

BAB IV

PERHITUNGAN STRUKTUR

4.1 Perhitungan Pelat Lantai

Perhitungan pelat lantai dan pelat atap dihitung dengan menggunakan beban yang ditumpu tiap lantainya dan bentuk pelat menyesuaikan bentuk denah balok. Mutu beton yang digunakan untuk pelat lantai adalah K-350 ($f_c' = 29,05$ MPa), dan menggunakan baja tulangan $f_y = 240$ MPa.

Penentuan tebal pelat lantai menggunakan rumus:

$$h_{(max)} \geq \frac{l_n (0,8 + f_y/1500)}{36}$$

$$h_{(min)} \geq \frac{l_n (0,8 + f_y/1500)}{36 + 9\beta}$$

dengan,

h = ketebalan plat (mm)

l_n = bentang terpanjang (mm)

f_y = kuat tarik baja tulangan (mm)

$$\beta = \frac{l_y}{l_x}$$

1. Plat lantai *Ground*

$$l_x = 4000 \text{ mm}$$

$$l_y = 5000 \text{ mm}$$

$$h_{(max)} \geq \frac{5000 (0,8 + \frac{240}{1500})}{36} = 133,33 \text{ mm}$$

$$h_{(min)} \geq \frac{5000 (0,8 + 240/1500)}{36 + 9(5000/4000)} = 101,59 \text{ mm}$$

Dipakai tebal pelat 200 mm = 20 cm. (karena plat lantai *ground* berhubungan langsung dengan tanah)



2. Plat lantai 1-Atap

$$l_x = 4000 \text{ mm}$$

$$l_y = 5000 \text{ mm}$$

$$h_{(\max)} \geq \frac{5000 (0,8 + \frac{240}{1500})}{36} = 133,33 \text{ mm}$$

$$h_{(\min)} \geq \frac{5000 (0,8 + 240/1500)}{36 + 9(5000/4000)} = 101,59 \text{ mm}$$

Dipakai tebal plat 120 mm = 12 cm

❖ Perhitungan pembebanan plat lantai

1. Lantai *Ground*

a. Beban Hidup (*LL*)

$$\text{Beban hidup} = 500 \text{ kg/m}^2$$

b. Beban Mati (*DL*)

$$\text{Berat sendiri plat} = 0,2 \times 2.400 \text{ kg/m}^3 = 480 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi (3 cm)} = 3 \times 21 \text{ kg/cm tebal} = 63 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Floor Deck} = 1 \times 7,5 \text{ kg/m}^3 = 7,5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Urugan Pasir 5 cm} = 0,05 \times 1.800 \text{ kg/m}^3 = 90 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ubin keramik (1 cm)} = 1 \times 24 \text{ kg/cm tebal} = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Penggantung + Plafon} = 11 + 7 = 18 \text{ kg/m}^2 +$$

$$\text{Total } (q_{DL}) = 682,5 \text{ kg/m}^2$$

2. Lantai 1-5

a. Beban Hidup (*LL*)

$$\text{Beban hidup} = 500 \text{ kg/m}^2$$

b. Beban Mati (*DL*)

$$\text{Berat sendiri plat} = 0,12 \times 2.400 \text{ kg/m}^3 = 288 \text{ kg/m}^2$$



Spesi (3 cm)	$= 3 \times 21 \text{ kg/cm tebal}$	$= 63 \text{ kg/m}^2$
Floor Deck	$= 1 \times 7,5 \text{ kg/m}^3$	$= 7,5 \text{ kg/m}^3$
Urugan Pasir 5 cm	$= 0,05 \times 1.800 \text{ kg/m}^3$	$= 90 \text{ kg/m}^2$
Ubin keramik (1 cm)	$= 1 \times 24 \text{ kg/cm tebal}$	$= 24 \text{ kg/m}^2$
Penggantung + Plafon	$= 11 + 7$	$= 18 \text{ kg/m}^2 +$
Total (q_{DL})		$= 490,5 \text{ kg/m}^2$

3. Lantai Atap

a. Beban Hidup (LL)

$$\text{Beban hidup} = 250 \text{ kg/m}^2$$

b. Beban Mati (DL)

$$\text{Berat sendiri plat} = 0,12 \times 2.400 \text{ kg/m}^3 = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Spesi (3 cm)} = 3 \times 21 \text{ kg/cm tebal} = 63 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Urugan Pasir 5 cm} = 0,05 \times 1.800 \text{ kg/m}^3 = 90 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Ubin keramik (1 cm)} = 1 \times 24 \text{ kg/cm tebal} = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Penggantung + Plafon} = 11 + 7 = 18 \text{ kg/m}^2 +$$

$$\text{Total } (q_{DL}) = 483 \text{ kg/m}^2$$

❖ Penulangan plat lantai

1. Lantai *Ground*

$$l_x = 4000 \text{ m}, \quad l_y = 5000 \text{ m}$$

Data-data perencanaan:

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa} \qquad C_v = 20 \text{ mm}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa} \qquad \phi = 0,8$$

$$q_{DL} = 682,5 \text{ kg/m}^2 = 6825 \text{ N/m}^2 \qquad h = 20 \text{ cm}$$

$$q_{LL} = 500 \text{ kg/m}^2 = 5000 \text{ N/m}^2$$

$$\phi_{tul} = 10 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned}
 q_u &= 1,2 DL + 1,6 LL \\
 &= 1,2 (682,5) + 1,6 (500) \\
 &= 1619 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

- o Mencari koefisien C_x dan C_y

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{5000}{4000} = 1,25 \rightarrow C_x = 64,00 \text{ dan } C_y = 51,00$$

- o Mencari Jarak Tulangan Arah x

$$dx = h - Cv - \frac{\phi}{2}$$

Keterangan:

h = tebal pelat (cm)

Cv = selimut beton (mm)

ϕ = diameter tulangan (mm)

$$d_x = 200 - 20 - \frac{10}{2} = 175 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{ux} &= 0,001 \times q_u \times C_x \times l_x^2 \\
 M_{ux} &= 0,001 \times 1619 \times 64,00 \times 4^2 = 1657,86 \text{ kg. m}
 \end{aligned}$$

$$M_{nx} = \frac{M_{ux} \times 10000 \text{ Nm}}{0,8}$$

$$M_{nx} = \frac{1657,86 \times 10000}{0,8} = 20723200 \text{ Nmm}$$

$$\frac{1}{2} (0,85 \times f'_c \times 1000) a_x^2 - (0,85 \times f'_c \times 1000 \times d_x) a_x + M_{nx} = 0$$

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2} (0,85 \times 29,05 \times 1000) a_x^2 - (0,85 \times 29,05 \times 1000 \times 175) a_x + 20723200 &= 0 \\
 12346,25 a_x^2 - 4321188 a_x + 20723200 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned}
 a_{x1} &= 345,137 \text{ mm} \\
 a_{x2} &= 4,86 \text{ mm}
 \end{aligned} \right\} \text{Ambil nilai } a_x \text{ terkecil, yaitu } a_{x2} = 4,86 \text{ mm}$$

$$As_x = 0,85 \times f'_c \times a_x \times \frac{1000}{f_y}$$

$$As_x = 0,85 \times 29,05 \times 4,86 \times \frac{1000}{240} = 500,36 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 1$$



$$A_{s_{min}} = \frac{\sqrt{f'_c} \times 1000 \times d_x}{4 \times f_y}$$

$$A_{s_{min}} = \frac{\sqrt{29,05} \times 1000 \times 175}{4 \times 240} = 982,51 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 2$$

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times d_x}{f_y}$$

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times 175}{240} = 1020,83 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 3$$

∴ As pakai ambil nilai As yang terbesar, yaitu $A_{s_{min}} = 1020,83 \text{ mm}^2 \dots\dots 3$

$$\text{Jarak arah } x = \left(\frac{1}{4} \times \pi \times \frac{(\text{Øtulangan } x)^2}{A_{s_{pakai}}} \right) \times 1000$$

$$\text{Jarak arah } x = \left(\frac{1}{4} \times 3,14 \times \frac{10^2}{1020,83} \right) \times 1000 = 76,96 \text{ mm} \rightarrow 75 \text{ mm}$$

Tulangan yang digunakan adalah Ø10 – 75 mm

○ Mencari Jarak Tulangan Arah y

$$d_y = 200 - 20 - (1,5 \times 10) = 165 \text{ mm}$$

$$M_{uy} = 0,001 \times q_u \times C_y \times l_y^2$$

$$M_{uy} = 0,001 \times 1619 \times 51,00 \times 4,00^2 = 1321,1 \text{ kg.m}$$

$$M_{ny} = \frac{M_{uy} \times 10000 \text{ Nm}}{0,8}$$

$$M_{ny} = \frac{1321,1 \times 10000}{0,8} = 16513800 \text{ Nmm}$$

$$\frac{1}{2} (0,85 \times f'_c \times 1000) a_y^2 - (0,85 \times f'_c \times 1000 \times d_y) a_y + M_{ny} = 0$$

$$\frac{1}{2} (0,85 \times 29,05 \times 1000) a_y^2 - (0,85 \times 29,05 \times 1000 \times 165) a_y + 16513800 = 0$$

$$12346,25 a_y^2 - 4074263,5 a_y + 16513800 = 0$$

$$\left. \begin{array}{l} a_{y1} = 325,9 \text{ mm} \\ a_{y2} = 4,10 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{Ambil nilai } a_y \text{ terkecil, yaitu } a_{y2} = 4,10 \text{ mm}$$

$$A_{s_y} = 0,85 \times f'_c \times a_y \times \frac{1000}{f_y}$$

$$A_{s_y} = 0,85 \times 29,05 \times 4,10 \times \frac{1000}{240} = 422,26 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 1$$

$$A_{s_{min}} = \frac{\sqrt{f'_c} \times 1000 \times d_y}{4 \times f_y}$$



$$A_{s_{min}} = \frac{\sqrt{29,05} \times 1000 \times 165}{4 \times 240} = 926,37 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 2$$

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times d_y}{f_y}$$

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times 165}{240} = 962,5 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 3$$

∴ As pakai ambil nilai As yang terbesar, yaitu $A_{s_{min}} = 962,5 \text{ mm}^2 \dots\dots 3$

$$\text{Jarak arah } y = \left(\frac{1}{4} \pi \times \frac{(\text{Øtulangan } y)^2}{A_{s_{pakai}}} \right) \times 1000$$

$$\text{Jarak arah } y = \left(\frac{1}{4} 3,14 \times \frac{10^2}{962,5} \right) \times 1000 = 81,63 \text{ mm} \rightarrow 75 \text{ mm}$$

Tulangan yang digunakan adalah Ø10 – 75 mm

2. Lantai 1-5

$$l_x = 4000 \text{ mm}, \quad l_y = 5000 \text{ mm}$$

Data-data perencanaan:

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa} \qquad C_v = 20 \text{ mm}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa} \qquad \phi = 0,8$$

$$q_{DL} = 490,5 \text{ kg/m}^2 = 4905 \text{ N/m}^2 \qquad h = 12 \text{ cm}$$

$$q_{LL} = 500 \text{ kg/m}^2 = 5000 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Ø}_{tul} = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 DL + 1,6 LL \\ &= 1,2 (490,5) + 1,6 (500) \\ &= 1388,6 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

o Mencari koefisien C_x dan C_y

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{5000}{4000} = 1,25 \rightarrow C_x = 64,00 \text{ dan } C_y = 51,00$$



o Mencari Jarak Tulangan Arah x

$$dx = h - Cv - \frac{\emptyset}{2}$$

Keterangan:

h = tebal pelat (cm)

Cv = selimut beton (mm)

\emptyset = diameter tulangan (mm)

$$d_x = 120 - 20 - \frac{10}{2} = 95 \text{ mm}$$

$$M_{ux} = 0,001 \times q_u \times C_x \times l_x^2$$

$$M_{ux} = 0,001 \times 1388,6 \times 64,00 \times 4^2 = 1421,92 \text{ kg. m}$$

$$M_{nx} = \frac{M_{ux} \times 10000}{0,8}$$

$$M_{nx} = \frac{1421,92 \times 10000}{0,8} = 17774080 \text{ Nmm}$$

$$\frac{1}{2} (0,85 \times f'_c \times 1000) a_x^2 - (0,85 \times f'_c \times 1000 \times d_x) a_x + M_{nx} = 0$$

$$\frac{1}{2} (0,85 \times 29,05 \times 1000) a_x^2 - (0,85 \times 29,05 \times 1000 \times 95) a_x + 17774080 = 0$$

$$12346,25 a_x^2 - 2345788 a_x + 17774080 = 0$$

$$\left. \begin{array}{l} a_{x1} = 182,094 \text{ mm} \\ a_{x2} = 7,9 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{Ambil nilai } a_x \text{ terkecil, yaitu } a_{x2} = 7,9 \text{ mm}$$

$$As_x = 0,85 \times f'_c \times a_x \times \frac{1000}{f_y}$$

$$As_x = 0,85 \times 29,05 \times 7,9 \times \frac{1000}{240} = 813,41 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 1$$

$$As_{min} = \frac{\sqrt{f'_c} \times 1000 \times d_x}{4 \times f_y}$$

$$As_{min} = \frac{\sqrt{29,05} \times 1000 \times 95}{4 \times 240} = 532,91 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 2$$

$$As_{min} = \frac{1,4 \times 1000 \times d_x}{f_y}$$

$$As_{min} = \frac{1,4 \times 1000 \times 95}{240} = 554,167 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 3$$

\therefore As pakai ambil nilai As yang terbesar, yaitu $As_{min} = 813,41 \text{ mm}^2 \dots\dots 1$



$$\text{Jarak arah } x = \left(\frac{1}{4} \pi \times \frac{(\text{Øtulangan } x)^2}{A_{s_{pakai}}} \right) \times 1000$$

$$\text{Jarak arah } x = \left(\frac{1}{4} 3,14 \times \frac{10^2}{813,41} \right) \times 1000 = 96,59 \text{ mm} \rightarrow 75 \text{ mm}$$

Tulangan yang digunakan adalah Ø10 – 75 mm

o **Mencari Jarak Tulangan Arah y**

$$d_y = 120 - 20 - (1,5 \times 10) = 85 \text{ mm}$$

$$M_{uy} = 0,001 \times q_u \times C_y \times l_y^2$$

$$M_{uy} = 0,001 \times 1388,6 \times 51,00 \times 4,00^2 = 1133,09 \text{ kg. m}$$

$$M_{ny} = \frac{M_{uy} \times 10000 \text{ Nm}}{0,8}$$

$$M_{ny} = \frac{1133,09 \times 10000}{0,8} = 14163720 \text{ Nmm}$$

$$\frac{1}{2} (0,85 \times f'_c \times 1000) a_y^2 - (0,85 \times f'_c \times 1000 \times d_y) a_y + M_{ny} = 0$$

$$\frac{1}{2} (0,85 \times 29,05 \times 1000) a_y^2 - (0,85 \times 29,05 \times 1000 \times 85) a_y + 14163720 = 0$$

$$12346,25 a_y^2 - 2098862,5 a_y + 14163720 = 0$$

$$\left. \begin{array}{l} a_{y1} = 162,96 \text{ mm} \\ a_{y2} = 7,04 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{Ambil nilai } a_y \text{ terkecil, yaitu } a_{y2} = 7,04 \text{ mm}$$

$$A_{s_y} = 0,85 \times f'_c \times a_y \times \frac{1000}{f_y}$$

$$A_{s_y} = 0,85 \times 29,05 \times 7,04 \times \frac{1000}{240} = 724,29 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 1$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{\sqrt{f'_c} \times 1000 \times d_y}{4 \times f_y}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{\sqrt{29,05} \times 1000 \times 85}{4 \times 240} = 477,22 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 2$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times d_y}{f_y}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times 85}{240} = 495,83 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 3$$

∴ As pakai ambil nilai As yang terbesar, yaitu $A_{s_{\min}} = 724,29 \text{ mm}^2 \dots\dots 1$

$$\text{Jarak arah } y = \left(\frac{1}{4} \pi \times \frac{(\text{Øtulangan } y)^2}{A_{S_{\text{pakai}}}} \right) \times 1000$$
$$\text{Jarak arah } y = \left(\frac{1}{4} 3,14 \times \frac{10^2}{724,29} \right) \times 1000 = 108,48 \text{ mm} \rightarrow 100 \text{ mm}$$

Tulangan yang digunakan adalah Ø10 – 100 m

3. Lantai atap

$$l_x = 4000 \text{ mm}, \quad l_y = 5000 \text{ mm}$$

Data-data perencanaan:

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa} \qquad C_v = 20 \text{ mm}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa} \qquad \phi = 0,8$$

$$q_{DL} = 483 \text{ kg/m}^2 = 4830 \text{ N/m}^2 \qquad h = 12 \text{ cm}$$

$$q_{LL} = 250 \text{ kg/m}^2 = 2500 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Ø}_{\text{tul}} = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (483) + 1,6 (250) \\ &= 979,66 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

- Mencari koefisien C_x dan C_y

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{5000}{4000} = 1,25 \rightarrow C_x = 64,00 \text{ dan } C_y = 51,00$$

- Mencari Jarak Tulangan Arah x

$$dx = h - C_v - \frac{\phi}{2}$$

Keterangan:

h = tebal pelat (cm)

C_v = selimut beton (mm)

Ø = diameter tulangan (mm)



$$d_x = 120 - 20 - \frac{10}{2} = 95 \text{ mm}$$

$$M_{ux} = 0,001 \times q_u \times C_x \times l_x^2$$

$$M_{ux} = 0,001 \times 979,66 \times 64,00 \times 4^2 = 1003,11 \text{ kg.m}$$

$$M_{nx} = \frac{M_{ux} \times 10000 \text{ Nm}}{0,8}$$

$$M_{nx} = \frac{1003,11 \times 10000}{0,8} = 12538888 \text{ Nmm}$$

$$\frac{1}{2} (0,85 \times f'_c \times 1000) a_x^2 - (0,85 \times f'_c \times 1000 \times d_x) a_x + M_{nx} = 0$$

$$\frac{1}{2} (0,85 \times 29,05 \times 1000) a_x^2 - (0,85 \times 29,05 \times 1000 \times 95) a_x + 12538888 = 0$$

$$12346,25 a_x^2 - 2345788 a_x + 12538888 = 0$$

$$\left. \begin{array}{l} a_{x1} = 184,48 \text{ mm} \\ a_{x2} = 5,51 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{Ambil nilai } a_x \text{ terkecil, yaitu } a_{x2} = 5,51 \text{ mm}$$

$$A_{s_x} = 0,85 \times f'_c \times a_x \times \frac{1000}{f_y}$$

$$A_{s_x} = 0,85 \times 29,05 \times 5,51 \times \frac{1000}{240} = 566,39 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 1$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{\sqrt{f'_c} \times 1000 \times d_x}{4 \times f_y}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{\sqrt{29,05} \times 1000 \times 95}{4 \times 240} = 532,91 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 2$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times d_x}{f_y}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times 95}{240} = 554,167 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 3$$

∴ As pakai ambil nilai As yang terbesar, yaitu $A_{s_{\min}} = 566,39 \text{ mm}^2 \dots\dots 1$

$$\text{Jarak arah } x = \left(\frac{1}{4} \pi \times \frac{(\text{Øtulangan } x)^2}{A_{s_{\text{pakai}}}} \right) \times 1000$$

$$\text{Jarak arah } x = \left(\frac{1}{4} 3,14 \times \frac{10^2}{566,39} \right) \times 1000 = 138,72 \text{ mm} \rightarrow 125 \text{ mm}$$

Tulangan yang digunakan adalah Ø10 – 125 mm

○ **Mencari Jarak Tulangan Arah y**



$$d_y = 120 - 20 - (1,5 \times 10) = 85 \text{ mm}$$

$$M_{uy} = 0,001 \times q_u \times C_y \times l_y^2$$

$$M_{uy} = 0,001 \times 979,66 \times 51,00 \times 4,00^2 = 799,35 \text{ kg. m}$$

$$M_{ny} = \frac{M_{uy} \times 10000 \text{ Nm}}{0,8}$$

$$M_{ny} = \frac{799,35 \times 10000}{0,8} = 9991920 \text{ Nmm}$$

$$\frac{1}{2}(0,85 \times f'_c \times 1000)a_y^2 - (0,85 \times f'_c \times 1000 \times d_y)a_y + M_{ny} = 0$$

$$\frac{1}{2}(0,85 \times 29,05 \times 1000)a_y^2 - (0,85 \times 29,05 \times 1000 \times 85)a_y + 9991920 = 0$$

$$12346,25a_y^2 - 2098862,5a_y + 9991920 = 0$$

$$\left. \begin{array}{l} a_{y1} = 165,09 \text{ mm} \\ a_{y2} = 4,91 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{Ambil nilai } a_y \text{ terkecil, yaitu } a_{y2} = 4,91 \text{ mm}$$

$$A_{s_y} = 0,85 \times f'_c \times a_y \times \frac{1000}{f_y}$$

$$A_{s_y} = 0,85 \times 29,05 \times 4,91 \times \frac{1000}{240} = 504,37 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 1$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{\sqrt{f'_c} \times 1000 \times d_y}{4 \times f_y}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{\sqrt{29,05} \times 1000 \times 85}{4 \times 240} = 477,22 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 2$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times d_y}{f_y}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1,4 \times 1000 \times 85}{240} = 495,83 \text{ mm}^2 \dots\dots\dots 3$$

∴ As pakai ambil nilai As yang terbesar, yaitu $A_{s_{\min}} = 504,37 \text{ mm}^2 \dots\dots 1$

$$\text{Jarak arah } y = \left(\frac{1}{4} \pi \times \frac{(\text{Øtulangan } y)^2}{A_{s_{\text{pakai}}}} \right) \times 1000$$

$$\text{Jarak arah } y = \left(\frac{1}{4} 3,14 \times \frac{10^2}{504,37} \right) \times 1000 = 155,78 \text{ mm} \rightarrow 150 \text{ mm}$$

Tulangan yang digunakan adalah Ø10 – 150 mm

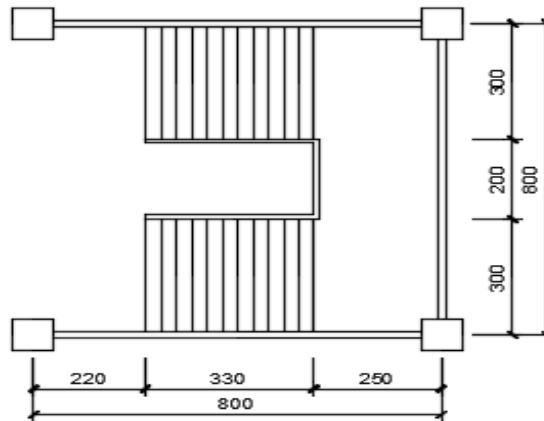


4.2 Perhitungan Tangga

Pada perencanaan tangga diambil tipe tangga yang paling tinggi perbedaan elevasinya antara jarak lantai yang satu dengan yang lainnya. Perbedaan elevasi ketinggian yang paling besar terdapat pada lantai *Ground Floor*

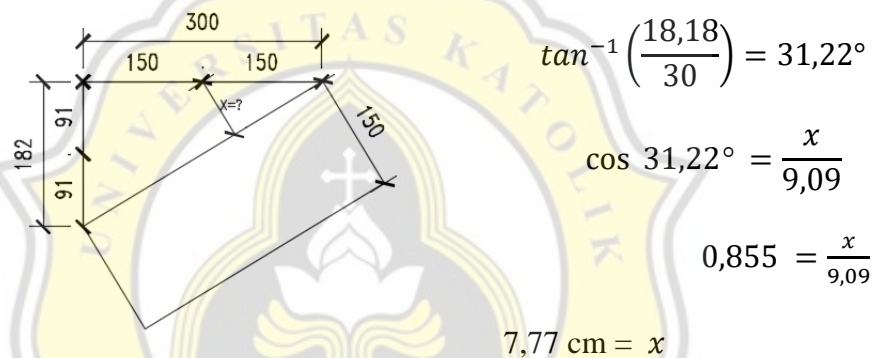
Data teknis :

1. Tebal Plat 1 = 0,15 m
2. Panjang Tangga = 3 m
3. Tinggi Tangga = 4 m
4. Lebar anak tangga = 3 m
5. Panjang bordes = 2,5 m
6. Tinggi bordes = 2 m
7. Optrede/tanjakan = 0,1818 m
8. Antrede/injakan = 0,3 m
9. Jumlah anak tangga = (beda tinggi/optrede) - 1
= (4 m/0,18 m) - 1
= 21 buah
10. Beban rumah tinggal = 300 kg/m³
11. Berat jenis beton = 2400 kg/m²
12. Sudut (α) = $\tan^{-1}\left(\frac{0,18}{0,3}\right) = 31,22^\circ$



Gambar 4.1 Denah Tangga

4.2.1 Pembebanan Tangga



Gambar 4.2 Detail Tangga

$$h_{DL} = \text{tebal plat} + x$$

$$h_{DL} = 15 \text{ cm} + 7,77 \text{ cm}$$

$$h_{DL} = 22,77 \text{ cm}$$

$$h_{DL} = 0,227 \text{ m}$$

1. Plat tangga

a. Beban mati (q_{DL})

$$\text{Berat sendiri plat} = 0,227 \text{ m} \times 3 \times 2.400 \text{ kg/m}^3 = 1639,77 \text{ kg/m}$$

b. Beban hidup (q_{LL}) = $300 \text{ kg/m}^2 \times 3 = 900 \text{ kg/m}$

2. Plat bordes

a. Beban mati (q_{DL})

$$\text{Berat sendiri plat} = 0,15 \text{ m} \times 2,5 \times 2.400 \text{ kg/m}^2 = 900 \text{ kg/m}$$

b. Beban hidup (q_{LL}) = $300 \text{ kg/m}^2 \times 2,5 = 750 \text{ kg/m}$

Total Beban :

$$DL = 1639,77 \text{ kg/m}^2 + 900 \text{ kg/m}^2 = 2539,77 \text{ kg/m}$$

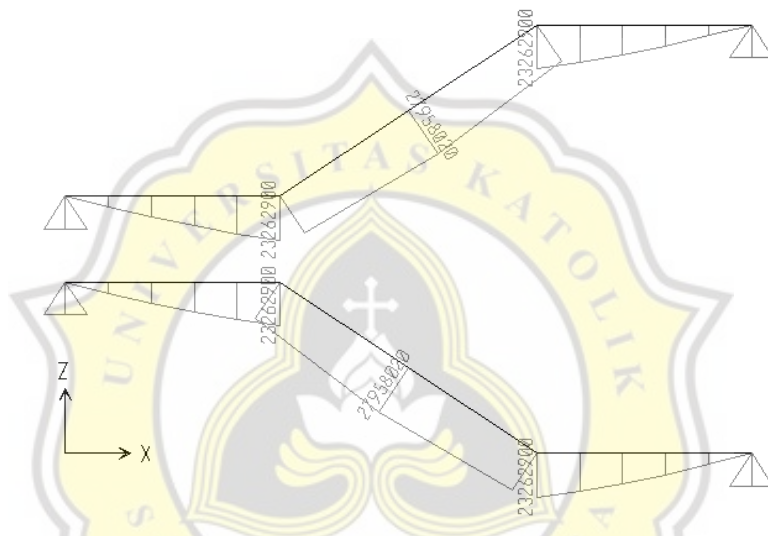
$$LL = 900 \text{ kg/m}^2 + 750 \text{ kg/m}^2 = 1650 \text{ kg/m}$$

$$U = 1,2 \times DL + 1,6 \times LL$$

$$= 1,2 \times 2539,77 + 1,6 \times 1650 = 5687,72 \text{ kg/m}$$

4.2.2 Penulangan Tangga

Berdasarkan perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000 Version 14 diperoleh:



Gambar 4.3 Hasil SAP Tangga

$$M_{\text{maksimum}} = 23262900 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{23262900}{0,8} = 2,91 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

$$d = h - C_v - \frac{\emptyset}{2}$$

$$= 150 - 20 - \left(\frac{13}{2}\right) = 123,5 \text{ mm}$$

$$M_n = C_c \times z$$

$$2,91 \times 10^7 = 0,85 \times f'c \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$2,91 \times 10^7 = 0,85 \times 29,05 \times a \times 1.000 \times \left(123,5 - \frac{a}{2}\right)$$

$$a = 9,94 \text{ mm}$$

$$T_s = C_c$$



$$A_s \times f_y = 0,85 \times f'_c \times a \times b$$
$$A_s = \frac{0,85 \times 29,05 \times 9,94 \times 1.000}{240}$$
$$A_s = 1022,175 \text{ mm}^2$$

Digunakan A_s pakai = 1022,175 mm²

$$\text{Jarak}(S) = \frac{\frac{1}{4}\pi \times 13^2 \times 1.000}{1022,175} = 129,91 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan utama D13 - 150 mm

Tulangan Bagi

$$A_{smin} = 0,25 \% \times b \times h$$
$$= 0,0025 \times 1.000 \times 150 = 375 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = 20\% \times \text{tulangan utama}$$
$$= 20 \% \times 1022,175 = 204,43 \text{ mm}^2$$

A_{smin} pakai adalah 375 mm²

$$\text{Jarak}(S) = \frac{\frac{1}{4}\pi \times 13^2 \times 1.000}{375} = 354,09 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan bagi D10 - 150 mm

1. Plat anak Tangga

Berdasarkan perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000 Version 14 diperoleh:

$$M_{maksimum} = 27958020 \text{ Nmm}$$
$$M_n = \frac{27958020}{0,8} = 3,49 \times 10^7 \text{ Nmm}$$
$$d = h - C_v - \frac{\emptyset}{2}$$
$$= 170 - 20 - \left(\frac{13}{2}\right) = 143,5 \text{ mm}$$
$$M_n = C_c \times z$$
$$3,49 \times 10^7 = 0,85 \times f'_c \times a \times b \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$



$$3,49 \times 10^7 = 0,85 \times 29,05 \times a \times 1.000 \times (143,5 - \frac{a}{2})$$

$$a = 10,22 \text{ mm}$$

$$T_s = C_c$$

$$A_s \times f_y = 0,85 \times f'_c \times a \times b$$

$$A_s = \frac{0,85 \times 29,05 \times 10,22 \times 1.000}{240}$$

$$A_s = 1052,23 \text{ mm}^2$$

Digunakan A_s pakai = 1052,23 mm²

$$\text{Jarak}(S) = \frac{\frac{1}{4}\pi \times 13^2 \times 1.000}{1052,23} = 126,19 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan utama D13 - 150 mm

Tulangan Bagi

$$A_{smin} = 0,25 \% \times b \times h$$

$$= 0,0025 \times 1.000 \times 170 = 425 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = 20\% \times \text{tulangan utama}$$

$$= 20 \% \times 1052,23 = 210,44 \text{ mm}^2$$

A_{smin} pakai adalah 425 mm²

$$\text{Jarak}(S) = \frac{\frac{1}{4}\pi \times 13^2 \times 1.000}{425} = 312,43 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan bagi D10 - 150 mm

4.3 Perhitungan Gaya Gempa

4.3.1 Perhitungan Gaya Geser Dasar Horizontal Total Akibat Gempa

1. Berat total struktur (W_t)

$$W_t = W_D + W_L$$

dimana :

W_t = berat total struktur (kg)

W_D = berat mati (kg)

W_L = berat hidup (kg)

q_{DL} lt ground = 682,5 kg/m²; q_{LL} lt ground = 500 kg/m²

q_{DL} lt 1-5= 490,5 kg/m²; q_{LL} lt 1-5 = 500 kg/m²

q_{DL} lt atap= 483 kg/m²; q_{LL} lt atap=250 kg/m²

Tabel 4.1 Tabel Dimensi *Tie Beam*, Balok dan Kolom

Ukuran <i>Tie Beam</i> (mm)		Ukuran Balok (mm)		Ukuran Kolom (mm)	
TB 1 =	400 x 600	B1 =	450 x 700	K1 =	800 x 800
TB 2 =	300 x 450	B2 =	350 x 500		
		B3 =	350 x 600		
		B4 =	300 x 450		

c. Berat lantai *Ground*

1) Beban mati :

Pelat lantai = 682,5 kg/m² × 1944 m² = 1.326.780 kg

Shear wall = 0,8 m × 44,4 m × 4 m × 2400 kg/m³ = 340.992 kg

Dinding = 295,5 m × 4 m × 100 kg/m² = 118.200 kg

Kolom

K1 = 0,8 m × 0,8 m × 4 m × 54 × 2400 kg/m³ = 331.776 kg

Tie Beam

TB 1 = 0,40 m × 0,60 m × 384 m × 2400 kg/m³ = 221.184 kg

TB 2 = 0,3 m × 0,45 m × 234 m × 2400 kg/m³ = 75.816 kg +

Total beban mati = **2.414.748 kg**

2) Beban hidup:

= 500 kg/m² × 1944 m² = **972.000 kg**

d. Berat Lantai 1,2,4,5

1. Beban mati :

Pelat lantai= 490,5 kg/m² × 1876,5 m² =920.604,735kg

Shear wall = 0,8 m × 44,4 m × 3,5 m × 2400 kg/m³ = 298.368 kg

Dinding = 363,5 m × 3,5 m × 100 kg/m² = 127.225 kg

Kolom

K1 = 0,8 m × 0,8 m × 3,5 m × 54 × 2400 kg/m³ = 290.304 kg



Balok

$$B1 = 0,45 \text{ m} \times 0,70 \text{ m} \times 352 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 266.112 \text{ kg}$$

$$B2 = 0,35 \text{ m} \times 0,50 \text{ m} \times 222 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 93.240 \text{ kg}$$

$$B3 = 0,35 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} \times 240 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 138.240 \text{ kg}$$

$$B4 = 0,3 \text{ m} \times 0,45 \text{ m} \times 158 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 51.192 \text{ kg} +$$

$$\text{Total beban mati} = 2.168.005,74 \text{ kg}$$

2. Beban hidup :

$$= 500 \text{ kg/m}^2 \times 1876,9 \text{ m}^2 = 938.435 \text{ kg}$$

e. Berat lantai 3

1. Beban mati :

$$\text{Pelat lantai} = 490,5 \text{ kg/m}^2 \times 1876,9 \text{ m}^2 = 920604,735 \text{ kg}$$

$$\text{Shear wall} = 0,8 \text{ m} \times 44,4 \text{ m} \times 3,5 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 298.368 \text{ kg}$$

$$\text{Dinding} = 371,5 \text{ m} \times 3,5 \text{ m} \times 100 \text{ kg/m}^2 = 130.025 \text{ kg}$$

Kolom

$$K1 = 0,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 3,5 \text{ m} \times 54 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 290.304 \text{ kg}$$

Balok

$$B1 = 0,45 \text{ m} \times 0,70 \text{ m} \times 352 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 266.112 \text{ kg}$$

$$B2 = 0,35 \text{ m} \times 0,50 \text{ m} \times 222 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 93.240 \text{ kg}$$

$$B3 = 0,35 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} \times 240 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 138.240 \text{ kg}$$

$$B4 = 0,3 \text{ m} \times 0,45 \text{ m} \times 158 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 51.192 \text{ kg} +$$

$$\text{Total beban mati} = 2.188.085,74 \text{ kg}$$

2. Beban hidup :

$$= 500 \text{ kg/m}^2 \times 1876,9 \text{ m}^2 = 938.435 \text{ kg}$$

f. Berat Atap

1. Beban mati :

$$\text{Pelat lantai} = 483 \text{ kg/m}^2 \times 1944 \text{ m}^2 = 938.952 \text{ kg}$$

Balok

$$B1 = 0,45 \text{ m} \times 0,70 \text{ m} \times 352 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 266.112 \text{ kg}$$

$$B2 = 0,35 \text{ m} \times 0,50 \text{ m} \times 222 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 93.240 \text{ kg}$$



$$\begin{aligned} B3 &= 0,35 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} \times 240 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 &&= 138.240 \text{ kg} \\ B4 &= 0,3 \text{ m} \times 0,45 \text{ m} \times 158 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 &&= 51.192 \text{ kg} + \\ \text{Total beban mati} &&&= \mathbf{1.470.456 \text{ kg}} \end{aligned}$$

2. Beban hidup :

$$= 250 \text{ kg/m}^2 \times 1944 \text{ m}^2 = \mathbf{486.000 \text{ kg}}$$

Berat total struktur dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 4.2 Berat Total Struktur

Lantai	Berat total struktur (kg)
Ground Floor	3.386.748
1	3.106.440,735
2	3.106.440,735
3	3.109.240,735
4	3.106.440,735
5	3.106.440,735
Atap	1.956.456
Total	20.878.207,68

4.3.2 Perhitungan Pembebanan Gempa berdasarkan SNI 03-1726-2012

1. Kategori hunian dan Faktor Keutamaan

Faktor keutamaan Gempa ditentukan berdasarkan tabel 2 SNI 03-1726-2012. Gedung yang didesain dalam tugas akhir ini adalah gedung sekolah atau fasilitas pendidikan sehingga termasuk kategori IV. Dalam tabel 2.11 SNI 03-1726-2012 faktor keutamaan kategori ini adalah 1,5.

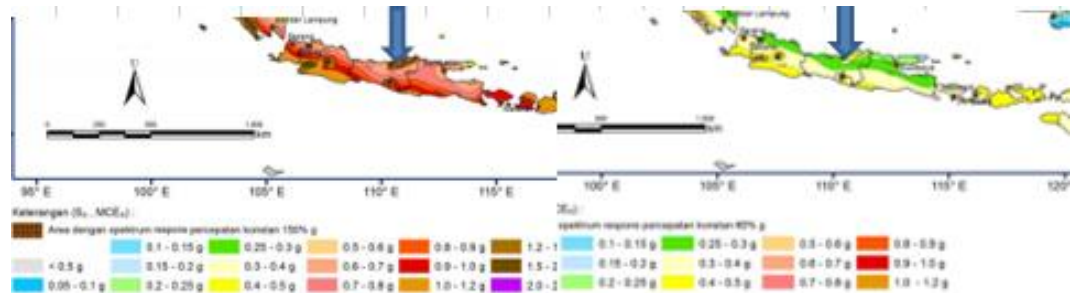
2. Parameter Percepatan

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 parameter S_S dan S_I ditentukan dari 0,2 detik dan 1 detik dari percepatan respons spektrum. Parameter S_S dan S_I ditentukan berdasarkan gambar peta kontur Wilayah Gempa Indonesia yang terbaru.

Daerah Gempa yang menjadi tinjauan berdasarkan peta persebaran spektral percepatan Gempa SNI 03-1726-2012 (**Gambar 4.12**), berada pada

~~daerah Semarang, Jawa Tengah. Dari kedua peta Gempa tersebut untuk daerah~~

Semarang, diperoleh nilai $S_s = 0,8-0,9g$ dan $S_l = 0,25-0,3g$. Untuk S_s diambil nilai sebesar $0,81g$ dan S_l sebesar $0,25g$.



Gambar 4.1 Peta spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik

Sumber: SNI 03-1726-2012

3. Koefisien Situs

Koefisien situs F_a

Koefisien situs F_a ditentukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu nilai S_s dan kelas situs yang berdasarkan jenis tanah yang terdapat pada **Tabel 2.5 SNI 03-1726-2012**. Dari tabel didapat nilai F_a yaitu 1,13.

Koefisien situs F_v

Koefisien situs F_v ditentukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu nilai S_l dan kelas situs yang berdasarkan jenis tanah yang terdapat pada **Tabel 2.6 SNI 03-1726-2012**. Dari tabel didapat nilai F_v yaitu 3.

Koefisien-Koefisien Situs Dan Parameter-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget (MCER) sesuai persamaan 2-1 dan 2-2 SNI 03-1726-2012 yaitu sebagai berikut.

$$S_{MS} = F_a S_s$$

$$= (1,13) (0,81) = 0,9137$$

$$S_{M1} = F_v S_l$$

$$= (3) (0,25) = 0,75$$

4. Parameter Percepatan Spektral Rencana

Setelah *Maximum Considered Earthquake (MCE)* ditentukan, kemudian dilakukan penentuan parameter percepatan spektral rencana pada periode

singkat (S_{Ds}) dan periode 1detik (S_{D1}) yang dihitung berdasarkan SNI 03-1726-2012:

$$S_{Ds} = \frac{2}{3} S_{Ms}$$

$$= \frac{2}{3} (0,9137) = 0,6091$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1}$$

$$= \frac{2}{3} (0,75) = 0,5$$

Parameter S_{Ds} dan S_{D1} digunakan dalam menentukan Kategori Desain Gempa dari struktur yang didesain.

5. Kategori Design Gempa

Struktur yang kita desain harus diperuntukan pada Kategori Desain Gempa sesuai dengan SNI 03-1726-2012, **Tabel 4.4** dan **Tabel 4.5**. Dimana, $S_{Ds} = 0,6091g$ dan $S_{D1} = 0,75$

Tabel 4.3 Kategori Desain Gempa Berdasarkan Parameter Percepatan Respon Period Pendek

Sumber : SNI 03-1726-2012

Nilai S_{Ds}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{Ds} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{Ds} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{Ds} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{Ds}$	D	D

Tabel 4.4 Kategori Desain Gempa Berdasarkan Parameter Percepatan Respon Period 1 detik

Sumber : SNI 03-1726-2012

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0.167$	A	A
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D

Maka Berdasarkan **Tabel 4.4 dan 4.5**, untuk struktur yang didesain pada tugas akhir ini berada pada **Kategori Desain Gempa D**.

6. Arah Pembebanan Gempa

Pada tugas akhir ini, konfigurasi arah pembebanan disamakan dengan konfigurasi pembebanan pada *SNI 03-1726-2002*, dimana pengaruh pembebanan Gempa rencana dalam arah utama harus dianggap efektif 100% dan dianggap terjadi bersamaan pengaruh pembebanan Gempa yang arahnya tegak lurus dengan arah utama dengan efektifitas 30%.

7. Penentuan Koefisien R , C_d , dan Ω_0

Penentuan Koefisien R , C_d , dan Ω_0 berdasarkan *SNI 1726-2012*, Tabel 12.2-1 sesuai dengan sistem struktur yang digunakan. Dimana R adalah koefisien modifikasi respons, Ω_0 adalah faktor kuat lebih sistem, dan C_d adalah faktor pembesaran defleksi. Sehingga didapatkan $R = 8$; $\Omega_0 = 3$; $C_d = 5,5$.

8. Gaya Lateral Akibat Gempa (F)

a. Periode fundamental struktur (T)

Periode fundamental struktur (T) didapat dari hasil analisis struktur dengan menggunakan bantuan software (SAP 2000 *Version 14*) yaitu sebesar 1,3435 detik arah X, dan 1,2142 arah Y dimana nilai (T) memiliki batasan sebagai berikut:

T_a minimum

$$T_a = C_t h_n^x$$

$$T_a = (0,0466) (21,5^{0,9}) = 0,737 \text{ detik}$$

Nilai C_t dan x dapat dilihat pada Tabel 2.15 *SNI 1726-2012*

T_a maksimum

$$C_u T_{a \text{ minimum}} = (1,4) (0,737) = 1,032 \text{ detik}$$

Nilai C_u dapat dilihat pada Tabel 2.14 *SNI 1726-2012*

Dari hasil SAP tersebut disimpulkan bahwa Periode fundamental struktur (T) memenuhi syarat batas dimana nilai T berada diantara T_a maksimum dan T_a minimum dan tidak kurang dari T_a maksimum maupun tidak lebih dari T_a minimum.



b. Koefisien Gempa Dasar (Cs)

Penentuan koefisien respon Gempa (C_s) dijelaskan dalam SNI 03-1726-2012, Pasal 7.8.1.1 dimana C_s dihitung dengan persamaan:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,6091}{\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,076$$

Dengan koefisien modifikasi respons, $R = 5$ dan Faktor Keutamaan, I sebesar 1,5 untuk Kategori Hunian IV. Nilai di atas tidak boleh melebihi persamaan yang dirumuskan pada SNI 03-1726-2012, Pasal 7.8.1.1:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,5}{1,3435\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,0698$$

dan C_s tidak boleh kurang dari 0,01. Karena C_s untuk lebih kecil dari C_s awal, maka C_s yang dipakai adalah 0,0698.

c. Gaya Geser Dasar

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 geser dasar Gempa, dalam arah yang ditetapkan dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = C_s W$$

Arah X :

$$V_x = C_s W = 0,0698 \cdot 23.590.219,649 = 1.646.158,815 \text{ kg}$$

$$V_y = C_s W = 0,0772 \cdot 23.590.219,649 = 1.821.417,29 \text{ kg}$$

d. Distribusi gaya geser horisontal total akibat Gempa

Distribusi horizontal beban seismik ditentukan berdasarkan SNI 1726:2012, Pasal 12.8-13:

$$V_x = \sum_i^n v_i = v \cdot F_i$$

Tabel 4 5 Distribusi gaya geser horisontal total akibat Gempa

Sumber : Hasil Analisis (2016)

Lantai	Hi	Wi	X = (Wi X hi ^{kv})	Y = (Wi X hi ^{ky})	Cvx	Cvy	Fi _x	n kol	Fi _x (ton)	Fi _y	n kol	Fi _y (ton)
GF	4	3.386.748	0	0	0	0	0	54	0	0	54	0
1	3,5	3.123.720,74	10602006,91	10587319,59	0,0674	0,065	98650,21	54	1,827	19284,84	54	2,0238
2	3,5	3.123.720,74	18451798,53	18414657,38	0,1173	0,1173	171691,44	54	3,179	190080,49	54	3,52
3	3,5	3.126.520,74	25885047,44	25823052,16	0,1645	0,1645	240856,80	54	4,46	266551,71	54	4,936
4	3,5	3.123.720,74	32992717,95	32904608,38	0,2097	0,2097	306992,69	54	5,685	339649,22	54	6,289
5	3,5	3.123.720,74	39920402,70	29805184,49	0,2537	0,2536	371453,85	54	6,879	410878,61	54	7,609



Atap	3,5	1.973.736	29500784,49	29410413,22	0,1875	0,1874	274500,73	54	5,083	303581,3	54	5,621
------	-----	-----------	-------------	-------------	--------	--------	-----------	----	--------------	----------	----	--------------

e. Kontrol Waktu Getar Struktur

Waktu getar struktur dikontrol dengan cara *T. Rayleigh* yaitu waktu getar (T) yang diperoleh dengan rumus *T. Rayleigh* dengan waktu getar hasil analisis vibrasi 3 dimensi tidak boleh melebihi 20 % dari nilai yang dihitung dengan rumus *T. Rayleigh* . Berikut adalah rumus *T. Reyleigh* :

$$T_{x,y} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \times d_{i,x,y}^2}{g \times \sum F_{i,x,y} \times d_{i,x,y}}}$$

Dengan :

T = waktu getar alami (detik)

W_i = berat lantai ke-i (kg)

$F_{i,x,y}$ = gaya Gempa lantai ke-i (kg)

$d_{i,x,y}$ = deformasi lateral total akibat F_i pada lantai ke-i (m)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/det²)

Untuk wilayah Gempa 2 maka $\xi = 0,19$

$n = 6$ lantai

$$T = \xi \times n = 0,19 \times 6 = 1,14 \text{ detik}$$

$T_{x,y} <$ kontrol pembatasan T

Tabel 4.6 Waktu Getar Struktur dalam Arah x

Lantai	W_i (kg)	d_{ix} (m)	d_{ix}^2 (m)	$W_i \times d_{ix}^2$ (m)	$F_i \times d_{ix}$
GF	3.386.748	0,004451	0,0000298	101,0014	0
Lantai 1	3.123.720,74	0,000826	0,000000682	2,1324	81,485
Lantai 2	3.123.720,74	0,00204	0,00000416	12,999	350,250
Lantai 3	3.126.520,74	0,00325	0,0000105	33,023	782,784
Lantai 4	3.123.720,74	0,004269	0,0000182	56,927	1310,552
Lantai 5	3.123.720,74	0,005	0,000025	78,093	1857,269
Atap	1.973.736	0,00547	0,0000299	59,055	1501,519
	20981887,68			343,232	5883,86

Waktu getar struktur arah x :

$$T_x = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \times d_{i,x}^2}{g \times \sum F_{i,x} \times d_{i,x}}} = 6,3 \sqrt{\frac{343,232}{9,81 \times (5883,86)}} = 0,0771 \text{ detik}$$

Tabel 4.7 Waktu Getar struktur dalam arah y

Lantai	W_i (kg)	d_{iy} (m)	d_{iy}^2 (m)	$W_i \times d_{iy}^2$ (m)	$F_i \times d_{iy}$
GF	3.386.748	0,000566	0,00000032	1,0849	0
Lantai 1	3.123.720,74	0,000072	0,0000000518	0,0161	7,111
Lantai 2	3.123.720,74	0,000338	0,000000114	0,3568	58,065
Lantai 3	3.126.520,74	0,000291	0,0000000847	0,2647	70,103
Lantai 4	3.123.720,74	0,000211	0,0000000445	0,1390	64,770
Lantai 5	3.123.720,74	0,000135	0,0000000182	0,0569	50,131
Atap	1.973.736	0,00094	0,000000884	1,743	257,908
	20981887,68			3,662	508,089

Waktu getar struktur arah y :

$$T_{x,y} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \times d_{i,x,y}^2}{g \times \sum F_{i,x,y} \times d_{i,x,y}}} = 6,3 \sqrt{\frac{3,662}{9,81 \times 508,089}} = 0,0271 \text{ detik}$$

Kesimpulan:

Dengan cara *T.Rayleigh* diperoleh :

$$T_x = 0,0771 \text{ detik}$$

$$T_y = 0,0271 \text{ detik}$$

$$\text{Nilai } T_x \text{ yang diijinkan} = 20\% \times 0,0771 = 0,0972 \text{ detik}$$

$$\text{Nilai } T_y \text{ yang diijinkan} = 20\% \times 6,2999 = 0,0341 \text{ detik}$$

Jadi dari perhitungan nilai T_x (0,0972 detik) dan T_y (0,0341 detik) < kontrol pembatasan T (2 detik) ... **OK**

4.4 Perhitungan Penulangan Balok

4.4.1 Penulangan lentur balok

1. Balok 1

Balok diambil adalah balok B1 = 450 cm × 700 cm, balok ini berada di lantai 2 (As C-D) yang menerima momen maksimum.

Data perencanaan:

$$\begin{aligned}f_c' &= 29,05 \text{ MPa} = 4.206 \text{ Psi} & \phi_{\text{lentur}} &= 0,9 \\f_y &= 400 \text{ MPa} = 58000 \text{ Psi} & \phi_{\text{sengkang}} &= 10 \text{ mm} = 0,4 \text{ in} \\D_{\text{tul}} &= 22 \text{ mm} = 0,87 \text{ in} & b &= 450 \text{ mm} = 17,72 \text{ in} \\C_v &= 50 \text{ mm} = 2 \text{ in} & h &= 700 \text{ mm} = 27,56 \text{ in} \\d &= h - C_v = 27,56 - 2 = 25,56 \text{ in}\end{aligned}$$

a. Penulangan lentur bagian tumpuan

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000 Version 14 diperoleh:

$$M_{u \text{ tumpuan}} \text{ maksimum} = 81,032 \text{ T.m} = 7033267 \text{ in} - \text{lb}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{Mu}{\phi b d^2} \\&= \frac{7033267}{0,9 \times 17,72 \times 27,56^2} = 580,774 \text{ Psi} \\ \rho &= \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 \cdot f_c'}} \right) \\&= \frac{0,85 \times 4.206}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 580,774}{0,85 \times 4.206}} \right) = 0,010994 \\ A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\&= 0,010994 \times 17,72 \times 25,56 = 5,367 \text{ in}^2 \\ A_s &= 5,367 \times 645,16 = 3463,11 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jadi tulangan yang digunakan adalah 10 D22, $A_s = 3870 \text{ mm}^2$.

b. Penulangan lentur bagian lapangan

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000

Version 14 diperoleh:

$$M_{u \text{ lapangan}} \text{ maksimum} = 15,546 \text{ T.m} = 1349333 \text{ in} - \text{lb}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$

$$= \frac{1349333}{0,9 \times 17,72 \times 21,6^2} = 111,4216 \text{ Psi}$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'c}{fy} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 Rn}{0,85 \cdot f'c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 4.206}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 111,4216}{0,85 \times 4.206}} \right) = 0,001952$$

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

$$= 0,001952 \times 17,72 \times 25,56 = 0,953 \text{ in}^2$$

$$A_s = 0,953 \times 645,16 = 641,8724 \text{ mm}^2$$

Jadi tulangan yang digunakan adalah 6 D22, $A_s = 2322 \text{ mm}^2$

c. Penulangan geser maksimum

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000

Version 14 diperoleh:

$$V_u = 26,514 \text{ Ton} = 58453,29 \text{ lb}$$

$$\phi V_c = 0,85 \times (2 \times \sqrt{f'c} \times b \times d)$$

$$= (0,85) \times (2 \times \sqrt{4.206} \times 17,72 \times 25,56)$$

$$= 49979,32 \text{ lb}$$

$$0,5 \cdot \phi V_c = 24989,66 \text{ lb} < 58453,29 \text{ lb}$$

Karena $0,5 \cdot \phi V_c < V_u$, maka diperlukan sengkang.

Digunakan sengkang $\emptyset 10 \text{ mm} =$ tulangan #3, diameter = 0,375 in, luas penampang = 0,12 in².

Menghitung jarak teoritis :

$$\phi V_c + \phi V_s = V_u$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{58453,29 - 49979,32}{0,85} = 9969,38 \text{ lb}$$

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{2 \times 0,12 \times 34800 \times 25,56}{9969,38} = 14,8423 \text{ in}$$

Jarak maksimum untuk memberikan A_v minimum :

$$s = \frac{A_v f_y}{50 b} = \frac{0,24 \times 34800}{50 \times 17,72} = 10,10 \text{ in}$$

$$V_s = 9969,38 \text{ lb} < 4 (\sqrt{4206}) (17,72) (25,56) = 126644$$

$$s = \frac{d}{2} = \frac{25,56}{2} = 12,78 \text{ in}$$



Jarak Sengkang maksimum yang digunakan adalah 12,78 in = 325 mm

Jarak yang digunakan adalah :

Pada daerah tumpuan dipakai sengkang dengan tulangan $\emptyset 10 - 250$ mm.

Pada daerah lapangan dipakai sengkang dengan tulangan $\emptyset 10 - 300$ mm.

d. Penulangan lentur torsi balok

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000

Version 14 diperoleh:

$$T_u = 6,504 \text{ T.m} = 564,16 \text{ in-kip.}$$

$$V_u = 26,514 \text{ Ton} = 58,45019 \text{ kip} = 58456,62 \text{ lb.}$$

$$A_{cp} = b \times h = 17,72 \times 27,56 = 488,251 \text{ in}^2$$

$$P_{cp} = 2 (b + h) = 2 (17,72 + 27,56) = 90,55 \text{ in.}$$

$$\begin{aligned} T &= \phi \sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \\ &= (0,85)(\sqrt{4.206}) \left(\frac{488,251^2}{90,55} \right) \\ &= 145108,9 \text{ in-lb} = 145,1089 \text{ in-k} < T_u = 564,16 \text{ in-kip.} \end{aligned}$$

Karena $T < T_u$, maka tulangan torsi diperlukan.

A_{oh} = Luas yang dicakup oleh garis tengah dari sengkang tertutup bagian terluar, digunakan selimut beton 1,57 in dan sengkang $\emptyset 10$ mm = tulangan #3 = 0,375 in

$$X_1 = 27,56 - (2)(2,5 + 0,375/2) = 22,165 \text{ in}$$

$$Y_1 = 18,25 - (2)(2,5 + 0,375/2) = 12,85 \text{ in}$$

$$A_{oh} = (22,165)(12,85) = 284,964 \text{ in}^2$$

A_o = luas bruto yang dicakup oleh aliran geser

$$= 0,85 A_{oh} \text{ dari ACI bagian 11.6.3.6.}$$

$$= (0,85)(284,964) = 242,22 \text{ in}^2$$

d = tinggi efektif balok

$$= 18,25 - 2,5 - 0,393 - (0,87/2) = 14,92 \text{ in}$$

P_h = keliling dari garis tengah tulangan torsi tertutup bagian terluar

$$= (2)(X_1 + Y_1)$$

$$= (2)(22,165 + 12,85) = 70,04 \text{ in}$$

V_c = kekuatan geser nominal dari penampang beton

$$= 2 \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d$$

$$= 2 \sqrt{4206} \cdot (17,72) \cdot (14,92)$$

$$= 53340,9 \text{ lb.}$$

Gunakan persamaan ACI 11-18

$$= \sqrt{\left(\frac{V_u}{b d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_o h^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b d} + 8 \sqrt{f'c}\right)$$

$$= \sqrt{\left(\frac{58456,62}{17,72 \times 14,92}\right)^2 + \left(\frac{564,16 \times 70,04}{1,7 \times 284,964^2}\right)^2} \leq 0,85 \left(\frac{53340,9}{17,72 \times 14,92} + 8 \sqrt{4206}\right)$$

$$= 142,1304 \text{ psi} < 551,191 \text{ psi} \therefore \text{penampang memenuhi syarat}$$

$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$= \frac{564,16 \text{ in-kip}}{0,85} = 663716,4 \text{ in-lb}$$

Asumsikan θ 45° sesuai ACI subbab 11.6.3.6 (a)

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 A_o f_y \cot \theta} = \frac{663716,4 \text{ in-lb}}{2 \times 242,22 \times 34800 \times \cot 45^\circ}$$

$$= 0,039 \text{ in}^2 / \text{in. untuk satu kaki sengkang.}$$

$$V_u = 58456,62 \text{ lb} > \frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \times 0,85 \times 53340,9$$

$$= 22669,9 \text{ lb} \therefore \text{tulangan geser diperlukan}$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{58456,62 - 45339,8}{0,85} = 15431,6 \text{ lb}$$

$$= \frac{A_v + t}{s}$$



$$= \frac{2A_t}{s} + \frac{A_v}{s}$$
$$= (2) \cdot 0,039 + 0,004 = 0,08274$$

Gunakan sengkang #3

$$s = \frac{2 \cdot 0,12}{0,0827} = 2,9''$$

jarak sengkang maksimum yang diizinkan dari ACI subbab 11.6.6.1

$$\frac{P_h}{8} = \frac{70,04 \text{ in}}{8} = 8,755 \text{ in} < 12 \text{ in.}$$

Luas minimum dari sengkang A_v berdasarkan ACI 11.5.5.3

$$= \frac{50b_w s}{f_{yv}} = \frac{50 \cdot 17,72 \cdot 8,755}{34800}$$

$$= 0,222 \text{ in}^2 < (2) \cdot (0,122) = 0,244 \text{ in}^2$$

OK

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk torsi

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cdot \cot^2 \theta \quad (\text{Persamaan ACI 11-22})$$

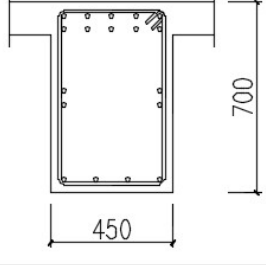
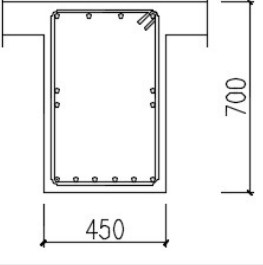
$$= (0,039) \cdot 70,04 \cdot \left(\frac{34800}{58000} \right) \cdot \cot^2 45$$

$$= 1,65 \text{ in}^2.$$

$$\text{Min } A_l = \frac{5 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_{cp}}{f_{yl}} - \left(\frac{A_t}{s} \right) \cdot P_h \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}}$$
$$= \frac{5 \cdot \sqrt{4206} \cdot 488,251}{58000} - (0,039) \cdot 70,04 \cdot \frac{34800}{58000}$$

$$= 1,075 \text{ in}^2.$$

Jadi A_l pakai adalah $1,075 \text{ in}^2$ ($=693,4477 \text{ mm}^2$), penambahan tulangan longitudinal disebar dalam 1 lapis di bagian tengah dengan jumlah 4D13. Perhitungan

DETAIL BALOK	TYPE BALOK 1	
	TUMPUAN	LAPANGAN
		
DIMENSI	450 x 700	
TUL. ATAS	10 D22	4 D22
TUL. BAWAH	4 D22	6 D22
TUL. TENGAH	4 D13	4 D13
TUL. SENGKANG	D10 - 250	D10 - 300

Gambar 4.5 Detail Balok 1

Sumber: Dokumen Pribadi

2. Balok B1'

Balok diambil adalah balok B1' = 450 mm × 700 mm, balok ini berada di lantai 1 (As B-C) yang menerima momen maksimum.

Data perencanaan:

$$\begin{aligned}
 f_c' &= 29,05 \text{ MPa} = 4.206 \text{ Psi} & \phi_{\text{lentur}} &= 0,9 \\
 f_y &= 400 \text{ MPa} = 58000 \text{ Psi} & \phi_{\text{sengkang}} &= 10 \text{ mm} = 0,4 \text{ in} \\
 D_{\text{tul}} &= 22 \text{ mm} = 0,87 \text{ in} & b &= 450 \text{ mm} = 17,72 \text{ in} \\
 C_v &= 50 \text{ mm} = 2 \text{ in} & h &= 700 \text{ mm} = 27,56 \text{ in} \\
 d &= h - C_v = 27,56 - 2 = 25,56 \text{ in}
 \end{aligned}$$

a. Penulangan lentur bagian tumpuan

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000 Version 14 diperoleh:

$$M_{u \text{ tumpuan}} \text{ maksimum} = 81,032 \text{ T.m} = 7033267 \text{ in} - \text{lb}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{\phi b d^2} \\
 &= \frac{7033267}{0,9 \times 17,72 \times 25,56^2} = 580,774 \text{ Psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 Rn}{0,85 \cdot f'c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 4206}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 580,774}{0,85 \times 4206}} \right) = 0,010994\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,010994 \times 17,72 \times 25,56 = 5,367 \text{ in}^2\end{aligned}$$

$$A_s = 5,367 \times 645,16 = 3463,11 \text{ mm}^2$$

Jadi tulangan yang digunakan adalah 10 D22, $A_s = 3870 \text{ mm}^2$.

b. Penulangan lentur bagian lapangan

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000 Version 14 diperoleh:

$$M_{u \text{ lapangan}} \text{ maksimum} = 15,546 \text{ T.m} = 1349333 \text{ in} - \text{lb}$$

$$\begin{aligned}R_n &= \frac{Mu}{\phi b d^2} \\ &= \frac{1349333}{0,9 \times 17,72 \times 25,56^2} = 111,4216 \text{ Psi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 Rn}{0,85 \cdot f'c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 4206}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 111,4216}{0,85 \times 4206}} \right) = 0,001952\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,001952 \times 17,72 \times 25,56 = 0,953 \text{ in}^2\end{aligned}$$

$$A_s = 0,953 \times 645,16 = 641,8724 \text{ mm}^2$$

Jadi tulangan yang digunakan adalah 6 D22, $A_s = 2322 \text{ mm}^2$

c. Penulangan geser maksimum

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000

Version 14 diperoleh:

$$V_u = 26,514 \text{ Ton} = 58453,29 \text{ lb}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,85 \times (2 \times \sqrt{f'c} \times b \times d) \\ &= (0,85) \times (2 \times \sqrt{4206} \times 17,72 \times 25,56) \\ &= 49979,32 \text{ lb}\end{aligned}$$

$$0,5 \cdot \phi V_c = 24989,66 \text{ lb} < 58453,29 \text{ lb}$$

Karena $0,5 \cdot \phi V_c < V_u$, maka diperlukan sengkang.

Digunakan sengkang \emptyset 10 mm = tulangan #3, diameter = 0,375 in, luas penampang = 0,12 in².

Menghitung jarak teoritis :

$$\phi V_c + \phi V_s = V_u$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{58453,29 - 49979,32}{0,85} = 9969,38 \text{ lb}$$

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{2 \times 0,12 \times 34800 \times 25,56}{9969,38} = 14,8423 \text{ in}$$

Jarak maksimum untuk memberikan A_v minimum :

$$s = \frac{A_v f_y}{50 b} = \frac{0,24 \times 58000}{50 \times 17,72} = 10,10 \text{ in}$$

$$V_s = 9969,38 \text{ lb} < 4 (\sqrt{4206}) (17,72) (25,56) = 126644$$

$$s = \frac{d}{2} = \frac{25,56}{2} = 12,78 \text{ in}$$

Jarak Sengkang maksimum yang digunakan adalah 12,78 in = 325 mm

Jarak yang digunakan adalah :

Pada daerah tumpuan dipakai sengkang dengan tulangan \emptyset 10 – 250 mm

Pada daerah lapangan dipakai sengkang dengan tulangan \emptyset 10 – 300 mm

d. Penulangan lentur torsi balok

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000

Version 14 diperoleh:

$$T_u = 6,504 \text{ T.m} = 564,16 \text{ in-kip.}$$

$$V_u = 26,514 \text{ Ton} = 58,45019 \text{ kip} = 58456,62 \text{ lb}$$

$$A_{cp} = b \times h = 17,72 \times 27,56 = 488,251 \text{ in}^2$$

$$P_{cp} = 2 (b + h) = 2 (17,72 + 27,56) = 90,55 \text{ in.}$$

$$T = \phi \sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

$$= (0,85)(\sqrt{4206}) \left(\frac{488,251^2}{90,55} \right)$$

$$= 145108,9 \text{ in-lb} = 145,1089 \text{ in-k} < T_u = 564,16 \text{ in-kip.}$$

Karena $T < T_u$, maka tulangan torsi diperlukan.



A_{oh} = Luas yang dicakup oleh garis tengah dari sengkang tertutup bagian terluar, digunakan selimut beton 1,57 in dan sengkang \emptyset 10 mm = tulangan

$$\#3 = 0,375 \text{ in}$$

$$X_1 = 27,56 - (2)(2,5 + 0,375/2) = 22,165 \text{ in}$$

$$Y_1 = 18,25 - (2)(2,5 + 0,375/2) = 12,85 \text{ in}$$

$$A_{oh} = (22,165)(12,85) = 284,9644 \text{ in}^2$$

A_o = luas bruto yang dicakup oleh aliran geser

$$= 0,85 A_{oh} \text{ dari ACI bagian 11.6.3.6.}$$

$$= (0,85)(284,964) = 242,22 \text{ in}^2$$

d = tinggi efektif balok

$$= 18,25 - 2,5 - 0,393 - (0,87/2) = 14,92 \text{ in}$$

P_h = keliling dari garis tengah tulangan torsi tertutup bagian terluar

$$= (2)(X_1 + Y_1)$$

$$= (2)(22,165 + 12,85) = 70,0433 \text{ in}$$

V_c = kekuatan geser nominal dari penampang beton

$$= 2 \sqrt{f'c} b d$$

$$= 2 \sqrt{4206} (27,56) (14,92)$$

$$= 53340,9 \text{ lb.}$$

Gunakan persamaan ACI 11-18

$$= \sqrt{\left(\frac{V_u}{b d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b d} + 8 \sqrt{f'c}\right)$$

$$= \sqrt{\left(\frac{58456,62}{27,56 \times 14,92}\right)^2 + \left(\frac{564,16 \times 70,04}{1,7 \times 284,964^2}\right)^2} \leq 0,85 \left(\frac{53340,919}{27,56 \times 14,92} + 8 \sqrt{4206}\right)$$

$$= 142,1304 \text{ psi} < 551,191 \text{ psi} \therefore \text{penampang memenuhi syarat}$$



$$T_n = \frac{T_u}{\phi}$$

$$= \frac{564,16}{0,85} = 663716,4 \text{ in- lb}$$

Asumsikan θ 45° sesuai ACI subbab 11.6.3.6 (a)

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2A_0 f_y \cot \theta} = \frac{663716,366}{2 \times 242,22 \times 34800 \times \cot 45^\circ}$$

$$= 0,039 \text{ in}^2 / \text{in. untuk satu kaki sengkang.}$$

$$V_u = 58456,62 \text{ lb} > \frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \times 0,85 \times 53340,9$$

$$= 22669,9 \text{ lb} \therefore \text{tulangan geser diperlukan}$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{58456,62 - 45339,8}{0,85} = 15431,6 \text{ lb}$$

$$= \frac{A_v + t}{s}$$

$$= \frac{2A_t}{s} + \frac{A_v}{s}$$

$$= (2) \cdot 0,039 + 0,004 = 0,08274$$

Gunakan sengkang #3

$$s = \frac{2 \cdot 0,12}{0,0827} = 2,9''$$

jarak sengkang maksimum yang diizinkan dari ACI subbab 11.6.6.1

$$\frac{P_h}{8} = \frac{70,04}{8} = 8,755 \text{ n} < 12 \text{ in.}$$

Luas minimum dari sengkang A_v berdasarkan ACI 11.5.5.3

$$= \frac{50b_w s}{f_{yv}} = \frac{50 \cdot 17,72 \cdot 8,755}{34800}$$

$$= 0,222 \text{ in}^2. < (2) \cdot (0,122) = 0,244 \text{ in}^2 \quad \text{OK}$$

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk torsi

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cdot \cot^2 \theta \quad (\text{Persamaan ACI 11-22})$$

$$= (0,039) \cdot 70,04 \cdot \left(\frac{34800}{58000} \right) \cdot \cot^2 45$$

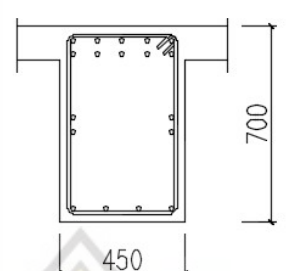
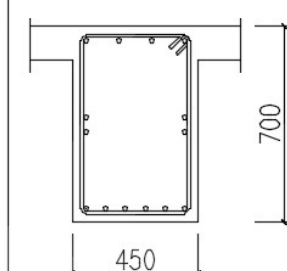
$$= 1,65 \text{ in}^2.$$

$$\text{Min } A_l = \frac{5 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_{cp}}{f_{yl}} - \left(\frac{A_t}{s} \right) \cdot P_h \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}}$$

$$= \frac{5 \cdot \sqrt{4206} \cdot 488,251}{58000} - (0,039) \cdot 70,04 \cdot \frac{34800}{58000}$$

$$= 1,075 \text{ in}^2.$$

Jadi A_l pakai adalah $1,075 \text{ in}^2$ ($=693,4477 \text{ mm}^2$), penambahan tulangan longitudinal disebar dalam 1 lapis di bagian tengah dengan jumlah 4D22. Perhitungan

DETAIL BALOK	TYPE BALOK 1'	
	TUMPUAN	LAPANGAN
		
DIMENSI	450 x 700	
TUL. ATAS	10 D22	4 D22
TUL. BAWAH	4 D22	6 D22
TUL. TENGAH	4 D22	4 D22
TUL. SENKANG	D10 - 250	D10 - 300

Gambar 4.2 Detail Balok 1'

Sumber: Dokumen Pribadi

3. Balok 2

Balok diambil adalah balok B2 = 350 mm × 500 mm, balok ini berada di lantai 2 (As B-C) yang menerima momen maksimum.

Data perencanaan:

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa} = 4.206 \text{ Psi} \quad \phi_{\text{lentur}} = 0,9$$

$$f_y = 400 \text{ MPa} = 58000 \text{ Psi} \quad \phi_{\text{seengkang}} = 10 \text{ mm} = 0,4 \text{ in}$$

$$D_{\text{tul}} = 22 \text{ mm} = 0,87 \text{ in} \quad b = 350 \text{ mm} = 13,78 \text{ in}$$

$$C_v = 50 \text{ mm} = 2 \text{ in} \quad h = 500 \text{ mm} = 19,69 \text{ in}$$

$$d = h - C_v = 19,69 - 2 = 17,69 \text{ in}$$

a. Penulangan lentur bagian tumpuan

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000 Version 14 diperoleh:

$$M_{u \text{ tumpuan}} \text{ maksimum} = 7,89 \text{ T.m} = 684822 \text{ in} - \text{lb}$$



$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$
$$= \frac{684822}{0,9 \times 13,78 \times 17,69^2} = 142,504 \text{ Psi}$$
$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right)$$
$$= \frac{0,85 \times 4.206}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 142,504}{0,85 \times 4.206}} \right) = 0,00251$$
$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$
$$= 0,00251 \times 13,78 \times 17,69 = 0,6803 \text{ in}^2$$
$$A_s = 0,6803 \times 645,16 = 438,901 \text{ mm}^2$$

Jadi tulangan yang digunakan adalah 3 D16, $A_s = 597 \text{ mm}^2$.

b. Penulangan lentur bagian lapangan

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000 Version 14 diperoleh:

$$M_{u \text{ lapangan maksimum}} = 9,744 \text{ T.m} = 845742 \text{ in} - \text{lb}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$
$$= \frac{845742}{0,9 \times 13,78 \times 19,69^2} = 175,99 \text{ Psi}$$
$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right)$$
$$= \frac{0,85 \times 4.206}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 175,99}{0,85 \times 4.206}} \right) = 0,00311$$
$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$
$$= 0,00311 \times 13,78 \times 19,69 = 0,844 \text{ in}^2$$
$$A_s = 0,844 \times 645,16 = 544,764 \text{ mm}^2$$

Jadi tulangan yang digunakan adalah 3 D16, $A_s = 597 \text{ mm}^2$

c. Penulangan geser maksimum

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000

Version 14 diperoleh:

$$V_u = 6,241 \text{ Ton} = 13759 \text{ lb}$$
$$\phi V_c = 0,85 \times (2 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d)$$



$$= (0,85) \times (2 \times \sqrt{4.206} \times 13,78 \times 17,69)$$

$$= 26911,9 \text{ lb}$$

$$0,5. \phi V_c = 13456 \text{ lb} < 13759 \text{ lb}$$

Karena $0,5. \phi V_c < V_u$, maka diperlukan sengkang.

Digunakan sengkang $\emptyset 10 \text{ mm} = \text{tulangan \#3}$, diameter = 0,375 in,
luas penampang = 0,12 in².

Menghitung jarak teoritis :

$$\phi V_c + \phi V_s = V_u$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{13759 - 26911,9}{0,85} = 15474 \text{ lb}$$

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{2 \times 0,12 \times 34800 \times 13,78}{15474} = 7,44 \text{ in}$$

Jarak maksimum untuk memberikan A_v minimum :

$$s = \frac{A_v f_y}{50 b} = \frac{0,24 \times 58000}{50 \times 19,69} = 14,14 \text{ in}$$

$$V_s = 15474 \text{ lb} < 4 (\sqrt{4206}) (13,78) (19,69) = 70358 \text{ lb}$$

$$s = \frac{d}{2} = \frac{17,69}{2} = 8,86 \text{ in}$$

Jarak Sengkang maksimum yang digunakan adalah 8,86 in = 225 mm

Jarak yang digunakan adalah :

Pada daerah tumpuan dipakai sengkang dengan tulangan $\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$

Pada daerah lapangan dipakai sengkang dengan tulangan $\emptyset 10 - 200 \text{ mm}$

d. Penulangan lentur torsi balok

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000

Version 14 diperoleh:

$$T_u = 3,281 \text{ T.m} = 284,59 \text{ in-kip.}$$

$$V_u = 6,241 \text{ Ton} = 13,76 \text{ kip} = 13759,82 \text{ lb.}$$

$$A_{cp} = b \times h = 13,78 \times 19,69 = 271,25 \text{ in}^2$$

$$P_{cp} = 2 (b + h) = 2 (13,78 + 19,69) = 66,92 \text{ in.}$$



$$\begin{aligned} T &= \phi \sqrt{f'c} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \\ &= (0,85)(\sqrt{4.206}) \left(\frac{271,25^2}{66,92} \right) \\ &= 60593,8 \text{ in-lb} = 60,5938 \text{ in-k} < T_u = 284,59 \text{ in-kip.} \end{aligned}$$

Karena $T < T_u$, maka tulangan torsi diperlukan.

A_{oh} = Luas yang dicakup oleh garis tengah dari sengkang tertutup bagian terluar, digunakan selimut beton 1,57 in dan sengkang \emptyset 10 mm = tulangan

$$\#3 = 0,375 \text{ in}$$

$$X_1 = 19,69 - (2)(2,5 + 0,375/2) = 14,291 \text{ in}$$

$$Y_1 = 18,25 - (2)(2,5 + 0,375/2) = 12,85 \text{ in}$$

$$A_{oh} = (14,29)(12,85) = 183,734 \text{ in}^2$$

A_o = luas bruto yang dicakup oleh aliran geser

$$= 0,85 A_{oh} \text{ dari ACI bagian 11.6.3.6.}$$

$$= (0,85)(183,734) = 156,174 \text{ in}^2$$

d = tinggi efektif balok

$$= 18,25 - 2,5 - 0,393 - (0,87/2) = 14,92 \text{ in}$$

P_h = keliling dari garis tengah tulangan torsi tertutup bagian terluar

$$= (2)(X_1 + Y_1)$$

$$= (2)(14,291 + 12,85) = 54,29 \text{ in}$$

V_c = kekuatan geser nominal dari penampang beton

$$= 2 \sqrt{f'c} b d$$

$$= 2 \sqrt{4206} (19,69) (14,92)$$

$$= 38100,7 \text{ lb.}$$

Gunakan persamaan ACI 11-18

$$= \sqrt{\left(\frac{V_u}{b d} \right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_{oh}^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b d} + 8 \sqrt{f'c} \right)$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1379,82}{19,69 \times 14,92} \right)^2 + \left(\frac{284,59 \times 54,2953}{1,7 \times 183,734^2} \right)^2} \leq 0,85 \left(\frac{38100,7}{19,69 \times 14,92} + 8 \sqrt{4206} \right)$$

$$= 46,8384 \text{ psi} < 551,191 \text{ psi} \therefore \text{ penampang memenuhi syarat}$$



$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{284,59}{0,85} = 334,818 \text{ in- lb}$$

Asumsikan θ 45° sesuai ACI subbab 11.6.3.6 (a)

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2A_0 f_y \cot \theta} = \frac{334,818}{2 \times 156,174 \times 34800 \times \cot 45^\circ} \\ &= 0,0308 \text{ in}^2 / \text{in. untuk satu kaki sengkang.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 13759,82 \text{ lb} > \frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \times 0,85 \times 38100,7 \\ &= 16192,8 \text{ lb} \therefore \text{tulangan geser diperlukan} \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{13759,82 - 32385,6}{0,85} = 21912,6 \text{ lb}$$

$$= \frac{A_v + t}{s}$$

$$= \frac{2A_t}{s} + \frac{A_v}{s}$$

$$= (2) \cdot 0,0308 + 0,004 = 0,06561$$

Gunakan sengkang #3

$$s = \frac{2 \cdot 0,12}{0,0656} = 3,66''$$

jarak sengkang maksimum yang diizinkan dari ACI subbab 11.6.6.1

$$\frac{P_h}{8} = \frac{54,29}{8} = 6,787 \text{ in} < 12 \text{ in.}$$

Luas minimum dari sengkang A_v berdasarkan ACI 11.5.5.3

$$= \frac{50b_w s}{f_{yv}} = \frac{50 \cdot 13,78 \cdot 6,787}{34,80}$$

$$= 0,134 \text{ in}^2 < (2) \cdot (0,122) = 0,244 \text{ in}^2$$

OK

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk torsi

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cdot \cot^2 \theta \quad (\text{Persamaan ACI 11-22})$$

$$= (0,039) \cdot 54,29 \cdot \left(\frac{34800}{58000} \right) \cdot \cot^2 45$$

$$= 1,003 \text{ in}^2.$$

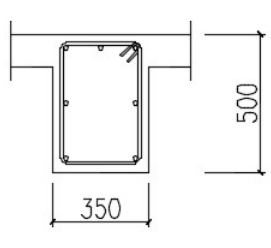
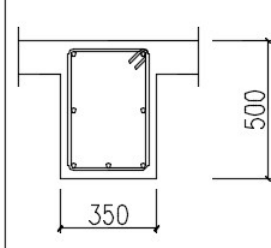
$$\text{Min } A_l = \frac{5 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_{cp}}{f_{yl}} - \left(\frac{A_t}{s} \right) \cdot P_h \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}}$$

$$= \frac{5 \cdot \sqrt{4206} \cdot 271,251}{58000} - (0,039) \cdot 54,29 \cdot \frac{34800}{58000}$$

$$= 0,51 \text{ in}^2$$

$$= 330,88 \text{ mm}^2$$

Jadi A_l pakai adalah $0,51 \text{ in}^2 (=330,88 \text{ mm}^2)$, penambahan tulangan longitudinal disebar dalam 1 lapis di bagian tengah dengan jumlah 2D13. Perhitungan

DETAIL BALOK	TYPE BALOK 2	
	TUMPUAN	LAPANGAN
		
DIMENSI	350 x 500	
TUL. ATAS	3 D16	2 D16
TUL. BAWAH	2 D16	3 D16
TUL. TENGAH	2 D13	2 D13
TUL. SENGKANG	D10 - 150	D10 - 200

Gambar 4.7 Detail Balok 2

Sumber: Dokumen Pribadi

4. Balok 2'

Balok diambil adalah balok B2 = 350 mm × 500 mm, balok ini berada di lantai 2 (As B-C) yang menerima momen maksimum.

Data perencanaan:

$$f'_c = 29,05 \text{ MPa} = 4.206 \text{ Psi} \quad \phi_{\text{lentur}} = 0,9$$

$$f_y = 400 \text{ MPa} = 58000 \text{ Psi} \quad \phi_{\text{sengkang}} = 10 \text{ mm} = 0,4 \text{ in}$$

$$D_{\text{tul}} = 22 \text{ mm} = 0,87 \text{ in} \quad b = 350 \text{ mm} = 13,78 \text{ in}$$

$$C_v = 50 \text{ mm} = 2 \text{ in} \quad h = 500 \text{ mm} = 19,69 \text{ in}$$

$$d = h - C_v = 19,69 - 2 = 17,72 \text{ in}$$

a. Penulangan lentur bagian tumpuan

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000 Version 14 diperoleh:

$$M_{u \text{ tumpuan}} \text{ maksimum} = 7,89 \text{ T.m} = 684822 \text{ in} - \text{lb}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$
$$= \frac{684822}{0,9 \times 13,78 \times 17,72^2} = 142,504 \text{ Psi}$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right)$$
$$= \frac{0,85 \times 4.206}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 142,504}{0,85 \times 4.206}} \right) = 0,00251$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$
$$= 0,00251 \times 13,78 \times 19,69 = 0,6803 \text{ in}^2$$

$$A_s = 0,6803 \times 645,16 = 438,901 \text{ mm}^2$$

Jadi tulangan yang digunakan adalah 3 D16, $A_s = 597 \text{ mm}^2$.

b. Penulangan lentur bagian lapangan

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000

Version 14 diperoleh:

$$M_{u \text{ lapangan maksimum}} = 9,744 \text{ T.m} = 845742 \text{ in} - \text{lb}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$
$$= \frac{845742}{0,9 \times 13,78 \times 19,69^2} = 175,99 \text{ Psi}$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right)$$
$$= \frac{0,85 \times 4.206}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 175,99}{0,85 \times 4.206}} \right) = 0,00311$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$
$$= 0,00311 \times 13,78 \times 19,69 = 0,844 \text{ in}^2$$

$$A_s = 0,844 \times 645,16 = 544,764 \text{ mm}^2$$

Jadi tulangan yang digunakan adalah 3 D16, $A_s = 597 \text{ mm}^2$

c. Penulangan geser maksimum

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000

Version 14 diperoleh:

$$V_u = 6,241 \text{ Ton} = 13759 \text{ lb}$$



$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,85 \times (2 \times \sqrt{f'c} \times b \times d) \\ &= (0,85) \times (2 \times \sqrt{4.206} \times 13,78 \times 17,72) \\ &= 26911,9 \text{ lb}\end{aligned}$$

$$0,5. \phi V_c = 13456 \text{ lb} < 13759 \text{ lb}$$

Karena $0,5. \phi V_c < V_u$, maka diperlukan sengkang.

Digunakan sengkang $\emptyset 10 \text{ mm} = \text{tulangan \#3}$, diameter = 0,375 in,

luas penampang = 0,12 in².

Menghitung jarak teoritis :

$$\phi V_c + \phi V_s = V_u$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{13759 - 26911,9}{0,85} = 15474 \text{ lb}$$

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{2 \times 0,12 \times 34800 \times 13,78}{15474} = 7,44 \text{ in}$$

Jarak maksimum untuk memberikan A_v minimum :

$$s = \frac{A_v f_y}{50 b} = \frac{0,24 \times 58000}{50 \times 19,69} = 14,14 \text{ in}$$

$$V_s = 15474 \text{ lb} < 4 (\sqrt{4206}) (13,78) (19,69) = 70358 \text{ lb}$$

$$s = \frac{d}{2} = \frac{17,72}{2} = 8,86 \text{ in}$$

Jarak Sengkang maksimum yang digunakan adalah 8,86 in = 225 mm

Jarak yang digunakan adalah :

Pada daerah tumpuan dipakai sengkang dengan tulangan $\emptyset 10 - 150$ mm

Pada daerah lapangan dipakai sengkang dengan tulangan $\emptyset 10 - 200$ mm

d. Penulangan lentur torsi balok

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000 Version 14 diperoleh:

$$T_u = 3,281 \text{ T.m} = 284,59 \text{ in-kip.}$$



$$V_u = 6,241 \text{ Ton} = 13,76 \text{ kip} = 13759,82 \text{ lb.}$$

$$A_{cp} = b \times h = 13,78 \times 19,69 = 271,25 \text{ in}^2$$

$$P_{cp} = 2 (b + h) = 2 (13,78 + 19,69) = 66,92 \text{ in.}$$

$$T = \phi \sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

$$= (0,85)(\sqrt{4.206}) \left(\frac{271,25^2}{66,92} \right)$$

$$= 60593,8 \text{ in-lb} = 60,5938 \text{ in-k} < T_u = 284,59 \text{ in-kip.}$$

Karena $T < T_u$, maka tulangan torsi diperlukan.

A_{oh} = Luas yang dicakup oleh garis tengah dari sengkang tertutup bagian terluar, digunakan selimut beton 1,57 in dan sengkang \emptyset 10 mm = tulangan

$$\#3 = 0,375 \text{ in}$$

$$X_1 = 19,69 - (2)(2,5 + 0,375/2) = 14,291 \text{ in}$$

$$Y_1 = 18,25 - (2)(2,5 + 0,375/2) = 12,85 \text{ in}$$

$$A_{oh} = (14,29)(12,85) = 183,734 \text{ in}^2$$

A_o = luas bruto yang dicakup oleh aliran geser

$$= 0,85 A_{oh} \text{ dari ACI bagian 11.6.3.6.}$$

$$= (0,85)(183,734) = 156,174 \text{ in}^2$$

d = tinggi efektif balok

$$= 18,25 - 2,5 - 0,393 - (0,87/2) = 14,92 \text{ in}$$

P_h = keliling dari garis tengah tulangan torsi tertutup bagian terluar

$$= (2)(X_1 + Y_1)$$

$$= (2)(14,291 + 12,85) = 54,29 \text{ in}$$

V_c = kekuatan geser nominal dari penampang beton

$$= 2 \sqrt{f'_c} b d$$

$$= 2 \sqrt{4206} (19,69) (14,92)$$

$$= 38100,7 \text{ lb.}$$

Gunakan persamaan ACI 11-18

$$= \sqrt{\left(\frac{V_u}{b d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 A_o h^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b d} + 8\sqrt{f_c'}\right)$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1379,82}{19,69 \times 14,92}\right)^2 + \left(\frac{284,59 \times 54,2953}{1,7 \times 183,734^2}\right)^2} \leq 0,85 \left(\frac{38100,7}{19,69 \times 14,92} + 8\sqrt{4206}\right)$$

$$= 46,8384 \text{ psi} < 551,191 \text{ psi} \therefore \text{penampang memenuhi syarat}$$

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{284,59}{0,85} = 334,818 \text{ in-lb}$$

Asumsikan θ 45° sesuai ACI subbab 11.6.3.6 (a)

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 A_o f_y \cot \theta} = \frac{334,818}{2 \times 156,174 \times 34800 \times \cot 45^\circ}$$

$$= 0,0308 \text{ in}^2 / \text{in. untuk satu kaki sengkang.}$$

$$V_u = 13759,82 \text{ lb} > \frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \times 0,85 \times 38100,7$$

$$= 16192,8 \text{ lb} \therefore \text{tulangan geser diperlukan}$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{13759,82 - 32385,6}{0,85} = 21912,6 \text{ lb}$$

$$= \frac{A_v + t}{s}$$

$$= \frac{2A_t}{s} + \frac{A_v}{s}$$

$$= (2) \cdot 0,0308 + 0,004 = 0,06561$$

Gunakan sengkang #3

$$s = \frac{2 \cdot 0,12}{0,0656} = 3,66''$$

jarak sengkang maksimum yang diizinkan dari ACI subbab 11.6.6.1

$$\frac{P_h}{8} = \frac{54,3}{8} = 6,787 \text{ in} < 12 \text{ in.}$$

Luas minimum dari sengkang A_v berdasarkan ACI 11.5.5.3

$$= \frac{50 b_w s}{f_{yv}} = \frac{50 \cdot 13,78 \cdot 6,787}{34,80}$$

$$= 0,134 \text{ in}^2 < (2) \cdot (0,122) = 0,244 \text{ in}^2$$

OK

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk torsi

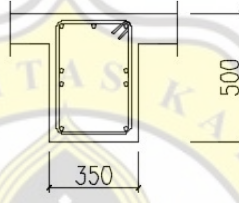
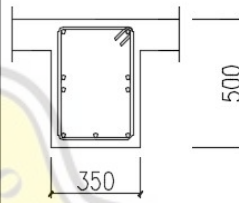
$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}}\right) \cdot \cot^2 \theta \quad (\text{Persamaan ACI 11-22})$$

$$= (0,039) \cdot 54,29 \cdot \left(\frac{34800}{58000}\right) \cdot \cot^2 45$$

$$= 1,003 \text{ in}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Min } A_l &= \frac{5 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_{cp}}{f_{yl}} - \left(\frac{A_t}{s} \right) \cdot P_h \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}} \\ &= \frac{5 \cdot \sqrt{4206} \cdot 271,251}{58000} - (0,039) \cdot 54,29 \cdot \frac{34800}{58000} \\ &= 0,51 \text{ in}^2 \\ &= 330,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi A_l pakai adalah $0,51 \text{ in}^2$ ($=330,88 \text{ mm}^2$), penambahan tulangan longitudinal disebar dalam 1 lapis di bagian tengah dengan jumlah 4D16. Perhitungan

DETAIL BALOK	TYPE BALOK 2'	
	TUMPUAN	LAPANGAN
		
DIMENSI	350 x 500	
TUL. ATAS	3 D16	2 D16
TUL. BAWAH	2 D16	3 D16
TUL. TENGAH	4 D16	4 D16
TUL. SENGKANG	D10 - 150	D10 - 200

Gambar 4.3 Detail Balok 2

Sumber: Dokumen Pribadi

5. Balok 3

a. Penulangan lentur bagian tumpuan

Balok diambil adalah balok B3 = 350 mm × 600 mm, balok ini berada di lantai 2 (As C-D) yang menerima momen maksimum.

Data perencanaan:

$$\begin{aligned} f_c' &= 29,05 \text{ MPa} = 4.206 \text{ Psi} & \phi_{\text{lentur}} &= 0,9 \\ f_y &= 400 \text{ MPa} = 58000 \text{ Psi} & \phi_{\text{sengkang}} &= 10 \text{ mm} = 0,4 \text{ in} \\ D_{\text{tul}} &= 22 \text{ mm} = 0,87 \text{ in} & b &= 350 \text{ mm} = 13,78 \text{ in} \\ C_v &= 50 \text{ mm} = 2 \text{ in} & h &= 600 \text{ mm} = 23,62 \text{ in} \\ d &= h - C_v = 23,62 - 2 = 21,62 \text{ in} \end{aligned}$$

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000
Version 14 diperoleh:

$$M_{u \text{ tumpuan}} \text{ maksimum} = 13,371 \text{ T.m} = 1160552 \text{ in} - \text{lb}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$
$$= \frac{1160552}{0,9 \times 13,78 \times 23,62^2} = 167,71 \text{ Psi}$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 \cdot f'c}} \right)$$
$$= \frac{0,85 \times 4.206}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 167,71}{0,85 \times 4.206}} \right) = 0,00296$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$
$$= 0,00296 \times 13,78 \times 23,62 = 0,6497 \text{ in}^2$$

$$A_s = 0,6497 \times 645,16 = 622,173 \text{ mm}^2$$

Jadi tulangan yang digunakan adalah 4 D16, $A_s = 796 \text{ mm}^2$.

b. Penulangan lentur bagian lapangan

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000
Version 14 diperoleh:

$$M_{u \text{ lapangan}} \text{ maksimum} = 9,754 \text{ T.m} = 846610 \text{ in} - \text{lb}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{846610}{0,9 \times 13,78 \times 23,62^2} = 122,34 \text{ Psi}$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 \cdot f'c}} \right)$$
$$= \frac{0,85 \times 4.206}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 122,34}{0,85 \times 4.206}} \right) = 0,00215$$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d$$
$$= 0,00215 \times 13,78 \times 21,65 = 0,6987 \text{ in}^2$$

$$A_s = 0,6987 \times 645,16 = 450,81 \text{ mm}^2$$

Jadi tulangan yang digunakan adalah 3 D16, $A_s = 597 \text{ mm}^2$

c. Penulangan geser maksimum

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000

Version 14 diperoleh:



$$\begin{aligned}V_u &= 6,398 \text{ Ton} = 14105,2 \text{ lb} \\ \phi V_c &= 0,85 \times (2 \times \sqrt{f'c} \times b \times d) \\ &= (0,85) \times (2 \times \sqrt{4.206} \times 13,78 \times 21,65) \\ &= 32892,4 \text{ lb} \\ 0,5 \cdot \phi V_c &= 16446,2 \text{ lb} < 14105,2 \text{ lb}\end{aligned}$$

Karena $0,5 \cdot \phi V_c < V_u$, maka diperlukan sengkang.

Digunakan sengkang $\emptyset 10 \text{ mm} = \text{tulangan \#3}$, diameter = 0,375 in,
luas penampang = 0,12 in².

Menghitung jarak teoritis :

$$\begin{aligned}\phi V_c + \phi V_s &= V_u \\ V_s &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{14105,2 - 3282,94}{0,85} = 22102,6 \text{ lb} \\ s &= \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{2 \times 0,12 \times 34800 \times 13,78}{22102,6} = 5,207 \text{ in}\end{aligned}$$

Jarak maksimum untuk memberikan A_v minimum :

$$\begin{aligned}s &= \frac{A_v f_y}{50 b} = \frac{0,24 \times 58000}{50 \times 23,62} = 11,78 \text{ in} \\ V_s &= 22102,6 \text{ lb} < 4 (\sqrt{4206}) (13,78) (23,62) = 84330 \text{ lb} \\ s &= \frac{d}{2} = 21,65 = 10,827 \text{ in}\end{aligned}$$

Jarak Sengkang maksimum yang digunakan adalah 10,827 in = 275 mm

Jarak yang digunakan adalah :

Pada daerah tumpuan dipakai sengkang dengan tulangan $\emptyset 10 - 200$
mm

Pada daerah lapangan dipakai sengkang dengan tulangan $\emptyset 10 - 250$
mm

d. Penulangan lentur torsi balok

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000

Version 14 diperoleh:

$$T_u = 0,731 \text{ T.m} = 63,41 \text{ in-kip.}$$

$$V_u = 6,398 \text{ Ton} = 14,0114 \text{ kip} = 14105,96 \text{ lb.}$$

$$A_{cp} = b \times h = 13,78 \times 23,62 = 325,501 \text{ in}^2$$

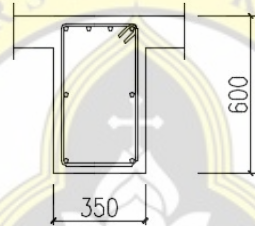
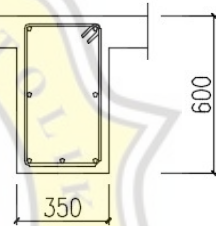
$$P_{cp} = 2 (b + h) = 2 (13,78 + 23,62) = 74,8 \text{ in.}$$

$$T = \phi \sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

$$= (0,85)(\sqrt{4.206}) \left(\frac{325,501^2}{74,8} \right)$$

$$= 78070,3 \text{ in-lb} = 78,7073 \text{ in-k} > T_u = 63,400 \text{ in-kip.}$$

Karena $T > T_u$, maka diperlukan tulangan torsi 2 D13.

DETAIL BALOK	TYPE BALOK 3	
	TUMPUAN	LAPANGAN
		
DIMENSI	350 x 600	
TUL. ATAS	4 D16	2 D16
TUL. BAWAH	2 D16	3 D16
TUL. TENGAH	2 D13	2 D13
TUL. SENGKANG	D10 - 250	D10 - 300

Gambar 4.9 Detail Balok 3

Sumber: Dokumen Pribadi

6. Balok 4

a. Penulangan lentur bagian tumpuan

Balok diambil adalah balok B4 = 300 mm × 450 mm, balok ini berada di lantai 2 (As B-C) yang menerima momen maksimum.

Data perencanaan:

$$f'_c = 29,05 \text{ MPa} = 4.206 \text{ Psi}$$

$$\phi_{\text{lentur}} = 0,9$$

$$f_y = 400 \text{ MPa} = 58000 \text{ Psi}$$

$$\phi_{\text{sengkang}} = 10 \text{ mm} = 0,4 \text{ in}$$

$$D_{\text{tul}} = 22 \text{ mm} = 0,87 \text{ in}$$

$$b = 300 \text{ mm} = 11,81 \text{ in}$$

$$C_v = 50 \text{ mm} = 2 \text{ in}$$

$$h = 450 \text{ mm} = 17,72 \text{ in}$$



$$d = h - C_v = 17,72 - 2 = 15,72 \text{ in}$$

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000
Version 14 diperoleh:

$$M_{u \text{ tumpuan}} \text{ maksimum} = 6,695 \text{ T.m} = 581100,4 \text{ in} - \text{lb}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2}$$

$$= \frac{58110,4}{0,9 \times 11,81 \times 17,72^2} = 174,66 \text{ Psi}$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 4.206}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 174,166}{0,85 \times 4.206}} \right) = 0,00308$$

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

$$= 0,00308 \times 11,81 \times 17,72 = 0,644 \text{ in}^2$$

$$A_s = 0,644 \times 415,77 = 415,78 \text{ mm}^2$$

Jadi tulangan yang digunakan adalah 3 D16, $A_s = 597 \text{ mm}^2$.

b. Penulangan lentur bagian lapangan

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000
Version 14 diperoleh:

$$M_{u \text{ lapangan}} \text{ maksimum} = 2,366 \text{ T.m} = 205359,7 \text{ in} - \text{lb}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{205359,7}{0,9 \times 11,81 \times 17,72^2} = 61,54 \text{ Psi}$$

$$\rho = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 4.206}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 61,54}{0,85 \times 4.206}} \right) = 0,00107$$

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

$$= 0,00107 \times 11,81 \times 17,72 = 0,224 \text{ in}^2$$

$$A_s = 0,224 \times 645,16 = 144,518 \text{ mm}^2$$

Jadi tulangan yang digunakan adalah 3 D16, $A_s = 597 \text{ mm}^2$

c. Penulangan geser maksimum



Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000

Version 14 diperoleh:

$$V_u = 3,63 \text{ Ton} = 8002,77 \text{ lb}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,85 \times (2 \times \sqrt{f'c} \times b \times d) \\ &= (0,85) \times (2 \times \sqrt{4.206} \times 11,81 \times 15,75) \\ &= 20504,34 \text{ lb}\end{aligned}$$

$$0,5 \cdot \phi V_c = 10252,17 \text{ lb} < 8002,77 \text{ lb}$$

Karena $0,5 \cdot \phi V_c < V_u$, maka diperlukan sengkang.

Digunakan sengkang $\emptyset 10 \text{ mm} =$ tulangan #3, diameter = 0,375 in,
luas penampang = 0,12 in².

Menghitung jarak teoritis :

$$\phi V_c + \phi V_s = V_u$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{802,77 - 20504,34}{0,85} = 14707,73 \text{ lb}$$

$$s = \frac{A_v f_y d}{V_s} = \frac{2 \times 0,12 \times 34800 \times 11,81}{14707,73} = 6,707 \text{ in}$$

Jarak maksimum untuk memberikan A_v minimum :

$$s = \frac{A_v f_y}{50 b} = \frac{0,24 \times 58000}{50 \times 17,72} = 15,71 \text{ in}$$

$$V_s = 14707,73 \text{ lb} < 4 (\sqrt{4206}) (11,81) (17,72) = 54276 \text{ lb}$$

$$s = \frac{d}{2} = \frac{15,75}{2} = 7,87 \text{ in}$$

Jarak Sengkang maksimum yang digunakan adalah 7,87 in = 200 mm

Jarak yang digunakan adalah :

Pada daerah tumpuan dipakai sengkang dengan tulangan $\emptyset 10 - 150$
mm

Pada daerah lapangan dipakai sengkang dengan tulangan $\emptyset 10 - 200$
mm

d. Penulangan lentur torsi balok

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000

Version 14 diperoleh:

$$T_u = 0,045 \text{ T.m} = 35,13 \text{ in-kip.}$$

$$V_u = 3,63 \text{ Ton} = 8,002 \text{ kip} = 800,3 \text{ lb.}$$

$$A_{cp} = b \times h = 11,81 \times 17,72 = 209,25 \text{ in}^2$$

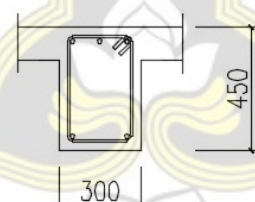
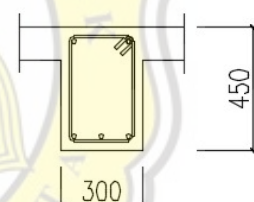
$$P_{cp} = 2 (b + h) = 2 (11,81 + 17,72) = 59,05 \text{ in.}$$

$$T = \phi \sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

$$= (0,85)(\sqrt{4.206}) \left(\frac{209,25^2}{59,05} \right)$$

$$= 40867,4 \text{ in-lb} = 40,8674 \text{ in-k} > T_u = 35,13 \text{ in-kip.}$$

Karena $T > T_u$, maka tidak diperlukan tulangan torsi.

DETAIL BALOK	TYPE BALOK 4	
	TUMPUAN	LAPANGAN
		
DIMENSI	300 x 450	
TUL. ATAS	3 D16	2 D16
TUL. BAWAH	2 D16	3 D16
TUL. SENGKANG	D10 - 150	D10 - 200

Gambar 4.10 Detail Balok 4

Sumber: Dokumen Pribadi

4.5 Perhitungan Penulangan Kolom

4.5.1 Desain Penampang Kolom

Diambil contoh kolom lantai *ground* AS 4-B

$$P_u = 317,38 \text{ Ton} = 699,706 \text{ kip (hasil SAP 2000 Version 14)}$$

$$f'_c = 29,05 \text{ MPa} = 4206 \text{ Psi.}$$

$$\text{Asumsi tegangan tekan rata-rata} = 0,6 \cdot f'_c = 0,6 \cdot 4206 = 2523,6 \text{ psi}$$



$$A_g = \frac{P_u}{0,6 \cdot f_c'} = \frac{699,71}{2,52} = 277,33 \text{ in}^2.$$

Direncanakan kolom dengan dimensi 31,5 in × 31,5 in (800 mm × 800 mm)

dengan $A_g = 992,002 \text{ in}^2$.

OK

4.5.2 Desain Tulangan Lentur Kolom

Diambil contoh kolom K11 no.276

$$P_u = 317,38 \text{ Ton} = 699,706 \text{ k} \quad (\text{hasil SAP 2000 Version 14})$$

$$M_u = 121,177 \text{ T.m} = 876,481 \text{ ft-k} \quad (\text{hasil SAP 2000 Version 14})$$

$$P_n = \frac{P_u}{0,7} = \frac{699,71}{0,7} = 999,58 \text{ k}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,7} = \frac{876,481}{0,7} = 1252,12 \text{ ft-k}$$

$$e = \frac{M_n}{P_n} = \frac{1252,12 \times 12}{999,58} = 15,03 \text{ in}$$

$$\frac{e}{h} = \frac{15,03}{31,49} = 0,48$$

$$\frac{\phi P_n e}{A_g h} = \frac{(0,7) \cdot 999,58 \cdot 15,03}{999,002 \cdot 31,5} = 0,34$$

$$\gamma = \frac{22,5}{31,5} = 0,71$$

$\rho = 0,01$ (hasil dari diagram interaksi kolom)

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

$$A_s = 0,01 \cdot 31,5 \cdot 31,5 = 9,92 \text{ in}^2$$

Rencana tulangan 22 D22 dengan $A_s = 8363 \text{ mm}^2 (12,9 \text{ in}^2) > 9,92 \text{ in}^2$ **OK**

4.5.3 Desain Tulangan Geser Kolom

Diambil contoh Balok K1 no.1037

Cek apakah tulangan geser diperlukan,

$$V_u = 36253 \text{ kg} = 79927,1704 \text{ lb} \quad (\text{hasil SAP 2000 Version 14})$$

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa} = 4206 \text{ Psi.} \quad (\text{K-350})$$



$$f_y = 240 \text{ MPa} = 34800 \text{ Psi.} \quad (\text{BJTS 37})$$

$$N_u = 699705 \text{ lb}$$

$$\emptyset = \#3 \text{ (10 mm)}$$

$$\begin{aligned} \emptyset V_c &= (0,7) \cdot 2 \left(1 + \frac{N_u}{2000 A_g} \right) \cdot \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= (0,7) \cdot 2 \left(1 + \frac{699705}{2000 (31,5^2)} \right) \cdot \sqrt{4206} \cdot 31,5 \cdot 31,5 \\ &= 121819,4 \text{ lb} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{2} \emptyset V_c = 60909,7 \text{ lb}$$

$$2156 \text{ lb} < 60909,7 \text{ lb}$$

$$V_u < \frac{1}{2} \emptyset V_c, \text{ sengkang tidak diperlukan}$$

Jadi sengkang direncanakan 1,5 \emptyset 10 – 150 untuk bagian tumpuan dan lapangan kolom

4.5.4 Cek Keruntuhan Kolom

Data-data perencanaan :

$$f_c' = 29 \text{ MPa (K-350)} \quad C_v = 50 \text{ mm}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa (BJTS40)} \quad D_{tulangan} = 22 \text{ mm}$$

$$b = 800 \text{ mm} \quad \emptyset_{sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= h - C_v - \emptyset_{sengkang} - \frac{1}{2} D_{tulangan} \\ &= 800 - 50 - 10 - \left(\frac{1}{2} \cdot 22 \right) \\ &= 729 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= C_v + \emptyset_{sengkang} + \frac{1}{2} D_{tulangan} \\ &= 50 + 10 + 11 \\ &= 71 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan SAP 2000

Version 14 diperoleh:

$$P_u = 3112445 \text{ N}$$

$$M_u = 1188349034 \text{ N.mm}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{1188349034}{3112445} = 381,81 \text{ mm}$$



$$x_b = \frac{600}{600+f_y} \cdot d = \frac{600}{600+400} \cdot 724 = 437,4 \text{ mm}$$

$$\alpha_b = \beta_1 \cdot x_b = 0,85 \cdot 437,4 = 371,79 \text{ mm}$$

$$f_s' = \frac{x_b - d'}{x_b} \cdot 600 = \frac{437,4 - 71}{437,4} \cdot 600 = 502,61 \text{ MPa}$$

Luas tulangan longitudinal struktur tekan non komposit harus 1% sampai 8% dari luas penampang (SNI Beton 2002 – hal 75)

Diambil 1% dibagi kedua sisi

$$A_s = A_s' = \rho \cdot b \cdot d = 1\% \cdot 800 \cdot 800 = 6400 \text{ mm}^2$$

$$\text{Pakai 23 D 22} \rightarrow (A_s = A_s' = 8743 \text{ mm}^2)$$

$$\begin{aligned} P_{nb} &= (0,85 \times f_c' \times b \times \alpha_b) + (A_s' \times f_s') - (A_s \times f_y) \\ &= (0,85 \times 29 \times 800 \times 371,79) + (8743 \times 502,61) - (8743 \times 400) \\ &= 15223185,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nb} &= (0,85 \times f_c' \times b \times \alpha_b) \times (h/2 - a/2) + (A_s' \times f_s') \times (h/2 - d') \\ &\quad + (A_s \times f_y) \times (d - \frac{h}{2}) \\ &= (0,85 \times 29 \times 800 \times 371,79) \times \left(\frac{800}{2} - \frac{371,79}{2}\right) + (8743 \times 502,61) \times \left(\frac{800}{2} - 71\right) + \\ &\quad (8743 \times 400) \times \left(729 - \frac{800}{2}\right) \\ &= 4166052584 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$e_b = \frac{M_{nb}}{P_{nb}} = \frac{4166052584}{15223185,8} = 273,67 \text{ mm}$$

$$e_b = 273,67 \text{ mm} > e = 4,56 \text{ mm} \rightarrow \text{Keruntuhan Desak}$$

Perhitungan keruntuhan desak (Rumus Whitney) :

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{A_s \cdot f_y}{\left(\frac{e}{d-d'}\right)+0,5} + \frac{b \cdot h \cdot f_c'}{\left(\frac{3 \cdot h \cdot e}{d^2}\right)+1,18} \\ P_n &= \frac{992,001 \cdot 400}{\left(\frac{0,056}{729-71}\right)+0,5} + \frac{800 \cdot 800 \cdot 29}{\left(\frac{3 \cdot 800 \cdot 0,056}{729}\right)+1,18} = 16513296 \text{ N} \end{aligned}$$

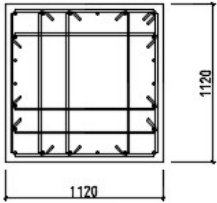
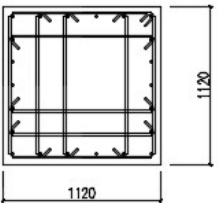
$$P_r = 0,85 \cdot 16513296 \text{ N} = 14036302 \text{ N} > P_u = (3112445 \text{ N}) \rightarrow \text{OK}$$

Syarat :

$$P_r > 0,1 \cdot b \cdot h \cdot f_c'$$

$$14036302 \text{ N} > 0,1 \cdot 800 \cdot 800 \cdot 29$$

$$14036302 \text{ N} > 1856000 \text{ N} \rightarrow \text{OK}$$

DETAIL KOLOM	TYPE KOLOM 1		
	LAPANGAN	TUMPUAN	
			
DIMENSI	800 x 800		
TUL. UTAMA	22D 22		22D 22
	UJUNG / TUMPUAN	TENGAH / LAPANGAN	JOINT / KEPALA KOLOM
TUL. BEGEL	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 100

Gambar 4.11 Detail Kolom

Sumber: Dokumen Pribadi

4.6 Perhitungan Dinding Geser (Shear Wall)

Dengan menggunakan SAP 2000 Version 14 didapatkan hasil gaya geser yang bekerja pada dinding, yang dibebani oleh beban hidup, beban mati dan Gempa.

Perhitungan Tebal Beton Dinding Geser

$$V_u = \frac{30\% \times F_{iy} \times nk}{\text{jumlah shear wall}}$$

$$= \frac{30\% \times 7,609 \times 54}{3}$$

$$= 41,0886 \text{ ton} = 92,90155 \text{ k}$$

Cek ketebalan beton

$$V_u = \phi 10 \sqrt{f'_c} h d$$

$$d = 0,8 l_w = (0,8) \cdot (12 \times 26,246) = 251,97'$$

$$V_u = (0,85) \cdot (10) \cdot (\sqrt{4206}) \cdot (5,9) \cdot (251,97)$$

$$V_u = 820280,1 = 820,28 \text{ k} > 92,901 \text{ k} \text{ OK}$$

Hitung V_c untuk dinding (pilih nilai terkecil) :

$$V_c = 3,3 \sqrt{f'_c} h d + \frac{N_u}{4h_w} = (3,3 \cdot \sqrt{4206}) \cdot (5,9) \cdot (251,97) + 0$$

$$= 318461,69 \text{ lb} = 318,46 \text{ k}$$

Hitung V_u dan M_u pada nilai terkecil dari $l_w/2 = 26,246 / 2 = 13,123'$ atau

$h_w/2 = 11,483 / 2 = 5,741'$ dari dasar dinding.



$$V_u = 92,901 \text{ k}$$

$$M_u = 92,901 \cdot (13,123 - 5,741) = 685,78 \text{ ft-k} = 57,15 \text{ in.-k}$$

$$V_c = \left[0,6\sqrt{f'_c} + \frac{l_w \left(1,25\sqrt{f'_c} + \frac{0,2N_u}{l_w h} \right)}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}} \right] hd$$

$$V_c = \left[0,6\sqrt{4206} + \frac{(26,246 \times 12)(1,25\sqrt{4206} + 0)}{\frac{57,15}{92,901} - \frac{(26,246 \times 12)}{2}} \right] (5,9)(251,97)$$

$$V_c = 184302,84 \text{ k}$$

Cek apakah tulangan geser diperlukan,

$$\frac{\phi V_c}{2} = \frac{(0,85) \cdot 318,46}{2} = 135,35 \text{ k} > 92,901 \text{ k} \quad \text{Tidak perlu}$$

Tulangan geser horizontal

$$\frac{A_v}{S_2} = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi f_y \cdot d} = \frac{92,9 - 0,85 \cdot 424,61}{0,85 \cdot 58 \cdot 251,97} = 0,021$$

Jarak vertikal maksimum sengkang horizontal

Gunakan tulangan #4 ($=0,2 \text{ in}^2$)

$$s_2 = \frac{2 \cdot 0,2}{0,021} = 18,54 \text{ in} = 47,08 \text{ cm}$$

$$\rho_n = \frac{2 \cdot 0,2}{7,87 \cdot 18,54} = 0,00274 > 0,0025 \quad \text{OK}$$

Jadi digunakan tulangan #4 dengan jarak 45 cm

Tulangan geser vertikal

$$\begin{aligned} \rho_n \text{ min} &= 0,0025 + 0,5 \left(2,5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_n - 0,0025) \\ &= 0,0025 + 0,5 \left(2,5 - \frac{12 \cdot 11,48}{12 \cdot 26,25} \right) (0,00274 - 0,0025) \\ &= 0,00274 \end{aligned}$$

Gunakan tulangan #4 ($=0,2 \text{ in}^2$)

$$s_2 = \frac{2 \cdot 0,2}{7,87 \cdot 0,00274} = 18,48 \text{ in} = 46,96 \text{ cm}$$

Jadi digunakan tulangan #4 dengan jarak 45 cm

4.7 Perhitungan *Pile Cap*

4.7.1 Perhitungan *Pile Cap*

a. *Pile Cap* 1 (PC 1)

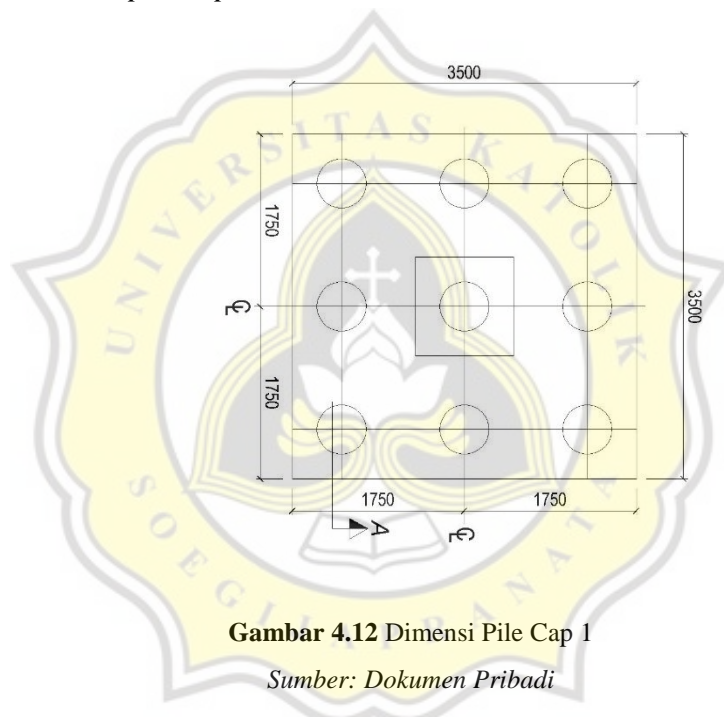
Diambil contoh perhitungan *pile cap* PC1

Dimensi kolom = 800 mm × 800 mm

Beban aksial, P = 292,58 Ton

Mutu beton, f_c' = 29,05 MPa (K-350)

Dimensi *pile cap* = 3500 mm × 3500 mm × 800 mm



Gambar 4.12 Dimensi *Pile Cap* 1

Sumber: Dokumen Pribadi

Gaya geser yang bekerja pada penampang kritis adalah :

$$V_u = \sigma \cdot L \cdot G'$$

$$G' = L - \left(\frac{L}{2} + \frac{\text{lebar kolom}}{2} + d \right)$$

dengan :

$$V_u = \text{gaya geser}$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$L = \text{panjang } \textit{pile cap}$$

$$d = \text{tebal efektif } \textit{pile cap}$$



G' = daerah pembebanan yang diperhitungkan untuk geser penulangan satu arah

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{292,58}{(3,5 \times 3,5)} = 46,81 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

$$L = 2,5 \text{ m}$$

$$d = 800 \text{ mm} - 75 \text{ mm} = 725 \text{ mm} = 0,725 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}G' &= 2500 - \left(\frac{2500}{2} + \frac{800}{2} + 725 \right) \\ &= 125 \text{ mm} = 0,125 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_u &= 46,81 \cdot 2,5 \cdot 0,125 \\ &= 14,629 \text{ ton}\end{aligned}$$

Kuat geser beton adalah :

$$\phi V_c = \phi \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

dengan :

b = panjang pondasi

d = tebal efektif pondasi

h = tebal pondasi

V_c = gaya geser nominal yang disumbangkan oleh beton

f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan

V_u = gaya geser 1 arah yang terjadi

$$\phi V_c = 0,75 \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{29,05} \cdot 2500 \cdot 725$$

$$\phi V_c = 122,0076 \text{ ton} > V_u = 14,629 \text{ ton}$$

OK

Kontrol gaya geser dua arah

Lebar penampang kritis (B') adalah :

$$\begin{aligned}B' &= \text{lebar kolom} + 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \right) d \\ &= 800 + 2 \cdot \left(\frac{1}{2} \right) \cdot 725 = 1525 \text{ mm} = 1,525 \text{ m}\end{aligned}$$

Gaya geser yang bekerja pada penampang kritis adalah :

$$V_u = \sigma \cdot (L^2 - B'^2)$$

dengan :



$$\begin{aligned}\sigma &= 46,81 \text{ t/m}^2 \\ B' &= 1,525 \text{ m} \\ L &= 2,5 \text{ m} \\ V_u &= 46,81 \cdot (2,5^2 - 1,525) \\ &= 183,71 \text{ ton}\end{aligned}$$

SNI-03-2847-2002 pasal 13.12.2.1

Besar V_c adalah nilai terkecil dari :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d}{6}$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d}{12}$$

$$V_c = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$$

$$\beta_c = \frac{\alpha_k}{b_k}$$

$$b_o = 4B'$$

$$\phi V_c > V_u$$

dengan :

V_u = gaya geser 2 arah yang terjadi

b_k = panjang kolom

α_k = lebar kolom

d = tinggi efektif pondasi

h = tebal pondasi

b_o = keliling penampang kritis pondasi telapak

α_s = konstanta untuk perhitungan pondasi telapak

$$V_{c1} = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d}{6}$$

$$= \left(1 + \frac{2}{1}\right) \cdot \frac{\sqrt{29,05} \cdot 6100 \cdot 725}{6}$$

$$= 1190,8 \text{ ton}$$

$$V_{c2} = \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f_c'} b_o d}{12}$$

$$= \left(\frac{40 \cdot 725}{6100} + 2\right) \frac{\sqrt{29,05} \cdot 6100 \cdot 725}{12}$$

$$= 1340,45 \text{ ton}$$

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} b_o d$$

$$= \frac{1}{3} \sqrt{29,05} \cdot 6100 \cdot 725$$

$$= 793,86 \text{ ton}$$

Jadi V_c yang dipakai adalah 793,86 ton

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 793,86 \text{ ton} \\ &= 595,39 \text{ ton} > V_u = 183,71 \text{ ton} \end{aligned}$$

b. Pile Cap 2 (PC 2)

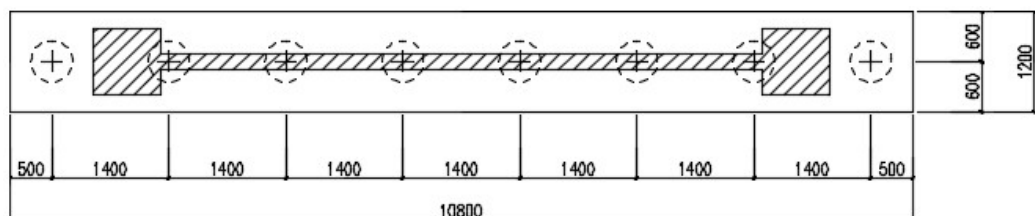
Diambil contoh perhitungan *pile cap* PC2

Dimensi kolom = 800 mm × 800 mm

Beban aksial, P = 313,12 Ton

Mutu beton, f_c' = 29,05 MPa (K-350)

Dimensi *pile cap* = 1200 mm × 10800 mm × 800 mm



Gambar 4.13 Dimensi Pile Cap 2



Sumber: Dokumen Pribadi

Gaya geser yang bekerja pada penampang kritis adalah :

$$V_u = \sigma \cdot L \cdot G'$$

$$G' = L - \left(\frac{L}{2} + \frac{\text{lebar kolom}}{2} + d \right)$$

dengan :

$$V_u = \text{ gaya geser}$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

L = panjang *pile cap*

d = tebal efektif *pile cap*

G' = daerah pembebanan yang diperhitungkan untuk geser penulangan satu arah

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{313,12}{(1,2 \times 10,8)} = 46,81 \text{ ton/m}^2$$

$$L = 2,5 \text{ m}$$

$$d = 800 \text{ mm} - 75 \text{ mm} = 725 \text{ mm} = 0,725 \text{ m}$$

$$G' = 2500 - \left(\frac{2500}{2} + \frac{800}{2} + 725 \right) = 125 \text{ mm} = 0,125 \text{ m}$$

$$V_u = 46,81 \cdot 2,5 \cdot 0,125 = 14,629 \text{ ton}$$

Kuat geser beton adalah :

$$\phi V_c = \phi \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d$$

dengan :

b = panjang pondasi

d = tebal efektif pondasi

h = tebal pondasi

V_c = gaya geser nominal yang disumbangkan oleh beton

f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan

V_u = gaya geser 1 arah yang terjadi



$$\phi V_c = 0,75 \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{29,05} \cdot 2500 \cdot 725$$

$$\phi V_c = 122,0076 \text{ ton} > V_u = 14,629 \text{ ton}$$

OK

Kontrol gaya geser dua arah

Lebar penampang kritis (B') adalah :

$$B' = \text{lebar kolom} + 2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) d$$

$$= 800 + 2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) \cdot 725 = 1525 \text{ mm} = 1,525 \text{ m}$$

Gaya geser yang bekerja pada penampang kritis adalah :

$$V_u = \sigma \cdot (L^2 - B'^2)$$

dengan :

$$\sigma = 46,81 \text{ t/m}^2$$

$$B' = 1,525 \text{ m}$$

$$L = 2,5 \text{ m}$$

$$V_u = 46,81 \cdot (2,5^2 - 1,525^2)$$

$$= 183,71 \text{ ton}$$

SNI-03-2847-2002 pasal 13.12.2.1

Besar V_c adalah nilai terkecil dari :

$$V_c = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d}{6}$$

$$V_c = \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d}{12}$$

$$V_c = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_o \cdot d$$

$$\beta_c = \frac{\alpha k}{b k}$$

$$b_o = 4B'$$

$$\phi V_c > V_u$$

dengan :

V_u = gaya geser 2 arah yang terjadi

b_k = panjang kolom

α_k = lebar kolom

d = tinggi efektif pondasi

h = tebal pondasi

b_o = keliling penampang kritis pondasi telapak

α_s = konstanta untuk perhitungan pondasi telapak

$$V_{c1} = \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f_c'} b_o d}{6}$$

$$= \left(1 + \frac{2}{1}\right) \cdot \frac{\sqrt{29,05} \cdot 6100 \cdot 725}{6}$$

$$= 1190,8 \text{ ton}$$

$$V_{c2} = \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f_c'} b_o d}{12}$$

$$= \left(\frac{40 \cdot 725}{6100} + 2\right) \frac{\sqrt{29,05} \cdot 6100 \cdot 725}{12}$$

$$= 1340,45 \text{ ton}$$

$$V_{c3} = \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} b_o d$$

$$= \frac{1}{3} \sqrt{29,05} \cdot 6100 \cdot 725$$

$$= 793,86 \text{ ton}$$

Jadi V_c yang dipakai adalah 793,86 ton

$$\phi V_c = 0,75 \times 793,86 \text{ ton}$$

$$= 595,39 \text{ ton} > V_u = 183,71 \text{ ton}$$

4.7.2 Perhitungan Tulangan *Pilecap*

a. Pile Cap (PC 1)

Beban yang bekerja:



$$P_u = 292,58 \text{ ton}$$

$$\text{Mutu beton, } f_c' = 29,05 \text{ MPa (K-350)}$$

$$\text{Mutu besi, } f_y = 400 \text{ MPa (BJTS 40)}$$

Lebar penampang kritis B'

$$B' = \frac{\text{lebar pile cap}}{2} - \frac{\text{lebar kolom}}{2}$$
$$= \frac{2,5}{2} - \frac{0,8}{2} = 0,85 \text{ m}$$

Berat *pile cap* pada penampang kritis q'

$$q' = 2400 \cdot L$$
$$= 2400 \text{ kg/m}^3 \cdot 2,5 \text{ m} \cdot 0,8 \text{ m} = 4800 \text{ kg/m}$$

$$M_u = 2 \left(\frac{P_u}{4} \right) (s) - \frac{1}{2} (q') (B'^2)$$
$$= 2 \cdot \left(\frac{292,58}{4} \right) \cdot (0,8) - \frac{1}{2} \cdot (4800) \cdot (0,85)^2 = 1152,98 \text{ kNm}$$

Bila dipakai D25 – 125 mm (terpasang 20 tulangan)

$$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$A_s = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 25^2 \cdot 20$$
$$= 9821,43 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{9821,43 \cdot 400}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 2500}$$

$$= 63,75 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \cdot 9821,43 \cdot 400 \cdot 693,125$$
$$= 2178,39 \text{ kNm} > M_u = 1152,98 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

b. Pile Cap (PC 2)

Beban yang bekerja:



$$P_u = 313,12 \text{ ton}$$

$$\text{Mutu beton, } f_c' = 29,05 \text{ MPa (K-350)}$$

$$\text{Mutu besi, } f_y = 400 \text{ MPa (BJTS 40)}$$

Lebar penampang kritis B'

$$B' = \frac{\text{lebar } pile \text{ cap}}{2} - \frac{\text{lebar kolom}}{2}$$
$$= \frac{1,2}{2} - \frac{0,8}{2} = 0,85 \text{ m}$$

Berat *pile cap* pada penampang kritis q'

$$q' = 2400 \cdot L$$
$$= 2400 \text{ kg/m}^3 \cdot 2,5 \text{ m} \cdot 0,8 \text{ m} = 4800 \text{ kg/m}$$

$$M_u = 2 \left(\frac{P_u}{4} \right) (s) - \frac{1}{2} (q') (B'^2)$$
$$= 2 \cdot \left(\frac{292,58}{4} \right) \cdot (0,8) - \frac{1}{2} \cdot (4800) \cdot (0,85)^2 = 1152,98 \text{ kNm}$$

Bila dipakai D25 – 200 (terpasang 54 tulangan)

$$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$A_s = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 25^2 \cdot 20$$
$$= 9821,43 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{9821,43 \cdot 400}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 2500}$$

$$= 63,75 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \cdot 9821,43 \cdot 400 \cdot 693,125$$
$$= 2178,39 \text{ kNm} > M_u = 1152,98 \text{ kNm}$$

OK



4.8 Perhitungan *Tie Beam*

Tie Beam digunakan untuk menahan terjadinya penurunan pada 1 titik kolom. Beban yang berlebih dapat disalurkan ke *pile cap* di sekitarnya melalui *tie beam* walaupun terjadi penurunan akan terjadi secara bersamaan.

4.8.1 Perhitungan *Tie Beam* 1

Tulangan Lentur

Perhitungan balok TB1 (400 mm × 600 mm). Asumsi penurunan antar pondasi

$$\Delta_s = 10 \text{ mm.}$$

Beban aksial terfaktor pada kolom 1:

$$P_u = 342,14 \text{ N}$$

Beban aksial terfaktor pada kolom 2:

$$P_u = 338,04 \text{ N}$$

Sloof menerima beban dinding $\frac{1}{2}$ bata setinggi 4 m (berat 120 kg/m²).

Data balok sloof :

$$\text{Panjang (L)} = 8 \text{ m}$$

$$\text{Lebar (b)} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (h)} = 0,6 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi eff (d)} = 0,55 \text{ m}$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$
$$= \frac{1}{12} \cdot 0,4 \cdot 0,6^3 = 7,2 \times 10^9$$

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa (K-350)}$$

$$E = 4700 \cdot \sqrt{f_c'}$$

$$= 4700 \cdot \sqrt{29,05} = 25,31 \text{ MPa}$$



$$f_y = 400 \text{ MPa (BJTS 40)}$$

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} b \cdot h \\ &= \frac{\sqrt{29,05}}{4 \cdot 400} 400 \cdot 600 = 840 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tidak lebih kecil dari :

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \frac{1,4 \cdot b \cdot h}{f_y} \\ &= \frac{1,4 \cdot 400 \cdot 600}{400} = 840 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

a) Perhitungan momen berdasarkan beban akibat penurunan antar pondasi Δ_s :

$$\begin{aligned} M &= \frac{6 \cdot E \cdot I \cdot \Delta_s}{L_s^2} \\ &= \frac{6 \cdot 25,31 \cdot 7,2 \times 10^9 \cdot 10}{8^2} = 170844,35 \text{ Nmm} = 38,41 \text{ ft-k} \end{aligned}$$

b) Perhitungan momen akibat pondasi jepit:

$$M = 531,99 \text{ ft-k (hasil SAP 2000 Version 14)}$$

c) Perhitungan berdasarkan momen akibat kolom

$$M = 49,48 \text{ ft-k (hasil SAP 2000 Version 14)}$$

Dipakai M terbesar yaitu $M = 531,99 \text{ ft-k}$

$$\frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{(12)(531990)}{(0,9)(15,75)(23,62)^2} = 960,63 \text{ psi}$$

ρ dari tabel A.13 buku "Desain Beton Bertulang, edisi ke-5 jilid 1" diperoleh 0,0193

$$\begin{aligned} A_s &= 0,0193 \times 15,75 \times 23,62 \\ &= 6,58 \text{ in}^2 \\ &= 4245,15 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan 6 tulangan no 10 (= 4896,764 mm²)

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \\ &= \frac{4896,764 \cdot 400}{0,85 \cdot 29 \cdot 0,4} = 198,65 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right)$$



$$= 4896,764 \cdot 400 \cdot \left(550 - \frac{198,65}{2}\right) = 882738,054 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \cdot 882738,054$$

$$= 706190,443 \text{ Nmm} > (M= 170844,35 \text{ Nmm}) \text{ OK}$$

Tulangan Geser

Beban pada *Tie Beam 1*

$$\begin{aligned} \text{Akibat beban dinding} &= 120 \text{ kg/m}^2 \cdot 4 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} \\ &= 3840 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Akibat berat sendiri } Tie \text{ Beam} &= 0,4 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 4608 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$V_u = \frac{1,4 \cdot (3840 + 4608)}{2} = 5913,6 \text{ N} = 1329,43 \text{ lb}$$

Cek apakah tulangan geser diperlukan

$$l = 8 \text{ m} = 26,24 \text{ ft.}$$

$$f'_c = 24,9 \text{ MPa} = 3610 \text{ Psi. (K-300)}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa} = 34795,18 \text{ Psi. (BJTP 37)}$$

$$\phi = \#3 (10 \text{ mm})$$

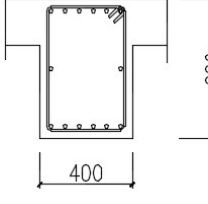
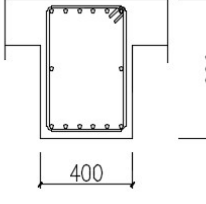
$$\begin{aligned} \phi V_c &= 2\phi \sqrt{f'_c} b_w d \\ &= 2 \cdot 0,85 \sqrt{3610} \cdot 15,75 \cdot 21,65354 = 34830,34 \text{ lb} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = 17415,17 \text{ lb}$$

$$17415,17 \text{ lb} > V_u = 1329,43 \text{ lb}$$

Dari hasil yang sudah dihitung sengkang yang digunakan sengkang

tumpuan $\phi 10 - 200 \text{ mm}$ dan sengkang lapangan $\phi 10 - 200 \text{ mm}$.

DETAIL TIE BEAM	TYPE TIE BEAM 1	
	TUMPUAN	LAPANGAN
		
DIMENSI	400 x 600	
TUL. ATAS	5 D13	5 D13
TUL. BAWAH	5 D13	5 D13
TUL. TENGAH	2 D13	2 D13
TUL. SENGKANG	D10 - 150	D10 - 200

Gambar 4.14 Dimensi Tie Biem 1

Sumber: Dokumen Pribadi

4.8.2 Perhitungan Tie Beam 2

Tulangan Lentur

Perhitungan balok TB2 (300 mm × 450 mm). Asumsi penurunan antar pondasi

$$\Delta_s = 10 \text{ mm.}$$

Beban aksial terfaktor pada kolom 1:

$$P_u = 216,78 \text{ N}$$

Beban aksial terfaktor pada kolom 2:

$$P_u = 261,11 \text{ N}$$

Sloof menerima beban dinding ½ bata setinggi 4 m (berat 120 kg/m²).

Data balok sloof :

$$\text{Panjang (L)} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Lebar (b)} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (h)} = 0,45 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi eff (d)} = 0,4 \text{ m}$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 0,3 \cdot 0,45^3 = 2,28 \times 10^9$$

$$f_c' = 29,05 \text{ MPa (K-350)}$$

$$E = 4700 \cdot \sqrt{f_c'}$$



$$= 4700 \cdot \sqrt{29,05} = 25,31 \text{ MPa}$$

$$f_y = 400 \text{ MPa (BJTS 40)}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} b \cdot h \\ &= \frac{\sqrt{29,05}}{4 \cdot 400} 300 \cdot 450 = 454,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tidak lebih kecil dari :

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= \frac{1,4 \cdot b \cdot h}{f_y} \\ &= \frac{1,4 \cdot 300 \cdot 450}{400} = 472,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

a) Perhitungan berdasarkan beban akibat penurunan antar pondasi Δ_s :

$$\begin{aligned} M &= \frac{6 \cdot E \cdot I \cdot \Delta_s}{L_s^2} \\ &= \frac{6 \cdot 25,31 \cdot 2,28 \times 10^9 \cdot 10}{6^2} = 96099,95 \text{ Nmm} = 21,6 \text{ ft-k} \end{aligned}$$

b) Perhitungan momen akibat pondasi jepit:

$$M = 224,71 \text{ ft-k (hasil SAP 2000 Version 14)}$$

c) Perhitungan berdasarkan momen akibat kolom

$$M = 40,38 \text{ ft-k (hasil SAP 2000 Version 14)}$$

Dipakai M terbesar yaitu $M = 40,38 \text{ ft-k}$

$$\frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{(12)(224710)}{(0,9)(11,81)(15,75)^2} = 1022,871 \text{ psi}$$

ρ dari tabel A.13 buku "Desain Beton Bertulang, edisi ke-5 jilid 1"

diperoleh 0,0209

$$A_s = 0,0209 \times 11,81 \times 15,75$$

$$= 3,88 \text{ in}^2$$

$$= 2508 \text{ mm}^2$$

Digunakan 6 tulangan no 9 (= 3870 mm²)

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$= \frac{3870 \cdot 400}{0,85 \cdot 29 \cdot 0,3} = 209,38 \text{ mm}$$



$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$
$$= 3870 \cdot 400 \cdot \left(400 - \frac{209,38}{2}\right) = 457251,30 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \cdot 457251,3$$
$$= 365801,04 \text{ Nmm} > (M = 96099,95 \text{ Nmm}) \quad \text{OK}$$

Tulangan Geser

Beban pada *Tie Beam* 2

$$\text{Akibat beban dinding} = 120 \text{ kg/m}^2 \cdot 3 \text{ m} \cdot 6 \text{ m}$$
$$= 2880 \text{ kg}$$

$$\text{Akibat berat sendiri } Tie \text{ Beam} = 0,3 \text{ m} \cdot 0,45 \text{ m} \cdot 6 \text{ m} \cdot 2400 \text{ kg/m}^3$$
$$= 1944 \text{ kg}$$

$$V_u = \frac{1,4 \cdot (2880 + 1944)}{2} = 3376,8 \text{ N} = 759,13 \text{ lb}$$

Cek apakah tulangan geser diperlukan

$$l = 6 \text{ m} = 19,68 \text{ ft.}$$

$$f'_c = 29,05 \text{ MPa} = 4206 \text{ Psi. (K-300)}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa} = 34795,18 \text{ Psi. (BJTP 37)}$$

$$\phi = \#3 (10 \text{ mm})$$

$$\phi V_c = 2\phi \sqrt{f'_c} b_w d$$
$$= 2 \cdot 0,85 \sqrt{3610} \cdot 11,811 \cdot 15,74 = 18998,37 \text{ lb}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = 9499,18 \text{ lb}$$

$$9499,18 \text{ lb} > V_u = 759,73 \text{ lb}$$

Dari hasil yang sudah dihitung sengkang yang digunakan sengkang tumpuan $\phi 10 - 100 \text{ mm}$ dan sengkang lapangan $\phi 10 - 150 \text{ mm}$.

$$M_u = 224,71 \text{ ft-k (hasil SAP 2000 Version 14)}$$

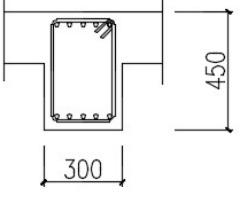
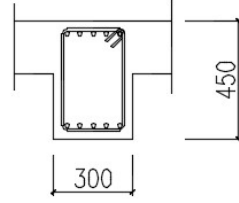
$$\frac{M_u}{\phi b d^2} = \frac{(12)(224710)}{(0,9)(11,81)(15,75)^2} = 1022,871 \text{ psi}$$

ρ dari tabel A.¹³ buku “Desain Beton Bertulang, edisi ke-5 jilid 1” diperoleh 0,0209

$$A_s = 0,0209 \times 11,81 \times 15,75$$

$$= 3,88$$

Digunakan 6 tulangan no 8 (= 4,71 in²)

DETAIL TIE BEAM	TYPE TIE BEAM 2	
	TUMPUAN	LAPANGAN
		
DIMENSI	300 x 450	
TUL. ATAS	5 D13	5 D13
TUL. BAWAH	5 D13	5 D13
TUL. SENGKANG	D10 - 100	D10 - 150

Gambar 4.15 Dimensi Tie Biem 2

Sumber: Dokumen Pribadi

4.9 Perencanaan Tiang Pancang

Direncanakan menggunakan Pancang dengan diameter 50 cm :

A. Menentukan Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Pondasi direncanakan pada hingga kedalaman 18 m.

$$P_a = \frac{q_c \cdot A}{FK1} + \frac{T_f \cdot A_{st}}{FK2}$$

$$P_{all} = \frac{150 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 50^2)}{3} + \frac{1370 \cdot (157,14)}{5}$$

$$P_{all} = 141271,4 \text{ kg}$$

$$P_{all} = 141,2714 \text{ Ton pada kedalaman 19 m}$$

B. Daya Dukung Ijin Tarik

$$P_a = \frac{(T_f \cdot A_{st}) \cdot 0,7}{FK2} + w_p$$

$$P_a = \frac{(1370 \cdot 157,1429) \cdot 0,7}{5} + 8957,143$$

$$P_a = 39,09 \text{ Ton}$$

C. Penentuan Jumlah Tiang Pancang

$$P = F3 = 770,4443 \text{ kg}$$



Pall (Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal) = 141,2714 Ton

$$\text{jumlah tiang, } n = \frac{P}{P_{all}}$$

$$n = \frac{770,4443}{141,2714}$$

$$n = 5,453646 \approx 9$$

D. Menghitung Efisiensi Kelompok Tiang

Dipakai persamaan Conversi – Labarre (Pamungka.A & Harianti E. (2013):

$$E_g = 1 - \varphi \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n} \right]$$

dengan: m : jumlahbaris
 n : jumlah pancangdalambaris.
 φ : $\arctan(d/s)$, dalamderajat
 d : diametertiang
 s : jarakantartiang

$$E_g = 1 - \varphi \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n} \right]$$

$$m = \text{jumlah baris } m = 3$$

$$n = \text{jumlah tiang dalambaris } n = 3$$

$$\varphi = \arctan \frac{D}{S} = \arctan \frac{50}{125} = 21,8$$

$$\eta = 1 - \left\{ \frac{21,8}{90} * \left[\frac{(3-1)3 + (3-1)3}{3 * 0,5} \right] \right\} = 0,7039 = 70,39\%$$

Daya Dukung Tiang Pancang

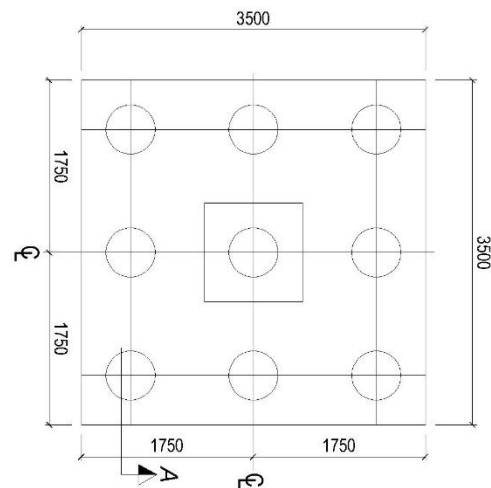
$$P_{ult} = \eta \cdot P_{tiang} \cdot \text{Jumlah tiang}$$

$$P_{ult} = 0,7039 \cdot 141,2714 \cdot 9$$

$$P_{ult} = 895,0086 \text{ Ton} > P = 770,4443 \text{ (OK)}$$

Beban Maksimum tiang pada kelompok tiang

$$P_a = \frac{P_u}{n} + \frac{M_x \cdot y_{max}}{n x \Sigma y^2} + \frac{M_y \cdot x_{max}}{n y \Sigma x^2}$$



Gambar 4.16 Denah Tiang Pancang diameter 50 cm

Digunakan poer (*pile cap*) ukuran 3,5 m x 3,5 m, tebal 160 cm, dengan jarak antar tiang-tiang 125 cm dan jarak tiang ke tepi 50 cm

$$P_u = 770,4443 \text{ kg}$$

$$n_p = 9$$

$$x_{\max} = 1,25 \text{ m}$$

$$y_{\max} = 1,25 \text{ m}$$

$$n_x = 51,1048 \text{ Ton.m}$$

$$n_y = 38,16552 \text{ Ton.m}$$

$$\Sigma x^2 = 2a^2$$

$$\Sigma x^2 = 2 \cdot 1,5625^2$$

$$\Sigma x^2 = 3,125 \text{ m}^2$$

$$\Sigma y^2 = 2a^2$$

$$\Sigma y^2 = 2 \cdot 1,5625^2$$

$$\Sigma y^2 = 3,125 \text{ m}^2$$

$$P_{all} = \frac{770,4443}{9} + \frac{38,165 \cdot 1,25}{3 \cdot 12,5} + \frac{51,1048 \cdot 1,25}{3 \cdot 12,5}$$



$Pall = 88580,6 \text{ kg} = 88,58 \text{ Ton}$

Pall yang bekerja pada 1 tiang pancang < Pult 1 tiang pancang

88,58 Ton < 141,2714 Ton**AMAN**

