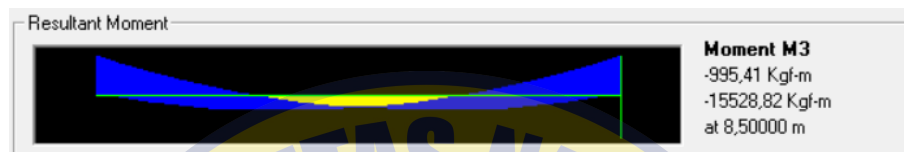


BAB VII

DESAIN STRUKTUR BAWAH

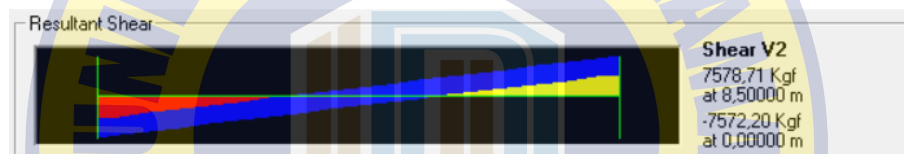
7.1 Desain Tie Beam

Dari hasil perhitungan gaya pada program bantu SAP 200 v.14 didapatkan gaya-gaya sebagai berikut:



Gambar 7.1 Gaya Momen pada TIE BEAM

- Mu Tumpuan = 15.506,62 kg.m = 155,06 kN.m
- Mu Lapangan = 4222,00 kg.m = 42,22 kN.m



Gambar 7.2 Gaya Geser pada TIE BEAM

- $V_u = 7578,71 \text{ kg} = 75,79 \text{ kN}$



Gambar 7.3 Gaya Torsi pada TIE BEAM

- $T_u = 41,00 \text{ kg.m} = 0,41 \text{ kN.m}$
1. Data Perencanaan
L : 850 mm
b : 400 mm
h : 750 mm
t : 40 mm
Tulangan Lentur: D22
Tulangan Geser : Ø10
 2. Perhitungan Tulangan Tumpuan
Syarat menghitung kebutuhan tulangan untuk $f_c' = 30 \text{ Mpa}$, maka:

$$\beta_1 = 0,85$$

$$d = h - t_{\text{selimut}} - \text{senggang} - \frac{D_{\text{lentur}}}{2}$$

$$= 750 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{22 \text{ mm}}{2} = 689 \text{ mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}} = 15,686$$

$$p_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right) = 0,0244$$

$$M_u = 155,06 \text{ kN.m} = 155.066.200 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{155.066.200 \text{ N.mm}}{0,9} = 172.295.778 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{172.295.778 \text{ N.mm}}{400 \text{ mm} \cdot (689 \text{ mm})^2} = 0,907 \text{ N/mm}^2$$

$$p = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$p = \frac{1}{15,686} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 0,907 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$p = 0,0023$$

Karena $p < p_{\min}$, maka dipakai $p_{\min} = 0,0035$

$$\text{Sehingga: } A_{s_{\text{perlu}}} = p \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 689 \text{ mm} = 964,60 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka dipakai 3-D22} \rightarrow A_{s_{\text{pakai}}} = 1140,4 \text{ mm}^2$$

3. Perhitungan Tulangan Lapangan

Syarat menghitung kebutuhan tulangan untuk $f_c' = 30 \text{ Mpa}$, maka:

$$\beta_1 = 0,85$$

$$d = h - t_{\text{selimut}} - \text{senggang} - \frac{D_{\text{lentur}}}{2}$$

$$= 750 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{22 \text{ mm}}{2} = 689 \text{ mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}} = 15,686$$

$$p_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right) = 0,0244$$

$$M_u = 42,22 \text{ kN.m} = 42.220.000 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{42.220.000 \text{ N.mm}}{0,9} = 46.911.111 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{46.911.111 \text{ N.mm}}{400 \text{ mm} \cdot (689 \text{ mm})^2} = 0,247 \text{ N/mm}^2$$

$$p = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$p = \frac{1}{15,686} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 2,03 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$p = 0,0006$$

Karena $p < p_{\min}$, maka dipakai $p = 0,0035$

$$\text{Sehingga: } A_{s_{\text{perlu}}} = p \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 689 \text{ mm} = 964,60 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka dipakai 3-D22} \rightarrow A_{s_{\text{pakai}}} = 1140,40 \text{ mm}^2$$

4. Perhitungan Tulangan Geser

Gaya geser yang dipakai dalam perhitungan adalah gaya geser terfaktor, V_u sejarak d dari muka tumpuan sesuai SNI 2847-2019 Pasal 9.6.3.1.

$$V_{u'} = \frac{V_u}{\left(\frac{L}{2}\right)} \cdot \left(\frac{L}{2} - d\right)$$

$$V_u' = \frac{75,79 \text{ kN}}{\left(\frac{8500 \text{ mm}}{2}\right)} \cdot \left(\frac{8500 \text{ mm}}{2} - 689 \text{ mm}\right) = 63,50 \text{ kN}$$

Nilai V_c ditentukan berdasarkan SNI 2847-2019 pasal R9.6.3.

$$V_c = 0,17 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

Dimana: $\lambda = 1$ untuk beton normal berdasarkan SNI 2847-2019 pasal 25.4.2.2.

$$V_c = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 689 \text{ mm} = 256.618,97 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 256.618,97 \text{ N} = 192.464,23 \text{ N} = 192,46 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_c = 0,5 \cdot 192,46 \text{ kN} = 96,23 \text{ kN}$$

Karena: $V_u' < 0,5 \cdot \phi \cdot V_c$, maka termasuk kondisi 1 $\rightarrow$ tidak perlu tulangan geser, maka diberikan tulangan geser minimum.

$$V_s \text{ min} = \frac{b \cdot d}{3} = \frac{400 \text{ mm} \cdot 689 \text{ mm}}{3} = 91.866,67 \text{ N}$$

Jika digunakan sengkang 2 kaki $\emptyset 10$

$$A_v = 2 \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2\right) = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{157,08 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ Mpa} \cdot 689 \text{ mm}}{91.866,67 \text{ N}} = 282,74 \text{ mm}$$

Diambil $s = 150 \text{ mm}$, Maka dipakai sengkang $\emptyset 10-150$

5. Perhitungan Tulangan Torsi

- a. Periksa kecukupan penampang menahan momen torsi terfaktor berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 22.7.7.1:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot p_h}{1,7 \cdot A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \cdot \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + 0,66 \cdot \sqrt{f_c'}\right)$$

Dimana untuk gaya yang terjadi:

Torsi maksimum terjadi: $T_u = 41 \text{ Kg.m} = 410.000 \text{ N.mm}$

Geser maksimum terjadi: $V_u = 64,5 \text{ kN} = 63.500,67 \text{ N}$

$$b_h = b - 2 \cdot t - d_{\text{sengkang}} = 400 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} = 310 \text{ mm}$$

$$h_h = h - 2 \cdot t - d_{\text{sengkang}} = 750 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm} = 660 \text{ mm}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$P_h = 2 \cdot (b_h + h_h) = 2 \cdot (310 \text{ mm} + 660 \text{ mm}) = 1940 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$A_{oh} = b_h \cdot h_h = 310 \text{ mm} \cdot 660 \text{ mm} = 204.600 \text{ mm}^2$$

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 689 \text{ mm} = 251.587,23 \text{ N}$$

Maka:

$$\sqrt{\left(\frac{63.500,67 \text{ N}}{400 \text{ mm} \cdot 689 \text{ mm}}\right)^2 + \left(\frac{410.000 \text{ N} \cdot \text{mm} \cdot 1940 \text{ mm}}{1,7 \cdot (204.600 \text{ mm}^2)^2}\right)^2} = 0,23 \text{ Mpa}$$

$$0,75 \cdot \left(\frac{251.587,23 \text{ N}}{400 \text{ mm} \cdot 689 \text{ mm}} + 0,66 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}}\right) = 3,395 \text{ Mpa}$$

Karena nilai $0,23 \text{ Mpa} \leq 3,395 \text{ Mpa}$, maka penampang cukup untuk menahan torsi terfaktor.

- b. Periksa persyaratan pengaruh puntir berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 9.5.4.1, pengaruh puntir dapat diabaikan jika:

$$T_u \leq T_{u_{\min}}$$

$$T_u \leq \phi \cdot 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$$

Dimana:

A_{cp} : Luas Penampang Keseluruhan

P_{cp} : Keliling Penampang Keseluruhan

λ : 1 (berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 25.4.2.2 untuk beton normal)

ϕ : 0,75 (faktor reduksi beban torsi)

Periksa persyaratan pengaruh momen puntir:

$$A_{cp} = b \cdot h = 400 \text{ mm} \cdot 750 \text{ mm} = 300.000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \cdot (b + h) = 2 \cdot (400 \text{ mm} + 750 \text{ mm}) = 2.300 \text{ mm}$$

Maka nilai $T_{u_{\min}}$:

$$T_{u_{\min}} = 0,75 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{(300.000 \text{ mm}^2)^2}{2.300 \text{ mm}}\right) = 13.341.807,08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$T_u \geq T_{u_{\min}} = 410.000 \text{ N} \cdot \text{mm} \leq 13.341.807,08 \text{ N} \cdot \text{mm}$, maka perlu tulangan torsi

- c. Perhitungan kebutuhan tulangan torsi transversal, berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 22.7.6.1.1, dalam menghitung penulangan transversal penahan torsi, nilai A_o dapat diambil sama dengan $0,85 A_{oh}$ dan nilai $\theta = 45^\circ$

$$A_o = 0,85 \cdot A_{oh} = 0,85 \cdot 204.600 \text{ mm}^2 = 173.910 \text{ mm}^2$$

$$T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_T \cdot f_{yt}}{s} \cdot \cot \theta^\circ$$

$$\frac{T_u}{\phi} = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_T \cdot f_{yt}}{s} \cdot \cot \theta^\circ$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{\phi \cdot 2 \cdot A_o \cdot f_{yt} \cdot \cot \theta^\circ}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{410.000 \text{ N} \cdot \text{mm}}{0,75 \cdot 2 \cdot 173.910 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ Mpa} \cdot \cot 45^\circ} = 0,007 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Kebutuhan tulangan sengkang sebelum torsi:

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \cdot d} = \frac{91.866,67 \text{ N}}{240 \text{ Mpa} \cdot 689 \text{ mm}} = 0,56 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Kebutuhan tulangan sengkang setelah torsi:

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_v}{s} + 2 \frac{A_t}{s} = 0,56 + 2 \cdot 0,007 = 0,569 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Untuk tulangan sengkang terpasang sebelum torsi adalah 2 kaki Ø10 – 150

$$\frac{A_{v_{pakai}}}{s} = \frac{2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2}{150 \text{ mm}} = 1,047 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Karena nilai $\frac{A_{v_{pakai}}}{s} \geq \frac{A_{vt}}{s}$, maka tulangan sengkang terpasang sudah mampu untuk menahan gaya geser dan gaya torsi.

- d. Perhitungan kebutuhan tulangan torsi longitudinal, berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 22.7.6.1, tulangan torsi untuk tulangan lentur dihitung sebagai berikut:

$$A_\ell = \frac{A_t}{s} \cdot p_h \left(\frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cdot \cot^2 \theta$$

Sehingga:

$$A_\ell = 0,007 \text{ mm}^2/\text{mm} \cdot 1940 \text{ mm} \left(\frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \right) \cdot \cot^2 45^\circ = 12,705 \text{ mm}^2$$

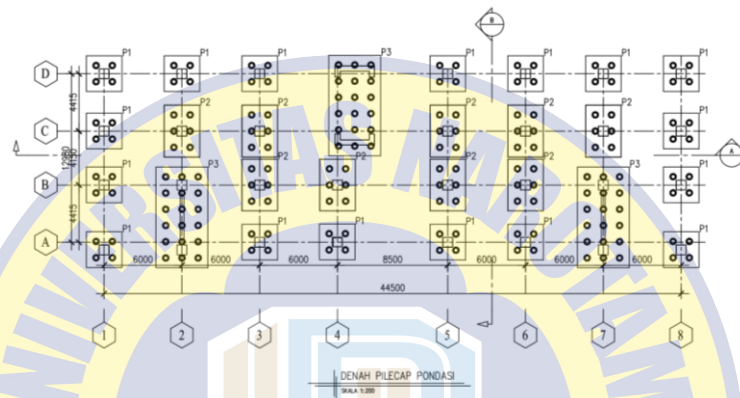
Apabila digunakan tulangan 1-D13, maka:

$$1 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2 = 132,73 \text{ mm}^2 > 12,705 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Jadi, digunakan tulangan 1-D13 di setiap sisi samping kiri dan kanan balok baik di sepanjang tumpuan maupun lapangan.

7.2 Umum

Pada perhitungan struktur pondasi, dimensi dari poer dan jumlah tiang pancang dihitung berdasarkan besarnya gaya yang terjadi pada titik yang ditinjau, sehingga akan menghasilkan pondasi yang efisien. Untuk denah pondasi rencana adalah sebagai berikut:



Gambar 7.4 Denah Rencana Pondasi

7.3 Perhitungan Pondasi

7.3.1 Perhitungan Daya Dukung Tanah

1. Data Perencanaan

Apabila diketahui data-data sebagai berikut:

$$F_c' = 35 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\text{Kedalaman rencana} = 30 \text{ m}$$

$$\text{Diameter tiang pancang} = 0,5 \text{ m}$$

$$\text{Luas tiang (A}_p\text{)} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (0,5 \text{ m})^2 = 0,20 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas selimut tiang (A}_s\text{)} = \pi \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 30 \text{ m} = 47,12 \text{ mm}^2$$

$$\text{Safety factor} = 3$$

Untuk tiang pancang yang dipakai adalah tiang pancang WKA BETON dengan tipe 500 mm-A2 dengan data sebagai berikut:

Diameter = 500 mm

Ketebalan dinding = 90 mm

Luas penampang = 1159,25 cm²

Inersia penampang = 255.324,30 cm⁴

P ijin bahan = 185,3 Ton

2. Daya Dukung Tanah

Dari data tanah didapatkan sebagai berikut:

N terakhir = 23,0 blow/ft = 75,46 blow/m

N rata-rata = 5,0 blow/ft = 16,51 blow/m

$$Q_p = A_p \cdot N_p \cdot K = 0,20 \text{ m}^2 \cdot 75,46 \frac{\text{blow}}{\text{m}} \cdot 40 = 592,66 \text{ ton}$$

$$Q_s = A_s \cdot N_{\text{rata-rata}} = (47,12 \text{ m}^2 \cdot 16,51 \text{ blow/m})/5 = 155,60 \text{ ton}$$

$$Q_u = Q_p + Q_s = 592,66 \text{ ton} + 155,60 \text{ ton} = 748,26 \text{ ton}$$

$$P_u \text{ ijin} = \frac{748,26}{3} = 249,42 \text{ ton}$$

Didapatkan daya dukung tanah dengan kedalaman 30 m dan diameter tiang pancang yaitu 249,42 ton. Namun, karena nilai P ijin bahan lebih kecil dari P ijin tanah, maka yang dipakai adalah nilai terkecil yaitu P ijin bahan = 185,3 ton.

7.3.2 Perhitungan Pondasi Tipe 1

1. Perencanaan Dimensi Poer

Menurut “Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa-Jilid 2 (Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck)”, menyebutkan bahwa:

Perhitungan jarak antar tiang pancang (S)

$$S \geq 2,5 \cdot D$$

$$S \geq 2,5 \cdot 50 \text{ cm} = 125 \text{ cm, maka dipakai } S = 125 \text{ cm}$$

Perhitungan jarak antar tiang pancang (S')

$$S' \geq 1,5 \cdot D$$

$$S' \geq 1,5 \cdot 50 \text{ cm} = 75 \text{ cm, maka dipakai } S' = 75 \text{ cm}$$

Sehingga total lebar poer:

$$b = 125 \text{ cm} + 75 \text{ cm} + 75 \text{ cm} = 320 \text{ cm} = 2,75 \text{ m}$$

$$\text{Apabila } b = 2,75, \text{ maka } h = 4,00 \text{ m}$$

$$\text{Untuk tinggi poer direncanakan setebal} = 75 \text{ cm} = 0,75 \text{ m}$$

2. Gaya yang Terjadi pada Pondasi

Dari program SAP2000 v.14, diketahui gaya-gaya yang terjadi pada joint

1814 yaitu sebagai berikut:

- Akibat beban tetap (1DL + 1LL)
 $P = 524,87 \text{ ton}$
 $M_x = 22,22 \text{ ton.m}$
 $M_y = 7,56 \text{ ton.m}$
 $V_x = 4,44 \text{ ton}$
 $V_y = 10,45 \text{ ton}$
 $\sum M_x = M_x + V_y \times d$
 $= 22,22 \text{ ton.m} + 10,45 \text{ ton} \times 0,75 \text{ m}$
 $= 30,06 \text{ ton.m}$
 $\sum M_y = M_y + V_x \times d$
 $= 7,56 \text{ ton.m} + 4,44 \text{ ton} \times 0,75 \text{ m}$
 $= 10,89 \text{ ton.m}$
- Akibat beban sementara (1,2DL + 1LL + 1Ex)
 $P = 566,49 \text{ ton}$
 $M_x = 8,5 \text{ ton.m}$
 $M_y = 23,16 \text{ ton.m}$
 $V_x = 12,95 \text{ ton}$
 $V_y = 4,2 \text{ ton}$
 $\sum M_x = M_x + V_y \times d$
 $= 8,5 \text{ ton.m} + 4,2 \text{ ton} \times 0,75 \text{ m}$

$$\begin{aligned}
 &= 11,65 \text{ ton.m} \\
 \sum M_y &= M_y + V_x \times d \\
 &= 23,16 \text{ ton.m} + 12,95 \text{ ton} \times 0,75 \text{ m} \\
 &= 32,87 \text{ ton.m}
 \end{aligned}$$

- Akibat beban sementara (1,2DL + 1LL + 1Ey)

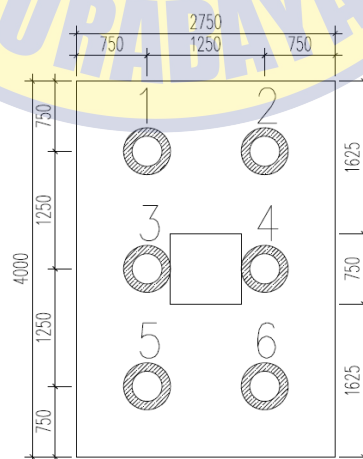
$$\begin{aligned}
 P &= 604,05 \text{ ton} \\
 M_x &= 22,40 \text{ ton.m} \\
 M_y &= 7,7 \text{ ton.m} \\
 V_x &= 4,5 \text{ ton} \\
 V_y &= 10,58 \text{ ton} \\
 \sum M_x &= M_x + V_y \times d \\
 &= 22,40 \text{ ton.m} + 10,58 \text{ ton} \times 0,75 \text{ m} \\
 &= 30,34 \text{ ton.m} \\
 \sum M_y &= M_y + V_x \times d \\
 &= 7,7 \text{ ton.m} + 4,5 \text{ ton} \times 0,75 \text{ m} \\
 &= 11,08 \text{ ton.m}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Efisiensi

Berdasarkan “Analisa dan Desain Pondasi-Jilid 2(Joseph E Bowles)”, perhitungan daya dukung poer berdasarkan efisiensi adalah sebagai berikut:

Metode Converce-Labarre

$$\text{Effisiensi } (\eta) = 1 - \arctan \frac{D}{S} \left[\frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{90 \cdot m \cdot n} \right]$$



Gambar 7.5 Pondasi Tipe 1

Dimana:

m	= banyaknya tiang dalam kolom	= 3 buah
n	= banyaknya tiang dalam baris	= 2 buah
D	= diameter tiang pancang	= 0,5 m
S	= jarak antar sumbu as tiang pancang	= 1,25 m

Sehingga:

$$\text{Effisiensi } (\eta) = 1 - \arctan \frac{0,5 \text{ m}}{1,25 \text{ m}} \left[\frac{(2-1) \cdot 3 + (3-1) \cdot 2}{90 \cdot 3 \cdot 2} \right] = 0,71$$

$$P \text{ ijin kelompok} = (\eta) \cdot P \text{ ijin} = 0,67 \cdot 185,3 \text{ ton} = 131,78$$

4. Perhitungan Daya Dukung Tiang dalam Kelompok

- Perhitungan akibat beban tetap:

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_x \cdot y_{\max}}{\sum y^2} \pm \frac{M_y \cdot x_{\max}}{\sum x^2}$$

$$P1 = \frac{524,87 \text{ ton}}{6} - \frac{30,06 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 1,25 \text{ m}}{6,25 \text{ m}^2} - \frac{10,89 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{2,34 \text{ m}^2}$$

$$P1 = 78,56 < 131,79 \text{ ton (OKE)}$$

$$P2 = \frac{524,87 \text{ ton}}{6} + \frac{30,06 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 1,25 \text{ m}}{6,25 \text{ m}^2} - \frac{10,89 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{2,34 \text{ m}^2}$$

$$P2 = 90,59 < 131,79 \text{ ton (OKE)}$$

$$P3 = \frac{524,87 \text{ ton}}{6} - \frac{30,06 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 1,25 \text{ m}}{6,25 \text{ m}^2} + \frac{10,89 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{2,34 \text{ m}^2}$$

$$P3 = 84,37 < 131,79 \text{ ton (OKE)}$$

$$P4 = \frac{524,87 \text{ ton}}{6} + \frac{30,06 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 1,25 \text{ m}}{6,25 \text{ m}^2} + \frac{10,89 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{2,34 \text{ m}^2}$$

$$P4 = 96,39 < 131,79 \text{ ton (OKE)}$$

- Perhitungan akibat beban sementara arah X:

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_x \cdot y_{\max}}{\sum y^2} \pm \frac{M_y \cdot x_{\max}}{\sum x^2}$$

$$P1 = \frac{566,49 \text{ ton}}{6} - \frac{11,65 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 1,25 \text{ m}}{6,25 \text{ m}^2} - \frac{32,87 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{2,34 \text{ m}^2}$$

$$P1 = 83,32 < 131,79 \text{ ton (OKE)}$$

$$P2 = \frac{566,49 \text{ ton}}{6} + \frac{11,65 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 1,25 \text{ m}}{6,25 \text{ m}^2} - \frac{32,87 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{2,34 \text{ m}^2}$$

$$P2 = 87,98 < 131,79 \text{ ton (OKE)}$$

$$P3 = \frac{566,49 \text{ ton}}{6} - \frac{11,65 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 1,25 \text{ m}}{6,25 \text{ m}^2} + \frac{32,87 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{2,34 \text{ m}^2}$$

$$P3 = 100,85 < 131,79 \text{ ton (OKE)}$$

$$P4 = \frac{566,49 \text{ ton}}{6} + \frac{11,65 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 1,25 \text{ m}}{6,25 \text{ m}^2} + \frac{32,87 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{2,34 \text{ m}^2}$$

$$P4 = 105,51 < 131,79 \text{ ton (OKE)}$$

- Perhitungan akibat beban sementara arah Y:

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_x \cdot y_{\max}}{\sum y^2} \pm \frac{M_y \cdot x_{\max}}{\sum x^2}$$

$$P1 = \frac{604,05 \text{ ton}}{6} - \frac{30,34 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 1,25 \text{ m}}{6,25 \text{ m}^2} - \frac{11,08 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{2,34 \text{ m}^2}$$

$$P1 = 91,65 < 131,79 \text{ ton (OKE)}$$

$$P2 = \frac{604,05 \text{ ton}}{6} + \frac{30,34 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 1,25 \text{ m}}{6,25 \text{ m}^2} - \frac{11,08 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{2,34 \text{ m}^2}$$

$$P2 = 103,79 < 131,79 \text{ ton (OKE)}$$

$$P3 = \frac{604,05 \text{ ton}}{6} - \frac{30,34 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 1,25 \text{ m}}{6,25 \text{ m}^2} + \frac{11,08 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{2,34 \text{ m}^2}$$

$$P3 = 97,56 < 131,79 \text{ ton (OKE)}$$

$$P4 = \frac{604,05 \text{ ton}}{6} + \frac{30,34 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 1,25 \text{ m}}{6,25 \text{ m}^2} + \frac{11,08 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{2,34 \text{ m}^2}$$

$$P4 = 109,70 < 131,79 \text{ ton (OKE)}$$

5. Cek Perhitungan Geser Satu Arah pada Poer Akibat Kolom

Apabila digunakan tulangan D25 untuk tulangan lentur:

$$d = h - t - d. \text{tulangan poer} - d. \text{tulangan poer} / 2$$

$$d = 750 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - 25 \text{ mm} - \frac{25 \text{ mm}}{2} = 637,5 \text{ mm}$$

didapatkan dari program bantu SAP v.14, beban pusat terbesar kolom akibat beban terfaktor (1,2 DL + 1,6 LL):

$$P_u = 581,83 \text{ ton}$$

$$Q_u = \frac{P_u}{b \cdot h} = \frac{581,83 \text{ ton}}{2,75 \text{ m} \cdot 4 \text{ m}} = 52,89 \text{ ton/m}^2 = 0,529 \text{ N/mm}^2$$

Gaya geser yang terjadi pada poer, V_u

$$V_u = Q_u \times b \times L'$$

$$\begin{aligned} L' &= (0,5 \times b \text{ poer}) - (0,5 \times b \text{ kolom}) - d \\ &= (0,5 \times 2750 \text{ mm}) - (0,5 \times 750 \text{ mm}) - 637,5 \text{ mm} \\ &= 362,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 0,529 \text{ N/mm}^2 \times 2750 \text{ mm} \times 362,5 \text{ mm} \\ &= 527.280,72 \text{ N} \end{aligned}$$

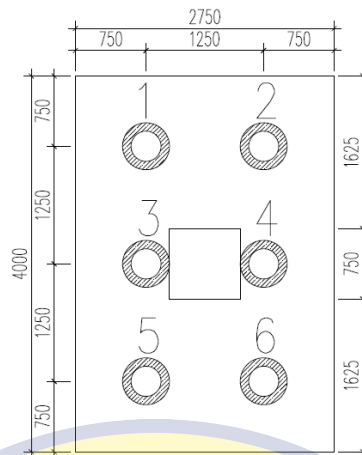
Gaya geser yang mampu dipikul oleh beton, V_c

$$V_c = 0,17 \cdot \sqrt{f_{c'}} \cdot b \cdot d$$

$$V_c = 0,17 \cdot \sqrt{35'} \cdot 2750 \text{ mm} \cdot 637,5 \text{ mm} = 1.763.176,65 \text{ N}$$

$$V_c > V_u = 1.763.176,65 \text{ N} > 527.280,72 \text{ N (OKE)}$$

6. Cek Perhitungan Geser Dua Arah pada Poer Akibat Kolom dan Tiang Pancang



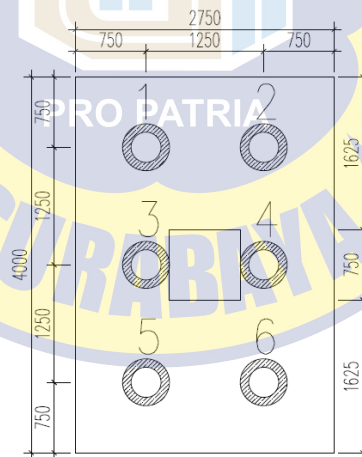
Gambar 7.6 Bidang Kritis Geser Dua Arah Akibat Kolom

$$A_t = (b_{\text{poer}} \cdot h_{\text{poer}}) - ((b_{\text{kolom}} + d) \cdot (h_{\text{kolom}} + d))$$

$$A_t = (2750\text{mm} \cdot 4000\text{mm}) - ((750\text{mm} + 637,5\text{mm}) \cdot (750\text{mm} + 637,5\text{mm}))$$

$$A_t = 10.115.468,75 \text{ mm}^2$$

$$V_u = Q_u \cdot A_t = \frac{0,52\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 10.115.468,75 \text{ mm}^2 = 5.350.411,67\text{N} = 5.350,4 \text{ kN}$$



Gambar 7.7 Bidang Kritis Geser Dua Arah Akibat Tiang Pancang

Diketahui beban terpusat terbesar tiang pancang yaitu:

$$P_u = 604,05 \text{ ton}$$

$$Q_u = \frac{P_u}{b \cdot h} = \frac{604,05 \text{ ton}}{2,75 \text{ m} \cdot 4,0 \text{ m}} = 54,91 \text{ ton/m}^2 = 0,549\text{N/mm}^2$$

$$A_t = (b_{\text{poer}} \cdot h_{\text{poer}}) - n \cdot A_{\text{tiang}}$$

$$A_t = (2750\text{mm} \cdot 4000\text{mm}) - 6 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (500\text{ mm})^2\right) = 9.821.902,75\text{ mm}^2$$

$$V_u = Q_u \cdot A_t = \frac{0,549\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 9.821.902,75\text{ mm}^2 = 5.393.563,96\text{N} = 5.393,56\text{ kN}$$

Maka untuk nilai V_u yang dipakai adalah yang terbesar diantara V_u akibat kolom dan V_u akibat tiang pancang, diambil V_u sebesar = 5393,56 kN

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 22.6.5.2 (a), (b), dan (c), untuk perencanaan plat atau pondasi telapak aksi dua arah, nilai V_c harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai V_c terkecil:

- $V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$

Dimana:

λ = rasio dari sisi panjang kolom terhadap sisi pendek kolom
 λ = 750 mm / 750 mm = 1
 b_o = keliling dari penampang kritis
 $= 2 \times (b \text{ kolom} + h \text{ kolom}) + 4d$
 $= 2 \times (750\text{ mm} + 750\text{ mm}) + 4 \times 637,5\text{ mm} = 5550\text{ mm}$
 λ = 1 (untuk beton normal)

maka:

$$V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{1}\right) \cdot 1 \cdot \sqrt{35\text{ Mpa}} \cdot 5550\text{ mm} \cdot 637,5\text{ mm} = 10.675.233\text{ N}$$

- $V_c = 0,083 \cdot \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2\right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$

Dimana:

α_s = 40 (untuk kolom tengah)
 α_s = 30 (untuk kolom tepi)
 α_s = 20 (untuk kolom sudut)

maka:

$$V_c = 0,083 \cdot \left(\frac{40 \cdot 637,5\text{ mm}}{5550\text{ mm}} + 2\right) \cdot 1,0 \cdot \sqrt{35\text{Mpa}} \cdot 5550\text{ mm} \cdot 637,5\text{ mm}$$

$$V_c = 11.457.065\text{ N} = 11.457,07\text{ kN}$$

- $V_c = 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$

$$V_c = 0,33 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{30\text{Mpa}} \cdot 5550\text{ mm} \cdot 637,5\text{ mm} = 6.907.504\text{ N} = 6907,50\text{ kN}$$

Maka dipakai nilai terkecil dari 3 persamaan tersebut, sehingga dipakai nilai

$V_c = 6907,50 \text{ kN}$. Sehingga $V_u < V_c = 5393,56 \text{ kN} < 6907,50 \text{ kN}$ (OKE)

7. Perencanaan Tulangan Lentur Poer

Pada perencanaan tulangan lentur poer, nantinya diasumsikan sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi tiang pancang dan berat sendiri pile cap.

Diketahui:

b poer = 2750 mm

h poer = 4000 mm

t poer = 750 mm

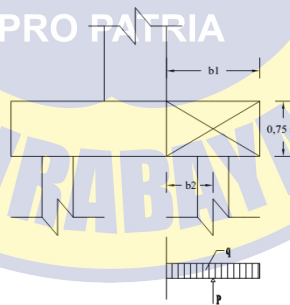
Selimut beton = 75 mm

Diameter tul. Lentur = 25 mm

$$dx = 1000 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - \frac{25 \text{ mm}}{2} = 650 \text{ mm}$$

$$dy = 1000 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - 25 \text{ mm} - \frac{25 \text{ mm}}{2} = 637,5 \text{ mm}$$

- Penulangan Poer Arah X



Gambar 7.8 Mekanika Gaya Poer Arah X

Diketahui nilai untuk jarak-jarak sebagai berikut:

$$\begin{aligned} b_1 &= \text{jarak dari ujung poer ke tepi kolom} \\ &= (2,75 \text{ m} - (0,5 \times 2,75 \text{ m} + 0,5 \times 0,75 \text{ m})) = 1 \text{ m} \\ b_2 &= \text{jarak dari as tiang pancang ke tepi kolom} \\ &= 1 \text{ m} / 2 = 0,5 \text{ m} \\ q_u &= \text{berat poer yang ditinjau} \\ &= 2,75 \text{ m} \times 0,75 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ m} = 4950 \text{ kg} \end{aligned}$$

Gaya maksimum yang terjadi pada satu tiang pancang adalah:

$$P_u = 109,7 \text{ ton} = 109.695,3 \text{ kg}$$

Maka momen yang terjadi pada poer adalah:

$$\begin{aligned} M_u &= -M_q + M_p \\ &= -(0,5 \times q_u \times b_1^2) + (P \times b_2) \\ &= -(0,5 \times 4950 \text{ kg} \times 1 \text{ m}^2) + (109.695,3 \text{ kg} \times 0,5 \text{ m}) \\ &= 52.372,667 \text{ kg.m} = 523.726.667 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 35 \text{ Mpa}} = 13,45$$

$$p_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} p_{\max} &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_{c'}}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 35 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right) = 0,0284 \end{aligned}$$

$$M_u = 523.726.667 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{523.726.667 \text{ N.mm}}{0,9} = 654.658.333,33 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{654.658.333,33 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (650 \text{ mm})^2} = 1,55 \text{ N/mm}^2$$

$$p = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$p = \frac{1}{13,45} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,45 \cdot 1,55 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{400 \text{ Mpa}}} \right) = 0,0040$$

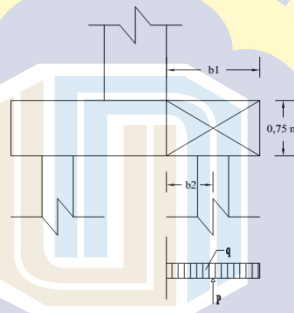
Karena $p > p_{\min}$, maka dipakai $p = 0,0040$

Sehingga: $A_{s_{\text{perlu}}} = p \cdot b \cdot d = 0,0040 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 650 \text{ mm} = 2587 \text{ mm}^2$

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} = 3272,49 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai D25-150 $\rightarrow A_{s_{\text{pakai}}} = 3272,49 \text{ mm}^2 > 2587 \text{ mm}^2$ (OKE)

- Penulangan Poer Arah Y



Gambar 7.9 Mekanika Gaya Poer Arah Y

Diketahui nilai untuk jarak-jarak sebagai berikut:

- b_1 = jarak dari ujung poer ke tepi kolom
 $= (4 \text{ m} - (0,5 \times 4 \text{ m} + 0,5 \times 0,75 \text{ m})) = 1,625 \text{ m}$
- b_2 = jarak dari as tiang pancang ke tepi kolom
 $= 1,625 \text{ m} / 2 = 0,8125 \text{ m}$
- q_u = berat poer yang ditinjau
 $= 4 \text{ m} \times 0,75 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1,625 \text{ m} = 11.700 \text{ kg}$

Gaya maksimum yang terjadi pada satu tiang pancang adalah:

$$P_u = 109,70 \text{ ton} = 109.695,33 \text{ kg}$$

Maka momen yang terjadi pada poer adalah:

$$\begin{aligned} M_u &= -M_q + M_p \\ &= -(0,5 \times q_u \times b_1^2) + (P \times b_2) \\ &= -(0,5 \times 11.700 \text{ kg} \times 1,625 \text{ m}^2) + (109.695,33 \text{ kg} \times 0,81 \text{ m}) \end{aligned}$$

$$= 73.679,80 \text{ kg.m} = 736.798.020,83 \text{ N.mm}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 35 \text{ Mpa}} = 13,45$$

$$p_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$p_{\max} = 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 35 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right) = 0,0284$$

$$M_u = 736.798.020,83 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{736.798.020,83 \text{ N.mm}}{0,9} = 818.664.467,59 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{818.664.467,59 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (637,5 \text{ mm})^2} = 2,01 \text{ N/mm}^2$$

$$p = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$p = \frac{1}{13,45} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,45 \cdot 2,01 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{400 \text{ Mpa}}} \right) = 0,0052$$

Karena $p > p_{\min}$, maka dipakai $p = 0,0052$

$$\text{Sehingga: } A_{s_{\text{perlu}}} = p \cdot b \cdot d = 0,0052 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 637,5 \text{ mm} = 3327,18 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} = 4908,73 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka dipakai D25-100} \rightarrow A_{s_{\text{pakai}}} = 4908,73 \text{ mm}^2 > 3327,18 \text{ mm}^2 \text{ (OKE)}$$

8. Perhitungan Transfer Beban Kolom ke Pondasi

$$A_1 = \text{Luas kolom} = 750 \text{ mm} \times 750 \text{ mm} = 562.500 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = \text{Luas poer} = 2750 \text{ mm} \times 4000 \text{ mm} = 11.000.000 \text{ mm}^2$$

- Kuat tumpu pada dasar kolom, N1

$$P_u = 604,05 \text{ ton} = 6040,50 \text{ kN}$$

$$N_1 = \phi \cdot 0,85 \cdot f_c' \cdot A_1 = 0,65 \cdot 0,85 \cdot 35 \text{ Mpa} \cdot 562.500 \text{ mm}^2$$

$$N_1 = 10.877.343,75 \text{ N} = 10.877 \text{ kN} > 6040,50 \text{ kN (OKE)}$$

- Kuat tumpu pada sisi atas pondasi, N1

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = \sqrt{\frac{11.000.000 \text{ mm}^2}{562.500 \text{ mm}^2}} = 4,42$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 22.8.3.2, nilai $\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$ tidak perlu diambil lebih dari 2, maka:

$$N_2 = 2 \cdot N_1 = 2 \cdot 10.877 \text{ kN} = 21.755 \text{ kN}$$

$$N_2 > P_u = 21.755 \text{ kN} > 6040,50 \text{ kN (OKE)}$$

Dengan demikian sebenarnya tidak perlu tulangan tambahan berupa stek untuk menyalurkan beban kolom ke pondasi, namun berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 16.3.4.1, bahwa tulangan minimum sebesar 0,005 kali luas bruto komponen struktur yang ditumpu. Sehingga:

$$A_s \text{ perlu} = 0,005 \cdot 750 \text{ mm} \cdot 750 \text{ mm} = 2812,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka dipakai } 12D25, \text{ dengan } A_s = 5890,49 \text{ mm}^2 > 2812,5 \text{ mm}^2 \text{ (OKE)}$$

9. Panjang Penyaluran Tulangan Pasak

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 25.4.9.3, untuk panjang penyaluran tulangan tekan diambil terbesar diantara:

$$\ell_{dc1} = \frac{0,24 \cdot f_y \cdot \psi_t}{\lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \cdot d_b = \frac{0,24 \cdot 400 \text{ Mpa} \cdot 1}{1,0 \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}}} \cdot 25 \text{ mm} = 405,67 \text{ mm}$$

$$\ell_{dc2} = 0,043 \cdot d_b \cdot \psi_t \cdot f_y = 0,043 \cdot 25 \text{ mm} \cdot 1 \cdot 400 \text{ Mpa} = 430 \text{ mm}$$

dipakai nilai ℓ_{dc} terbesar = 430 mm = 500 mm

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 25.4.2.2, untuk panjang penyaluran tarik diambil sebagai berikut:

$$\ell_d = \left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_{c'}}} \right) \cdot d_b = \left(\frac{400 \text{ Mpa} \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,7 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}}} \right) \cdot 25 \text{ mm} = 994,29 = 1000 \text{ mm}$$

7.3.3 Perhitungan Pondasi Tipe 2

1. Perencanaan Dimensi Poer

Menurut “Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa-Jilid 2 (Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck)”, menyebutkan bahwa:

Perhitungan jarak antar tiang pancang (S)

$$S \geq 2,5 \cdot D$$

$$S \geq 2,5 \cdot 50 \text{ cm} = 125 \text{ cm}, \text{ maka dipakai } S = 125 \text{ cm}$$

Perhitungan jarak antar tiang pancang (S)

$$S' \geq 1,5 \cdot D$$

$$S' \geq 1,5 \cdot 50 \text{ cm} = 75 \text{ cm}, \text{ maka dipakai } S' = 75 \text{ cm}$$

Sehingga total lebar poer:

$$b = 125 \text{ cm} + 75 \text{ cm} + 75 \text{ cm} = 320 \text{ cm} = 2,75 \text{ m}$$

Apabila $b = h$, maka $h = 2,75 \text{ m}$

Untuk tinggi poer direncanakan setebal = 75 cm = 0,75 m

2. Gaya yang Terjadi pada Pondasi

Dari program SAP2000 v.14, diketahui gaya-gaya yang terjadi pada joint 1807 yaitu sebagai berikut:

- Akibat beban tetap (1DL + 1LL)
P = 456,19 ton
Mx = 21,1 ton.m
My = 7,67 ton.m

$$\begin{aligned}
 V_x &= 4,72 \text{ ton} \\
 V_y &= 7,1 \text{ ton} \\
 \sum M_x &= M_x + V_y \times d \\
 &= 21,1 \text{ ton.m} + 7,1 \text{ ton} \times 0,75 \text{ m} \\
 &= 26,43 \text{ ton.m} \\
 \sum M_y &= M_y + V_x \times d \\
 &= 7,67 \text{ ton.m} + 4,72 \text{ ton} \times 0,75 \text{ m} \\
 &= 11,21 \text{ ton.m}
 \end{aligned}$$

- Akibat beban sementara (1,2DL + 1LL + 1Ex)

$$\begin{aligned}
 P &= 466,1 \text{ ton} \\
 M_x &= 7,8 \text{ ton.m} \\
 M_y &= 24,1 \text{ ton.m} \\
 V_x &= 12,86 \text{ ton} \\
 V_y &= 2,43 \text{ ton} \\
 \sum M_x &= M_x + V_y \times d \\
 &= 7,8 \text{ ton.m} + 2,43 \text{ ton} \times 0,75 \text{ m} \\
 &= 9,62 \text{ ton.m} \\
 \sum M_y &= M_y + V_x \times d \\
 &= 24,1 \text{ ton.m} + 12,86 \text{ ton} \times 0,75 \text{ m} \\
 &= 33,75 \text{ ton.m}
 \end{aligned}$$

- Akibat beban sementara (1,2DL + 1LL + 1Ey)

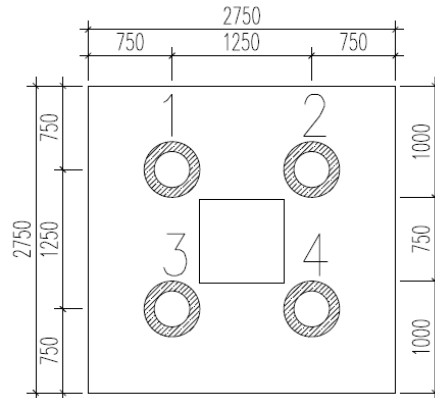
$$\begin{aligned}
 P &= 492,54 \text{ ton} \\
 M_x &= 21,34 \text{ ton.m} \\
 M_y &= 7,73 \text{ ton.m} \\
 V_x &= 4,97 \text{ ton} \\
 V_y &= 7,13 \text{ ton} \\
 \sum M_x &= M_x + V_y \times d \\
 &= 21,34 \text{ ton.m} + 7,13 \text{ ton} \times 0,75 \text{ m} \\
 &= 26,69 \text{ ton.m} \\
 \sum M_y &= M_y + V_x \times d \\
 &= 7,73 \text{ ton.m} + 4,97 \text{ ton} \times 0,75 \text{ m} \\
 &= 11,46 \text{ ton.m}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Efisiensi

Berdasarkan “Analisa dan Desain Pondasi-Jilid 2(Joseph E Bowles)”,
perhitungan daya dukung poer berdasarkan efisiensi adalah sebagai berikut:

Metode Converse-Labarre

$$\text{Effisiensi } (\eta) = 1 - \arctan \frac{D}{S} \left[\frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{90 \cdot m \cdot n} \right]$$



Gambar 7.10 Pondasi Tipe 2

Dimana:

m = banyaknya tiang dalam kolom = 2 buah
 n = banyaknya tiang dalam baris = 2 buah
 D = diameter tiang pancang = 0,5 m
 S = jarak antar sumbu as tiang pancang = 1,25 m

Sehingga:

$$\text{Effisiensi } (\eta) = 1 - \arctan \frac{0,5 \text{ m}}{1,25 \text{ m}} \left[\frac{(2-1) \cdot 2 + (2-1) \cdot 2}{90 \cdot 2 \cdot 2} \right] = 0,75$$

$$P \text{ ijin kelompok} = (\eta) \cdot P \text{ ijin} = 0,75 \cdot 185,3 \text{ ton} = 139,095$$

4. Perhitungan Daya Dukung Tiang dalam Kelompok

- Perhitungan akibat beban tetap:

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{M_x \cdot y_{\max}}{\sum y^2} \pm \frac{M_y \cdot x_{\max}}{\sum x^2}$$

$$P_1 = \frac{456,19 \text{ ton}}{4} - \frac{26,43 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2} - \frac{11,21 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2}$$

$$P_1 = 98,99 < 139,09 \text{ ton (OKE)}$$

$$P_2 = \frac{456,19 \text{ ton}}{4} + \frac{26,43 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2} - \frac{11,21 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2}$$

$$P_2 = 120,13 < 139,09 \text{ ton (OKE)}$$

$$P_3 = \frac{456,19 \text{ ton}}{4} - \frac{26,43 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2} + \frac{11,21 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2}$$

$$P_3 = 107,96 < 139,09 \text{ ton (OKE)}$$

$$P4 = \frac{456,19 \text{ ton}}{4} + \frac{26,43 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2} + \frac{11,21 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2}$$

$$P4 = 129,10 < 139,09 \text{ ton (OKE)}$$

- Perhitungan akibat beban sementara arah X:

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{Mx \cdot y_{\max}}{\sum y^2} \pm \frac{My \cdot x_{\max}}{\sum x^2}$$

$$P1 = \frac{466,1 \text{ ton}}{4} - \frac{9,62 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2} - \frac{33,75 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2}$$

$$P1 = 99,18 < 139,09 \text{ ton (OKE)}$$

$$P2 = \frac{466,1 \text{ ton}}{4} + \frac{9,62 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2} - \frac{33,75 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2}$$

$$P2 = 106,88 < 139,09 \text{ ton (OKE)}$$

$$P3 = \frac{466,1 \text{ ton}}{4} - \frac{9,62 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2} + \frac{33,75 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2}$$

$$P3 = 126,17 < 139,09 \text{ ton (OKE)}$$

$$P4 = \frac{466,1 \text{ ton}}{4} + \frac{9,62 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2} + \frac{33,75 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2}$$

$$P4 = 133,87 < 139,09 \text{ ton (OKE)}$$

- Perhitungan akibat beban sementara arah Y:

$$P = \frac{\sum P}{n} \pm \frac{Mx \cdot y_{\max}}{\sum y^2} \pm \frac{My \cdot x_{\max}}{\sum x^2}$$

$$P1 = \frac{492,54 \text{ ton}}{4} - \frac{26,69 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2} - \frac{11,46 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2}$$

$$P1 = 107,88 < 139,09 \text{ ton (OKE)}$$

$$P2 = \frac{492,54 \text{ ton}}{4} + \frac{26,69 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2} - \frac{11,46 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2}$$

$$P2 = 129,23 < 139,09 \text{ ton (OKE)}$$

$$P3 = \frac{492,54 \text{ ton}}{4} - \frac{26,69 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2} + \frac{11,46 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2}$$

$$P3 = 117,04 < 139,09 \text{ ton (OKE)}$$

$$P4 = \frac{492,54 \text{ ton}}{4} + \frac{26,69 \text{ ton} \cdot \text{m} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2} + \frac{11,46 \text{ ton} \cdot 0,625 \text{ m}}{1,5625 \text{ m}^2}$$

$$P4 = 138,39 < 139,09 \text{ ton (OKE)}$$

5. Cek Perhitungan Geser Satu Arah pada Poer Akibat Kolom

Apabila digunakan tulangan D25 untuk tulangan lentur:

$$d = h - t - d.\text{tulangan poer} - d.\text{tulangan poer}/2$$

$$d = 750 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - 25 \text{ mm} - \frac{25 \text{ mm}}{2} = 637,5 \text{ mm}$$

didapatkan dari program bantu SAP v.14, beban pusat terbesar kolom akibat

beban terfaktor (1,2 DL + 1,6 LL):

$$P_u = 448,22 \text{ ton}$$

$$Q_u = \frac{P_u}{b \cdot h} = \frac{448,22 \text{ ton}}{2,75 \text{ m} \cdot 2,75 \text{ m}} = 59,27 \text{ ton/m}^2 = 0,593 \text{ N/mm}^2$$

Gaya geser yang terjadi pada poer, V_u

$$V_u = Q_u \times b \times L'$$

$$L' = (0,5 \times b \text{ poer}) - (0,5 \times b \text{ kolom}) - d$$

$$= (0,5 \times 2750 \text{ mm}) - (0,5 \times 750 \text{ mm}) - 637,5 \text{ mm}$$

$$= 362,5 \text{ mm}$$

$$V_u = 0,593 \text{ N/mm}^2 \times 2750 \text{ mm} \times 362,5 \text{ mm}$$

$$= 590.835,45 \text{ N}$$

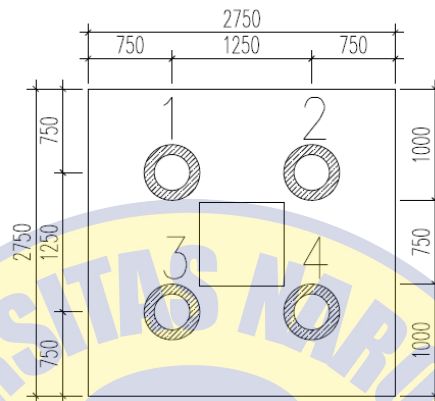
Gaya geser yang mampu dipikul oleh beton, V_c

$$V_c = 0,17 \cdot \sqrt{f_{c'}} \cdot b \cdot d$$

$$V_c = 0,17 \cdot \sqrt{35'} \cdot 2750 \text{ mm} \cdot 637,5 \text{ mm} = 1.763.176,65 \text{ N}$$

$$V_c > V_u = 1.763.176,65 \text{ N} > 590.835,45 \text{ N (OKE)}$$

6. Cek Perhitungan Geser Dua Arah pada Poer Akibat Kolom dan Tiang Pancang



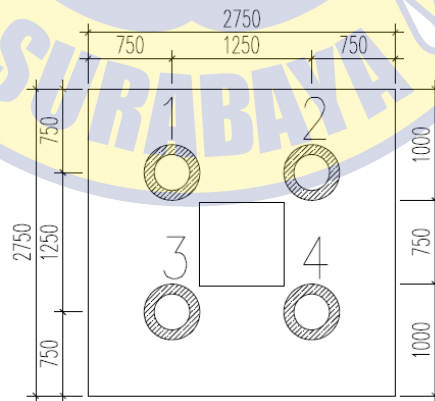
Gambar 7.11 Bidang Kritis Geser Dua Arah Akibat Kolom

$$A_t = (b_{\text{poer}} \cdot h_{\text{poer}}) - ((b_{\text{kolom}} + d) \cdot (h_{\text{kolom}} + d))$$

$$A_t = (2750 \text{ mm} \cdot 2750 \text{ mm}) - ((750 \text{ mm} + 637,5 \text{ mm}) \cdot (750 \text{ mm} + 637,5 \text{ mm}))$$

$$A_t = 6.677.968,75 \text{ mm}^2$$

$$V_u = Q_u \cdot A_t = \frac{0,593 \text{ N}}{\text{mm}^2} \cdot 6.677.968,75 \text{ mm}^2 = 3.957.949,29 \text{ N} = 3.957,95 \text{ kN}$$



Gambar 7.12 Bidang Kritis Geser Dua Arah Akibat Tiang Pancang

Diketahui beban terpusat terbesar tiang pancang yaitu:

$$P_u = 492,54 \text{ ton}$$

$$Q_u = \frac{P_u}{b \cdot h} = \frac{492,54 \text{ ton}}{2,75 \text{ m} \cdot 2,75 \text{ m}} = 65,13 \text{ ton/m}^2 = 0,651 \text{ N/mm}^2$$

$$A_t = (b_{\text{poer}} \cdot h_{\text{poer}}) - n \cdot A_{\text{tiang}}$$

$$A_t = (2750\text{mm} \cdot 2750\text{mm}) - 4 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (500\text{ mm})^2 \right) = 6.777.101,84\text{ mm}^2$$

$$V_u = Q_u \cdot A_t = \frac{0,651\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 6.777.101,84\text{ mm}^2 = 4.413.876,02\text{N} = 4.413,88\text{ kN}$$

Maka untuk nilai V_u yang dipakai adalah yang terbesar diantara V_u akibat kolom dan V_u akibat tiang pancang, diambil V_u sebesar = 4413,88 kN

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 22.6.5.2 (a), (b), dan (c), untuk perencanaan plat atau pondasi telapak aksi dua arah, nilai V_c harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai V_c terkecil:

- $V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$

Dimana:

$\square$ = rasio dari sisi panjang kolom terhadap sisi pendek kolom
 $\square$ = 750 mm / 750 mm = 1
 b_o = keliling dari penampang kritis
 $= 2 \times (b_{\text{kolom}} + h_{\text{kolom}}) + 4d$
 $= 2 \times (750\text{ mm} + 750\text{ mm}) + 4 \times 637,5\text{ mm} = 5550\text{ mm}$
 λ = 1 (untuk beton normal)

maka:

$$V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{2}{1} \right) \cdot 1 \cdot \sqrt{35\text{ Mpa}} \cdot 5550\text{ mm} \cdot 637,5\text{ mm} = 10.675.233\text{ N}$$

- $V_c = 0,083 \cdot \left(\frac{\alpha_s \cdot d}{b_o} + 2 \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$

Dimana:

α_s = 40 (untuk kolom tengah)
 α_s = 30 (untuk kolom tepi)
 α_s = 20 (untuk kolom sudut)

maka:

$$V_c = 0,083 \cdot \left(\frac{40 \cdot 637,5\text{ mm}}{5550\text{ mm}} + 2 \right) \cdot 1,0 \cdot \sqrt{35\text{ Mpa}} \cdot 5550\text{ mm} \cdot 637,5\text{ mm}$$

$$V_c = 11.457.065\text{ N} = 11.457,07\text{ kN}$$

- $V_c = 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$

$$V_c = 0,33 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{30\text{Mpa}} \cdot 5550 \text{ mm} \cdot 637,5 \text{ mm} = 6.907.504 \text{ N} = 6907,50 \text{ kN}$$

Maka dipakai nilai terkecil dari 3 persamaan tersebut, sehingga dipakai nilai

$$V_c = 6907,50 \text{ kN. Sehingga } V_u < V_c = 4413,88 \text{ kN} < 6907,50 \text{ kN (OKE)}$$

7. Perencanaan Tulangan Lentur Poer

Pada perencanaan tulangan lentur poer, nantinya diasumsikan sebagai balok kantilever dengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi tiang pancang dan berat sendiri pile cap.

Diketahui:

$$b_{\text{poer}} = 2750 \text{ mm}$$

$$h_{\text{poer}} = 2750 \text{ mm}$$

$$t_{\text{poer}} = 750 \text{ mm}$$

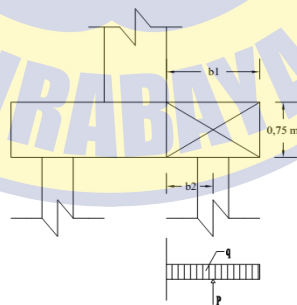
$$\text{Selimut beton} = 75 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tul. Lentur} = 25 \text{ mm}$$

$$d_x = 1000 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - \frac{25 \text{ mm}}{2} = 650 \text{ mm}$$

$$d_y = 1000 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - 25 \text{ mm} - \frac{25 \text{ mm}}{2} = 637,5 \text{ mm}$$

• Penulangan Poer Arah X



Gambar 7.13 Mekanika Gaya Poer Arah X

Diketahui nilai untuk jarak-jarak sebagai berikut:

$$b_1 = \text{jarak dari ujung poer ke tepi kolom} \\ = (2,75 \text{ m} - (0,5 \times 2,75 \text{ m} + 0,5 \times 0,75 \text{ m})) = 1 \text{ m}$$

$$b_2 = \text{jarak dari as tiang pancang ke tepi kolom} \\ = 1 \text{ m} / 2 = 0,5 \text{ m}$$

$$q_u = \text{berat poer yang ditinjau} \\ = 2,75 \text{ m} \times 0,75 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ m} = 4950 \text{ kg}$$

Gaya maksimum yang terjadi pada satu tiang pancang adalah:

$$P_u = 138,39 \text{ ton} = 138.393 \text{ kg}$$

Maka momen yang terjadi pada poer adalah:

$$\begin{aligned} M_u &= -M_q + M_p \\ &= -(0,5 \times q_u \times b_1^2) + (P \times b_2) \\ &= -(0,5 \times 4950 \text{ kg} \times 1 \text{ m}^2) + (138.393 \text{ kg} \times 0,5 \text{ m}) \\ &= 66.721,50 \text{ kg.m} = 667.215.600 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 35 \text{ Mpa}} = 13,45$$

$$p_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} p_{\max} &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 35 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right) = 0,0284 \end{aligned}$$

$$M_u = 667.215.000 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{667.215.000 \text{ N.mm}}{0,9} = 741.350.000 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{741.350.000 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (650 \text{ mm})^2} = 1,75 \text{ N/mm}^2$$

$$p = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$p = \frac{1}{13,45} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,45 \cdot 1,75 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{400 \text{ Mpa}}} \right) = 0,0045$$

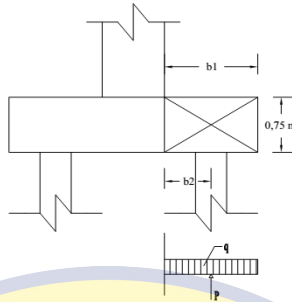
Karena $p > p_{\min}$, maka dipakai $p = 0,0045$

$$\text{Sehingga: } A_{s_{\text{perlu}}} = p \cdot b \cdot d = 0,0045 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 650 \text{ mm} = 2940,83 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} = 3272,49 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai D25-150 $\rightarrow A_{s_{pakai}} = 3272,49 \text{ mm}^2 > 2940,83 \text{ mm}^2$ (OKE)

- Penulangan Poer Arah Y



Gambar 7.14 Mekanika Gaya Poer Arah Y

Diketahui nilai untuk jarak-jarak sebagai berikut:

$$\begin{aligned} b1 &= \text{jarak dari ujung poer ke tepi kolom} \\ &= (2,75 \text{ m} - (0,5 \times 2,75 \text{ m} + 0,5 \times 0,75 \text{ m})) = 1 \text{ m} \\ b2 &= \text{jarak dari as tiang pancang ke tepi kolom} \\ &= 1 \text{ m} / 2 = 0,5 \text{ m} \\ qu &= \text{berat poer yang ditinjau} \\ &= 2,75 \text{ m} \times 0,75 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 0,5 \text{ m} = 4950 \text{ kg} \end{aligned}$$

Gaya maksimum yang terjadi pada satu tiang pancang adalah:

$$Pu = 138,39 \text{ ton} = 138.393 \text{ kg}$$

Maka momen yang terjadi pada poer adalah:

$$\begin{aligned} Mu &= -Mq + Mp \\ &= -(0,5 \times qu \times b1^2) + (P \times b2) \\ &= -(0,5 \times 4950 \text{ kg} \times 1 \text{ m}^2) + (138.393 \text{ kg} \times 0,5 \text{ m}) \\ &= 66.721,50 \text{ kg.m} = 667.215.000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'} = \frac{400 \text{ Mpa}}{0,85 \times 35 \text{ Mpa}} = 13,45$$

$$p_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400 \text{ Mpa}} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} p_{\max} &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot fc'}{fy} \cdot \left(\frac{600}{600 + fy} \right) \\ &= 0,75 \cdot \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 35 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \right) = 0,0284 \end{aligned}$$

$$M_u = 667.215.000 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{667.215.000 \text{ N.mm}}{0,9} = 741.350.000 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{741.350.000 \text{ N.mm}}{1000 \text{ mm} \cdot (637,5 \text{ mm})^2} = 1,82 \text{ N/mm}^2$$

$$p = \frac{1}{m} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$p = \frac{1}{13,45} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 13,45 \cdot 1,82 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{400 \text{ Mpa}}} \right) = 0,0047$$

Karena $p > p_{\min}$, maka dipakai $p = 0,0047$

$$\text{Sehingga: } A_{s_{\text{perlu}}} = p \cdot b \cdot d = 0,0047 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 637,5 \text{ mm} = 3002,31 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (25 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} = 3272,49 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka dipakai D25-100} \rightarrow A_{s_{\text{pakai}}} = 4908,73 \text{ mm}^2 > 3327,18 \text{ mm}^2 \text{ (OKE)}$$

8. Perhitungan Transfer Beban Kolom ke Pondasi

$$A_1 = \text{Luas kolom} = 750 \text{ mm} \times 750 \text{ mm} = 562.500 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = \text{Luas poer} = 2750 \text{ mm} \times 2750 \text{ mm} = 7.562.500 \text{ mm}^2$$

- Kuat tumpu pada dasar kolom, N_1

$$P_u = 492,54 \text{ ton} = 4925,40 \text{ kN}$$

$$N_1 = \varphi \cdot 0,85 \cdot f_c' \cdot A_1 = 0,65 \cdot 0,85 \cdot 35 \text{ Mpa} \cdot 562.500 \text{ mm}^2$$

$$N_1 = 10.877.343,75 \text{ N} = 10.877 \text{ kN} > 4925,40 \text{ kN} \text{ (OKE)}$$

- Kuat tumpu pada sisi atas pondasi, N_1

$$\sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = \sqrt{\frac{7.562.500 \text{ mm}^2}{562.500 \text{ mm}^2}} = 3,67$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 22.8.3.2, nilai $\sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$ tidak perlu diambil lebih dari 2, maka:

$$N_2 = 2 \cdot N_1 = 2 \cdot 10.877 \text{ kN} = 21.755 \text{ kN}$$

$$N_2 > P_u = 21.755 \text{ kN} > 4925,40 \text{ kN (OKE)}$$

Dengan demikian sebenarnya tidak perlu tulangan tambahan berupa stek untuk menyalurkan beban kolom ke pondasi, namun berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 16.3.4.1, bahwa tulangan minimum sebesar 0,005 kali luas bruto komponen struktur yang ditumpu. Sehingga:

$$A_s \text{ perlu} = 0,005 \cdot 750 \text{ mm} \cdot 750 \text{ mm} = 2812,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka dipakai 12D25, dengan } A_s = 5890,49 \text{ mm}^2 > 2812,5 \text{ mm}^2 \text{ (OKE)}$$

9. Panjang Penyaluran Tulangan Pasak

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 25.4.9.3, untuk panjang penyaluran tulangan tekan diambil terbesar diantara:

$$\ell_{dc1} = \frac{0,24 \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \cdot d_b = \frac{0,24 \cdot 400 \text{ Mpa}}{1,0 \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}}} \cdot 25 \text{ mm} = 405,67 \text{ mm}$$

$$\ell_{dc2} = 0,043 \cdot d_b \cdot f_y = 0,043 \cdot 25 \text{ mm} \cdot 400 \text{ Mpa} = 430 \text{ mm}$$

$$\text{dipakai nilai } \ell_{dc} \text{ terbesar} = 430 \text{ mm} = 500 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 25.4.2.2, untuk panjang penyaluran tarik diambil sebagai berikut:

$$\ell_d = \left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) \cdot d_b = \left(\frac{400 \text{ Mpa} \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,7 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}}} \right) \cdot 25 \text{ mm} = 994,29 = 1000 \text{ mm}$$