

BAB VII

PERENCANAAN STRUKTUR PORTAL BETON BERTULANG DENGAN DAKTILITAS PENUH

Bab ini merupakan perencanaan lanjutan dari bahasan analisa struktur sebelumnya untuk daktilitas penuh meliputi: desain balok, desain kolom, desain pertemuan balok kolom, dan desain pondasi. Pada perencanaan dengan daktilitas penuh ini struktur diberi beban gempa dikalikan faktor pengali $K = 1$, tetapi dengan persyaratan daktilitas yang ketat.

7.1 Desain Balok

7.1.1 Momen Rencana Balok

Momen rencana balok dihitung berdasarkan tipe-tipe pembebanan menurut SK SNI T-12-1991-03 adalah sebagai berikut:

$$M_{u1} = 1,2 M_D + 1,6 M_L$$

$$M_{u2} = 1,05 (M_D + 0,5M_L + M_{Eki})$$

$$M_{u3} = 1,05 (M_D + 0,5M_L + M_{Eka})$$

$$M_{u4} = 0,9 (M_D + M_{Eki})$$

$$M_{u5} = 0,9 (M_D + M_{Eka})$$

7.1.2 Penulangan Lentur Balok dan Perhitungan Momen Nominal Aktual

Balok

Sebagai contoh perhitungan lentur balok induk dan perhitungan momen nominal aktual balok induk ditinjau pada balok induk AS X-2 Lantai 2 adalah sebagai berikut:

- Tabel momen rencana balok didapat:

$$M_{tumpuan} = 378,240 \text{ kNm}$$

$$M'_{tumpuan} = 42,331 \text{ kNm}$$

$$M_{lapangan} = 261,155 \text{ kNm}$$

- Pemeriksaan rasio tulangan apakah boleh dilakukan redistribusi momen

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 20}{400} \cdot 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0217 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{400}{0,85 \cdot 20} = 23,529$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{378,240 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 350 \cdot 387,5^2} = 8,996 \text{ MPa}$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{23,529} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 23,529 \cdot 8,996}{400}} \right) = 0,0322$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{42,331 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 350 \cdot 387,5^2} = 1,007 \text{ MPa}$$

$$\rho' = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{23,529} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 23,529 \cdot 1,007}{400}} \right) = 0,0026$$

$$\rho - \rho' = 0,032 - 0,0026 = 0,0296 > 0,5 \cdot \rho_b = 0,5 \cdot 0,0217 = 0,0108$$

Dipakai $0,5 \rho_b$

- Faktor redistribusi maksimum

$$30 \left(1 - \frac{4}{3} \frac{\rho - \rho'}{\rho_b} \right) \% = 30 \left(1 - \frac{4}{3} \frac{0,0296}{0,0217} \right) \% = 10 \%$$

- Redistribusi momen negatif pada pertemuan kolom tepi

$$\Delta M = 378,240 \cdot 10 \% = 37,824 \text{ kNm}$$

- Momen balok rencana terredistribusi (dengan cara yang sama lihat tabel 7.1.c.)

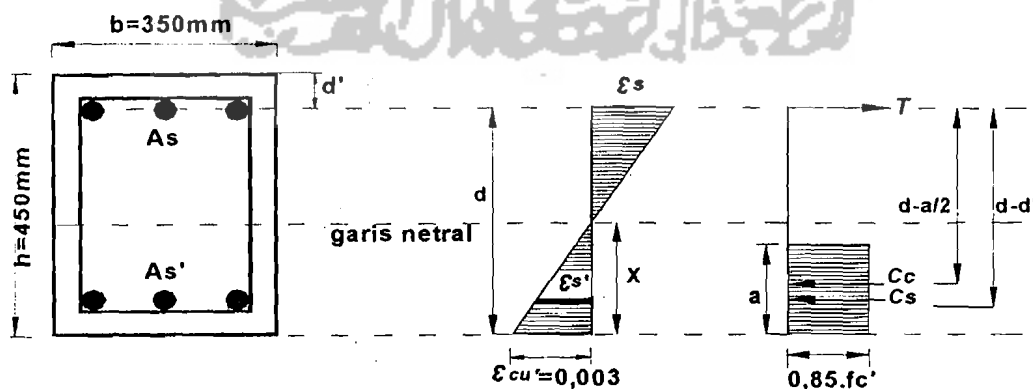
$$M_{tumpuan} = 378,240 - 37,824 = 340,417 \text{ kNm}$$

$$M_{tumpuan} = 42,331 + 37,824 = 80,155 \text{ kNm}$$

$$M_{lapangan} = 261,155 + 37,824 = 298,979 \text{ kNm}$$

- Perhitungan lentur balok induk dan perhitungan momen nominal aktual balok induk (Cara perhitungan menurut: Dipohusodo, 1996):

- Untuk momen tumpuan negatif ($M_{tumpuan} = 340,417 \text{ kNm}$)



Gambar 7.1 Analisis balok bertulangan rangkap tumpuan untuk momen negatif.

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

$$= \frac{0,85 \cdot 20}{400} \cdot 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0217$$

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

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

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

$$d' = P(\text{selimut beton}) + \text{Ø tul. Sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \text{Ø tul. lentur}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 25 = 62,50 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 450 - 62,5 = 387,50 \text{ mm}$$

$$x = \frac{600}{(600 + f_y)} \times d = \frac{600}{(600 + 400)} \times 387,50 = 232,50 \text{ mm}$$

$$a = \beta_1 \cdot x = 0,85 \cdot 232,50 = 197,625 \text{ mm}$$

Luas tulangan tarik

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0063 \cdot 350 \cdot 387,50 = 854,438 \text{ mm}^2$$

$$T_1 = A_{s1} \cdot f_y = 854,438 \cdot 400 = 341775 \text{ kN}$$

$$M_{n1} = T_1 \cdot (d - a/2) = 341775 \cdot (387,50 - 197,625/2)$$

$$= 98,666 \text{ kNm} < (M_u/0,8 = 123,333 \text{ kNm})$$

$$M_n = M_u/0,8 = 340,417/0,8 = 425,521 \text{ kNm}$$

$$M_{n2} = M_n - M_{n1} = 425,521 - 123,333 = 302,188 \text{ kNm}$$

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

$$T_2 = C_s \cdot A_{n2} (d - d') = 302,188 \cdot 10^6 / (387,50 - 62,50) = 929810 \text{ kN}$$

Periksa regangan tulangan tekan:

$$\epsilon_s = [(x - d')/x] \epsilon_{cu} = [(232,50 - 62,50)/232,50] 0,003 = 0,0022$$

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

$$\varepsilon_s > \varepsilon_y$$

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

$$\text{dan } f'_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

Luas tulangan tekan:

$$A_{s'} = C_s/f_s = 929810/400 = 2324,525 \text{ mm}^2$$

Tambahan luas tulangan tarik:

$$A_{s2} = T_2/f_y = 929810/400 = 2324,525 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan tarik:

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 854,438 + 2324,525 = 3178,963 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan:

$$\text{- Tulangan tarik/atas : } \mathbf{8D25} = 3926,991 \text{ mm}^2 > A_s = 3178,963 \text{ mm}^2$$

$$\text{- Tulangan tekan/bawah : } \mathbf{6D25} = 2945,243 \text{ mm}^2 > A_{s'} = 2688,219 \text{ mm}^2$$

Periksa kapasitas penampang:

$$A_s = 3926,991 \text{ mm}^2, A_{s'} = 2945,243 \text{ mm}^2$$

$$d' = 62,50 \text{ mm}, d = 387,50 \text{ mm}$$

Anggap tulangan tarik dan tulangan tekan telah leleh:

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a = 0,85 \cdot 20 \cdot 350 \cdot a = 5950a$$

$$C_s = A_{s'} \cdot (f_y - 0,85 \cdot f'_c) = 2945,243 \cdot (400 - 0,85 \cdot 20) = 1504037,553 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot f_y = 3926,991 \cdot 400 = 1570796,40 \text{ N}$$

Keseimbangan gaya-gaya dalam:

$$T = C_c + C_s$$

$$1570796,40 = 5950a + 1504037,553$$

$$a = 11,220 \text{ mm}$$

$$x = a / \beta_1 = 11,220 / 0,85 = 13,200 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s' = [(x - d') / x] \varepsilon_{cu} = [(13,200 - 62,50) / 13,200] 0,003 = -0,0112 < (\varepsilon_y = 0,002)$$

$$\varepsilon_s = [(d - x) / x] \varepsilon_{cu} = [(387,5 - 13,200) / 13,200] 0,003 = 0,0851 > (\varepsilon_y = 0,002)$$

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

Untuk mendapat nilai x digunakan persamaan sebagai berikut:

$$(0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot \beta_1) \cdot x^2 + (600 \cdot A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot x - 600 \cdot d' \cdot A_s' = 0$$

$$(0,85 \cdot 20 \cdot 350 \cdot 0,85) x^2 + (600 \cdot 2945,243 - 3926,991 \cdot 400) x - 600 \cdot 62,5 \cdot 2945,243 = 0$$

$$5057,500 x^2 + 785398,200 x - 147262162,500 = 0$$

dari persamaan di atas didapat $x = 109,827 \text{ mm}$

$$f_s' = [(x - d') / x] 600 = [(109,827 - 62,50) / 109,827] 600 = 258,554 \text{ MPa} \quad (f_s = 400 \text{ MPa})$$

Periksa rasio tulangan

$$\rho = A_s' / (b \cdot d)$$

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

$$= 3926,991 - [(2945,243 \cdot 258,554) / 400] / (350 \cdot 387,5)$$

$$= 0,0149$$

$(\rho_{min} 0,0035) < \rho = 0,0149 \leq (\rho_{maks} = 0,0163)$, memenuhi syarat

$$a = 0,85 \cdot x = 0,85 \cdot 109,827 = 93,353 \text{ mm}$$

Hitung momen nominal aktual negatif tumpuan:

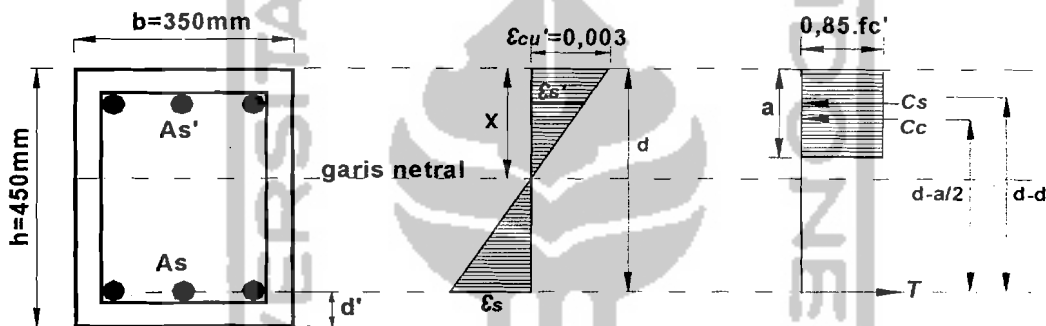
$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a = 0,85 \cdot 20 \cdot 350 \cdot 93,353 \cdot 10^{-3} = 555,450 \text{ kN}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_s' = 2945,243 \cdot 258,554 \cdot 10^{-3} = 1015,339 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nak} &= C_c [d - (a/2)] + C_s \cdot (d - d') \\
 &= 555,450 [387,5 - (93,353/2)] + 1015,339 \cdot (387,5 - 62,5) \cdot 10^{-3} \\
 &= 519,296 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$(\Phi M_{nak \text{ tump}} = 0,8 \cdot 519,296 = 415,436 \text{ kNm}) > (M_{tumpuan} = 340,417 \text{ kNm}) - \text{aman}$$

- Untuk momen tumpuan positif ($M_{tumpuan}^+ = 80,155 \text{ kNm}$)



Gambar 7.2 Analisis balok bertulangan rangkap tumpuan untuk momen positif

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \beta_1 \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 20}{400} \cdot 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0217
 \end{aligned}$$

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

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

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

$$d' = P(\text{selimut beton}) + \emptyset \text{ tul. Sengkang} + \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tul. lentur}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 25 = 62,50 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 450 - 62,5 = 387,50 \text{ mm}$$

$$x = \frac{600}{(600 + f_y)} \times d = \frac{600}{(600 + 400)} \times 387,50 = 232,50 \text{ mm}$$

$$a = \beta_1 \cdot x = 0,85 \cdot 232,50 = 197,625 \text{ mm}$$

Luas tulangan tarik

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0063 \cdot 350 \cdot 387,50 = 854,438 \text{ mm}^2$$

$$T_1 = A_{s1} \cdot f_y = 854,438 \cdot 400 = 341775 \text{ kN}$$

$$M_{n1} = T_1 \cdot (d - a/2) = 341775 \cdot (387,50 - 197,625/2) \\ = 98,666 \text{ kNm} < (M_u/0,8 = 123,333 \text{ kNm})$$

$$M_n = M_u/0,8 = 80,155/0,8 = 100,194 \text{ kNm}$$

$$M_{n2} = M_n - M_{n1} = 100,194 - 123,333 = -23,139 \text{ kNm}$$

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

$$T_2 = C_s \cdot M_{n2}/(d - d') = -23,139 \cdot 10^6 / (387,50 - 62,50) = -71197,692 \text{ kN}$$

Periksa regangan tulangan tekan:

$$\epsilon_s = [(x - d') / x] \epsilon_{cu} = [(232,50 - 62,50) / 232,50] 0,003 = 0,0022$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 400 / 200000 = 0,002$$

$$\epsilon_s > \epsilon_y$$

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

$$\text{dan } f'_s = f_y = 400 \text{ MPa}$$

Luas tulangan tekan:

$$A'_s = C_s \cdot f_s = -71197,692 / 400 = -177,992 \text{ mm}^2$$

Tambahan luas tulangan tarik:

$$A_{s2} = T_2 / f_y = -71197,692 / 400 = -177,992 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan tarik:

$$A_s = A_{s1} - A_{s2} = 854,438 + (-177,992) = 676,446 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan:

- Tulangan tarik/atas : **2D25** = $981,748 \text{ mm}^2 > A_s = 676,446 \text{ mm}^2$

- Tulangan tekan/bawah : **2D25** = $981,748 \text{ mm}^2 > A_{s'} = -177,992 \text{ mm}^2$

Periksa kapasitas penampang:

$$A_s = 981,748 \text{ mm}^2, A_{s'} = 981,748 \text{ mm}^2$$

$$d' = 62,50 \text{ mm}, d = 387,50 \text{ mm}$$

Anggap tulangan tarik dan tulangan tekan telah leleh:

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a = 0,85 \cdot 20 \cdot 350 \cdot a = 5950a$$

$$C_s = A_{s'} \cdot (f_s - 0,85 \cdot f'_c) = 981,748 \cdot (400 - 0,85 \cdot 20) = 376009,371 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot f_s = 981,748 \cdot 400 = 392699,200 \text{ N}$$

Keseimbangan gaya-gaya dalam:

$$T = C_c + C_s$$

$$392699,200 = 5950a + 376009,371$$

$$a = 2,805 \text{ mm}$$

$$x = a / \beta_1 = 2,805 / 0,85 = 3,300 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s' = [(x - d') / x] \epsilon_{cu} = [(3,300 - 62,50) / 3,300] 0,003 = -0,054 < (\epsilon_y = 0,002)$$

$$\epsilon_s = [(d - x) / x] \epsilon_{cu} = [(387,5 - 3,300) / 3,300] 0,003 = 0,349 > (\epsilon_y = 0,002)$$

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

Untuk mendapat nilai x digunakan persamaan sebagai berikut:

$$(0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot \beta_1) \cdot x^2 - (600 \cdot A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot x - 600 \cdot d' \cdot A_s' = 0$$

$$(0,85 \cdot 20 \cdot 350 \cdot 0,85) x^2 + (600 \cdot 981,748 - 981,748 \cdot 400) x - 600 \cdot 62,5 \cdot 981,748 = 0$$

$$5057,500 x^2 + 196349,600 x - 36815550 = 0$$

dari persamaan di atas didapat $x = 68,074$ mm

$$f_s' = [(x - d') / x] 600 = [(68,074 - 62,50) / 68,074] \cdot 600 = 49,129 \text{ MPa} < (f_y = 400 \text{ MPa})$$

Periksa rasio tulangan

$$\rho = A_s / (b \cdot d)$$

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

$$= 981,748 - [(981,748 \cdot 49,129 / 400)] / (350 \cdot 387,5)$$

$$= 0,00635$$

$$(\rho_{min} 0,0035) < \rho = 0,00635 \leq (\rho_{maks} = 0,0163), \text{ memenuhi syarat}$$

$$a = 0,85 \cdot x = 0,85 \cdot 68,074 = 57,863 \text{ mm}$$

Hitung momen nominal aktual negatif tumpuan:

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a = 0,85 \cdot 20 \cdot 350 \cdot 57,863 \cdot 10^{-3} = 344,284 \text{ kN}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_s' = 981,748 \cdot 49,129 \cdot 10^{-3} = 48,232 \text{ kN}$$

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

$$= 344,284 [387,5 - (57,863/2)] + 48,232 \cdot (387,5 - 62,5) \cdot 10^{-3}$$

$$= 139,125 \text{ kNm}$$

$$(\Phi M_{nak \text{ tump}} = 0,8 \cdot 139,125 = 111,300 \text{ kNm}) > (M^+_{tumpuan} = 80,155 \text{ kNm}) - \text{aman}$$

- Untuk momen lapangan positif ($M_{u \text{ lapangan}} = 298,979 \text{ kNm}$)

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

$$= \frac{0,85 \cdot 20}{400} \cdot 0,85 \left(\frac{600}{600 + 400} \right) = 0,0217$$

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

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

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

$$d' = P(\text{selimut beton}) + \emptyset \text{ tul. Sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul. lentur} \\ = 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 25 = 62,50 \text{ mm}$$

$$d = h - d' = 450 - 62,5 = 387,50 \text{ mm}$$

$$x = \frac{600}{(600 + f_y)} \times d = \frac{600}{(600 + 400)} \times 387,50 = 232,50 \text{ mm}$$

$$a = \beta_1 \cdot x = 0,85 \cdot 232,50 = 197,625 \text{ mm}$$

Luas tulangan tarik

$$A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0063 \cdot 350 \cdot 387,50 = 854,438 \text{ mm}^2$$

$$T_1 = A_{s1} \cdot f_y = 854,438 \cdot 400 = 341775 \text{ kN}$$

$$M_{n1} = T_1 \cdot (d - a/2) = 341775 \cdot (387,50 - 197,625/2)$$

$$= 98,666 \text{ kNm} < (M_u/0,8 = 123,333 \text{ kNm})$$

$$M_n = M_u/0,8 = 298,979/0,8 = 373,723 \text{ kNm}$$

$$M_{n2} = M_n - M_{n1} = 373,723 - 123,333 = 250,391 \text{ kNm}$$

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

$$T_2 = C_s = M_{n2}/(d - d') = 250,391 \cdot 10^6 / (387,50 - 62,50) = 770433,079 \text{ kN}$$

Periksa regangan tulangan tekan:

$$\epsilon_s = [(x - d')/x] \epsilon_{cu} = [(232,50 - 62,50)/232,50] \cdot 0,003 = 0,0022$$

$$\epsilon_y = f_y/E_s = 400/200000 = 0,002$$

$$\epsilon_s > \epsilon_y$$

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

dan $f'_s = f_y = 400$ MPa

Luas tulangan tekan:

$$A_{s'} = C_s / f_s = 770433,079 / 400 = 1926,083 \text{ mm}^2$$

Tambahan luas tulangan tarik:

$$A_{s2} = T_2 / f_y = 770433,079 / 400 = 1926,083 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan tarik:

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 854,438 + 1926,083 = 2780,521 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan:

- Tulangan tarik/atas : **6D25** = $2945,243 \text{ mm}^2 > A_s = 2780,521 \text{ mm}^2$

- Tulangan tekan/bawah : **4D25** = $1963,495 \text{ mm}^2 > A_{s'} = 1926,083 \text{ mm}^2$

Periksa kapasitas penampang:

$$A_s = 2945,243 \text{ mm}^2, A_{s'} = 1963,495 \text{ mm}^2$$

$$d' = 62,50 \text{ mm}, d = 387,50 \text{ mm}$$

Anggap tulangan tarik dan tulangan tekan telah leleh:

$$C_c = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a = 0,85 \cdot 20 \cdot 350 \cdot a = 5950a$$

$$C_s = A_{s'} \cdot (f_y - 0,85 \cdot f'_c) = 1963,495 \cdot (400 - 0,85 \cdot 20) = 1128028,172 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot f_y = 2945,243 \cdot 400 = 1178097,20 \text{ N}$$

Keseimbangan gaya-gaya dalam:

$$T = C_c + C_s$$

$$1178097,20 = 5950a + 1128028,172$$

$$a = 8,415 \text{ mm}$$

$$x = a / \beta_1 = 8,415 / 0,85 = 9,900 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s' = [(x - d')/x] \varepsilon_{cu} = [(9,900 - 62,50)/9,900]0,003 = -0,0159 < (\varepsilon_y = 0,002)$$

$$\varepsilon_s = [(d - x)/x] \varepsilon_{cu} = [(387,5 - 9,900)/9,900]0,003 = 0,114 > (\varepsilon_y = 0,002)$$

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

Untuk mendapat nilai x digunakan persamaan sebagai berikut:

$$(0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot \beta_1) \cdot x^2 + (600 \cdot A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot x - 600 \cdot d' \cdot A_s' = 0$$

$$(0,85 \cdot 20 \cdot 350 \cdot 0,85) x^2 + (600 \cdot 1963,495 - 2945,243 \cdot 400)x - 600 \cdot 62,5 \cdot 1963,495$$

$$= 0$$

$$5057,500 x^2 + 589048,600 x - 110446612,500 = 0$$

dari persamaan di atas didapat $x = 100,590$ mm

$$f_s' = [(x - d')/x] 600 = [(100,590 - 62,50)/100,590] \cdot 600 = 227,199 \text{ MPa} < (f_y =$$

400MPa)

Periksa rasio tulangan

$$\rho = A_s / (b \cdot d)$$

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

$$= 2945,243 - [(1963,495 \cdot 227,199 / 400)] / (350 \cdot 387,5)$$

$$= 0,0135$$

$(\rho_{min} 0,0035) < \rho = 0,0135 \leq (\rho_{maks} = 0,0163)$, memenuhi syarat

$$a = 0,85 \cdot x = 0,85 \cdot 100,590 = 85,502 \text{ mm}$$

Hitung momen nominal aktual negatif tumpuan:

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot b \cdot a = 0,85 \cdot 20 \cdot 350 \cdot 85,502 \cdot 10^{-3} = 508,737 \text{ kN}$$

$$C_s = A_s' \cdot f_s' = 1963,495 \cdot 227,199 \cdot 10^{-3} = 669,156 \text{ kN}$$

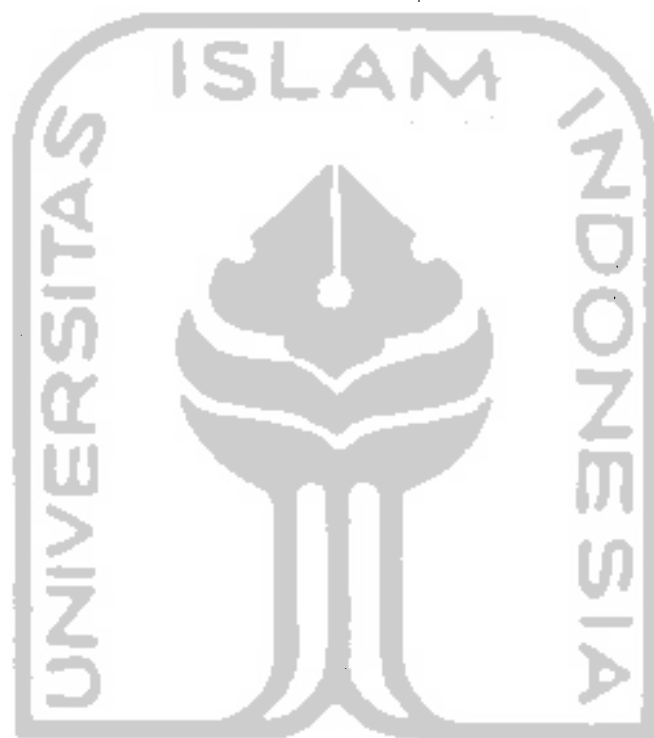
$$M_{nak} = C_c [d - (a/2)] + C_s \cdot (d - d')$$

$$= 508,737 [387,5 - (85,502/2)] + 669,156.(387,5 - 62,5) \cdot 10^{-3}$$

$$= 392,862 \text{ kNm}$$

$$(\Phi M_{nak,lap} = 0,8 \cdot 392,862 = 314,290 \text{ kNm}) > (M_u \text{ lapangan} = 298,979 \text{ kNm}) \text{ -aman-}$$

Dengan cara yang sama didapat penulangan lentur untuk semua balok anak, disajikan dalam Tabel 7.3.a dan Tabel 7.3.b..



جامعة الإسلام في إندونيسيا

7.1.3 Gaya Geser Rencana Balok

Gaya geser rencana balok dapat dihitung dengan rumus (Kusuma dan Andriono,1993):

$$V_{u,b} = 1,05.(V_{D,b} + V_{L,b}) \pm 0,7.1,25. \left[\frac{M_{nak,b} + M'_{nak,b}}{l_n} \right]$$

Tetapi gaya geser terpakai balok tidak perlu lebih besar dari gaya geser maksimum,

$$V_{u,b maks} = 1,05.(V_{D,b} + V_{L,b} \pm 4/K. V_{E,b})$$

Sebagai contoh perhitungan gaya geser rencana balok portal sebagai berikut:

Portal AS X-3 (lantai 1)

Diketahui:

$$V_{D,b} = 67,649 \text{ kN}$$

$$V_{L,b} = 53,759 \text{ kN}$$

$$V_{E,b} = 15,542 \text{ kN}$$

$$M_{nak,b} = 226,287 \text{ kNm}$$

$$M_{nak,b'} = 139,117 \text{ kNm}$$

$$l_n = 7 - 0,5 = 6,5 \text{ m}$$

$$V_{u,b1} = 1,05.(V_{D,b} + V_{L,b}) + 0,7.1,25. \left[\frac{M_{nak,b} + M_{nak,b'}}{l_n} \right]$$

$$= 1,05.(67,649 + 53,759) + 0,7.1,25. \left[\frac{226,287 + 139,117}{6,5} \right] = 182,053 \text{ kNm}$$

$$V_{u,b2} = 1,05.(V_{D,b} + V_{L,b}) - 0,7.1,25. \left[\frac{M_{nak,b} + M_{nak,b'}}{l_n} \right]$$

$$= 1,05.(67,649 + 53,759) - 0,7.1,25. \left[\frac{226,287 + 139,117}{6,5} \right] = 72,905 \text{ kNm}$$

Tidak perlu lebih besar dari:

$$V_{u,b1 \text{ maks}} = 1,05.(V_{D,b} + V_{L,b} + 4/K. V_{E,b}) = \text{kN}$$

$$= 1,05.(67,649 + 53,759 + 4/1. 15,542) = 192,759 \text{ kN}$$

$$V_{u,b2 \text{ maks}} = 1,05.(V_{D,b} + V_{L,b} - 4/K. V_{E,b}) = \text{kN}$$

$$= 1,05.(67,649 + 53,759 - 4/1. 15,542) = 62,202 \text{ kN}$$

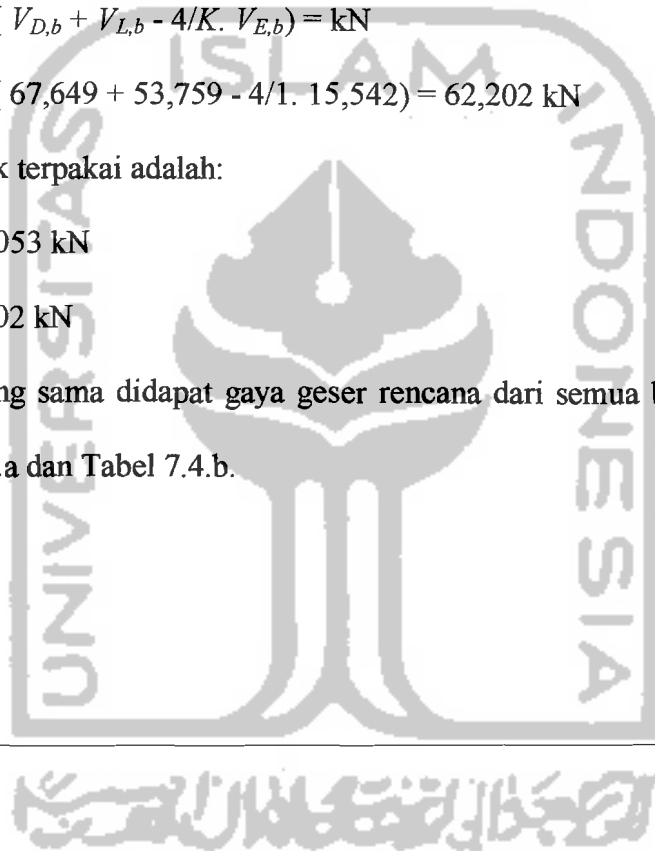
Gaya geser balok terpakai adalah:

$$V_{u,b1 \text{ pakai}} = 182,053 \text{ kN}$$

$$V_{u,b2 \text{ pakai}} = 62,202 \text{ kN}$$

Dengan cara yang sama didapat gaya geser rencana dari semua balok, disajikan

dalam Tabel 7.4.a dan Tabel 7.4.b.



7.1.4 Penulangan Geser Balok

Sebagai contoh perhitungan penulangan geser balok portal AS X-3 (lantai 1) :

a) Daerah sendi plastis ($0 \leq d \leq 2h = 2 \cdot 0,45 = 0,9 \text{ m}$)

$$(V_c = 0)$$

$$V_s = V_{u,b} / \Phi = 182,053 / 0,6 = 303,422 \text{ kN}$$

Dipakai sengkang diameter 10 mm

$$A_v = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2 = 78,540 \text{ mm}^2$$

$$S = A_v \cdot f_y \cdot d / V_s = 4 \cdot 78,540 \cdot 240 \cdot 387,5 \cdot 10^{-3} / 303,422 = 96,291 \text{ mm} \sim 95 \text{ mm}$$

Kontrol jarak sengkang maksimum pada lokasi sendi plastis (SK-SNI, 1991):

- $d/4 = 387,50/4 = 96,875 \text{ mm} = 95 \text{ mm}$
- $8 \cdot \text{diameter tulangan pokok} = 8 \cdot 25 = 200 \text{ mm}$
- $24 \cdot \text{diameter sengkang} = 24 \cdot 10 = 240 \text{ mm}$
- 200 mm
- $1600 \cdot f_y \cdot A_v / [(A_{s,a} + A_{s,b}) \cdot f_y] = 1600 \cdot 400 \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot 10^2) / [(1/4 \cdot \pi \cdot 25^2) \cdot 400] = 256 \text{ mm}$

$$S = 95 \text{ mm} = d/4 = 387,5/4 = 95 \text{ mm}$$

$$S_{\text{terpakai}} = 95 \text{ mm}$$

Dipakai sengkang 4P10-95

Kontrol Kuat geser

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

$$182,053 \text{ kN} \leq 0,6 \cdot (0 + (4 \cdot 78,54 \cdot 240 \cdot 387,5) / 95 \cdot 10^3) = 184,528 \text{ kN} \quad \text{-aman-}$$

b) Daerah kritis ($0 \leq d \leq d = 387,5 \text{ mm}$)

$$V_{u,b \text{ terpakai}} = [(V_{u,b1} - V_{u,b2}) \cdot (l_n - d) / l_n] + V_{u,b2}$$

$$V_{u,b} = (182,053 - 62,202) \frac{6,5 - 0,3875}{6,5} + 62,202 = 174,910 \text{ kN}$$

$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d = 1/6 \cdot \sqrt{20} \cdot 350 \cdot 387,5 \cdot 10^{-3} = 101,089 \text{ kN}$$

$$V_s = V_{u,b} / \Phi - V_c = 174,910 / 0,6 - 101,089 = 190,428 \text{ kN}$$

Dipakai sengkang diameter 10 mm

$$A_v = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 1/4 \cdot 3,14 \cdot 10^2 = 78,540 \text{ mm}^2$$

$$S = A_v \cdot f_y \cdot d / V_s = 4 \cdot 78,540 \cdot 240 \cdot 387,5 \cdot 10^{-3} / 190,428 = 153,427 \text{ mm} \sim 150 \text{ mm}$$

$$S \geq d/4 = 387,5/4 = 96,875 \text{ mm} \sim 95 \text{ mm}$$

Dipakai sengkang 4P10-95

Kontrol Kuat geser

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

$$174,910 \text{ kN} \leq 0,6 \cdot (101,089 + (4 \cdot 78,540 \cdot 240 \cdot 387,5) / 95 \cdot 10^3) = 245,181 \text{ kN} \text{ -ok-}$$

c) Daerah luar sendi plastis ($2h = 900 \text{ mm}$)

$$V_{u,b \text{ terpakai}} = [(V_{u,b1} - V_{u,b2}) \cdot (l_n - d) / l_n] + V_{u,b2} \quad (\text{lihat gambar 7.3})$$

$$V_{u,b} = (182,053 - 62,202) \frac{6,5 - 0,900}{6,5} + 62,202 = 165,460 \text{ kN}$$

$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d = 1/6 \cdot \sqrt{20} \cdot 350 \cdot 387,5 \cdot 10^{-3} = 101,089 \text{ kN}$$

$$V_s = V_{u,b} / \Phi - V_c = (165,460 / 0,6) - 101,089 = 174,678 \text{ kN}$$

Dipakai sengkang diameter 10 mm

$$A_v = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 1/4 \cdot 3,14 \cdot 10^2 = 78,540 \text{ mm}^2$$

$$S = A_v \cdot f_y \cdot d / V_s = 4 \cdot 78,540 \cdot 240 \cdot 387,5 \cdot 10^{-3} / 174,678 = 167,261 \text{ mm} \sim 160 \text{ mm}$$

$$S \leq d/2 = 387,5/2 = 193,750 \text{ mm}$$

Dipakai sengkang 4P10-160

Kontrol Kuat geser

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

$$165,460 \text{ kN} \leq 0,6 \cdot (101,089 + (4 \cdot 78,540 \cdot 240 \cdot 387,5) / 160 \cdot 10^3) = 170,217 \text{ kN} \text{ -ok-}$$

$$V_{u,b1 \text{ pakai}} = 182,053 \text{ kN}$$

$$V_{u,b2 \text{ pakai}} = 62,202 \text{ kN}$$

a) Daerah sendi plastis ($0 \text{ s/d } 2h = 2 \cdot 0,45 = 0,9 \text{ m}$)

$$(V_c = 0)$$

$$V_s = V_{u,b} / \Phi = 182,053 / 0,6 = 303,422 \text{ kN}$$

Dipakai sengkang diameter 10 mm

$$A_v = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 10^2 = 78,540 \text{ mm}^2$$

$$S = A_v \cdot f_y \cdot d / V_s = 4 \cdot 78,540 \cdot 240 \cdot 387,5 \cdot 10^{-3} / 303,422 = 96,291 \text{ mm} \sim 95 \text{ mm}$$

Kontrol jarak sengkang maksimum pada lokasi sendi plastis (SK-SNI, 1991):

- $d/4 = 387,50/4 = 96,875 \text{ mm} = 95 \text{ mm}$
- $8 \cdot \text{diameter tulangan pokok} = 8 \cdot 25 = 200 \text{ mm}$
- $24 \cdot \text{diameter sengkang} = 24 \cdot 10 = 240 \text{ mm}$
- 200 mm
- $1600 \cdot f_y \cdot A_v / [(A_{s,a} + A_{s,b}) \cdot f_y] = 1600 \cdot 400 \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot 10^2) / [(1/4 \cdot \pi \cdot 25^2) \cdot 400] = 256 \text{ mm}$

$$S = 95 \text{ mm} = d/4 = 387,5/4 = 95 \text{ mm}$$

$$S_{\text{terpakai}} = 95 \text{ mm}$$

Dipakai sengkang 4P10-95

Kontrol Kuat geser

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

$$182,053 \text{ kN} \leq 0,6 \cdot (0 + (4 \cdot 78,54 \cdot 240 \cdot 387,5) / 95 \cdot 10^3) = 184,528 \text{ kN} \quad \text{-aman-}$$

b) Daerah kritis ($0 \text{ s/d } d = 387,5 \text{ mm}$)

$$V_{u,b \text{ terpakai}} = [(V_{u,b1} - V_{u,b2}) \cdot (l_n - d) / l_n] + V_{u,b2}$$

$$V_{u,b} = (182,053 - 62,202) \frac{6,5 - 0,3875}{6,5} + 62,202 = 174,910 \text{ kN}$$

$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d = 1/6 \cdot \sqrt{20.350} \cdot 387,5 \cdot 10^{-3} = 101,089 \text{ kN}$$

$$V_s = V_{u,b} / \Phi - V_c = 174,910 / 0,6 - 101,089 = 190,428 \text{ kN}$$

Dipakai sengkang diameter 10 mm

$$A_v = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 1/4 \cdot 3,14 \cdot 10^2 = 78,540 \text{ mm}^2$$

$$S = A_v \cdot f_y \cdot d / V_s = 4 \cdot 78,540 \cdot 240 \cdot 387,5 \cdot 10^{-3} / 190,428 = 153,427 \text{ mm} \sim 150 \text{ mm}$$

$$S \geq d/4 = 387,5/4 = 96,875 \text{ mm} \sim 95 \text{ mm}$$

Dipakai sengkang **4P10-95**

Kontrol Kuat geser

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

$$174,910 \text{ kN} \leq 0,6 \cdot (101,089 + (4 \cdot 78,540 \cdot 240 \cdot 387,5) / 95 \cdot 10^3) = 245,181 \text{ kN} \text{ -ok-}$$

c) Daerah luar sendi plastis ($2h = 900 \text{ mm}$ s/d sisa)

$$V_{u,b \text{ terpakai}} = [(V_{u,b1} - V_{u,b2}) \cdot (l_n - 2h) / l_n] + V_{u,b2} \quad (\text{lihat gambar 7.3})$$

$$V_{u,b} = (182,053 - 62,202) \cdot \frac{6,5 - 0,900}{6,5} + 62,202 = 165,460 \text{ kN}$$

$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d = 1/6 \cdot \sqrt{20.350} \cdot 387,5 \cdot 10^{-3} = 101,089 \text{ kN}$$

$$V_s = V_{u,b} / \Phi - V_c = (165,460 / 0,6) - 101,089 = 174,678 \text{ kN}$$

Dipakai sengkang diameter 10 mm

$$A_v = 1/4 \cdot \pi \cdot d^2 = 1/4 \cdot 3,14 \cdot 10^2 = 78,540 \text{ mm}^2$$

$$S = A_v \cdot f_y \cdot d / V_s = 4 \cdot 78,540 \cdot 240 \cdot 387,5 \cdot 10^{-3} / 174,678 = 167,261 \text{ mm} \sim 160 \text{ mm}$$

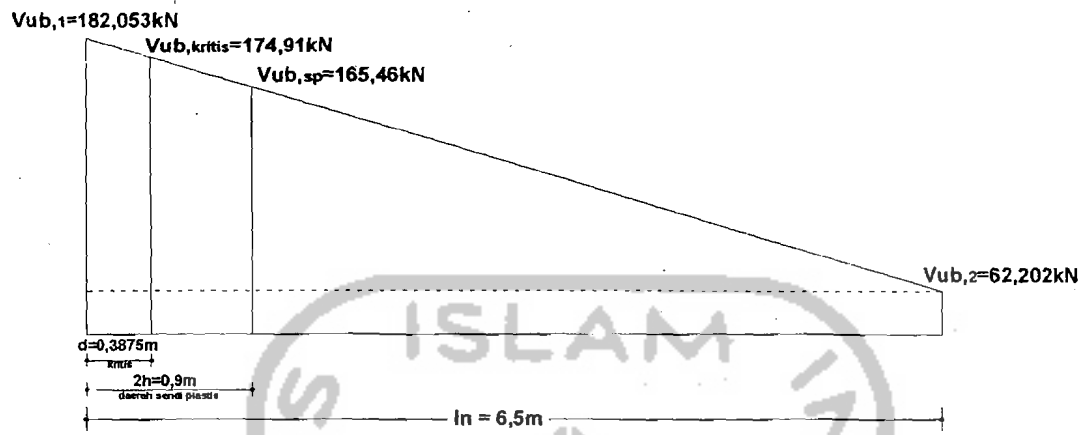
$$S \leq d/2 = 387,5/2 = 193,750 \text{ mm}$$

Dipakai sengkang **4P10-160**

Kontrol kuat geser

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

$$165,460 \text{ kN} \leq 0,6 \cdot (101,089 + (4 \cdot 78,540 \cdot 240 \cdot 387,5) / 160 \cdot 10^3) = 170,217 \text{ kN} \text{ -ok-}$$



Gambar 7.3 Distribusi gaya geser balok

Dengan cara yang sama didapat penulangan geser balok dari semua balok, disajikan pada Tabel 7.5.a dan Tabel 7.5.b.

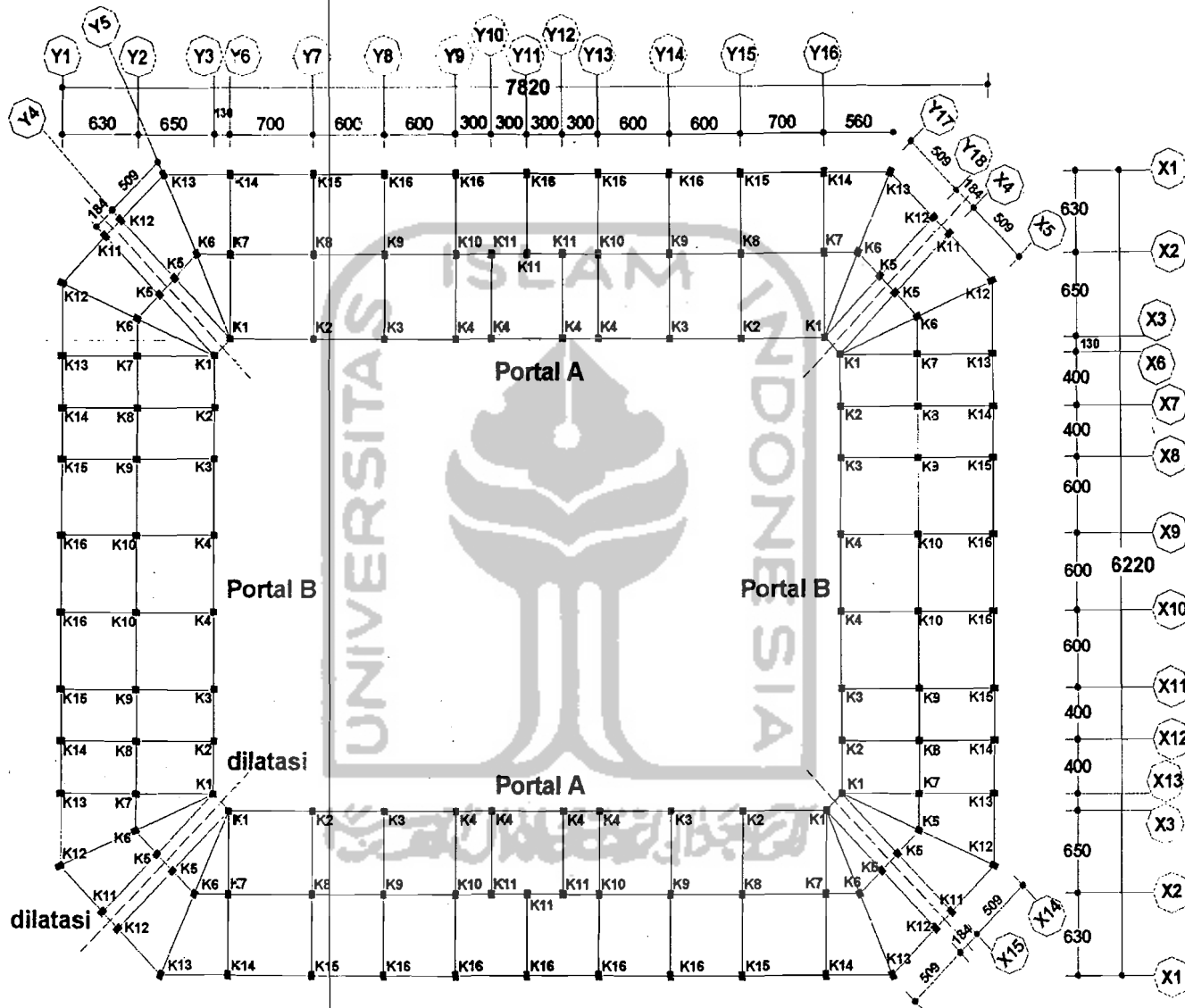
7.2 Desain Kolom

Kolom yang akan didesain telah ditentukan terlebih dahulu letak pada denah rencana kolom dan ukuran dimensinya. Kolom-kolom yang didesain adalah sebagai berikut (lihat gambar 7.4) :

- Semua kolom pada portal X3 & Y3 ukuran 500mm x 500mm
- Semua kolom pada portal X2 & Y2 ukuran 500mm x 600mm
- Semua kolom pada portal X1 & Y1 ukuran 500mm x 700mm

Desain kolom pada pembahasan ini meliputi :

1. Momen rencana kolom
2. Gaya aksial rencana kolom
3. Perhitungan diagram interaksi kolom
4. Cek kelangsingan kolom dan faktor pembesaran momen
5. Penulangan lentur dan aksial kolom
6. Gaya geser rencana kolom
7. Penulangan geser kolom
8. Perencanaan pertemuan kolom



Gambar 7.4 Denah Rencana Kolom

7.2.1 Momen Rencana Kolom

Momen rencana kolom dengan daktilitas penuh yang ditentukan pada muka balok $M_{u,k}$ dihitung berdasarkan terjadinya kapasitas lentur sendi plastis pada kedua ujung balok yang bertemu pada kolom tersebut. Momen rencana kolom ditentukan dengan mengambil nilai terkecil dari persamaan sebagai berikut (Kusuma dan Andriono, 1993):

$$M_{u,k} = \frac{h_n}{h} \cdot 0,7 \cdot \omega_d \cdot \alpha \cdot 1,25 \left[\begin{array}{l} \frac{l_{ki,x}}{l_{nki,x}} \cdot M_{nak,b,ki-x} + \frac{l_{ka,x}}{l_{nka,x}} \cdot M_{nak,b,ka-x} \\ + 0,3 \cdot \left(\frac{l_{ki,y}}{l_{nki,y}} \cdot M_{nak,b,ki-y} + \frac{l_{ka,y}}{l_{nka,y}} \cdot M_{nak,b,ka-y} \right) \end{array} \right]$$

tetapi tidak perlu lebih besar dari:

$$M_{u,k maks} = 1,05 \left[M_{D,k,x} + M_{L,x} + \frac{4}{k} \cdot (M_{E,k,x} + 0,3M_{E,k,y}) \right]$$

Sebagai contoh perhitungan ditinjau pada momen kolom K1 (sejajar sumbu x)

Diketahui:

$$h = 2,8 \text{ m}$$

$$h_n = 2,8 - (0,45/2) = 2,575 \text{ m}$$

$\omega_d = 1$ (untuk kolom lantai 1 dan lantai paling atas)

$$M_{E,k \text{ lt atas}} = 111,777 \text{ kNm}$$

$$M_{E,k \text{ lt 1 bawah}} = 0 \text{ kNm}$$

$$\alpha_{k \text{ atas}} = (M_{E,k \text{ lt atas}}) / (M_{E,k \text{ lt atas}} + M_{E,k \text{ lt 1 bawah}})$$

$$= (111,777) / (111,777 + 0) = 1,000$$

$$M_{nak, b \text{ kiri}, x} = 266,287 \text{ kNm}$$

$$l_{ki,x} = 0,919 \text{ m}$$

$$l_{nki,x} = 0,919 - (0,5/2) = 0,669 \text{ m}$$

$$M_{nak, b \text{ kanan}, x} = 266,287 \text{ kNm}$$

$$l_{ka,x} = 7,00 \text{ m}$$

$$l_{nka,x} = 7,00 - 0,5 = 6,50 \text{ m}$$

$$M_{nak, b \text{ kiri}, y} = 0 \text{ kNm}$$

$$l_{ki,y} = 0 \text{ m}$$

$$l_{nki,y} = 0 \text{ m}$$

7.2.2 Gaya Aksial Rencana Kolom

Gaya aksial rencana $N_{u,k}$ yang bekerja pada kolom dengan daktilitas penuh dihitung dengan rumus sebagai berikut, untuk gaya gempa arah tegak lurus hanya diambil 30% saja. (Kusuma dan Andriono, 1993)

$$N_{u,k} = 1,05 (N_{g,k}) + R_v \cdot 0,7 \cdot 1,25 \left[\left(\frac{\sum M_{nak,b,ki,x}}{l_{n,b,ki,x}} + \frac{\sum M_{nak,b,ka,x}}{l_{n,b,ka,x}} \right) + 0,3 \left(\frac{\sum M_{nak,b,ki,y}}{l_{n,b,ki,y}} + \frac{\sum M_{nak,b,ka,y}}{l_{n,b,ka,y}} \right) \right]$$

tetapi tidak perlu lebih besar dari

$$N_{u,k,max} = 1,05 [N_{g,k} + 4/k \cdot (N_{E,k,x} + 0,3 \cdot N_{E,k,y})]$$

dengan:

$$\sum M_{nak} = M_{nak,b} + M_{nak',b}$$

$$N_{g,k} = N_{D,k} + N_{L,k} \text{ (sesuai arah x atau arah y)}$$

Sebagai contoh perhitungan ditinjau pada kolom K1

Diketahui:

$$N_{D,k,x} = -293,369 \text{ kN}, \quad N_{L,k,x} = -166,529 \text{ kN}$$

$$N_{g,k,x} = -293,369 + (-166,529) = -459,898 \text{ kN}$$

$\sum M_{nak,b}$ sebelah kiri kolom sejajar sumbu x

$$M_{nak,b,-} = 266,287 \text{ kNm}$$

$$M_{nak,b,+} = 139,117 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{nak,b,ki,x} = 266,287 + 139,117 = 405,404 \text{ kNm}$$

$$l_{n,b,ki} = 0,669 \text{ m}$$

$\sum M_{nak,b}$ sebelah kanan kolom sejajar sumbu x

$$M_{nak,b,-} = 266,287 \text{ kNm}$$

$$M_{nak,b,+} = 139,117 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{nak,b,ka,x} = 266,287 + 139,117 = 405,404 \text{ kNm}$$

$$l_{n,b,ka} = 6,500 \text{ m}$$

$\sum M_{nak,b}$ sebelah kiri kolom sejajar sumbu y

$$M_{nak,b-} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{nak,b+} = 0 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{nak,b,ki,y} = 0 \text{ kNm}$$

$$l_{n,b,ki} = 0,669 \text{ m}$$

$\sum M_{nak,b}$ sebelah kanan kolom sejajar sumbu y

$$M_{nak,b-} = 1550,348 \text{ kNm}$$

$$M_{nak,b+} = 961,632 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{nak,b,ka,y} = 1550,348 + 961,632 = 2511,980 \text{ kNm}$$

$$l_{n,b,ka} = 6,972 \text{ m}$$

$$Rv = 1$$

$$N_{E,ki,x} = -146,587 \text{ kN}$$

$$N_{E,ka,x} = 14,383 \text{ kN}$$

$$N_{E,ki,y} = 187,190 \text{ kN}$$

$$N_{E,ka,y} = -212,188 \text{ kN}$$

$$N_{u,k,x} = 1,05 (-459,898) + 1,0,7,1,25 \left[\left(\frac{405,404}{0,669} + \frac{405,404}{6,500} \right) + 0,3 \left(\frac{0}{0} + \frac{2511,980}{6,972} \right) \right] = 196,495 \text{ kN}$$

$$N_{u,k,x1} = 1,05 \cdot (-459,898 + 4/1 \cdot (-146,587 + 0,3 \cdot 187,190)) = -862,699 \text{ kN}$$

$$N_{u,k,x2} = 1,05 \cdot (-459,898 + 4/1 \cdot (14,383 + 0,3 \cdot -212,188)) = -535,719 \text{ kN}$$

$$N_{u,k,x} = 196,495 \text{ kN}$$

$$N_{u,k,x,maks} = -862,699 \text{ kN}$$

$$\text{Dipakai } N_{u,k,x} = 196,495 \text{ kN}$$

Dengan cara yang sama didapat gaya aksial rencana kolom-kolom, disajikan pada lampiran Tabel 7.9.a dan 7.9.b, untuk gaya aksial maksimum kolom-kolom disajikan pada lampiran Tabel 7.10.a dan 7.10.b, untuk gaya aksial terpakai kolom-kolom disajikan dalam Tabel 7.11.a dan 7.11.b.

$$M_{nak, b \text{ kanan}, y} = (160,272+234,051+234,051+380,528+234,051+307,395) \\ = 1550,348 \text{ kNm}$$

$$l_{ka,y} = 7,522 \text{ m}$$

$$l_{nka,y} = 7,522 - (0,55) = 6,972 \text{ m}$$

$$M_{D,k .x atas} = 30,289 \text{ kNm}$$

$$M_{L,k .x atas} = 29,658 \text{ kNm}$$

$$M_{Eki,k .x atas} = -111,777 \text{ kNm}$$

$$M_{Eki,k .y atas} = 13,842 \text{ kNm}$$

$$M_{u,k .x atas} = (2,575/2,8) \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,25 [((0,919/0,669) \cdot 266,287) \\ + ((7,00/6,50) \cdot 266,287) + (0,3(((0/0) \cdot 0) + ((7,522/6,972) \cdot 1550,348)))] \\ = 928,901 \text{ kNm}$$

$$M_{u,k .x atas maks} = 1,05 \cdot [30,289 + 29,658 + ((4/1) \cdot (-111,777 + 0,3 \cdot 13,842))] \\ = -389,078 \text{ kNm}$$

$$\text{dipakai } M_{u,k .x atas} = -389,078 \text{ kNm}$$

Dengan cara yang sama dapat dihitung momen rencana kolom-kolom disajikan pada Tabel 7.6.a dan Tabel 7.6.b, untuk momen maksimum kolom-kolom disajikan pada Tabel 7.7.a dan Tabel 7.7.b, dan untuk momen terpakai kolom-kolom disajikan dalam Tabel 7.8.a dan Tabel 7.8.b.

7.2.3 Perhitungan Diagram Interaksi Kolom

Sebagai contoh perhitungan diagram interaksi kolom 500 mm x 500 mm ditinjau pada $\rho_g = 0.024$, diketahui :

Tulangan yang dianalisis 12D25 (terdistribusi merata pada tiap sisi)

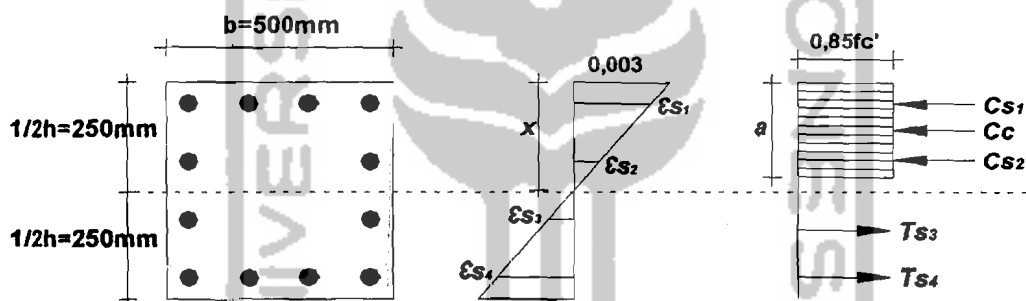
$$A_s = (1/4) \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot 12 = 5890,486 \text{ mm}^2$$

$$\rho = A_s / A_g = 5890,486 / 250.000 = 0,024$$

$$f'_c = 20 \text{ Mpa}, f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$b = 500 \text{ mm}, h = 500 \text{ mm}, A_g = 500 \times 500 = 250.000 \text{ mm}^2$$

$$d' = 60 \text{ mm}, d = 500 - 60 = 440 \text{ mm}$$



Gambar 7.5 Penampang dengan tulangan terdistribusi merata pada keempat sisinya

Pada contoh perhitungan ini digunakan pada kondisi *balance* (seimbang),

$$xb = 600 / (600 + 400) \cdot 440 = 264 \text{ mm}$$

Jarak masing-masing tulangan pada serat beton yang tertekan ditentukan sebagai berikut:

$$\text{Lapis 1, } A_{s1} = (1/4) \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot 4 = 1962,5 \text{ mm}^2$$

$$d_1 = d' = 60 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{s1} = 0,003 \cdot ((264 - 60) / 264)$$

$$f_{s1} = 600 \cdot ((264 - 60) / 264) = 463,636 \text{ MPa} > f_y \text{ maka}$$

$$C_{s1} = A_{s1} \cdot (f_s - 0,85 \cdot f'_c) = 1962,5 \cdot (400 - 0,85 \cdot 20) = 751637,5 \text{ N}$$

$$\text{Lapis 2, } A_{s2} = (1/4) \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot 2 = 981,25 \text{ mm}^2$$

$$d_2 = 60 + ((500 - 2 \cdot 60) / 3) = 186,667 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{s2} = 0,003 \cdot ((264 - 186,667) / 264)$$

$$f_{s2} = 600 \cdot ((264 - 186,667) / 264) = 152 \text{ MPa} < f_y \text{ maka}$$

$$C_{s2} = A_s \cdot (f_s - 0,85 \cdot f_c) = 981,25 \cdot (152 - 0,85 \cdot 20) = 155780,9 \text{ N}$$

$$\text{Lapis 3, } A_{s3} = (1/4) \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot 2 = 981,25 \text{ mm}^2$$

$$d_3 = 60 + 2 \cdot ((500 - 2 \cdot 60) / 3) = 313,333 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{s3} = 0,003 \cdot ((264 - 313,333) / 264)$$

$$f_{s3} = 600 \cdot ((264 - 313,333) / 264) = -152 \text{ MPa} < -f_y \text{ maka}$$

$$C_{s3} = 981,25 \cdot (-152) = -110018,9 \text{ N}$$

$$\text{Lapis 4, } A_{s4} = (1/4) \cdot \pi \cdot 25^2 \cdot 4 = 1962,5 \text{ mm}^2$$

$$d_4 = 60 + 3 \cdot ((500 - 2 \cdot 60) / 3) = 440 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{s4} = 0,003 \cdot ((264 - 440) / 264)$$

$$f_{s4} = 600 \cdot ((264 - 440) / 264) = -456 \text{ MPa} > -f_y \text{ maka}$$

$$C_{s4} = 1962,5 \cdot (-400) = -785000 \text{ N}$$

Untuk gaya desak serat beton:

$$C_c = 0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b = 0,85 \cdot 20 \cdot (0,85 \cdot 264) \cdot 500 = 1907400,0 \text{ N}$$

Dengan demikian,

$$0,65P_n = 0,65(C_c + C_{s1} + C_{s2} + C_{s3} + C_{s4})$$

$$= 0,65((1907400 + 752018,585 + 155780,9 + (-110018,9) + (-785000))) \cdot 10^{-3}$$

$$= 1247,9 \text{ kN}$$

Perhitungan momennya adalah sebagai berikut,

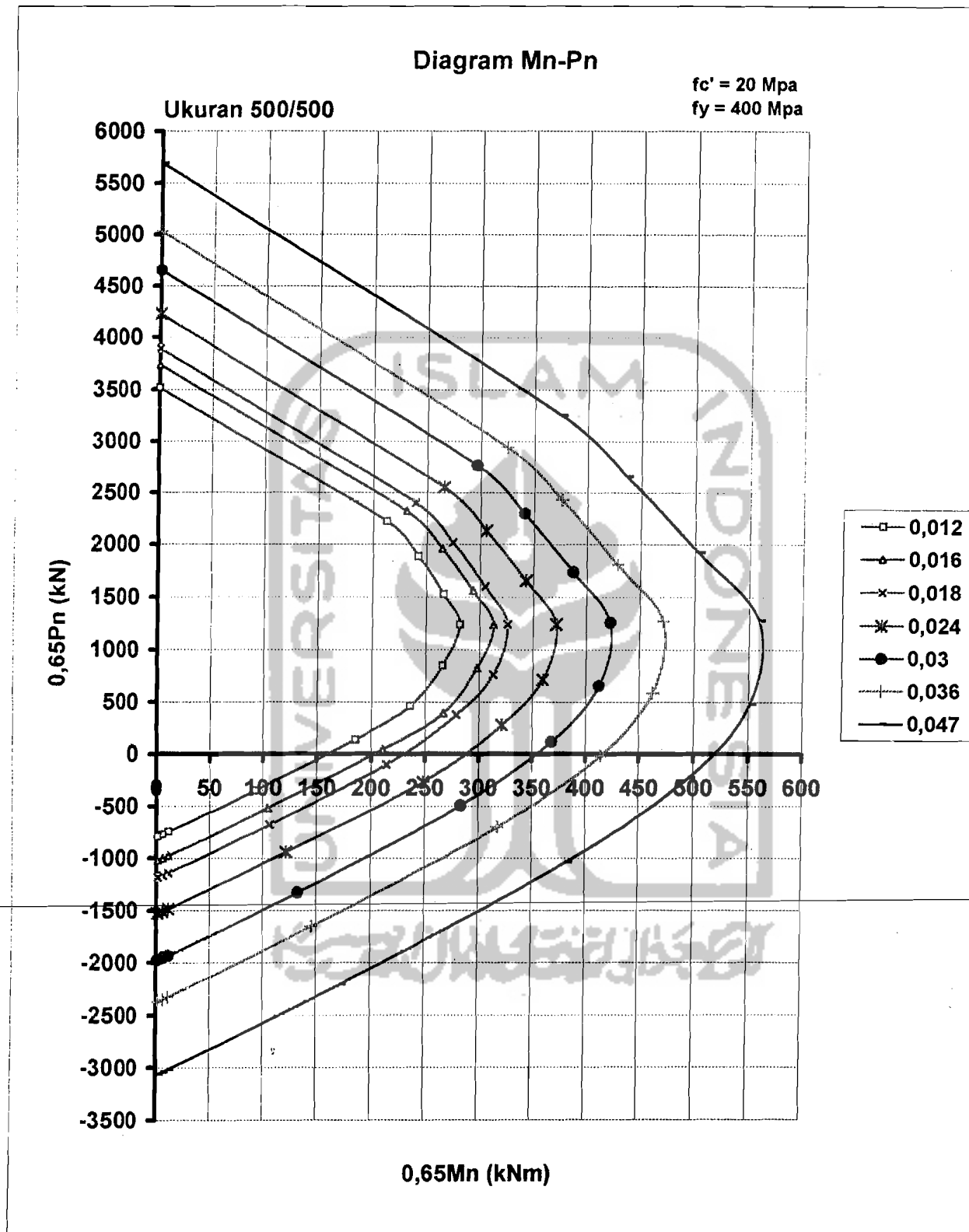
$$0,65M_n = 0,65[C_c \cdot 1/2 \cdot (h - a) + \sum C_{si} \cdot (1/2 h - d_i)]$$

$$= 0,65[1907400 \cdot 1/2 \cdot (500 - 224,4) + 752018,585 \cdot (264 - 60) + 155780,9$$

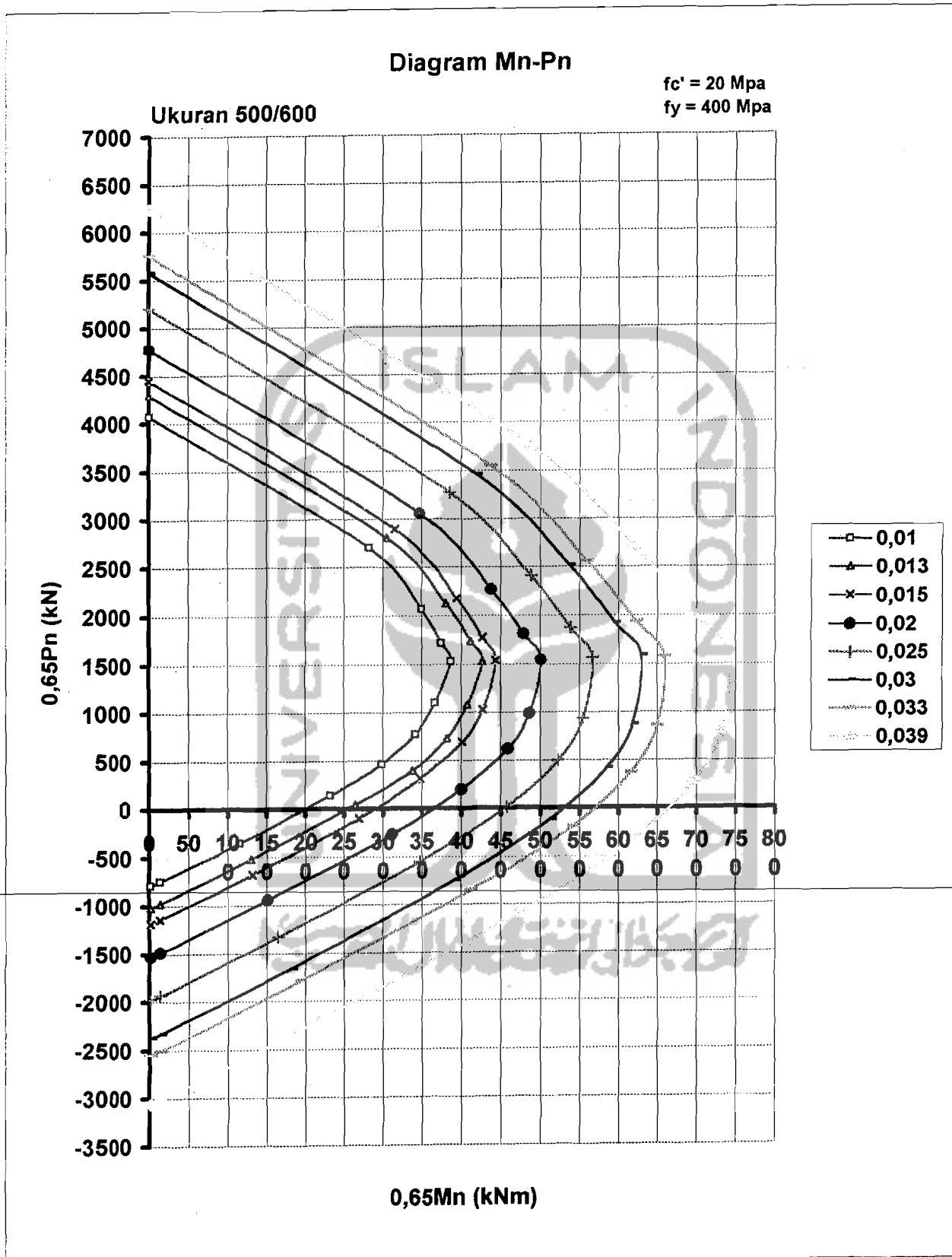
$$\cdot (264 - 186,667) + (-110018,9) \cdot (264 - 313,333) + (-785000) \cdot (264 - 440)] \cdot 10^{-6}$$

$$= 371,6 \text{ kNm}$$

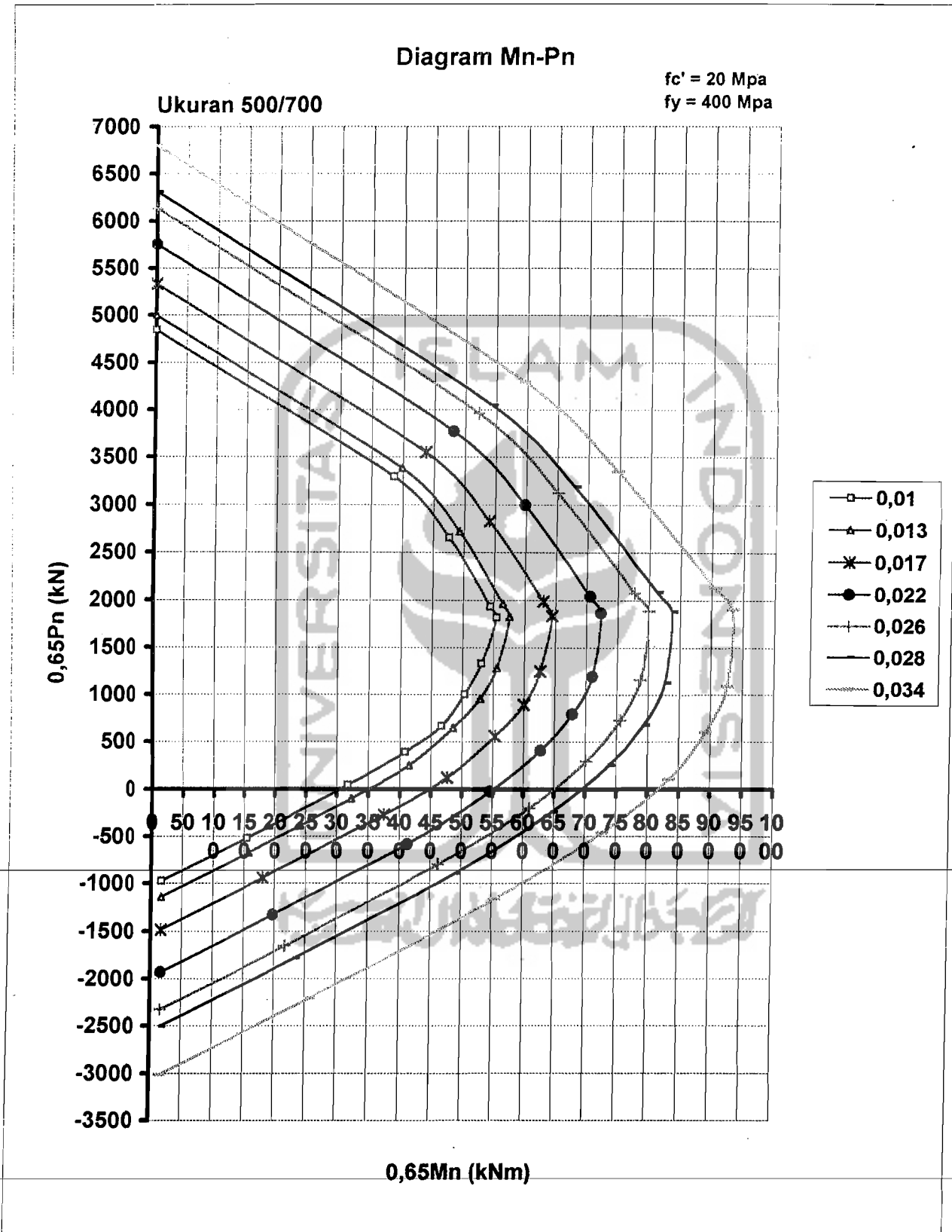
Dengan cara yang sama dihitung pula untuk kondisi x yang lain, sehingga dapat digambarkan diagram interaksi kolom. Dihitung pula untuk kolom ukuran 500 mm x 600 mm dan 500 mm x 700 mm. Seluruh perhitungan disajikan dalam Tabel 7.12.a, Tabel 7.12.b, dan Tabel 7.12.c, beserta diagramnya dalam Gambar 7.6 – 7.8 untuk kepentingan penulangan.



Gambar 7.6 Diagram Mn-Pn kolom ukuran 500mm x 500mm



Gambar 7.7 Diagram Mn-Pn kolom ukuran 500mm x 600mm



Gambar 7.8 Diagram Mn-Pn kolom ukuran 500mm x 700mm

7.2.4 Perhitungan Kelangsingan Kolom dan Faktor Pembesaran Momen

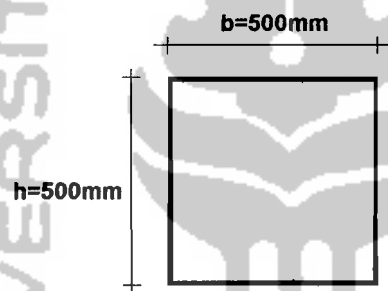
Sebagai contoh perhitungan kelangsingan kolom dan pembesaran momen ditinjau pada kolom K2 (sejajar sumbu x).

- Cek kelangsingan kolom

$$\beta_d = \frac{1,2M_{D,K}}{(1,2M_{D,K} + 1,6M_{L,k})}$$

$$= \frac{1,2 \cdot 25,78}{(1,2 \cdot 25,78 + 1,6 \cdot 33,48)} = 0,366$$

- Ukuran kolom: $b = 500 \text{ mm}$, $h = 500 \text{ mm}$



Gambar 7.9 Penampang melintang kolom ukuran 500 mm x 500 mm

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 4700 \cdot \sqrt{20} = 21019,039 \text{ Mpa}$$

$$I_k = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 500 \cdot 500^3 = 5208333333 \text{ mm}^4$$

$$EI_k = \frac{\left(\frac{E_c \cdot I_k}{2,5} \right)}{1 + \beta_d} = \frac{\left(\frac{21019,039 \cdot 5208333333}{2,5} \right)}{1 + 0,366} = 3,2057\text{E}13 \text{ Nmm}^2$$

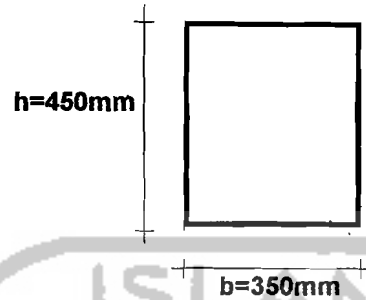
$$l_k = 2800 \text{ mm (panjang kolom lantai 1)}$$

$$l_{n,k} = 2800 - (0,5 \cdot 450) = 2775 \text{ mm (panjang bersih kolom lantai 1)}$$

$$l_k = 0 \text{ (panjang kolom lantai 2)}$$

$$l_{n,k} = 0 \text{ (panjang bersih kolom lantai 2)}$$

- Ukuran balok lantai 1 : $h = 450 \text{ mm}$, $b = 350 \text{ mm}$



Gambar 7.10 Penampang melintang balok ukuran 350 mm x 450 mm

$$E_c = 4700 \cdot \sqrt{f'_c} = 4700 \cdot \sqrt{20} = 21019,039 \text{ Mpa}$$

$$I_b = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 350 \cdot 450^3 = 2657812500 \text{ mm}^4$$

$$EI_{b,a} = \frac{\left(\frac{E_c \cdot I_b}{5} \right)}{1 + \beta_d} = \frac{\left(\frac{21019,039 \cdot 2657812500}{5} \right)}{1 + 0,366} = 8,179E12 \text{ Nmm}^2$$

$$l_b = 7000 \text{ mm (panjang balok sebelah kiri kolom)}$$

$$l_{n,b} = 7000 - 500 = 6500 \text{ mm (panjang bersih balok sebelah kiri kolom)}$$

$$l_h = 6000 \text{ mm (panjang balok sebelah kanan kolom)}$$

$$l_{n,b} = 6000 - 500 = 5500 \text{ mm (panjang bersih balok sebelah kanan kolom)}$$

- Kekuatan relatif kolom bagian atas

$$\psi_A = \frac{\sum \left(\frac{EI_k}{l_{n,k}} \right)}{\sum \left(\frac{EI_b}{l_{n,b}} \right)} = \frac{\frac{3,2057E13}{2575} + \frac{3,2057E13}{0}}{\frac{8,179E12}{6500} + \frac{8,179E12}{5500}} = 4,534$$

$$\begin{aligned}\delta_{sx} &= 1 / [1 - (\Sigma P_u / \Sigma \phi P_c)] \\ &= 1 / [1 - (1302,07 / 0,65 \cdot 273716,53)] \\ &= 1,008 > 1\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama didapat perhitungan kolom dan faktor kelangsingan kolom-kolom yang lain, disajikan pada Tabel 7.13.a dan Tabel 7.13.b.



7.2.5 Penulangan Kombinasi Lentur dan Aksial Kolom

Sebagai contoh perhitungan penulangan lentur kolom ditinjau pada kolom K2 (portal A), sebagai berikut :

Diketahui dari perhitungan sebelumnya:

$$P_u = N_{u,k} = 234,984 \text{ kN}$$

$$M_{u,k,x} = 445,665 \text{ kNm} ; \delta_{s,x} = 1,008$$

$$M_{c,x} = \delta_{s,x} \cdot M_{u,k,x} = 445,665 \cdot 1,008 = 449,363 \text{ kNm}$$

$$M_{u,k,y} = 177,989 \text{ kNm} ; \delta_{s,y} = 1,011$$

$$M_{c,y} = \delta_{s,y} \cdot M_{u,k,y} = 177,989 \cdot 1,011 = 179,972 \text{ kNm}$$

Eksentrisitasnya kolom yang terjadi adalah :

$$e_x = M_{c,y} / P_u = 179,972 / 234,984 = 0,769 \text{ m}$$

$$e_y = M_{c,x} / P_u = 449,363 / 234,984 = 1,921 \text{ m}$$

- Perencanaan tulangan kolom arah x

$$M_c = 179,972 \text{ kNm}$$

$$P_u = N_{u,k} = 234,984 \text{ kN}$$

Dari diagram Interaksi Kolom 500 mm x 500 mm (Gambar 7.6), diambil penulangan 8D22 dengan $A_{st} = 3039,52 \text{ mm}^2$, jadi $\rho_g \quad A_{st}/A_g = 3039,52/250000 = 0,012$. $A_s = A_s' = 0,5 \cdot A_{st} = 0,5 \cdot 3039,52 = 1519,76 \text{ mm}^2$.

Sedangkan eksentrisitas kolom dalam keadaan seimbang (e_b) adalah $0,65Mn/0,65Pn = 1242,9/281,1 = 0,226\text{m}$. (lihat tabel 7.12.a)

Cek dengan rumus pendekatan Whitney untuk menentukan tulangan kolom terpasang aman digunakan atau tidak.

Eksentrisitas kolom yang terjadi ($e_x = 0,769 \text{ m}$) > eksentrisitas kolom seimbang ($e_b = 0,226\text{m}$), maka kondisinya adalah patah tarik.

Kontrol Whitney pada kondisi patah tarik :

$$\begin{aligned} e' &= \left[e + \left(d - \frac{h}{2} \right) \right] \\ &= \left[0,769 \cdot 10^3 + \left(440 - \frac{500}{2} \right) \right] \\ &= 955,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 20} = 23,529$$

$$\rho = \frac{A_s'}{b \cdot d} = \frac{1519,76}{500 \cdot 440} = 0,0069$$

$$P_n = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot d \cdot \left[\left(1 - \frac{e'}{d} \right) + \sqrt{\left(1 - \frac{e'}{d} \right)^2 + 2m\rho \cdot \left(1 - \frac{d'}{d} \right)} \right]$$

$$= 0,85 \cdot 20 \cdot 500 \cdot 440 \cdot \left[\left(1 - \frac{955,89}{440} \right) + \sqrt{\left(1 - \frac{955,89}{440} \right)^2 + 2 \cdot 23,529 \cdot 0,0069 \cdot \left(1 - \frac{60}{440} \right)} \right]$$

$$= 426,988 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0,65 \cdot 426,988 = 277,542 \text{ kN} > P_u = 234,984 \text{ kN} \quad \text{-aman-}$$

Jadi tulangan kolom 8D22, dengan penempatan tulangan kolom 3D22 di masing-masing sisinya dapat dipergunakan pada kolom K2.

Dengan cara yang sama didapat penulangan lentur untuk semua kolom, disajikan dalam Tabel 7.14.a dan 7.14.b .

7.2.6. Gaya Geser Rencana Kolom

Gaya geser rencana kolom diperoleh dengan menentukan nilai terkecil dari persamaan berikut (Andriono dan Takim, 1993)

$$V_{u,k} = (M_{u,k \text{ atas}} + M_{u,k \text{ bawah}})/h_n$$

tetapi tidak perlu lebih besar dari:

$$V_{u,k \text{ maks}} = 1,05 \cdot (V_{D,k,x} + V_{L,k,x} + 4/K \cdot (V_{E,k,x} + 0,3 \cdot V_{E,k,y}))$$

Dengan harga $K = 1$

Akan tetapi pada lantai dasar dan lantai paling atas yang memperbolehkan terjadinya sendi plastis pada kolom, gaya geser rencana kolom dihitung berdasarkan momen kapasitas dari kolom.

$$V_{u,k \text{ lantai } 1} = (M_{u,k \text{ atas lt.1}} + M_{kap,k \text{ lt.1}})/h_n$$

$$V_{u,k \text{ lantai } \text{tribun}} = (2 \cdot M_{kap,k \text{ lt } \text{tribun}})/h_n$$

Sebagai contoh perhitungan ditinjau pada kolom K2 (portal A) sejajar sumbu x :

$$M_{u,k \text{ atas-x}} = 445,665 \text{ kNm} ; M_{u,k \text{ atas-y}} = 177,989 \text{ kNm}$$

Menentukan momen kapasitas kolom:

$$P_{n-x} = 426,988 \text{ kN (hasil perhitungan sebelumnya, tulangan pokok 8D22)}$$

$$e_x = 0,769 \text{ m}$$

$$M_{kap,k,x} = 1,25 \cdot P_{n-x} \cdot e_x = 1,25 \cdot 426,988 \cdot 0,769 = 410,781 \text{ kNm}$$

$$P_{n-y} = 410,92 \text{ kN (hasil perhitungan sebelumnya, tulangan pokok 24D22)}$$

$$e_y = 1,912 \text{ m}$$

$$M_{kap,k,y} = 1,25 \cdot P_{n-y} \cdot e_y = 1,25 \cdot 410,92 \cdot 1,912 = 982,099 \text{ kNm}$$

Perhitungan gaya geser kolom ditambah 30% gaya geser arah tegak lurus yang ditinjau.

Karena kolom K2 adalah kolom lantai 1 dan sekaligus kolom lantai paling atas maka gaya geser rencana kolomnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{u,k,x} &= (2 \cdot M_{kap,k,x} + 0,3(2 \cdot M_{kap,k,y}))/h_n \\ &= (2 \cdot 410,781 + 0,3 \cdot (2 \cdot 982,099))/2,575 = 547,892 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama didapat gaya-gaya geser rencana kolom lainnya yang disajikan pada Tabel 7.15.a dan Tabel 7.15.b .

Tetapi gaya geser rencana kolom tidak perlu lebih besar dari:

$$\begin{aligned} V_{u,k maks} &= 1,05.(V_{D,k,x} + V_{L,k,x} + 4/K.(V_{E,k,x} + 0,3.V_{E,k,y})) \\ &= 1,05.(-14,446 + (-18,044) + 4(-87,971 + 0,3.0,134)) \\ &= 385,836 \text{ kN} \end{aligned}$$

dipakai $V_{u,k} = 385,836 \text{ kN}$

Dengan cara yang sama didapat gaya geser maksimum kolom lainnya yang disajikan dalam Tabel 7.16.a dan Tabel 7.16.b, dan gaya geser kolom terpakai disajikan pada Tabel 7.17.a dan Tabel 7.17.b.



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

7.2.7 Penulangan Geser Kolom

Sebagai contoh perhitungan penulangan geser kolom ditinjau pada kolom K2 (portal A), adalah sebagai berikut ini.

-Penulangan geser sepanjang l_o

Syarat panjang l_o dari muka balok (SK-SNI T-15-1991-03)

- $l_o \geq h = 500 \text{ mm}$, bila $N_{u,k} \leq 0,3 \cdot A_g \cdot f_c'$
- $l_o \geq 1,5h = 1,5 \cdot 500 = 750 \text{ mm}$, bila $N_{u,k} > 0,3 \cdot A_g \cdot f_c'$
- $l_o \geq 1/6 \cdot \text{bentang bersih kolom} = 1/6 \cdot 2575 = 430 \text{ mm}$
- $l_o \geq 450 \text{ mm}$

$N_{u,k} = 234,984 \text{ kN} > (0,3 \cdot 500 \cdot 500 \cdot 20 = 1500 \text{ kN})$, maka dipakai $l_o = 500 \text{ mm}$

$V_{s,k} = V_{u,k}/0,6 - V_c = 385,836/0,6 - 0 = 643,06 \text{ kN}$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_{s,k}} = \frac{(4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 12^2) \cdot 240.440}{643060} = 74,751 \text{ mm}$$

Jarak maksimum tulangan geser pada daerah l_o (SK-SNI T-15-1991-03) :

- $\frac{1}{4} \cdot b = \frac{1}{4} \cdot 500 = 125 \text{ mm}$
- 8 kali diameter tulangan longitudinal = $8 \cdot 22 = 176 \text{ mm}$
- 100 mm

dipakai **4P12-70**

Cek tulangan geser kolom :

$$V_{s,k} = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{(4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 12^2) \cdot 240.440 \cdot 10^{-3}}{70} = 682,462 \text{ kN}$$

$0,6 \cdot V_{s,k} = 0,6 \cdot 682,462 = 409,269 \text{ kN} > V_{u,k} = 385,836 \text{ kN}$

- aman -

-Penulangan geser daerah di luar l_0

$$V_c = \left[1 + \frac{N_{u,k}}{14A_g} \right] \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b.d$$

$$= \left[1 + \frac{234,984}{14.(500.500)} \right] \frac{1}{6} \sqrt{20.500.440}$$

$$= 163,989 \text{ kN}$$

$$V_{s,k} = V_{u,k}/0,6 - V_c = 385,836/0,6 - 163,989 = 479,071 \text{ kN}$$

$$s = \frac{A_v.f_y.d}{V_{s,k}} = \frac{(4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 12^2) 240.440}{479071} = 99,69 \text{ mm}$$

Jarak maksimum tulangan geser daerah di luar l_0 (SK-SNI T-15-1991-03) :

- 200 mm

dipakai **4P12-100**

Cek tulangan geser kolom :

$$V_{s,k} = \frac{A_v.f_y.d}{s} = \frac{(4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 12^2) 240.440 \cdot 10^{-3}}{100} = 477,723 \text{ kN}$$

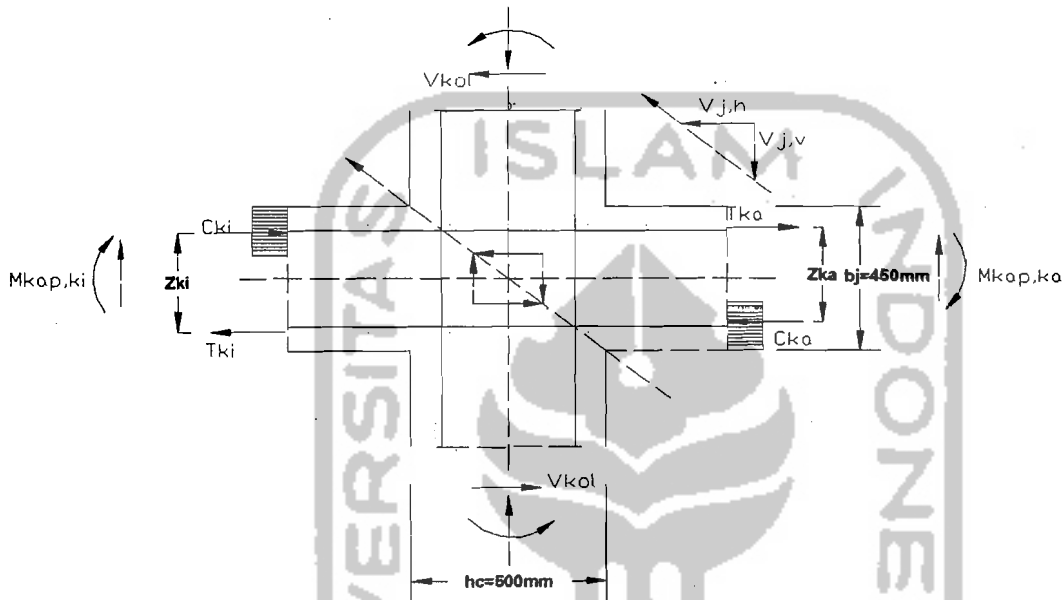
$$0,6.(V_{s,k} + V_c) = 0,6.(477,723 + 163,989) = 641,712 \text{ kN} > V_{u,k} = 385,836 \text{ kN} \quad \text{- aman -}$$

Dengan cara yang sama didapat penulangan geser kolom lainnya yang disajikan dalam Tabel 7.18.a dan Tabel 7.18.b .

7.3 Desain Pertemuan Balok Kolom

Perencanaan pertemuan balok kolom (joint) didasarkan dengan memperhitungkan kebutuhan penulangan geser arah horizontal dan vertikal. Sebagai contoh hitungan ditinjau pada pertemuan balok kolom K10 lantai 1

(T. Andriono dan Gideon Kusuma, 1993)



Gambar 7.12 Joint balok kolom dalam

1. Penulangan Geser Horizontal

Diketahui :

- $M_{nak,b\ ki-x} = 202,891\ \text{kNm}$
- $M_{nak,b\ ka-x} = 202,891\ \text{kNm}$
- $M_{nak,b\ ki-y} = 160,272\ \text{kNm}$
- $M_{nak,b\ ka-y} = 0$

Tinjauan sejajar sumbu-x (portal A) yang paling menentukan.

Dihitung 100% dalam satu arah sumbu-x dan 30% dalam arah tegak lurus yaitu sumbu-y.

$$V_{kol-x} = \frac{0,7 \cdot \left[\sum \frac{l_{k,x}}{l_{n_{k,x}}} M_{kap,x} + 0,3 \cdot \sum \frac{l_{k,y}}{l_{n_{k,y}}} M_{kap,y} \right]}{\frac{1}{2} (h_{k,a} + h_{k,b})}$$

$$= \frac{0,7.1,25 \cdot \left[\frac{l_{ki,x}}{\ln_{ki,x}} M_{nak\ b,ki-x} + \frac{l_{ka,x}}{\ln_{ka,x}} M_{nak\ b,ka-x} \right] + 0,3 \cdot \left[\frac{l_{ki,y}}{\ln_{ki,y}} M_{nak\ b,ki-y} + \frac{l_{ka,y}}{\ln_{ka,y}} M_{nak\ b,ka-y} \right]}{\frac{1}{2}(h_{k,a} + h_{k,b})}$$

$$= \frac{0,7.1,25 \cdot \left[\left(\frac{6}{5,5} 202,891 + \frac{6}{5,5} 202,891 \right) + 0,3 \cdot \left(\frac{6,5}{5,95} 160,272 + 0 \right) \right]}{\frac{1}{2}(3 + 2,8)}$$

$$= 149,413 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} Z_{ki} &= Z_{ka} = h - d' - a/2 \\ &= 450 - 62,5 - 67/2 \\ &= 354 \text{ mm} = 0,35 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{ki,x} &= T_{ki,x} = 0,7.1,25 \cdot (M_{nak\ b\ ki-x} + 0,3 \cdot M_{nak\ b\ ki-y}) / Z_{ki} \\ &= 0,7.1,25 \cdot (202,891 + 0,3 \cdot 160,272) / 0,35 \\ &= 627,432 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{ka,x} &= C_{ka,x} = 0,7.1,25 \cdot (M_{nak\ b\ ka-x} + 0,3 \cdot M_{nak\ b\ ka-y}) / Z_{ka} \\ &= 0,7.1,25 \cdot (202,891 + 0,3 \cdot 0) / 0,35 \\ &= 507,228 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{jh,x} &= C_{ki} + T_{ka} - V_{kol} \\ &= 627,432 + 507,228 - 149,413 \\ &= 985,246 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol tegangan geser horisontal nominal dalam join :

$$V_{jh,x} = V_{jh,x} / (b_j \cdot h_c) < 1,5 \sqrt{f_c}$$

$$V_{jh,x} = 985,246 / (0,5 \cdot 0,45) \cdot 10^{-3} < 1,5 \sqrt{20}$$

$$4,379 \text{ N/mm}^2 < 6,708 \text{ N/mm}^2$$

Penulangan geser horisontal

$$N_{u,k} = 805,347 \text{ kN}$$

$$N_{u,k} / A_g = 805,347 \cdot 10^3 / (500 \cdot 600) = 2,68 \text{ Mpa} > 0,1 f_c' = 0,1 \cdot 20 = 2,0 \text{ Mpa}$$

maka, sumbangan gaya geser beton horisontal adalah :

$$V_{ch} = 2/3 \cdot \sqrt{(N_{u,k} / A_g) - 0,1 f_c'} \cdot (b_j \cdot h_c)$$

$$= 124,101 \text{ kN}$$

$$V_{sh} + V_{ch} = V_{jh}$$

$$V_{sh} = 985,246 - 124,101 = 861,145 \text{ kN}$$

$$A_{jh} = V_{sh} / f_y$$

$$= 861,145 \cdot 10^3 / 240$$

$$= 3588 \text{ mm}^2$$

Digunakan luasan 4 sengkang tertutup 4P12 = $4 \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot 12^2 = 452,39 \text{ mm}^2$

$$\therefore \text{Jumlah lapis sengkang horisontal} = 3588 / 452,39 = 7,93 \approx 8 \text{ lapis}$$

2. Penulangan Geser Vertikal

$$A_{s'} = A_s \text{ (luasan tulangan pokok kolom)}$$

maka, sumbangan gaya geser beton vertikal adalah :

$$V_{cv} = V_{jh} \cdot x \cdot \frac{A_{s'}}{A_s} \left(0,6 + \frac{N_{u,k}}{A_g \cdot f_c'} \right); \quad A_{s'} = A_s \text{ (luasan tulangan pokok kolom)}$$

$$= 985,246$$

$$= 723,392 \text{ kN}$$

$$V_{jv} = \frac{h_c}{b_j} \cdot V_{jh} = \frac{500}{450} \cdot 985,246 = 1094,718 \text{ kN}$$

$$V_{sv} = V_{jv} - V_{cv}$$

$$= 1094,718 - 723,392$$

$$= 371,33 \text{ kN}$$

$$A_{jv} = V_{sv} / f_y$$

$$= 371,33 \cdot 10^3 / 240$$

$$= 1547 \text{ mm}^2$$

Tulangan kolom terpasang = 8D22 = $3039,52 \text{ mm}^2 > A_{jv} = 1547 \text{ mm}^2$.

\therefore Tulangan pokok kolom dapat menahan gaya geser vertikal.

Dengan cara yang sama didapat penulangan geser horisontal dan vertikal pada pertemuan balok kolom, yang disajikan pada Tabel 7.19.a dan Tabel 7.19.b .

7.4 Perencanaan Pondasi Tiang Pancang

Sebagai contoh perhitungan pondasi ditinjau pada kolom K8, sebagai berikut:

A. Data Perencanaan

Pondasi diletakkan pada kedalaman 10 m.

$$P = 1176,647 \text{ kN}$$

$$M_{x \text{ tetap}} = 20,730 \text{ kNm}$$

$$M_{y \text{ tetap}} = 20,730 \text{ kNm}$$

$$f_c = 50 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

Pondasi berbentuk segi tiga sama sisi dengan panjang sisinya 32 cm



Gambar 7.13 Penempatan Pondasi Tiang Pancang

Dari hasil pengujian tanah diperoleh data sebagai berikut:

- Lapisan 1 : $\sigma_{11} = 1,6 \text{ t/m}^3 = 16 \text{ kN/m}^3$

$$c_1 = 0,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$c_{u1} = C_1 = 0,3 \text{ kg/cm}^2 = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ t/10}^{-4} \text{ m}^2 = 3 \text{ t/m}^2 \\ = 30 \text{ kN/m}^2$$

- Lapisan 2 : $\gamma_{12} = 1,6 \text{ t/m}^3 = 16 \text{ kN/m}^3$

$$c_2 = 1,0 \text{ kg/cm}^2$$

$$c_{u2} = C_2 = 1,0 \text{ kg/cm}^2 = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ t/10}^{-4} \text{ m}^2 = 10 \text{ t/m}^2 \\ = 100 \text{ kN/m}^2$$

B. Perhitungan Kapasitas Tiang Tunggal

1. Berdasarkan Kekuatan Tanah

- Tahanan ujung (Q_p)

Jenis tanah di bawah pondasi adalah lempung, sehingga:

$$\phi = 0$$

sehingga didapat : $N_c^* = 9$, dan $N_q^* = 0$

Dicoba tiang pancang penampang segi tiga sama sisi dengan panjang sisinya 32 cm.

$$Q_p = A_p (c \cdot N_c^* + \bar{q} \cdot N_q^*)$$

Tahanan lempung : $\phi = 0$; $\bar{q} \cdot N_q^*$ relatif kecil; $N_c^* = 9$

$$Q_p = A_p \cdot 9 \cdot c_u$$

dengan A_p adalah luas penampang tiang, dan c_u adalah *undrained cohesion*.

$$Q_p = A_p \cdot 9 \cdot c_u$$

$$= (0,5 \cdot 0,32 \cdot (0,32 \cdot \sin 60^\circ)) \cdot 9 \cdot 100 = 39,906 \text{ kN}$$

- Tahanan Selimut Tiang / Tahanan Friksi (Q_s)

Diketahui bahwa jenis tanah pada lapisan 1 dan lapisan 2 adalah lempung, maka:

$$\text{Rumus umum: } Q_s = \sum p \cdot \Delta L \cdot f$$

dengan $\sum p$ adalah luas selimut tiang, ΔL adalah unit panjang tiang, dan f adalah unit tahanan friksi.

- Menghitung tahanan friksi

- Lapisan 1

Dicari dengan Metoda α

$$f = \alpha \cdot c_u = \alpha \cdot S_u$$

dengan f adalah unit friksi, α adalah *adhesion factor*, c_u adalah *undrained cohesion*, dan S_u adalah *undrained strength*.

$$c_{u1} = 30 \text{ kN/m}^2 = 3 \text{ t/m}^2 = 600 \text{ lb/ft}^2$$

dari grafik diperoleh $\alpha_1 = 0,98$

$$f_1 = \alpha_1 \cdot c_{u1} = 0,98 \cdot 30 = 29,40 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s1} = \sum p_1 \cdot \Delta L_1 \cdot f_1$$

$$= (3,0,32) \cdot 5,5 \cdot 29,4 = 155,232 \text{ kN}$$

- Lapisan 2

$$c_{u2} = 100 \text{ kN/m}^2 = 10 \text{ t/m}^2 = 2000 \text{ lb/ft}^2$$

dari grafik diperoleh $\alpha_2 = 0,50$

$$f_2 = \alpha_2 \cdot c_{u2} = 0,50 \cdot 100 = 50 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{s2} = \sum p_2 \cdot \Delta L_2 \cdot f_2$$

$$= (3,0,32) \cdot 4 \cdot 50 = 192 \text{ kN}$$

$$Q_s = Q_{s1} + Q_{s2} = 155,232 + 192 = 347,232 \text{ kN}$$

Dari perhitungan diperoleh:

$$Q_p = 39,906 \text{ kN}; Q_s = 347,232 \text{ kN}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_p}{SF_1} + \frac{Q_s}{SF_2} - W$$

SF_1 adalah angka keamanan untuk tahanan ujung = 3

SF_2 adalah angka keamanan untuk tahanan friksi = 2

W adalah berat tiang pancang

$$W = (0,5 \cdot 0,32 \cdot 0,32 \cdot \sin 60^\circ) \cdot 9,81 = 10,110 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \frac{39,906}{3} + \frac{347,232}{2} - 10,110 \\ &= 176,808 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Berdasarkan Kekuatan Beton

Tiang dianggap sebagai kolom langsing.

$$E = 4700 \sqrt{f'_c} = 4700 \cdot \sqrt{50} = 33234,019 \text{ Mpa}$$

$$I = (1/36) \cdot b \cdot h^3 \text{ (bentuk tiang pancang segi tiga sama sisi)}$$

$$b = 320 \text{ mm}$$

$$h = 320 \cdot \sin 60^\circ = 277,128 \text{ mm}$$

$$I = (1/36) \cdot 320 \cdot 277,128^3 = 189186136,200 \text{ mm}^4$$

P_c adalah beban tekuk Euler yang terjadi, sebesar:

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 E I}{L^2} = \frac{\pi^2 33234,019 \cdot 189186136,200}{9500^2} = 687582,328 \text{ N} \\ &= 687,582 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$SF = 2,5$$

$$P = P_c / SF = 687,582 / 2,5 = 275,033 \text{ kN}$$

$$\text{Dipakai } Q_{all} = 171,417 \text{ kN}$$

C. Perhitungan Kapasitas Tiang Kelompok

1. Kelompok Tiang Pada Tanah Lempung

$$\text{Asumsi ukuran pile cap} : 3 \cdot 3 = 9 \text{ m}^2$$

$$\text{Tebal pile} : 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Berat pile} : 0,5 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 24 = 108 \text{ kN}$$

$$\text{Ukuran kolom} : 0,50 \text{ m} \times 0,60 \text{ m}$$

$$P = 1176,647 \text{ kN}$$

$$M_{x \text{ tetap}} = 20,730 \text{ kNm}$$

$$M_{y \text{ tetap}} = 20,730 \text{ kNm}$$

$$P_{total} = P + \text{berat pile} = 1176,647 + 108 = 1284,647 \text{ kN}$$

$$n = \frac{P_{total}}{Q_{all}} = \frac{1284,647}{171,417} = 7,494$$

dipakai 8 buah

Penentuan konfigurasi kelompok tiang

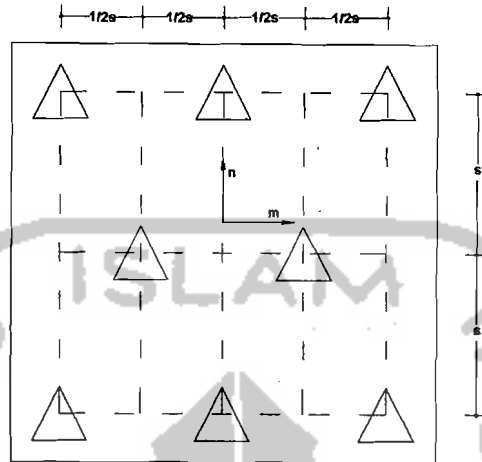
$$s = d_{optimum} = (2,5 \text{ sampai } 3D)$$

$$s (2,5D) = 2,5 \cdot (0,32) = 0,80 \text{ m}$$

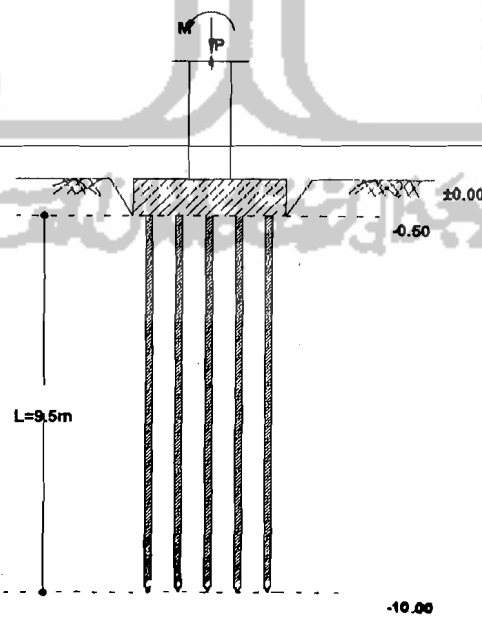
$$s (3D) = 3 \cdot (0,32) = 0,96 \text{ m}$$

$$\text{dipakai } s = d_{optimum} = 0,96 \text{ m}$$

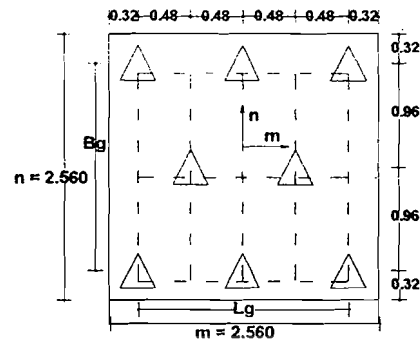
dengan d adalah spasi (jarak as-as tiang) dan D adalah diameter tiang.



Gambar 7.14 Konfigurasi Tiang Pancang



Gambar 7.15 Pemasangan tiang pancang tampak samping



Gambar 7.16 Pemasangan tiang pancang tampak atas

$$L_g = (n_1 - 1)d + 2(D/2)$$

$$= (3 - 1) \cdot 960 + 2(320/2) = 2240 \text{ mm} = 2,24 \text{ m}$$

$$B_g = (n_2 - 1)d + 2(D/2)$$

$$= (3 - 1) \cdot 960 + 2(320/2) = 2240 \text{ mm} = 2,24 \text{ m}$$

2. Jumlah Total Kapasitas Kelompok Tiang

$$\sum Q_u = m \cdot n \cdot (Q_p + Q_s)$$

$$= 2,56 \cdot 2,56 \cdot (39,906 + 347,232)$$

$$= 2537,148 \text{ kN}$$

$$\sum Q_u = L_g \cdot B_g \cdot c_u \cdot N_c + 2 \cdot (L_g \cdot B_g) \sum c_u \cdot \Delta L$$

$$= (2,24 \cdot 2,24 \cdot 100 \cdot 9) + 2 \cdot (2,24 \cdot 2,24) \cdot [(30 \cdot 5,5) + (100 \cdot 6)]$$

$$= 12192,768 \text{ kN}$$

dipakai $\sum Q_u = 2537,148 \text{ kN}$

$$P_{total} = 1284,647 \text{ kN}$$

$$x_{maks} = s = 0,96 \text{ m}$$

$$y_{maks} = s = 0,96 \text{ m}$$

$$n = 8$$

$$\sum x^2 = 2.(s)^2 = 2.(0,96)^2 = 1,843$$

$$\sum y^2 = 2.(s)^2 = 2.(0,96)^2 = 1,843$$

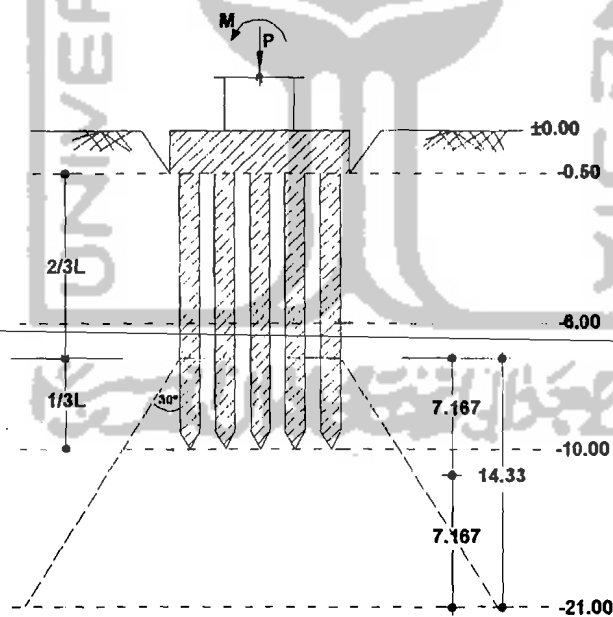
Kontrol:

$$P = \frac{P_{total}}{n} + \frac{M_x \cdot y}{\sum x^2} + \frac{M_y \cdot x}{\sum y^2}$$

$$= \frac{1284,647}{8} + \frac{20,730 \cdot 0,96}{1,843} + \frac{20,730 \cdot 0,96}{1,843}$$

$$= 182,175 \text{ kN} < \sum Q_u = 2537,148 \text{ kN} \quad \text{-ok-}$$

D. Perhitungan Penurunan Pondasi Tiang



Gambar 7.17 Penurunan Pondasi Tiang

$$\text{Berat pile cap} = 0,5 \cdot 2,56 \cdot 2,56 \cdot 24 = 78,643 \text{ kN}$$

$$\text{Berat tiang pancang} = (0,5 \cdot 0,32 \cdot 0,32 \cdot \sin 60^\circ) \cdot 9,5 \cdot 24 \cdot 8 = 80,877 \text{ kN}$$

$$P = 1176,647 \text{ kN}$$

$$Q = 78,643 + 80,877 + 1176,647 = 1336,167 \text{ kN}$$

$$\Delta p = \frac{Q}{(B_g + z_1) \cdot (L_g + z_2)} = \frac{1336,167}{(2,24 + 7,083) \cdot (2,24 + 7,083)}$$

$$= 15,373 \text{ kN/m}^2 = 1,537 \text{ t/m}^2$$

$$P_0 = \sum H \cdot \gamma$$

$$= 5,5(16-10) + ((0,333 + 7,083)(16-10)) = 77,496 \text{ kN/m}^2 = 7,7496 \text{ t/m}^2$$

$$\Delta s = \left[\frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \right] \log \left[\frac{P_0 + \Delta p}{P_0} \right] = \left[\frac{3,7,083}{1 + 8} \right] \log \left[\frac{7,7496 + 1,537}{7,7496} \right] = 0,188 \text{ m}$$

$$s_c = \Delta s = 0,186 \text{ m} = 18,6 \text{ cm}$$

Jadi penurunan total yang terjadi adalah sebesar 18,6 cm

