frac{11 - \ln/d}{12} \right) \right\} f_y \times d \\ &= \left\{ \frac{3,0375}{0,0081} \left(\frac{1 + 4,94}{12} \right) + \frac{31,25}{0,05} \left(\frac{11 - 4,94}{12} \right) \right\} 240 \times 0,405 \\ &= 487215 \text{ N} \\ &= 487,215 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kebutuhan tulangan geser arah vertikal (A_v) = $3,0375 \text{ mm}^2$

Bila digunakan tulangan polos dengan f_y 240 MPa diameter 10 mm, maka luas satu tulangan adalah $78,54 \text{ mm}^2$, sehingga kebutuhan tulangan = $3,0375 / 78,54 = 0,04$ batang. Karena kebutuhan tulangan vertikal yang sangat kecil, maka digunakan tulangan vertikal dengan jarak antar tulangan maksimum. Berdasarkan buku “Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang, Jilid 1, halaman 108, karangan Gideon dan W.C.Vis diperoleh dasar bahwa untuk jarak maksimum sengkang tulangan dipolos adalah 250 mm sehingga untuk tulangan geser arah vertikal digunakan $\phi 10 - 250$. Luas tulangan terpasang adalah:

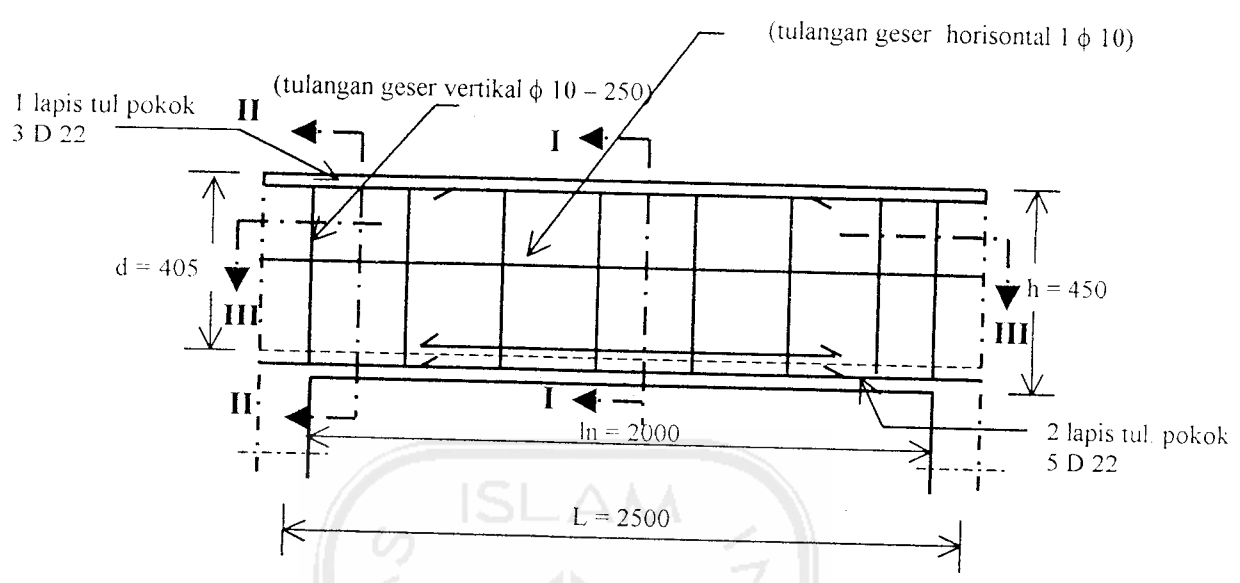
Panjang balok = 2000 mm

Jarak tulangan = 250 mm

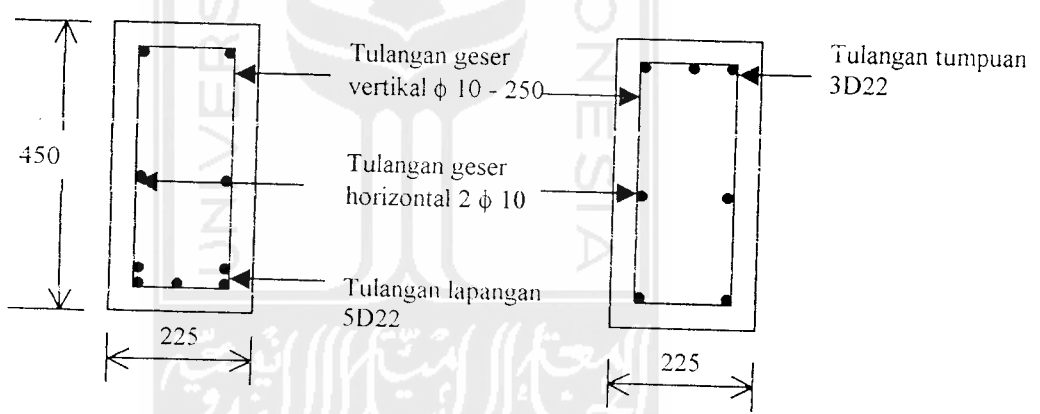
Maka jumlah tulangan adalah = $(2000/250)+1 = 9$ batang

Kebutuhan tulangan geser arah horisontal (A_{vh}) = $31,25 \text{ mm}^2$

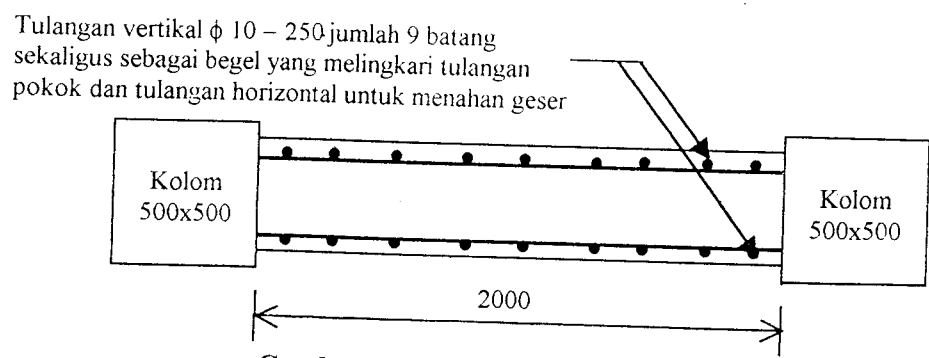
Bila digunakan tulangan polos dengan f_y 240 MPa diameter 10 mm, maka luas satu tulangan adalah $78,54 \text{ mm}^2$, sehingga kebutuhan tulangan = $31,25 / 78,54 = 0,4$ batang ~ dipakai 2 batang. Jadi tulangan geser arah horizontal digunakan $2 \phi 10$.



Gambar 4.4. Penulangan balok tinggi



Gambar 4.5. Potongan I - I dan Potongan II - II



Gambar 4.6. Potongan III - III