



BAB IV

PERHITUNGAN STRUKTUR

4.1 Perhitungan Plat lantai

Plat lantai memiliki fungsi sebagai tempat berpijak dan jika tidak direncanakan dengan baik maka akan menyebabkan lendutan dan getaran saat ada beban yang bekerja pada plat tersebut.

4.1.1 Perencanaan Pembebanan Plat Lantai

Plat beton bertulang yang direncanakan pada struktur menggunakan mutu beton dengan kuat tekan $f_c' = 29$ MPa, dan mutu baja tulangan utama menggunakan $f_y = 240$ MPa. Dalam perencanaan struktur plat lantai struktur gedung *office centre* Semarang ini dibagi dalam tiga bagian, yaitu :

1. Pembebanan lantai *Ground Floor*
2. Pembebanan lantai 1-5

Langkah-langkah perencanaan plat lantai :

1. Menentukan batas luasan plat, tumpuan, dan panjang bentang.
2. Menentukan tebal plat lantai dan melakukan *checking* terhadap lendutan yang diijinkan.
3. Menghitung beban yang dipikul pada plat lantai, yang terdiri dari beban mati (DL) dan beban hidup (LL), lalu dihitung menggunakan kombinasi.

4.1.2 Penentuan Tebal Plat Lantai

Penentuan tebal plat lantai pada struktur menggunakan persamaan rumus, yaitu :

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



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

Keterangan :

H = Ketebalan Plat (mm)

l_n = Bentang terpanjang (mm)

f_y = Mutu baja tulangan (Mpa)

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

1. Plat lantai *ground floor*

$$l_x = 3750 \text{ mm}$$

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

$$h_{(max)} \geq \frac{4000 (0,8 + \frac{240}{1500})}{36} = 106,67$$

$$h_{(min)} \geq \frac{4000 (0,8 + \frac{240}{1500})}{36 + 9(\frac{4000}{3750})} = 84,21$$

Dipakai tebal plat 200 mm = 20 cm untuk *Ground Floor*

2. Plat lantai 1-5

$$l_x = 3750 \text{ mm}$$

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

$$h_{(max)} \geq \frac{4000 (0,8 + \frac{240}{1500})}{36} = 106,67$$

$$h_{(min)} \geq \frac{4000 (0,8 + \frac{240}{1500})}{36 + 9(\frac{4000}{3750})} = 84,21$$

Dipakai tebal palat 120 mm = 12 cm untuk lantai 1-5

4.1.3 Perhitungan Plat Lantai *Ground Floor*

Berat Jenis

- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| a. Beton bertulang | = 2400 kg/m ³ |
| b. Adukan semen / cm tebal | = 21 kg/m ² |
| c. Penutup lantai / cm tebal | = 24 kg/m ² |
| d. Beban urugan pasir | = 1800 kg/m ² |
| e. Mutu beton K-350 | = 29 MPa |



1. Perhitungan Pembebanan Plat *Ground Floor*

a. Beban hidup (*LL*) yang bekerja pada lantai = 1000 kg/m^2

b. Beban mati (*DL*) tebal 20 cm

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

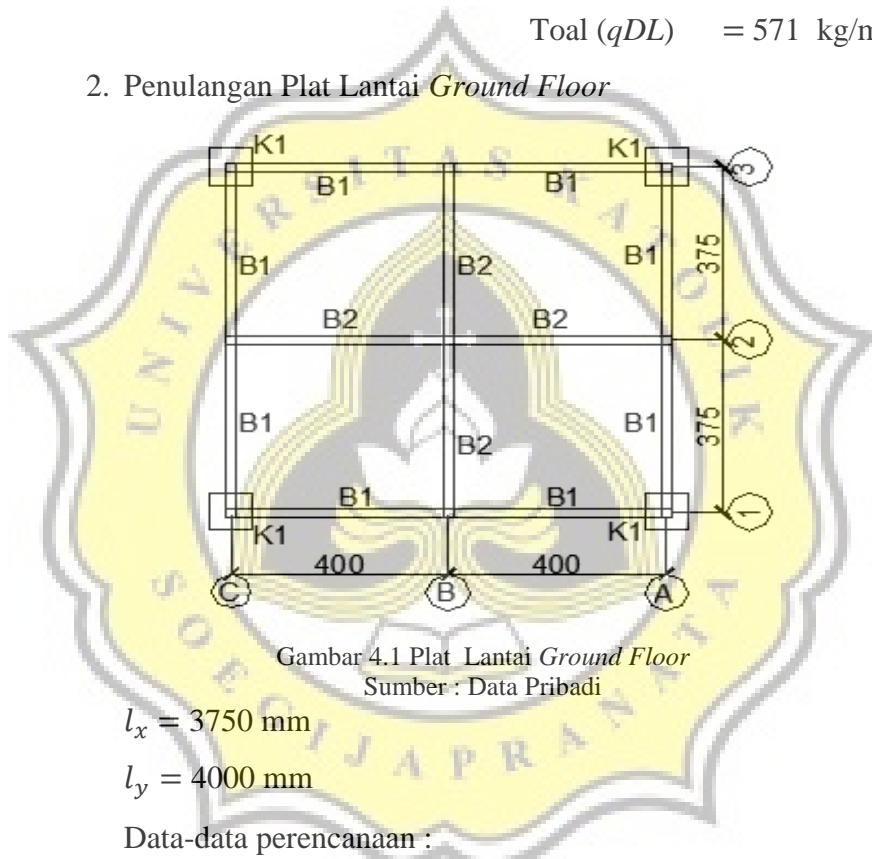
$$\text{Spesi} = 3 \times 21 \text{ kg/m}^3 = 63 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban keramik} = 0,01 \times 24 \text{ kg/m}^3 = 0,24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban urugan pasir} = 0,05 \times 1800 \text{ kg/m}^3 = 90 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Toal (qDL)} = 571 \text{ kg/m}^2$$

2. Penulangan Plat Lantai *Ground Floor*



Gambar 4.1 Plat Lantai *Ground Floor*
Sumber : Data Pribadi

$$l_x = 3750 \text{ mm}$$

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

Data-data perencanaan :

$$f_c' = 29 \text{ MPa} \quad C_v = 20 \text{ mm}$$

$$f_y = 240 \text{ MPa} \quad \emptyset = 0,8$$

$$qDL = 571 \text{ kg/m}^2 \quad h = 20 \text{ cm}$$

$$qLL = 1000 \text{ kg/m}^2 \quad K_x = 39,75$$

$$\emptyset_{tul} = 10 \text{ mm} \quad K_y = 36,63$$

$$q_u = 1,2 DL + 1,6 LL$$

$$= 1,2 (571) + 1,6 (1000) = 2285 \text{ kg/m}^2$$



Perhitungan jarak tulangan plat lantai

Data-data plat lantai *ground floor* :

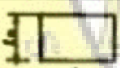

- Lebar plat (l_y) = 400 cm
- Panjang plat (l_x) = 375 cm
- Diameter tulangan (\emptyset) = 0,1 cm
- Tebal plat (t) = 20 cm
- Selimit beton (d') = 2,5 cm

Mencari koefisien C_x dan C_y

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{4}{3,75} = 1,06$$

→ Nilai C_x

Tabel 4.1 Penentuan Nilai C_x Plat *Ground Floor*

		l_y/l_x	1,0	1,1
I		(M_{lx}) = $0,001 q l_x^4 X$	44	52
		(M_{ly}) = $0,001 q l_x^2 X$	44	45
II		(M_{lx}) = - (M_{tx}) = $0,001 q l_x^2 X$	36	42
		(M_{ly}) = $0,001 q l_x^2 X$	36	37
		- (M_{ty}) = $0,001 q l_x^2 X$	36	37

Sumber: tabel 13.3.1 pbi 1971

Nilai C_x diperoleh dengan cara interpolasi

l_y/l_x	1	1,06667	1,1
M_{lx}	36	C_x	42

$$C_x = \frac{1,06 - 1}{1,1 - 1} = \frac{C_x - 36}{42 - 36}$$

$$C_x = 40$$

Jadi, nilai C_x yang diperoleh sebesar 40



→ Nilai C_y

Tabel 4.2 Penentuan Nilai C_y Plat *Ground Floor*

		l_y/l_x	1,0	1,1
I		$(M_{lx}) = 0,001 q l_x^2 X$	44	52
		$(M_{ly}) = 0,001 q l_x^2 X$	44	45
II		$(M_{lx}) = - (M_{tx}) = 0,001 q l_x^2 X$	36	42
		$(M_{ly}) = 0,001 q l_x^2 X$	36	37
		$(M_{ty}) = 0,001 q l_x^2 X$	36	37

Sumber: tabel 13.3.1 pbi 1971

Nilai C_y diperoleh dengan cara interpolasi

l_y/l_x	1	1,06667	1,1
M_{ly}	36	C_x	37

$$C_y = \frac{1,06 - 1}{1,1 - 1} = \frac{C_x - 36}{37 - 36}$$

$$C_y = 36,6$$

Jadi, nilai C_y yang diperoleh sebesar 36,6

a. Penulangan arah x

Mencari jarak tulangan arah x dengan tulangan 13 mm

$$\begin{aligned} d_x &= t - d' - \frac{\phi_x}{2} \\ &= 200 - 25 - 6,5 = 168,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ux} &= 0,001 \times q_u \times C_x \times l_x^2 \\ &= 0,001 \times 2285 \times 40 \times 14,1 \\ &= 1285 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$M_{nx} = \frac{M_{ux}}{\phi} = \frac{1285}{0,8} = 1606,67 \text{ kgm} = 16066716 \text{ Nmm}$$

Persamaan a_x



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

$$0,5 (0,85 \times 29 \times 1000) a_x^2 - (0,85 \times 29 \times 1000 \times 168,5) a_x + 16066716 = 0$$

$$12346,3 \times a_x^2 - 4160686,3 \times a_x + 16066716 = 0$$

Rumus ABC

$$a_x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a_x = \frac{-4160686,3 \pm \sqrt{4160686,3^2 - 4 \times 12346,25 \times 16066716}}{2 \times 12346,3}$$

$$a_{x1} = 333,093$$

$$a_{x2} = 3,906$$

Diambil nilai terkecil dari a_{x1} dan a_{x2} sebagai nilai a_x yaitu 3,906

Menghitung luas tulangan baja yang diperlukan (A_{s_x})

Mutu baja BJ 39, $f_y = 390$ MPa

$$A_{s_x1} = \frac{0,85 \times f_c' \times a_x \times 1000}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 29 \times 3,90 \times 1000}{390}$$

$$= 247,35 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_x2} = \frac{\sqrt{f_c' \times 1000 \times d_x}}{4f_y}$$

$$= \frac{\sqrt{29 \times 1000 \times 168,5}}{4 \times 390}$$



$$= 582,16 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{s_x 3} &= \frac{1,4 \times 1000 \times d_x}{f_y} \\ &= \frac{1,4 \times 1000 \times 168,5}{390} \\ &= 604,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

A_{s_x} diambil nilai yang terbesar, yaitu sebesar $604,9 \text{ mm}^2$

Menentukan jarak tulangan arah x

$$\text{Jarak arah } x = (1/4\pi\phi_x^2/A_{s_x}) \times 1000 = 219,52 \text{ mm} = 210 \text{ mm}$$

Jadi tulangan yang digunakan d13-210 mm

b. Penulangan arah y

Mencari jarak tulangan arah y dengan tulangan 13 mm

$$\begin{aligned} d_y &= t - d' - \phi_x - \frac{\phi_y}{2} \\ &= 200 - 25 - 13 - 6,5 = 155,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= 0,001 \times q_u \times C_x \times l_y^2 \\ &= 0,001 \times 2285 \times 36,6 \times 16 \\ &= 1341 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$M_{ny} = \frac{M_{ux}}{\phi} = \frac{1341}{0,8} = 1675,69 \text{ kgm} = 16756989 \text{ Nmm}$$

Persamaan a_y

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} (0,85 \times f_c' \times 1000) a_y^2 - (0,85 \times f_c' \times 1000 \times d_y) a_y + \\ M_{ny} = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,5 (0,85 \times 29 \times 1000) a_y^2 - (0,85 \times 29 \times 1000 \times 155,5) a_y + \\ 16756989 = 0 \end{aligned}$$

$$12346,3 \times a_y^2 - 3839683,8 \times a_y + 16756989 = 0$$



Rumus ABC

$$a_y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a_y = \frac{-3839683,8 \pm \sqrt{3839683,8^2 - 4 \times 12346,25 \times 16756989}}{2 \times 12346,3}$$

$$a_{y1} = 306,57$$

$$a_{y2} = 4,42$$

Diambil nilai terkecil dari a_{y1} dan a_{y2} sebagai nilai a_y yaitu 4,42

Menghitung luas tulangan baja yang diperlukan (A_{s_y})

Mutu baja BJ 39, $f_y = 390$ MPa

$$\begin{aligned} A_{s_y 1} &= \frac{0,85 \times f_c' \times a_y \times 1000}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 29 \times 4,42 \times 1000}{390} \\ &= 280,30 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_y 2} &= \frac{\sqrt{f_c'} \times 1000 \times d_y}{4f_y} \\ &= \frac{\sqrt{29} \times 1000 \times 155,5}{4 \times 390} \\ &= 537,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_y 3} &= \frac{1,4 \times 1000 \times d_y}{f_y} \\ &= \frac{1,4 \times 1000 \times 155,5}{390} \\ &= 558,20 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

A_{s_y} diambil nilai yang terbesar, yaitu sebesar $558,20 \text{ mm}^2$

Menentukan jarak tulangan arah y



$$\text{Jarak arah } y = (1/4\pi\phi_y^2/As_y) \times 1000 = 237,9 \text{ mm} = 230 \text{ mm}$$

Jadi tulangan yang digunakan D13-230 mm.

4.1.4 Perhitungan Plat Lantai 1-5

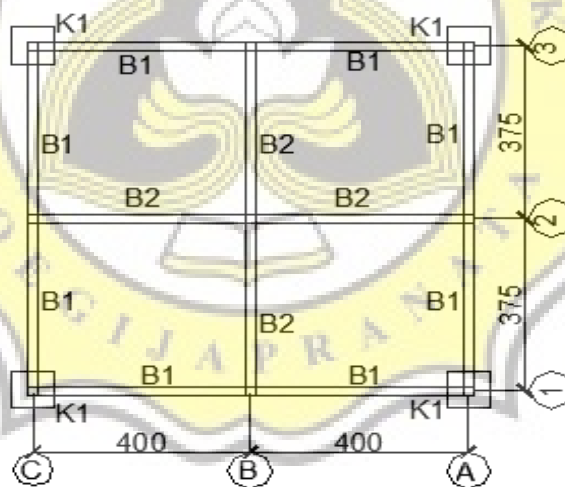
1. Perhitungan Pembebanan lantai 1-5

Beban hidup (*LL*) yang bekerja pada lantai = 250 kg/m²

Beban Mati (*DL*) tebal 12 cm

1) Beban plat	= 0,12 × 2.400 kg/m ³	= 288 kg/m ²
2) Beban spesi (3 cm)	= 0,03 × 21 kg/m ³ tebal	= 0,63 kg/m ²
3) Beban keramik (1 cm)	= 0,01 × 24 kg/m ³	= 0,24 kg/m ²
4) Penggantung + Plafon	= 11 + 7	= 18 kg/m ²
5) Urugan pasir	= 0,05 × 1800 kg/m ³	= 90 kg/m ²
	Total (<i>q_{DL}</i>)	= 307 kg/m²

2. Penulangan Plat lantai 1-5



Gambar 4.2 Penulangan Plat Lantai 1-5

Sumber : Data Pribadi

$$l_x = 3750 \text{ mm}$$

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



Berat Jenis

- a. Beton bertulang = 2400 kg/m³
- b. Adukan semen / cm tebal = 21 kg/m²
- c. Penutup lantai/ cm tebal = 24 kg/cm²
- d. Plafon + penggantung = 18 kg/m²
- e. Mutu beton K-350 = 29 MPa

Data-data perencanaan:

$$f_c' = 29 \text{ MPa} \quad C_v = 20 \text{ mm}$$

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

$$q_{DL} = 307 \text{ kg/m}^2 \quad h = 12 \text{ cm}$$

$$q_{LL} = 250 \text{ kg/m}^2 \quad k_x = 39,75$$

$$\phi_{tul} = 10 \text{ mm} \quad k_y = 36,63$$

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (307) + 1,6 (250) \\ &= 768,2 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan jarak tulangan plat lantai

Data-data plat lantai

$$\text{Lebar plat } (l_y) = 400 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang plat } (l_x) = 375 \text{ cm}$$

$$\text{Diameter tulangan } (\phi) = 0,1 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal plat } (t) = 12 \text{ cm}$$

$$\text{Selimut beton } (d') = 2,5 \text{ cm}$$



Mencari koefisien C_x dan C_y

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{4}{3,75} = 1,06$$

→ Nilai C_x

Tabel 4.3 Penentuan Nilai C_x Plat Lantai 1-5

		l_y/l_x	1,0	1,1
I		$(M_{lx}) = 0,001 qlx^2 X$	44	52
		$(M_{ly}) = 0,001 qlx^2 X$	44	45
II		$(M_{lx}) = - (M_{tx}) = 0,001 qlx^2 X$	36	42
		$(M_{ly}) = 0,001 qlx^2 X$	36	37
		$- (M_{ty}) = 0,001 qlx^2 X$	36	37
			36	37

Sumber: tabel 13.3.1 pbi 1971

Nilai C_x diperoleh dengan cara interpolasi

l_y/l_x	1	1,06667	1,1
M_{lx}	36	C_x	42

$$C_x = \frac{1,06-1}{1,1-1} = \frac{C_x-36}{42-36}$$

$$C_x = 40$$

Jadi, nilai C_x yang diperoleh sebesar 40

→ Nilai C_y

Tabel 4.4 Penentuan Nilai C_y Plat Lantai 1-5

		l_y/l_x	1,0	1,1
I		$(M_{lx}) = 0,001 qlx^2 X$	44	52
		$(M_{ly}) = 0,001 qlx^2 X$	44	45
II		$(M_{lx}) = - (M_{tx}) = 0,001 qlx^2 X$	36	42
		$(M_{ly}) = 0,001 qlx^2 X$	36	37
		$- (M_{ty}) = 0,001 qlx^2 X$	36	37
			36	37

Sumber: tabel 13.3.1 pbi 1971



Nilai C_y diperoleh dengan cara interpolasi

l_y/l_x	1	1,06667	1,1
M_{ly}	36	C_x	37

$$C_y = \frac{1,06 - 1}{1,1 - 1} = \frac{C_x - 36}{37 - 36}$$

$$C_y = 36,6$$

Jadi, nilai C_y yang diperoleh sebesar 36,6

a. Penulangan arah x

Mencari jarak tulangan arah x dengan tulangan 13 mm

$$d_x = t - d' - \frac{\phi_x}{2}$$

$$= 120 - 25 - 6,5 = 88,5 \text{ mm}$$

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

$$= 0,001 \times 768,2 \times 40 \times 14,1$$

$$= 432,1 \text{ kg.m}$$

$$M_{nx} = \frac{M_{ux}}{\phi} = \frac{432,1}{0,8} = 540,17 \text{ kgm} = 5401716 \text{ Nmm}$$

Persamaan a_x

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

$$0,5 (0,85 \times 29 \times 1000) a_x^2 - (0,85 \times 29 \times 1000 \times 88,5) a_x + 5401716 = 0$$

$$12346,3 \times a_x^2 - 2185286,3 \times a_x + 5401716 = 0$$



Rumus ABC

$$a_x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a_x = \frac{-2185286,3 \pm \sqrt{2185286,3^2 - 4 \times 12346,25 \times 5401716}}{2 \times 12346,3}$$

$$a_{x1} = 174,49$$

$$a_{x2} = 2,50$$

Diambil nilai terkecil dari a_{x1} dan a_{x2} sebagai nilai a_x yaitu 2,50

Menghitung luas tulangan baja yang diperlukan (A_{s_x})

Mutu baja BJ 37, $f_y = 240$ MPa

$$A_{s_x 1} = \frac{0,85 \times f_c' \times a_x \times 1000}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 29 \times 2,76 \times 1000}{390}$$

$$= 158,75 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_x 2} = \frac{\sqrt{f_c' \times 1000 \times d_x}}{4f_y}$$

$$= \frac{\sqrt{29 \times 1000 \times 88,5}}{4 \times 390}$$

$$= 305,76 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_x 3} = \frac{1,4 \times 1000 \times d_x}{f_y}$$

$$= \frac{1,4 \times 1000 \times 88,5}{390} = 317,7 \text{ mm}^2$$

A_{s_x} diambil nilai yang terbesar, yaitu sebesar $317,7 \text{ mm}^2$



Menentukan jarak tulangan arah x

$$\text{Jarak arah } x = (1/4\pi\phi_x^2 / A_s_x) \times 1000 = 417,96 \text{ mm} = 410 \text{ mm}$$

Jadi tulangan yang digunakan D13-410 mm

b. Penulangan arah y

Mencari jarak tulangan arah y dengan tulangan 13 mm

$$\begin{aligned} d_y &= t - d' - \phi_x - \frac{\phi_y}{2} \\ &= 120 - 25 - 13 - 6,5 = 75,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= 0,001 \times q_u \times C_x \times l_y^2 \\ &= 0,001 \times 768,2 \times 36,6 \times 16 \\ &= 450,7 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$M_{ny} = \frac{M_{uy}}{\phi} = \frac{450,7}{0,8} = 563,37 \text{ kgm} = 5633789 \text{ Nmm}$$

Persamaan a_y

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

$$0,5 (0,85 \times 29 \times 1000) a_y^2 - (0,85 \times 29 \times 1000 \times 75,5) a_y + 5633789 = 0$$

$$12346,3 \times a_y^2 - 1864283,8 \times a_y + 5633789 = 0$$

Rumus ABC

$$a_y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a_y = \frac{-1864283,8 \pm \sqrt{1864283,8^2 - 4 \times 12346,25 \times 5633789}}{2 \times 12346,3}$$

$$a_{y1} = 147,91$$

$$a_{y2} = 3,08$$



Diambil nilai terkecil dari a_{y1} dan a_{y2} sebagai nilai a_y yaitu 3,08

Menghitung luas tulangan baja yang diperlukan (A_{s_y})

Mutu baja BJ 39, $f_y = 390$ MPa

$$\begin{aligned} A_{s_y 1} &= \frac{0,85 \times f_c' \times a_y \times 1000}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 29 \times 3,08 \times 1000}{390} \\ &= 195,32 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_y 2} &= \frac{\sqrt{f_c'} \times 1000 \times d_y}{4f_y} \\ &= \frac{\sqrt{29} \times 1000 \times 75,5}{4 \times 390} \\ &= 260,85 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_y 3} &= \frac{1,4 \times 1000 \times d_y}{f_y} \\ &= \frac{1,4 \times 1000 \times 75,5}{390} \\ &= 271,02 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

A_{s_y} diambil nilai yang terbesar, yaitu sebesar 271,02 mm²

Jarak arah $y = (1/4\pi\phi_y^2/A_{s_y}) \times 1000 = 489,9\text{mm} = 480 \text{ mm}$

Jadi tulangan yang digunakan D13-480 mm

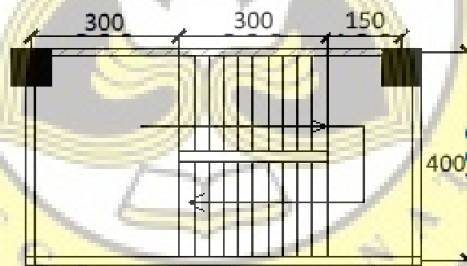
4.2 Perhitungan Tangga

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 :

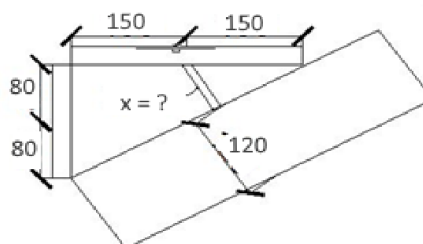
1. Tebal Plat 1 = 0,12 m
2. Panjang Tangga = 3 m
3. Tinggi Tangga = 3,5 m
4. Lebar anak tangga = 2 m
5. Panjang bordes = 1,5 m
6. Tinggi bordes = 1,75 m
7. Optrede/tanjakan = 0,16 m
8. Antrede/injakan = 0,3 m
9. Jumlah anak tangga = $(\text{beda tinggi/optrede}) - 1$
= $(3,5 \text{ m} / 0,16 \text{ m}) - 1$
= 21 buah
10. Beban hidup = 300 kg/m^3
11. Berat jenis beton = 2400 kg/m^2
12. Sudut (α) = 32°



Gambar 4.3 Denah Tangga Lantai Dasar

Sumber : Data Pribadi

4.2.1 Pembebanan Tangga



Gambar 4.4 Pembebanan Tangga

Sumber : Data Pribadi



$$\sin \alpha = y/15$$

$$\sin 32 = y/15$$

$$0,5299 = y/15$$

$$y = 0,5299 \times 15$$

$$y = 7,9488 \text{ cm}$$

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

$$h_{DL} = 12 \text{ cm} + 7,94 \text{ m}$$

$$h_{DL} = 19,949 \text{ cm}$$

$$h_{DL} = 0,1995 \text{ m}$$

Plat tangga

a. Beban mati (DL_{AT})

$$\text{Berat sendiri plat} = \text{Lebar anak tangga} \times h_{DL} \times \text{berat jenis beton bertulang}$$

$$\text{Berat sendiri plat} = 0,22 \text{ m} \times 0,199 \times 2.400 = 957,54 \text{ kg/m}$$

b. Beban hidup (LL_{AT}) = Beban hidup \times lebar anak tangga

$$= 300 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ m} = 600 \text{ kg/m}$$

1. Plat bordes

a. Beban mati (DL_B)

$$\text{Berat sendiri plat} = \text{Lebar anak tangga} \times \text{tebal plat tangga} \times \text{berat jenis}$$

$$\text{Berat sendiri plat} = 2 \text{ m} \times 0,12 \times 2.400 \text{ kg/m}^2 = 576 \text{ kg/m}$$

b. Beban hidup (LL_B) = Beban hidup \times lebar anak tangga

$$= 300 \text{ kg/m}^2 \times 2 \text{ m} = 600 \text{ kg/m}$$

2. Total beban tangga

a. Beban mati (DL) = $DL_{AT} + DL_B$

$$= 957,54 + 576 = 1533,542 \text{ kg/m}^2$$

b. Beban hidup (LL) = $LL_{AT} + LL_B$

$$= 600 \text{ kg/m} + 600 \text{ kg/m} = 1200 \text{ kg/m}$$

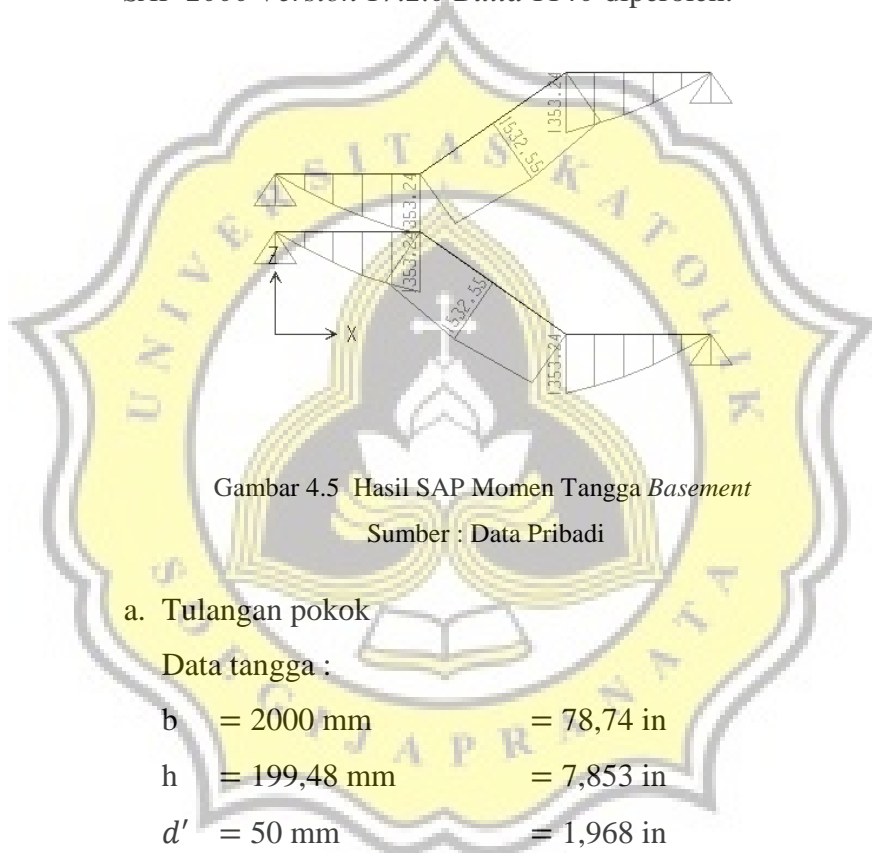


$$\begin{aligned}
 3. \text{ Kombinasi pembebanan } U &= 1,2 (\text{DL}) + 1,6 (\text{LL}) \\
 &= 1,2 (1533,542) + 1,6 (1200) \\
 &= 3760,250
 \end{aligned}$$

4.2.2 Penulangan Tangga

1. Bordes

Berdasarkan perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan *SAP 2000 Version 17.2.0 Build 1140* diperoleh:



Gambar 4.5 Hasil SAP Momen Tangga *Basement*

Sumber : Data Pribadi

a. Tulangan pokok

Data tangga :

$$b = 2000 \text{ mm} = 78,74 \text{ in}$$

$$h = 199,48 \text{ mm} = 7,853 \text{ in}$$

$$d' = 50 \text{ mm} = 1,968 \text{ in}$$

$$d = h - d'$$

$$= 199,488 \text{ mm} - 50 \text{ mm}$$

$$= 149,488 = 5,88 \text{ in}$$

$$\text{Mutu beton } (f_c') = 29 \text{ MPa} = 4206,09 \text{ psi}$$

$$\text{Mutu baja } (f_y) = 240 \text{ MPa} = 34809,1 \text{ psi}$$

$$\beta = 0,85 \text{ untuk } f_c \leq 4000 \text{ psi}$$



Perhitungan penulangan :

Nilai momen terbesar dari hasil run SAP sebesar 3401,28 kg/m

$$M_u \text{ SAP} = 3401,28 \text{ kgm} = 24,60 \text{ ft-k}$$

$$R_n = \frac{M_u \times 12 \times 1000}{\phi b d^2}$$

$$= \frac{24,60 \times 12 \times 1000}{0,9 \times 78,74 \times 34,63}$$

$$= 120,27 \text{ psi}$$

Menghitung persentase tulangan baja (ρ)

$$\rho = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 f_c'}} \right]$$

$$\rho = \frac{0,85 \times 24,9}{240} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 120,27}{0,85 \times 29}} \right] = 0,00353 \text{ psi}$$

Menghitung persentase minimum tulangan baja (ρ_{max})

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta f_c'}{f_y} \left[\frac{87000}{87000 + f_y} \right]$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 0,85 \times 24,9}{240} \left[\frac{87000}{87000 + 240} \right]$$

$$\rho_b = 0,05354 \text{ psi}$$

$$\rho_{maks} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0,75 \times 0,053 = 0,040 \text{ psi}$$

Menghitung persentase minimum tulangan baja (ρ_{min})

$$\rho_{min} = \frac{3 \sqrt{f_c'}}{f_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{3 \sqrt{24,9}}{240} \rho_{min} = 0,00518 \text{ psi}$$

tidak boleh kurang dari $\frac{200}{f_y} = 0,00575 \text{ psi}$

Menghitung luas tulangan baja yang dibutuhkan

Gunakan ρ_{min} sebab $\rho < \rho_{min}$



$$\begin{aligned} A_s &= \rho b d \\ &= 0,00575 \times 78,74 \times 5,88 \\ &= 2,66 \text{ in}^2 \\ &= 1717,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tabel 4.5 Menentukan Tulangan Pokok

Spasi (mm)	Diameter (mm)								
	Polos			Deform / Ulir					
	8	10	12	13	16	19	22	25	29
50	1005	1571	2262	2655	4021	5671	7603	9817	13210
75	670	1047	1508	1770	2681	3780	5068	6545	8807
100	503	785	1131	1327	2011	2835	3801	4909	6605
125	402	628	905	1062	1608	2268	3041	3927	5284
150	335	524	754	885	1340	1890	2534	3272	4403
175	287	449	646	758	1149	1620	2172	2805	3774
200	251	393	565	664	1005	1418	1901	2454	3303
225	223	349	503	590	894	1260	1689	2182	2936
250	201	314	452	531	804	1134	1521	1963	2642
275	183	286	411	483	731	1031	1382	1785	2402
300	168	262	377	442	670	945	1267	1636	2202

Tulangan yang digunakan $D13-75 \text{ mm}$ ($A_s = 1717,8 \text{ mm}^2$)

b. Tulangan melintang

Data tangga :

$$B = 2000 \text{ mm} = 78,74 \text{ in}$$

$$h = 199,488 \text{ mm} = 7,85 \text{ in}$$

$$d' = 50 \text{ mm} = 1,96 \text{ in}$$

$$d = h - d'$$

$$= 199,48 - 50$$

$$= 149,48 \text{ mm} = 5,88 \text{ in}$$

Perhitungan penulangan :

$$A_s = 0,25\% \times b \times d$$

$$A_s = 0,25\% \times 78,74 \times 5,88 = 1,15 \text{ in}^2 = 747,44 \text{ mm}^2$$



Tabel 4.6 Menentukan Tulangan Melintang

Spasi (mm)	Diameter (mm)								
	Polos			Deform / Ulir					
	8	10	12	13	16	19	22	25	29
50	1005	1571	2262	2655	4021	5671	7603	9817	13210
75	670	1047	1508	1770	2681	3780	5068	6545	8807
100	503	785	1131	1327	2011	2835	3801	4909	6605
125	402	628	905	1062	1608	2268	3041	3927	5284
150	335	524	754	885	1340	1890	2534	3272	4403
175	287	449	646	758	1149	1620	2172	2805	3774
200	251	393	565	664	1005	1418	1901	2454	3303
225	223	349	503	590	894	1260	1689	2182	2936
250	201	314	452	531	804	1134	1521	1963	2642
275	183	286	411	483	731	1031	1382	1785	2402
300	168	262	377	442	670	945	1267	1636	2202

Tulangan yang digunakan $\varnothing 12 - 150 \text{ mm}$ ($A_s = 747,44 \text{ mm}^2$)

4.3 Perhitungan Gaya Gempa

4.3.1 Perhitungan Gaya Geser Dasar Horizontal Total Tebal Akibat Gempa

1. Berat total struktur (W_t)

$$W_t = W_D + W_L$$

keterangan :

W_t = berat total struktur (kg)

W_D = berat mati (kg)

W_L = berat hidup (kg)

$q_{DL} \text{ Ground Floor} = 602,13 \text{ kg/m}^2$; $q_{LL} \text{ Ground Floor} = 1000 \text{ kg/m}^2$

$q_{DL} \text{ Lantai 1-5} = 396,5 \text{ kg/m}^2$; $q_{LL} \text{ Lantai 1-5} = 250 \text{ kg/m}^2$

$q_{DL} \text{ atap} = 396,63 \text{ kg/m}^2$;

Tabel 4.7 Ukuran *Tie Beam*, Balok dan Kolom

Ukuran <i>Tie Beam</i>	Ukuran Balok	Ukuran Kolom
TB 1 = 400 x 600	B1 = 450 x 700 B2 = 350 x 550	K1 = 800 x 800



a. Berat *Ground Floor*

1) Beban mati :

$$\text{Plat lantai} = 307 \text{ kg/m}^2 \times 1.200 \text{ m}^2 = 368.400 \text{ kg}$$

$$\text{Shear wall} = 0,54 \text{ m} \times 22,5 \text{ m} \times 3,5 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 102.060 \text{ kg}$$

$$\text{Dinding} = 599,8 \text{ m} \times 3,5 \text{ m} \times 100 \text{ kg/m}^2 = 209.930 \text{ kg}$$

Kolom

$$\text{K1} = 0,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 3,5 \text{ m} \times 30 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 161.280 \text{ kg}$$

Tie Beam

$$\text{TB 1} = 0,4 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 230 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 132.480 \text{ kg}$$

$$\text{Total beban mati} = \mathbf{974.150 \text{ kg}}$$

$$2) \text{ Beban hidup} = 1000 \text{ kg/m}^2 \times 1200 \text{ m}^2 = \mathbf{1.200.000 \text{ kg}}$$

b. Berat Lantai 1-5

1) Beban mati :

$$\text{Plat lantai} = 307 \text{ kg/m}^2 \times 1.200 \text{ m}^2 = 368.400 \text{ kg}$$

$$\text{Shear wall} = 0,54 \text{ m} \times 22,5 \text{ m} \times 3,5 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 102.060 \text{ kg}$$

$$\text{Dinding} = 599,8 \text{ m} \times 3,5 \text{ m} \times 100 \text{ kg/m}^2 = 209.930 \text{ kg}$$

Kolom

$$\text{K1} = 0,8 \text{ m} \times 0,8 \text{ m} \times 3,5 \text{ m} \times 30 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 161.280 \text{ kg}$$

Balok

$$\text{B 1} = 0,45 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \times 350 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 264.600 \text{ kg}$$

$$\text{B 2} = 0,35 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 280 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 117.600 \text{ kg} +$$

$$\text{Total beban mati} = \mathbf{1.223.870 \text{ kg}}$$

$$2) \text{ Beban hidup} : = 250 \text{ kg/m}^2 \times 1.200 \text{ m}^2 = \mathbf{300.000 \text{ kg}}$$

c. Berat dak atap

1) Beban mati :5f

$$\text{Plat lantai} = 307 \text{ kg/m}^2 \times 1200 \text{ m}^2 = 368.400 \text{ kg}$$

Balok

$$\text{B 1} = 0,45 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \times 350 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 264.600 \text{ kg}$$



$$B 2 = 0,35 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \times 280 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 = 117.600 \text{ kg} +$$

$$\text{Total beban mati} = \mathbf{750.600 \text{ kg}}$$

$$2) \text{ Beban hidup : } = 250 \text{ kg/m}^2 \times 1200 \text{ m}^2 = \mathbf{300.000 \text{ kg}}$$

Berat total struktur dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini:

Tabel 4.8 Berat Total Struktur

Lantai	Berat total struktur (kg)
<i>Ground Floor</i>	2.174.150
1	1.523.870
2	1.523.870
3	1.523.870
4	1.523.870
5	1.523.870
Atap	1.050.600
Total	10.884.100

4.3.2 Perhitungan Pembebanan Gempa Berdasarkan *SNI 03-1726-2012*

1. Kategori Hunian dan Faktor Keutamaan

Faktor keutamaan gempa ditentukan berdasarkan Tabel *SNI 03-1726-2012*. Gedung yang didesain dalam tugas akhir ini adalah gedung office centre AnFen sehingga termasuk kategori II. Dalam Tabel 2 *SNI 03-1726-2012* faktor keutamaan kategori ini adalah 1.

Tabel 4.9 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

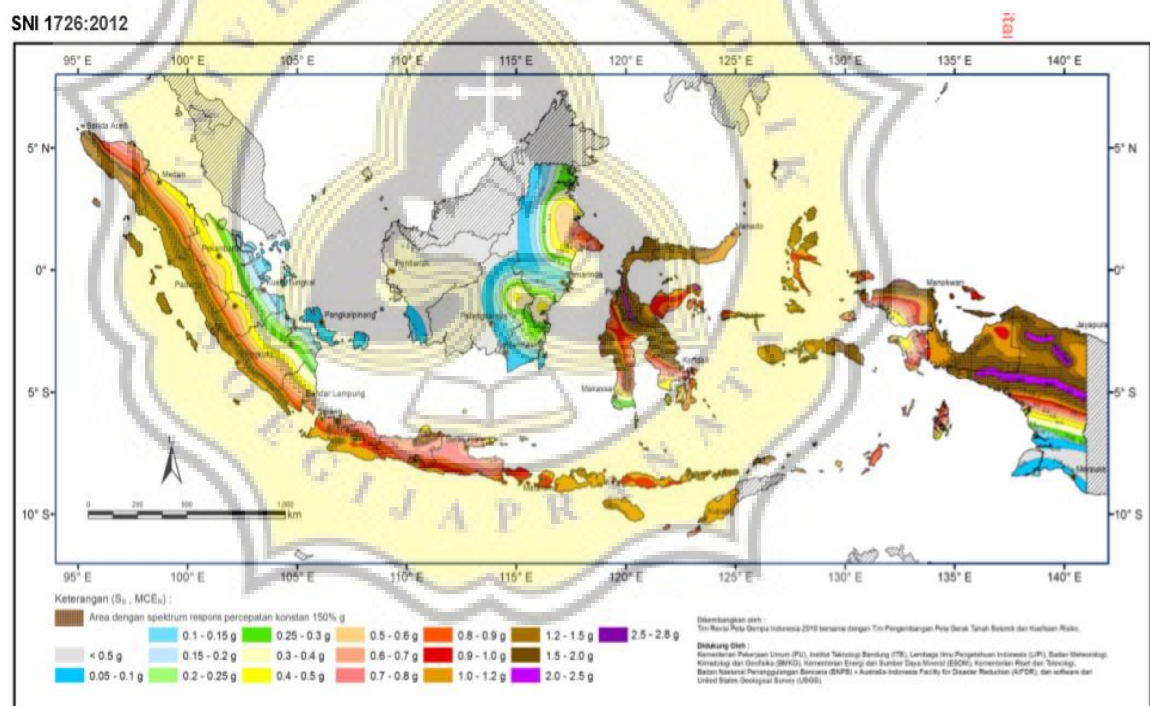
Sumber : *SNI 03-1726-2012*



2. Parameter Percepatan

Berdasarkan *SNI 03-1726-2012* parameter S_5 dan S_1 ditentukan dari 0,2 detik dan 1 detik dari percepatan respons spektrum. Parameter S_5 dan S_1 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*, berada pada daerah Semarang, Jawa Tengah. Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 peta gempa tersebut untuk daerah Semarang, diperoleh nilai sebesar $S_5 = 1,0-1,2$ dan $S_1 = 0,3-0,4$. Untuk S_5 diambil nilai sebesar 1,0 g dan S_1 diambil sebesar 0,3 g.

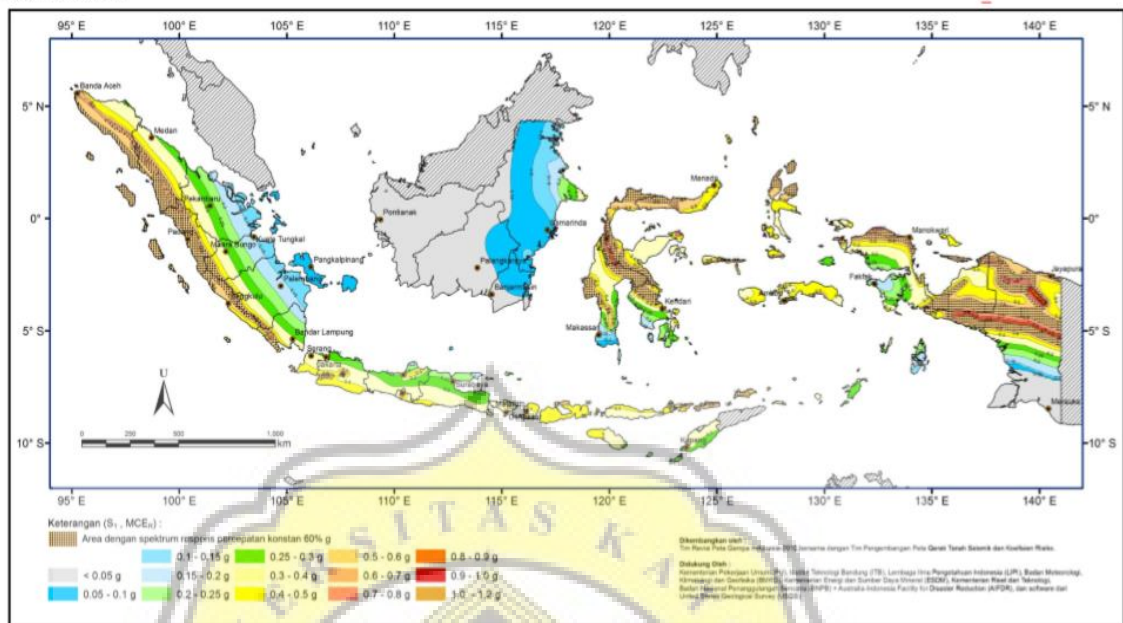


Gambar 4.6 Peta Spektral Percepatan 0,2 detik

Sumber: *SNI 03-1726-2012*



SNI 1726:2012



Gambar 4.7 Peta Spektral Percepatan 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 SNI 03-1726-2012. Dari Tabel didapat nilai F_a yaitu 0,9.

Tabel 4.10 Koefisien situs, F_a

Kelas situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s \leq 0,5$	$S_s \leq 0,75$	$S_s \leq 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

Sumber : SNI 03-1726-2012



Koefisien situs F_v

Koefisien situs F_v ditentukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu nilai S_1 dan kelas situs yang berdasarkan jenis tanah yang terdapat pada Tabel *SNI 03-1726-2012*. Dari Tabel didapat nilai F_v yaitu 2,4. Koefisien-Koefisien Situs Dan Paramater-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.

Tabel 4.11 Koefisien situs, F_v

Kelas situs	Parameter respon spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T= 1$ detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 \leq 0,2$	$S_1 \leq 0,3$	$S_1 \leq 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Sumber : *SNI 03-1726-2012*

$$S_{MS} = F_a S_s$$

$$= (0,9) (1) = 0,9$$

$$S_{M1} = F_v S_1$$

$$= (2,4) (0,3) = 0,72$$

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 1 detik (S_{D1}) yang dihitung berdasarkan *SNI 03-1726-2012*:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS}$$

$$= \frac{2}{3} (0,9) = 0,6$$

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



$$= \frac{2}{3} (0,72) = 0,48$$

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 4.12 dan 4.13** Dengan, $S_{DS} = 0,6 g$ dan $S_{D1} = 0,48 g$.

Tabel 4.12 Kategori Desain Gempa Berdasarkan Parameter Percepatan Respon Period Pendek

Nilai Sds	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$Sds < 0,167$	A	A
$0,167 \leq Sds < 0,33$	B	B
$0,33 \leq Sds < 0,50$	C	C
$0,50 \leq Sds$	D	D

Sumber : *SNI 03-1726-2012*

Tabel 4.13 Kategori Desain Gempa Berdasarkan Parameter Percepatan Respon Period 1 detik

Nilai Sd1	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$Sd1 < 0,167$	A	A
$0,067 \leq Sd1 < 0,133$	B	B
$0,133 \leq Sd1 < 0,20$	C	C
$0,20 \leq Sd1$	D	D

Sumber : *SNI 03-1726-2012*

Berdasarkan Tabel 4.12 dan 4.13, 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 03-1726-2012*, 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 03-1726-2012*, Tabel 4.14 sesuai dengan sistem struktur yang digunakan. Dengan keterangan R adalah koefisien modifikasi respons, Ω_0 adalah faktor kuat lebih sistem, dan C_d adalah faktor pembesaran defleksi. Sehingga didapatkan $R = 8$; $\Omega_0 = 3$; $C_d = 5,5$.

Tabel 4.14 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan gempa

C. Sistem rangka pemikul momen	Koefisien modifikasi respons, R^a	faktor kuat lebih sistem $\Omega_0 g$	Faktor pembesaran defleksi C_d^b	batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				B	C	Dd	Ed	Fe
1. rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
2. rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5,5	TB	TB	48	30	TI
3. rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4	TB	TB	10	TI	TI
4. rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
6. rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
7. rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
8. rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
9. rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
10. rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5,5	48	48	30	TI	TI
11. rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI
12. rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan	3,5	3	3,5	10	10	10	10	10

Sumber : *SNI 03-1726-2012*

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 17.2.0 Build 1140)* yaitu sebesar 1,3435 detik arah X, dan



1,2142 arah Y dengan keterangan nilai (T) memiliki batasan sebagai berikut:

T_a minimum

$$T_a = C_t h_n^x$$

$$T_a = (0,0466) (30,1^{0,9}) = 0,99792 \text{ detik}$$

Nilai C_t dan x dapat dilihat pada Tabel 14 *SNI 03-1726-2012*

T_a maksimum

$$C_u T_a \text{ minimum} = (1,4) (0,99792) = 1,397088 \text{ detik}$$

Nilai C_u dapat dilihat pada Tabel 2.14 *SNI 03-1726-2012*

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 (C_s)

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

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T_e} = \frac{0,6091}{\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,1142$$

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:

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

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 :

$$V_x = C_s W = 0,0698 \cdot 23.590.219,649 = 1.123.859,34 \text{ kg}$$

$$V_y = C_s W = 0,0772 \cdot 23.590.219,649 = 1.249.585,47 \text{ kg}$$

d. Distribusi gaya geser horisontal total akibat gempa

Distribusi horizontal beban seismik ditentukan berdasarkan *SNI 03-1726-2012*, Pasal 12.8-13:

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

Tabel 4.15 Distribusi Gaya Geser Horizontal Total Akibat Gempa

Lantai		Hi	Wi	Wi x Hi	Fi	n Kol X	Fix	n Kol Y	Fiy
GF	0	0	2.174.150	0	0	5	0	6	0
1	3,5	3,5	1.523.870	5333545	12309,78856	5	98.650,21	6	98.769,35
2	3,5	7	1.523.870	10667090	492391,5423	5	171.691,44	6	171.790,76
3	3,5	11,5	1.523.870	17524505	1328954,724	5	240.856,80	6	240.903,85
4	3,5	15	1.523.870	22858050	2260981,572	5	306.992,69	6	306.967,85
5	3,5	18,5	1.523.870	28191595	3439204,191	5	371.453,83	6	371.343,49
atap	3,5	22	1.050.600	23113200	1,21857E+21	5	274.500,73	6	274.370,43

Tabel 4.16 Gaya Geser Horizontal Gempa X dan Y

	X	Y
GF	0	0
Lantai 1	98.650,21	98.769,35
Lantai 2	171.691,44	171.790,76
Lantai 3	240.856,80	240.903,85
Lantai 4	306.992,69	306.967,85
Lantai 5	371.453,83	371.343,49



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* :

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

Keterangan :

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 $\xi = 0,25$

$n = 5$ lantai

$T = \xi \times n = 0,25 \times 5 = 1,25$ detik

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



Tabel 4.17 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	2.174.150	0,000405	1,64025E-07	0,459391207	9,796378593
Lantai 1	1.523.870	0,001569	2,46176E-06	7,139723951	144,6850852
Lantai 2	1.523.870	0,001727	2,98253E-06	8,594162844	265,5089656
Lantai 3	1.523.870	0,001615	2,60823E-06	7,515605174	361,0195434
Lantai 4	1.523.870	0,001914	3,6634E-06	10,55608237	573,7571871
Lantai 5	1.523.870	0,002098	4,4016E-06	12,68323009	800,5752911
Atap	1.050.600	0,002184	4,76986E-06	13,82389564	1028,916226
	10.884.100			61	3.184

Waktu getar struktur arah x :

$$T_x = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \times d_{i,x}^2}{g \times \sum F_{i,x} \times d_{i,x}}} = 6,3 \sqrt{\frac{61}{9,81 \times (3184)}} = 0,27787 \text{ detik}$$

Tabel 4.18 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	2.174.150	0,000738	5,4464E-07	1,5254057	22,2002375
Lantai 1	1.523.870	0,00287	8,2369E-06	23,889075	309,375165
Lantai 2	1.523.870	0,0031	0,00000961	27,691233	543,591278
Lantai 3	1.523.870	0,002064	4,2601E-06	12,275475	516,974578
Lantai 4	1.523.870	0,002158	4,657E-06	13,41905	714,801974
Lantai 5	1.523.870	0,002377	5,6501E-06	16,280857	990,820916
Atap	1.050.600	0,003147	9,9036E-06	28,70243	1603,85272
	10.884.100			124	4.702

Waktu getar struktur arah y :

$$T_{x,y} = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \times d_{i,x,y}^2}{g \times \sum F_{i,x,y} \times d_{i,x,y}}} = 6,3 \sqrt{\frac{124}{9,81 \times 4702}} = 0,3263 \text{ detik}$$

Kesimpulan:

Dengan cara *T.Rayleigh* diperoleh :

$$T_x = 0,27787 \text{ detik}$$

$$T_y = 0,3263 \text{ detik}$$

$$\text{Nilai } T_x \text{ yang diijinkan} = 20\% \times 0,27787 = 0,05557 \text{ detik}$$



Nilai T_y yang diijinkan = $20\% \times 0,3263 = 0,065274$ detik

Jadi dari perhitungan nilai T_x (0,05557 detik) dan T_y (0,065274 detik) < kontrol pembatasan T (1,25 detik) ... **OK**

4.4 Perhitungan Penulangan Balok

4.4.1 Penulangan Lentur Balok

1. bagian tumpuan

Balok diambil adalah balok B1 = 45×70 , balok ini berada di lantai 5 (As E-D) yang menerima momen maksimum.

Data perencanaan :

$$\begin{aligned}
 f_c' &= 29 \text{ MPa} = 4.213 \text{ Psi} & \phi_{\text{lentur}} &= 0,9 \\
 f_y &= 400 \text{ MPa} = 58000 \text{ Psi} & \phi_{\text{sengkang}} &= 10 \text{ mm} = 0,4 \text{ in} \\
 D_{\text{tul}} &= 22 \text{ mm} = 0,87 \text{ in} & b &= 45 \text{ mm} = 1,77 \text{ in} \\
 d' &= 50 \text{ mm} = 2 \text{ in} & h &= 700 \text{ mm} = 27,6 \text{ in} \\
 d &= h - d' = 27,6 - 2 = 25,6 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan *SAP 2000 Version 17.2.0 Build 1140* diperoleh:



Gambar 4.8 Momen dari SAP Penulangan Lentur Balok Bagian Tumpuan

Sumber : *SAP 2000 Version 17.2.0*

(dilihat dari lantai 1 titik horizontal 9, titik vertikal G-E balok utama)



M_u tumpuan maksimum = 142646 kgm = 1031,76 ft-k

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

$$= \frac{1031,76}{0,9 \times 17,7 \times 25,6^2} = 1185,71 \text{ Psi}$$

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

$$= \frac{0,85 \times 4213}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1185,71}{0,85 \times 4213}} \right) = 0,02585$$

Menghitung presentase maksimal tulangan baja (ρ_{max})

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta f'_c}{f_y} \left[\frac{87000}{87000 + f_y} \right]$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 4213,346}{58000} \left[\frac{87000}{87000 + 58000} \right]$$

$$= 0,03148$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0,023$$

Menghitung presentase minimum tulangan baja (ρ_{min})

$$\rho_{min} = \frac{3 \sqrt{f'_c}}{f_y}$$

$$= \frac{3 \sqrt{29}}{400} = 0,00336$$

Tetapi tidak boleh kurang dari

$$\frac{200}{f_y} = 0,00345$$

Menghitung luas tulangan baja yang dibutuhkan

Gunakan ρ_{min} sebab $\rho > \rho_{max}$

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

$$= 0,00345 \times 17,7 \times 25,6 = 1,5629 \text{ in}^2$$

$$A_s = 1,5629 \times 645,16 = 1008,36 \text{ mm}^2$$



Jadi tulangan yang digunakan adalah 6 D22 dengan A_s sebesar

$$A_s = \text{Jumlah tulangan} \times \text{Luas tulangan} \\ = 6 \times 0,25 \times 3,14286 \times 484 = 2281,71 \text{ mm}^2$$

$$d_{tul} = 22 \text{ mm} = 0,86614 \text{ in}$$

Jadi tulangan yang digunakan untuk tipe balok 1 pada bagian tumpuan berjumlah 6 tulangan dengan diameter 22 mm, dengan A_s 2281,71 mm².

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

Gambar 4.9 Detail Penulangan Lentur Balok Tipe 1 Bagian Tumpuan

Sumber : Data Pribadi

2. Penulangan lentur bagian lapangan

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan *SAP 2000 Version 17.2.0 Build 1140* diperoleh:



Gambar 4.10 Momen dari Sap Penulangan Lentur Balok Bagian Lapangan

Sumber : *SAP 2000 Version 17.2.0*



$$M_u \text{ lapangan} = 5728,09 \text{ kgm} = 41,4313 \text{ ft-k}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{\phi b d^2} \\ &= \frac{41,4313 \times 12 \times 1000}{0,9 \times 17,7 \times 25,6^2} = 47,61 \text{ Psi} \end{aligned}$$

Menghitung persentase tulangan baja (ρ)

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 4.213}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 47,61}{0,85 \times 4.213}} \right) = 0,00083 \end{aligned}$$

Menghitung persentase maksimal tulangan baja (ρ_{max})

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \beta f'_c}{f_y} \left[\frac{87000}{87000 + f_y} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 4213,346}{58000} \left[\frac{87000}{87000 + 58000} \right] \\ &= 0,03148 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \rho_b \\ &= 0,023 \end{aligned}$$

Menghitung persentase minimum tulangan baja (ρ_{min})

$$\begin{aligned} \rho_{min} &= \frac{3 \sqrt{f'_c}}{f_y} \\ &= \frac{3 \sqrt{29}}{400} = 0,00336 \end{aligned}$$

Tetapi tidak boleh kurang dari

$$\frac{200}{f_y} = 0,00345$$

Menghitung luas tulangan baja yang dibutuhkan

Gunakan ρ_{min} sebab $\rho > \rho_{max}$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00345 \times 17,7 \times 25,6 = 1,56296 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$A_s = 1,56296 \times 645,16 = 1008,36 \text{ mm}^2$$



Jadi tulangan yang digunakan adalah 6 D22 dengan A_s sebesar

$$A_s = \text{Jumlah tulangan} \times \text{Luas tulangan} \\ = 6 \times 0,25 \times 3,14286 \times 484 = 2281,71 \text{ mm}^2$$

$$d_{tul} = 22 \text{ mm} = 0,86614 \text{ in}$$

Jadi tulangan yang digunakan untuk tipe balok 1 pada bagian lapangan berjumlah 6 tulangan dengan diameter 22 mm, dengan A_s 2281,71 mm².

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

Gambar 4.11 Detail Penulangan Lentur Balok Tipe 1 Bagian Lapangan

Sumber : Data Pribadi

3. Penulangan geser maksimum

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan *SAP 2000 Version 17.2.0 Build 1140* diperoleh:



Gambar 4.12 Momen dari SAP Penulangan Geser Maksimum Balok Tipe 1

Sumber : *SAP 2000 Version 17.2.0*



$$V_u = 39582 \text{ kg} = 87264 \text{ lb}$$

Mencari kebutuhan sengkang

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,85 \times (2 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d) \\ &= (0,85) \times (2 \times \sqrt{4213,34} \times 17,7 \times 25,6) \\ &= 50028,89 \text{ lb}\end{aligned}$$

$$0,5 \cdot \phi V_c = 25014,44 \text{ lb}$$

Sedangkan diperlukan jika $V_u > 0,5 \phi V_c$ (peraturan ACI 11.5.5.1)

$$0,5 \phi V_c \dots V_u$$

$$25014,44 < 87264 \text{ (Perlu sengkang)}$$

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ V_s &= \frac{87264 - 50028,9}{1} = -43806 \text{ lb}\end{aligned}$$

Menghitung luas geser tulangan praktis minimum (A_v)

$$\begin{aligned}A_{vmin} &= \frac{b \times S_{maks}}{3 \times f_y} = \frac{450 \times 600}{3 \times 400} \\ &= 225 \text{ mm}^2 = 0,348 \text{ in}^2\end{aligned}$$

Jadi perencanaan sengkang praktis menggunakan sengkang #3 atau $\emptyset 10$ dengan jarak sebagai berikut :

$$\text{Tumpuan} = \emptyset 10 - 250 \text{ mm} = 314,3 \text{ mm}^2$$

$$\text{Lapangan} = \emptyset 10 - 300 \text{ mm} = 261,9 \text{ mm}^2$$

Cek pendimensian balok

Menurut peraturan ACI 11.5.6.8, V_s tidak boleh $> (8 \sqrt{f'_c} bd)$

$$V_s \dots\dots (8 \sqrt{f'_c} bd)$$

$43806 \text{ lb} < 235430,108 \text{ lb}$ **OK** (Maka tidak diperlukan dimensi balok.)

$$A_{vmin} =$$

$$s = \frac{A_v f_y}{50b} = \frac{0,34 \times 58015,1}{50 \times 17,71} = 22,84 \text{ in}^2$$

$$V_s = -43806 \text{ lb} < 4 \times 64,91 \times 488,25 = 126770$$

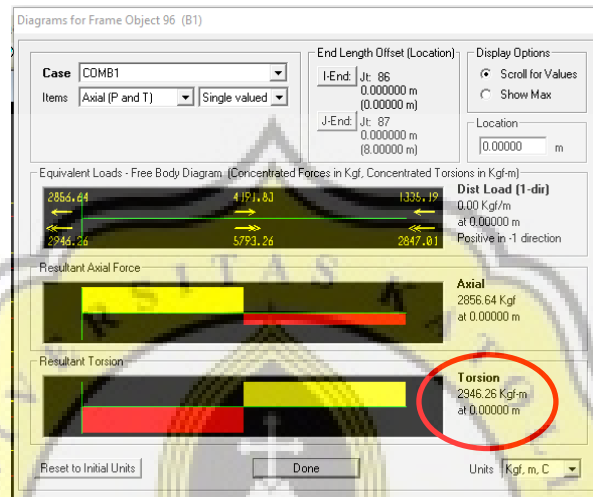
$$s = \frac{d}{2} = \frac{25,6}{2} = 12,79 \text{ in}^2 = 81,25 \text{ mm}^2$$



4. Penulangan torsi balok

Balok diambil adalah balok B1 = 45 × 70, balok ini berada di lantai 3 (As E - D) yang menerima torsi maksimum.

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan *SAP 2000 Version 17.2.0 Build 1140* diperoleh :



Gambar 4.13 Momen dari SAP Penulangan Torsi Balok Tipe 1
Sumber : *SAP 2000 Version 17.2.0*

$$T_u = 2946,3 \text{ kgm} = 255,18 \text{ in-kip.}$$

$$V_u = 39582 \text{ kgm} = 87258,88 \text{ kip} = 87268479 \text{ lb.}$$

$$A_{cp} = b \times h = 17,7 \times 27,6 = 488,25 \text{ in}^2$$

$$P_{cp} = 2 (d + b) = 2 (25,6 + 17,7) = 86,61 \text{ in.}$$

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

$$= (0,85)(\sqrt{4213,34}) \left(\frac{488,25^2}{86,61} \right)$$

$$= 151855 \text{ in-lb} = 151,9 \text{ in-k} < T_u = 255,18 \text{ in-k}$$

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

Selimut beton

$$d' = 1,96 \text{ in}$$

$$\text{Sengkang} = 10 \text{ mm} = 0,394 \text{ in}$$

$$X_1 = 27,559 - (2)(2,5 + 0,394/2) = 22,165 \text{ in}$$

$$Y_1 = 17,717 - (2)(2,5 + 0,394/2) = 12,323 \text{ in}$$



$$A_{oh} = X_1 \times Y_2 = (22,165) \times (12,323) = 273,14 \text{ in}^2$$

A_o = luas bruto yang dicakup oleh aliran geser

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

$$= (0,85) \times (273,143) = 232,169 \text{ in}^2$$

d = tinggi efektif balok

$$= 17,717 - 2,5 - 0,394 - (0,87/2) = 14,39 \text{ in}$$

P_h = keliling dari garis tengah tulangan torsi tertutup bagian terluar

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

$$= (2)(22,165 + 12,323) = 68,97638 \text{ in}$$

V_c = kekuatan geser nominal dari penampang beton

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

$$= 2 \sqrt{4213} (17,7) (25,6)$$

$$= 33096 \text{ lb.}$$

Gunakan persamaan ACI 11-18

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

$$= \sqrt{\left(\frac{33096}{17,7 \times 25,6}\right)^2 + \left(\frac{255,189 \times 68,97}{1,7 \times 273,14^2}\right)^2} \leq 0,85 \left(\frac{33.096}{17,7 \times 25,6} + 8 \sqrt{4206}\right)$$

$$= 129,84 \text{ psi} \leq 629,63 \text{ psi} \therefore \text{penampang memenuhi syarat}$$

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

$$= \frac{255,18}{0,85} = 300,22 \text{ in-k} = 300222 \text{ in-lb}$$

Asumsikan θ 45° sesuai ACI Sub Bab 11.6.3.6 (a)

$$f_{yv} = 240 = 34809,1 \text{ psi}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2A_o f_y \cot \theta} = \frac{300222}{2 \times 232,169 \times 58000 \times \cot 45^\circ} = 0,018 \text{ in}^2$$

$$V_u = 87268479 \text{ lb} > \frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \times 0,85 \times 33.096 = 14065,8 \text{ lb}$$

$= 14.065,8 \text{ lb} \therefore$ tulangan geser diperlukan / in. untuk satu kaki sengkang.



$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{87268479 - 14065,8}{0,85} = 102635702,5 \text{ lb} \\
 &= \frac{A_v + t}{s} \\
 &= \frac{2A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \\
 &= (2) \cdot 0,018 + 0,004 = \mathbf{0,041}
 \end{aligned}$$

Gunakan sengkang #3

$$s = \frac{2 \cdot 0,12}{0,041} = 5,83''$$

jarak sengkang maksimum yang diizinkan dari ACI Sub Bab

11.6.6.1

$$\frac{P_h}{8} = \frac{68,97}{8} = 8,62 \text{ in} < 12 \text{ in.}$$

Luas minimum dari sengkang A_v berdasarkan ACI 11.5.5.3

$$= \frac{50b_w s}{f_{yv}} = \frac{50 \cdot 17,7 \cdot 8,62}{34809,05}$$

$$= 0,21942 < 2 \times 0,12 = 0,24 \text{ (OK)}$$

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk torsi

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

$$= (0,018) \cdot 68,97 \cdot \left(\frac{34809,1}{58000} \right) \cdot \cot^2 45$$

$$= 0,29299 \text{ in}^2$$

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

$$= \frac{5 \cdot \sqrt{4213} \cdot 488,251}{58000} - \frac{34809}{58000} \cdot 68,97 - (0,041)$$

$$= 1,96 \text{ in}^2 = 1266,24 \text{ mm}^2$$

Jadi tulangan yang digunakan untuk tipe balok 1 pada bagian tengah berjumlah 4 tulangan dengan diameter 13 mm, dengan A_s 1266,24 mm².



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

Gambar 4.14 Detail Penulangan Torsi Balok Tipe 1

Sumber : Data Pribadi

4.4.2 Penulangan Lentur Balok

1. Penulangan lentur bagian tumpuan

Balok diambil adalah balok B1 = 30 x 55, balok ini berada di lantai 5 (As E-D) yang menerima momen maksimum.

Data perencanaan :

$$f'_c = 29 \text{ MPa} = 4.213 \text{ Psi} \quad \phi_{\text{lentur}} = 0,9$$

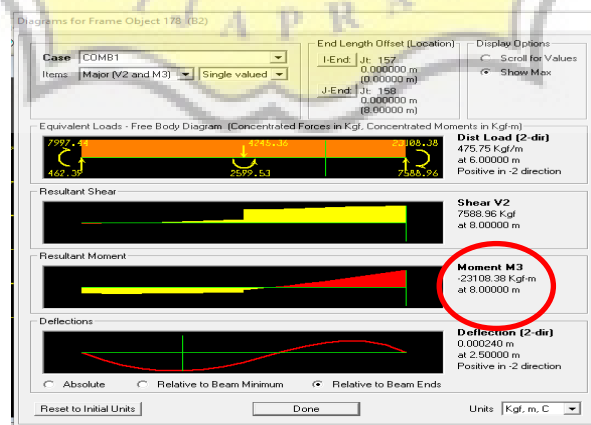
$$f_y = 400 \text{ MPa} = 58000 \text{ Psi} \quad \phi_{\text{sengkang}} = 10 \text{ mm} = 0,4 \text{ in}$$

$$D_{\text{tul}} = 22 \text{ mm} = 0,87 \text{ in} \quad b = 300 \text{ mm} = 11,81 \text{ in}$$

$$d' = 50 \text{ mm} = 2 \text{ in} \quad h = 550 \text{ mm} = 21,65 \text{ in}$$

$$d = h - d' = 550 - 50 = 500 \text{ mm} = 19,6 \text{ in}$$

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan *SAP 2000 Version 17.2.0 Build 1140* diperoleh:



Gambar 4.15 Momen dari SAP Penulangan Lentur Balok Tipe 2 Bagian Tumpuan

Sumber : *SAP 2000 Version 17.2.0*

(dilihat dari lantai 1 titik horizontal 8, titik vertikal A-B balok kedua)



M_u tumpuan maksimum = 233108,4 kgm = 167,143 ft-k

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

$$= \frac{167,143 \times 12 \times 1000}{0,9 \times 11,8 \times 19,6^2} = 486,93 \text{ Psi}$$

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

$$= \frac{0,85 \times 4213}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 486,93}{0,85 \times 4213}} \right) = 0,00906$$

Menghitung presentase maksimal tulangan baja (ρ_{max})

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta f'_c}{f_y} \left[\frac{87000}{87000 + f_y} \right]$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 4213,346}{58000} \left[\frac{87000}{87000 + 58000} \right]$$

$$= 0,03148$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0,023$$

Menghitung presentase minimum tulangan baja (ρ_{min})

$$\rho_{min} = \frac{3 \sqrt{f'_c}}{f_y}$$

$$= \frac{3 \sqrt{29}}{400} = 0,00336$$

Tetapi tidak boleh kurang dari

$$\frac{200}{f_y} = 0,00345$$

Menghitung luas tulangan baja yang dibutuhkan

Gunakan ρ_{min} sebab $\rho > \rho_{max}$

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

$$= 0,00345 \times 11,81 \times 19,68 = 0,80152 \text{ in}^2$$

$$A_s = 0,80152 \times 645,16 = 517,170 \text{ mm}^2$$



Jadi tulangan yang digunakan adalah 3 D16 dengan A_s sebesar

$$\begin{aligned} A_s &= \text{Jumlah tulangan} \times \text{Luas tulangan} \\ &= 3 \times 0,25 \times 3,14286 \times 256 \\ &= 603,429 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{tul} &= 16 \text{ mm} \\ &= 0,86614 \text{ in} \end{aligned}$$

Jadi tulangan yang digunakan untuk tipe balok 2 pada bagian tumpuan berjumlah 3 tulangan dengan diameter 16 mm, dengan A_s 603,429 mm².

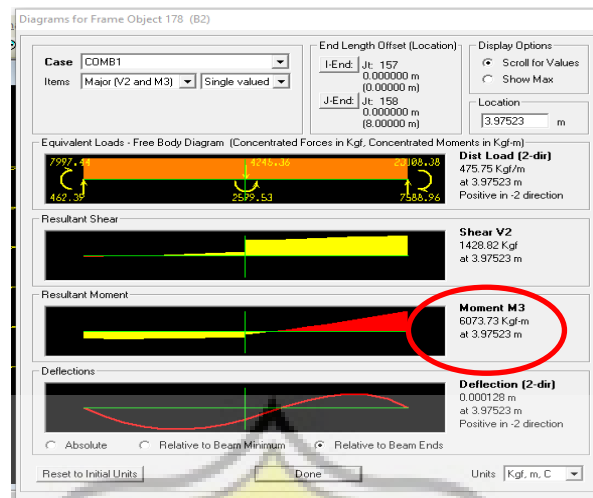
DETAIL BALOK	TYPE BALOK 2	
	TUMPUAN	LAPANGAN
DIMENSI	300 x 550	
TUL. ATAS	3 D16	2 D16
TUL. BAWAH	2 D16	3 D16
TUL. TENGAH	2 D13	2 D13
TUL. SENGKANG	D10 - 150	D10 - 200

Gambar 4.16 Detail Penulangan Lentur Balok Tipe 2 Bagian Tumpuan

Sumber : Data Pribadi

2. Penulangan lentur bagian lapangan

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan *SAP 2000* *Version 17.2.0 Build 1140* diperoleh:



Gambar 4.17 Momen dari SAP Penulangan Lentur Balok Bagian Lapangan
Sumber : SAP 2000 Version 17.2.0

$$M_{u \text{ lapangan}} = 6073,73 \text{ kgm} = 43,93 \text{ ft-k}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{43,93 \times 12 \times 1000}{0,9 \times 11,81 \times 19,6^2} = 127,98 \text{ Psi}$$

Menghitung persentase tulangan baja (ρ)

$$\rho = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 f'_c}} \right) = \frac{0,85 \times 4.213}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 127,98}{0,85 \times 4.213}} \right) = 0,00225$$

Menghitung persentase maksimal tulangan baja (ρ_{max})

$$\rho_b = \frac{0,85 \beta f'_c}{f_y} \left[\frac{87000}{87000 + f_y} \right] = \frac{0,85 \times 0,85 \times 4213,346}{58000} \left[\frac{87000}{87000 + 58000} \right] = 0,03148$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0,023$$



Menghitung persentase minimum tulangan baja (ρ_{min})

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= \frac{3\sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{3\sqrt{29}}{400} = 0,00336\end{aligned}$$

Tetapi tidak boleh kurang dari

$$\frac{200}{f_y} = 0,00345$$

Menghitung luas tulangan baja yang dibutuhkan

Gunakan ρ_{min} sebab $\rho > \rho_{max}$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00345 \times 11,8 \times 19,6 = 0,80152 \text{ in}^2\end{aligned}$$

$$A_s = 0,80152 \times 645,16 = 517,107 \text{ mm}^2$$

Jadi tulangan yang digunakan adalah 3 D16 dengan A_s sebesar

$$\begin{aligned}A_s &= \text{Jumlah tulangan} \times \text{Luas tulangan} \\ &= 3 \times 0,25 \times 3,14286 \times 256 \\ &= 603,429 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$d_{tul} = 16 \text{ mm}$$

Jadi tulangan yang digunakan untuk tipe balok 2 pada bagian lapangan berjumlah 3 tulangan dengan diameter 16 mm, dengan A_s 603,429 mm².



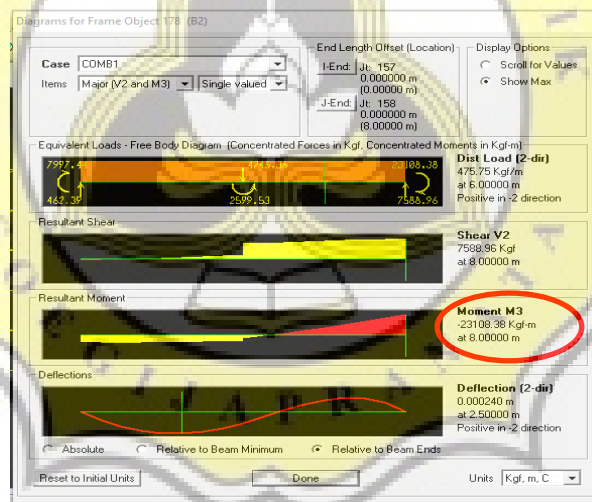
DETAIL BALOK	TYPE BALOK 2	
	TUMPUAN	LAPANGAN
DIMENSI	300 x 550	
TUL. ATAS	3 D16	2 D16
TUL. BAWAH	2 D16	3 D16
TUL. TENGAH	2 D13	2 D13
TUL. SENGKANG	D10 - 150	D10 - 200

Gambar 4.18 Detail Penulangan Lentur Balok Tipe 2 bagian Lapangan

Sumber : Data Pribadi

3. Penulangan geser maksimum

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan *SAP 2000 Version 17.2.0 Build 1140* diperoleh:



Gambar 4.19 Momen dari SAP Penulangan Geser Maksimum Balok tipe 2

Sumber : *SAP 2000 Version 17.2.0*

$$V_u = 7589 \text{ kg} = 16731 \text{ lb}$$

Mencari kebutuhan sengkang

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,85 \times (2 \times \sqrt{f'c} \times b \times d) \\ &= (0,85) \times (2 \times \sqrt{4213,34} \times 11,8 \times 19,6) \\ &= 25656 \text{ lb} \end{aligned}$$

$$0,5 \cdot \phi V_c = 12828 \text{ lb}$$



Sedangkan diperlukan jika $V_u > 0,5 \phi V_c$ (peraturan ACI 11.5.5.1)

$$0,5 \phi V_c \dots V_u$$

$$12828 < 16731 \text{ (Perlu sengkang)}$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_s = \frac{16731 - 25655,85}{1} = -10500,1 \text{ lb}$$

Menghitung luas geser tulangan praktis minimum (A_v)

$$\begin{aligned} A_{v \min} &= \frac{b \times S_{maks}}{3 \times f_y} \\ &= \frac{300 \times 600}{3 \times 400} \\ &= 150 \text{ mm}^2 = 0,232 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

Jadi perencanaan sengkang praktis menggunakan sengkang #3 atau $\phi 10$ dengan jarak sebagai berikut :

$$\text{Tumpuan} = \phi 10 - 150 \text{ mm} = 523,8 \text{ mm}^2$$

$$\text{Lapangan} = \phi 10 - 200 \text{ mm} = 392,9 \text{ mm}^2$$

Cek pendimensian balok

Menurut peraturan ACI 11.5.6.8, V_s tidak boleh $> (8 \sqrt{f_c'} bd)$

$$V_s \dots (8 \sqrt{f_c'} bd)$$

$-10500 \text{ lb} < 120733,389 \text{ lb}$ **OK** (Maka tidak diperlukan dimensi balok).

$$\begin{aligned} A_{v \min} &= \\ s &= \frac{A_v f_y}{50b} = \frac{0,2325 \times 58015,1}{50 \times 11,81} = 22,84 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

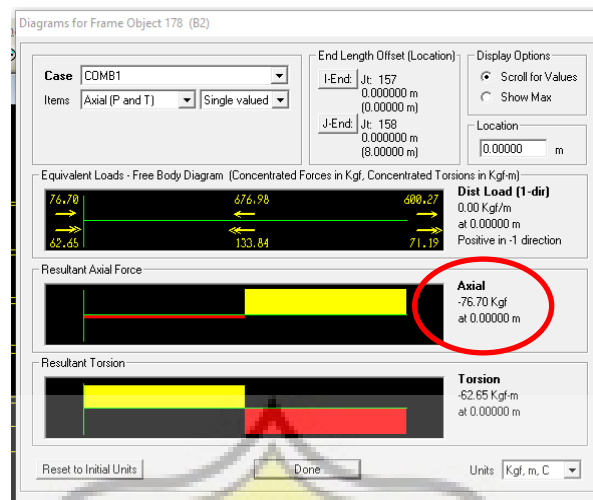
$$V_s = -10500 \text{ lb} < 4 \times 64,91 \times 255,75 = 66403,4$$

$$s = \frac{d}{2} = \frac{19,6}{2} = 9,84 \text{ in}^2 = 62,50 \text{ mm}^2$$

4. Penulangan torsi balok

Balok diambil adalah balok B1 = 45 × 70, balok ini berada di lantai 3 (As E - D) yang menerima torsi maksimum.

Dari perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan *SAP 2000 Version 17.2.0 Build 1140* diperoleh :



Gambar 4.20 Momen dari SAP Penulangan Torsi balok Tipe 2
Sumber : SAP 2000 Version 17.2.0

$$T_u = 6265 \text{ kgm} = 542,63 \text{ in-kip.}$$

$$V_u = 7589 \text{ kgm} = 16729,89 \text{ kip} = 16731725 \text{ lb.}$$

$$A_{cp} = b \times h = 11,8 \times 19,6 = 255,75 \text{ in}^2$$

$$P_{cp} = 2 (d + b) = 2 (19,6 + 11,8) = 62,99 \text{ in.}$$

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

$$= (0,85)(\sqrt{4213,34}) \left(\frac{255,75^2}{62,99} \right)$$

$$= 57290 \text{ in-lb} = 57,29 \text{ in-k} < T_u = 542,63 \text{ in-k}$$

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

Selimit beton

$$d' = 1,96 \text{ in}$$

$$\text{Senggang} = 10 \text{ mm} = 0,394 \text{ in}$$

$$X_1 = 21,65 - (2)(2,5 + 0,19/2) = 16,26 \text{ in}$$

$$Y_1 = 11,81 - (2)(2,5 + 0,19/2) = 6,41 \text{ in}$$

$$A_{oh} = X_1 \times Y_2 = (16,26) \times (6,41) = 104,34 \text{ in}^2$$

A_o = luas bruto yang dicakup oleh aliran geser

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

$$= (0,85) \times (104,34) = 88,69 \text{ in}^2$$



d = tinggi efektif balok

$$= 11,81 - 2,5 - 0,394 - (0,62/2) = 8,60 \text{ in}$$

P_h = keliling dari garis tengah tulangan torsi tertutup bagian terluar

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

$$= (2)(16,62 + 6,41) = 45,35 \text{ in}$$

V_c = kekuatan geser nominal dari penampang beton

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

$$= 2 \sqrt{4213} (11,81) (19,6)$$

$$= 13190,1 \text{ lb.}$$

Gunakan persamaan ACI 11-18

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

$$= \sqrt{\left(\frac{16731725}{11,8 \times 19,6}\right)^2 + \left(\frac{542,63 \times 45,35}{1,7 \times 104,34^2}\right)^2} \leq 0,85 \left(\frac{13190,1}{11,8 \times 19,6} + 8 \sqrt{4213}\right)$$

$$= 131,58 \text{ psi} \leq 629,63 \text{ psi} \therefore \text{penampang memenuhi syarat}$$

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

$$= \frac{542,63}{0,85} = 638,39 \text{ in-k} = 638396 \text{ in-lb}$$

Asumsikan θ 45° sesuai ACI Sub Bab 11.6.3.6 (a)

$$f_{yv} = 240 = 34809,1 \text{ psi}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 A_o f_y \cot \theta} = \frac{638396}{2 \times 88,69 \times 58000 \times \cot 45^\circ} = 0,1674 \text{ in}^2$$

$$V_u = 16731725,4 \text{ lb} > \frac{1}{2} \phi V_c = \frac{1}{2} \times 0,85 \times 13190,1 = 5605,8 \text{ lb}$$

$= 14.065,8 \text{ lb} \therefore$ tulangan geser diperlukan / in. untuk satu kaki sengkang.

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} = \frac{87268479 - 14065,8}{0,85} = 102635702,5 \text{ lb}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{A_v + t}{s} \\
 &= \frac{2A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \\
 &= (2) \cdot 0,167 + 0,004 = \mathbf{0,338}
 \end{aligned}$$

Gunakan sengkang #3

$$s = \frac{2 \cdot 0,12}{0,338} = 0,70''$$

jarak sengkang maksimum yang diizinkan dari ACI Sub Bab 11.6.6.1

$$\frac{P_h}{8} = \frac{45,35}{8} = 5,6 \text{ in} < 12 \text{ in}$$

Luas minimum dari sengkang A_v berdasarkan ACI 11.5.5.3

$$\begin{aligned}
 &= \frac{50b_w s}{f_{yv}} = \frac{50 \cdot 11,8 \cdot 5,66}{34809,05} \\
 &= 0,0961 < 2 \times 0,12 = 0,24 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk torsi

$$\begin{aligned}
 A_l &= \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \left(\frac{f_{yv}}{f_{yl}} \right) \cdot \cot^2 \theta \quad (\text{Persamaan ACI 11-22}) \\
 &= (0,16) \cdot 45,35 \cdot \left(\frac{34809,1}{58000} \right) \cdot \cot^2 45 \\
 &= 1,73 \text{ in}^2.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Min } A_l &= \frac{5 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_{cp}}{f_{yl}} - \left(\frac{A_t}{s} \right) \cdot P_h \cdot \frac{f_{yv}}{f_{yl}} \\
 &= \frac{5 \cdot \sqrt{4213} \cdot 255,75}{58000} - (0,1674) \cdot 45,35 \cdot \frac{34809}{58000} \\
 &= 3,12 \text{ in}^2. = 2017,1 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jadi tulangan yang digunakan untuk tipe balok 2 pada bagian tengah berjumlah 3 tulangan dengan diameter 13 mm, dengan A_s 2017,1 mm².



DETAIL BALOK	TYPE BALOK 2	
	TUMPUAN	LAPANGAN
DIMENSI	300 x 550	
TUL. ATAS	3 D16	2 D16
TUL. BAWAH	2 D16	3 D16
TUL. TENGAH	2 D13	2 D13
TUL. SENGGANG	D10 - 150	D10 - 200

Gambar 4.21 Detail Penulangan Torsi Balok Tipe 2

Sumber : Data Pribadi

4.5 Perhitungan Penulangan Kolom

4.5.1 Desain Penampang Kolom

Diambil contoh kolom K11 no.276

Mutu beton K-350

$$f'_c = 29 \text{ MPa} = 4213,3 \text{ Psi.}$$

Mutu baja BJ 37

$$f_y = 400 \text{ MPa} = 58015,09 \text{ psi}$$

$$b = 80 \text{ cm} = 31,49 \text{ in}$$

$$h = 80 \text{ cm} = 31,49 \text{ in}$$

$$d' = 5 \text{ cm} = 1,96 \text{ in}$$

$$d = 75 \text{ cm} = 29,52 \text{ in}$$

$$\emptyset \text{ sengkang} = 1 \text{ cm}$$

$$d_{tulangan} = 22$$

$$d'' = C_v + \emptyset \text{ sengkang} + 0,5 d_{tulangan}$$

$$= 71 \text{ mm}$$

Nilai \emptyset_{geser} untuk kolom dengan

$$\text{Sengkang persegi} = 0,7$$

$$\text{Sengkang spiral} = 0,75$$

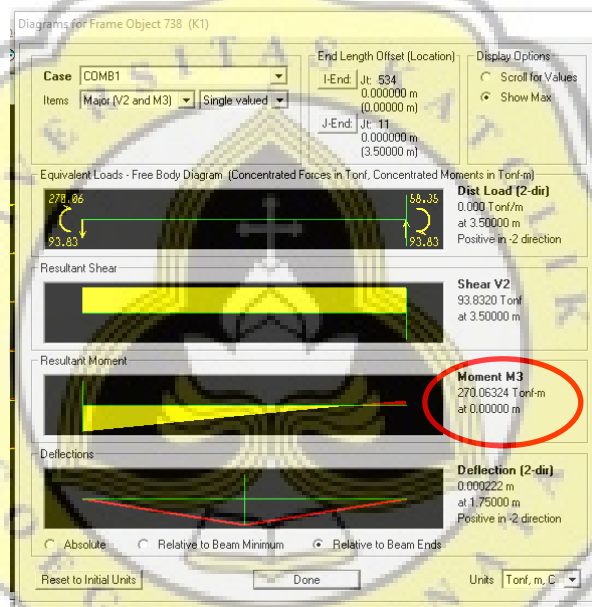


Penulangan pada kolom 80/80 (As 1C)

Joint Object	535			Joint Element	535
Force	1	2	3		
	-78.696	-70.931	294.116		
Moment	167.709	-253.614	0.640		

Gambar 4.22 Nilai P_u dari SAP
Sumber : *SAP 2000 Version 17.2.0*

(Dilihat dari lantai 1 titik horizontal 1, titik vertikal C balok utama)



Gambar 4.23 Momen dari SAP untuk Penampang Kolom
Sumber : *SAP 2000 Version 17.2.0*

(Dilihat dari lantai 1 titik horizontal 1, titik vertikal C kolom utama)

$$A_g = \frac{P_u}{0,6 \times f_c'} = \frac{294,116}{0,6 \times 29} = 16,87 \text{ in}^2$$

$$P_u = 294,11 \text{ Ton (hasil SAP 2000 Version 17.2.0 Build 1140)}$$

$$M_u = 270,063 \text{ tm}$$

4.5.2 Desain Tulangan Lentur Kolom

$$P_n = \frac{P_u}{0,7} = \frac{294,11}{0,7} = 420,166 \text{ k}$$



$$M_n = \frac{M_u}{0,7} = \frac{270,06}{0,7} = 385,80 \text{ ft-k}$$

$$e = \frac{M_n}{0,5b} = \frac{385,80 \times 12}{0,5 \times 31,49} = 293,98 \text{ in}$$

$$\frac{e}{h} = \frac{293,98}{31,49} = 9,33$$

$$\frac{\phi P_n e}{A_g h} = \frac{(0,7) \cdot 999,58}{16,87 \times 31,496} \times 9,33$$

$$= 5,16$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta \times f_c'}{f_y} \times \frac{87000}{87000 + f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 4213}{58000} \times \frac{87000}{87000 + 58000}$$

$$= 0,031$$

$$\rho_{min} = 0,75 \rho_b$$

$$= 0,75 \times 0,031$$

$$= 0,023$$

$$\rho_{min} = \frac{3\sqrt{f_c'}}{f_y}$$

$$= \frac{3\sqrt{29}}{58000}$$

$$= 0,00335$$

Tetapi tidak boleh kurang dari

$$\frac{200}{f_y} = \frac{200}{58000} = 0,00345$$

Diambil nilai ρ_{min} terbesar, yaitu 0,00345

$$A_s = \rho b d$$

$$= 0,00345 \times 31,49 \times 29,52$$

$$= 3,20 \text{ in}^2 = 2068,42 \text{ mm}^2$$

Mencari jarak teoritis sengkang 2 kaki (sengkang #3)

Tulangan yang dipakai adalah 22 D 22 dengan $A_s = 836628 \text{ mm}^2$

Gunakan sengkang praktis #3 atau $\phi 10$ dengan jarak maksimum.



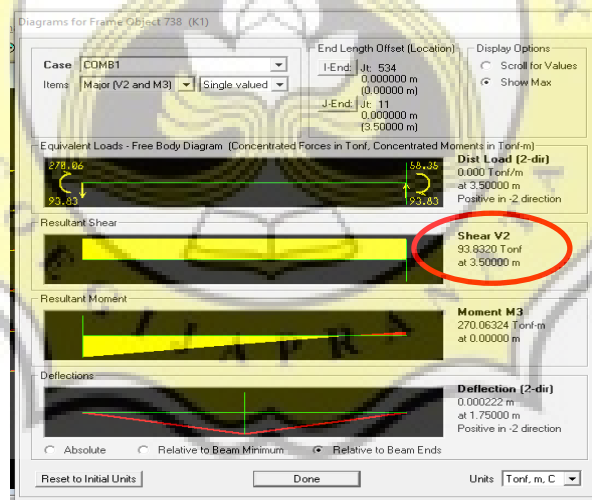
DETAIL KOLOM	TYPE KOLOM 1		
	LAPANGAN	TUMPUAN	
DIMENSI	800 x 800		
TUL. UTAMA	22D 22		22D 22
	UJUNG / TUMPUAN	TENGAH / LAPANGAN	JOINT / KEPALA KOLOM
TUL. SENKANG	D10 - 150	D10 - 150	D10 - 100

Gambar 4.24 Detail Penulangan Lentur Kolom
Sumber : Data Pribadi

4.5.3 Desain Penulangan Geser Kolom

Diambil contoh Balok K11 no.276

Cek apakah tulangan geser diperlukan,



Gambar 4.25 Penulangan Geser Maksimum Kolom dari SAP
Sumber : *SAP 2000 Version 17.2.0*

Mencari kebuuhan sengkang

$$V_u = 93,83 \text{ lb} \quad (\text{hasil } \textit{SAP 2000 Version 17.2.0 Build 1140})$$

$$\phi V_c = 0,85 \times 2 \sqrt{f_c'} b d$$

$$= 0,85 \times 2 \sqrt{29} \times 31,49 \times 29,52 = 102623,38 \text{ lb}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c = 51311,69 \text{ lb}$$



$$2156 \text{ lb} < 60.909,7 \text{ lb}$$

$$\frac{1}{2} \phi V_c > V_u, \text{ sengkang tidak diperlukan}$$

$$51311,69 > 93,83 \text{ gunakan sengkang praktis}$$

Jadi sengkang direncanakan 1,5 Ø10 – 150 untuk bagian tumpuan dan lapangan kolom.

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{93,83 \times 102623,38}{0,85} \\ &= -120622,99 \text{ lb} \end{aligned}$$

4.5.4 Cek Keruntuhan Kolom

Dari hasil perhitungan mekanika struktur dengan menggunakan *SAP 2000 Version 17.2.0 Build 1140* diperoleh:

$$P_u = 2941160 \text{ N}$$

$$M_u = 2700630000 \text{ N.mm}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{2700630000}{2941160} = 918,21 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} x_b &= \frac{600}{600 + f_y} \cdot d \\ &= \frac{600}{600 + 400} \cdot 75 = 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_b &= \beta_1 \cdot x_b \\ &= 0,85 \cdot 450 = 382,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s' &= \frac{x_b - d'}{x_b} \cdot 600 \\ &= \frac{450 - 71}{450} \cdot 600 = 505,33 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Luas tulangan longitudinal struktur tekan non komposit harus 1% sampai 8% dari luas penampang (*SNI 03-1726-2012*). Diambil 1% dibagi kedua sisi

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

$$\text{Pakai 22 D 22} \rightarrow (A_s = 6400 \text{ mm}^2)$$



$$\begin{aligned}
 P_{nb} &= (0,85 \times f'_c \times b \times \alpha_b) + (A_s' \times f_s') - (A_s \times f_y) \\
 &= (0,85 \times 29 \times 800 \times 382,5) + (6400 \times 505,33) \\
 &\quad - (6400 \times 400) \\
 &= 1429723,83 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nb} &= (0,85 \times f'_c \times b \times \alpha_b) \times \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + (A_s' \times f_s') \times \left(\frac{h}{2} - d'\right) \\
 &\quad + (A_s \times f_y) \times \left(d - \frac{h}{2}\right) \\
 &= (0,85 \times 29 \times 800 \times 382,5) \times \left(\frac{800}{2} - \frac{382,5}{2}\right) + (6400 \times \\
 &\quad 502,60) \times \left(\frac{800}{2} - 71\right) + (6400 \times 400) \times \left(75 - \frac{800}{2}\right) \\
 &= 379519383,5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_b &= \frac{M_{nb}}{P_{nb}} \\
 &= \frac{379519383,5}{1429723,83} = 265,44 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$e_b = 265,44 \text{ mm} > e = 918,22 \text{ mm} \rightarrow \text{Keruntuhan Desak}$$

Perhitungan keruntuhan desak :

$$\begin{aligned}
 P_n &= \frac{A_s \cdot f_y}{\left(\frac{e}{d-d'}\right)+0,5} + \frac{b \cdot h \cdot f_c'}{\left(\frac{3 \cdot h \cdot e}{d^2}\right)+1,18} \\
 P_n &= \frac{6400 \times 400}{\left(\frac{918,22}{75-71}\right)+0,5} + \frac{800 \cdot 800 \cdot 29}{\left(\frac{3 \cdot 800 \cdot 918,22}{75^2}\right)+1,18} = 227340 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$P_r = 0,85 \cdot 227340 \text{ N} = 193315 \text{ N} > P_u = (2941160 \text{ N}) \rightarrow \text{OK}$$

Syarat :

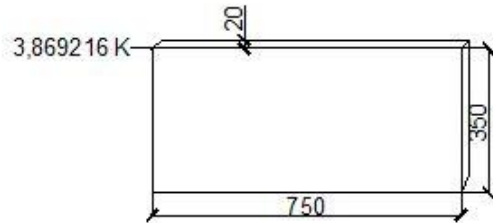
$$\begin{aligned}
 P_r &> 0,1 \cdot b \cdot h \cdot f'_c \\
 193315 \text{ N} &> 0,1 \cdot 800 \cdot 800 \cdot 29 \\
 193315 \text{ N} &> 1856000 \text{ N} \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

4.6 Perhitungan Dinding Geser (*Shear Wall*)

Dengan menggunakan *SAP 2000 Version 17.2.0 Build 1140* didapatkan hasil gaya geser yang bekerja pada dinding, yang dibebani oleh beban hidup, beban mati dan gempa.



Perhitungan Tebal Beton Dinding Geser



Gambar 4.26 Pembebanan *Shear Wall*

Sumber : Data Pribadi

$$V_u = 1711,281323 \text{ kg} = 3,869216 \text{ k} \quad (\text{hasil SAP 2000 Version 17.2.0 Build 1140})$$

Perhitungan Tebal Beton Dinding Geser

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{30\% \times F_{iy} \times n_k}{\text{jumlah shear wall}} \\ &= \frac{30\% \times 7,609 \times 54}{3} \\ &= 41,0886 \text{ ton} = 92,90155 \text{ k} \end{aligned}$$

Cek ketebalan beton

$$\begin{aligned} V_u &= \phi 10 \sqrt{f_c'} h d \\ d &= 0,8 l_w = (0,8) \cdot (12 \times 11,15486) = 107,0866'' \end{aligned}$$

$$V_u = (0,85) \cdot (10) \cdot (\sqrt{4206,093}) \cdot (7,874016) \cdot (107,0866)$$

$$V_u = 464825,39 = 464,8254 \text{ k} > 3,869216 \text{ k} \quad \mathbf{OK}$$

Hitung V_c untuk dinding (pilih nilai terkecil) :

$$\begin{aligned} V_c &= 3,3 \sqrt{f_c'} h d + \frac{N_u}{4h_w} = (3,3 \cdot \sqrt{4206,093}) \cdot (7,874016) \cdot (107,0866) + 0 \\ &= 180461,62 \text{ lb} = 180,4616 \text{ k} \leftarrow \end{aligned}$$

Hitung V_u dan M_u pada nilai terkecil dari $l_w/2 = 11,15486 / 2 = 5,57742'$ atau $h_w/2 = 18,3727 / 2 = 9,18635'$ dari dasar dinding.

$$V_u = 3,8692164 \text{ k}$$

$$M_u = 3,8692164 \cdot (18,3727 - 5,57742) = 49,50769 \text{ ft-k} = 594,0923 \text{ in.-k}$$



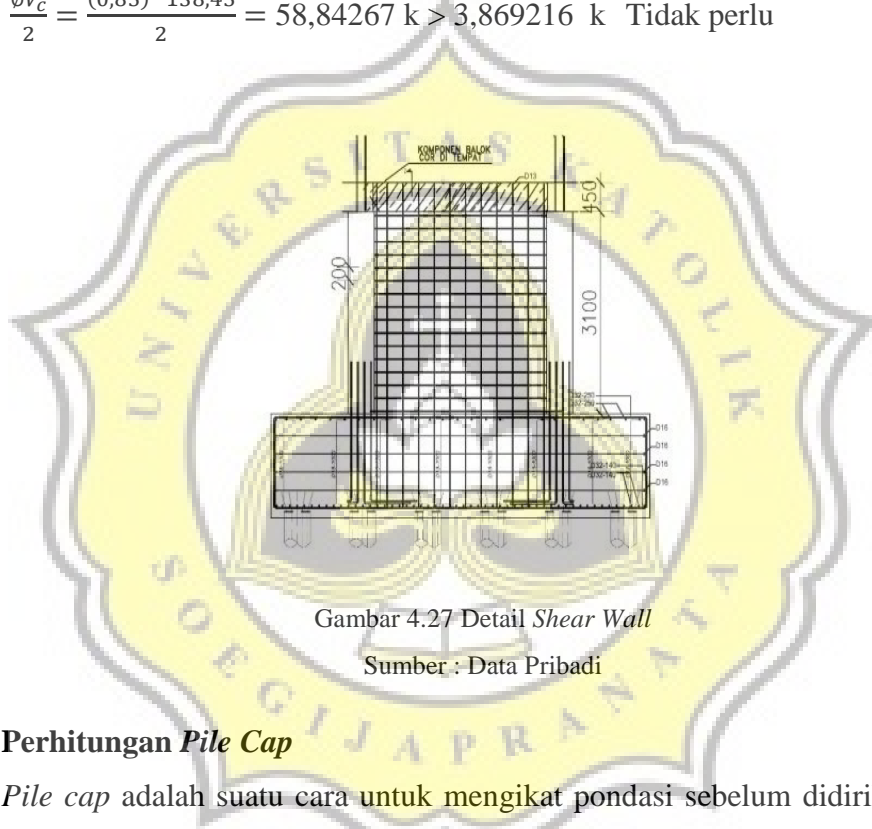
$$V_c = \left[0,6\sqrt{f'_c} + \frac{l_w \left(1,25\sqrt{f'_c} + \frac{0,2N_u}{l_w h} \right)}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}} \right] hd$$

$$V_c = \left[0,6\sqrt{4206,093} + \frac{(11,15486 \times 12) \left(1,25\sqrt{4206,093} + 0 \right)}{\frac{594,0923}{3,86921} - \frac{(11,15486 \times 12)}{2}} \right] (7,87)(107,0866)$$

$$V_c = 138,45 \text{ k}$$

Cek apakah tulangan geser diperlukan,

$$\frac{\phi V_c}{2} = \frac{(0,85) \cdot 138,45}{2} = 58,84267 \text{ k} > 3,869216 \text{ k} \text{ Tidak perlu}$$



Gambar 4.27 Detail Shear Wall

Sumber : Data Pribadi

4.7 Perhitungan *Pile Cap*

Pile cap adalah suatu cara untuk mengikat pondasi sebelum didirikan kolom di bagian atasnya. Fungsi dari *pile cap* adalah untuk menerima beban dari kolom yang kemudian akan terus disebarakan kepondasi tiang pancang dan masing-masing *pile* menerima $1/N$ dari beban kolom dan harus \leq daya dukung yang diijinkan.



4.7.1 Perhitungan *Pile Cap*

a. *Pile Cap* 1 (PC 1)

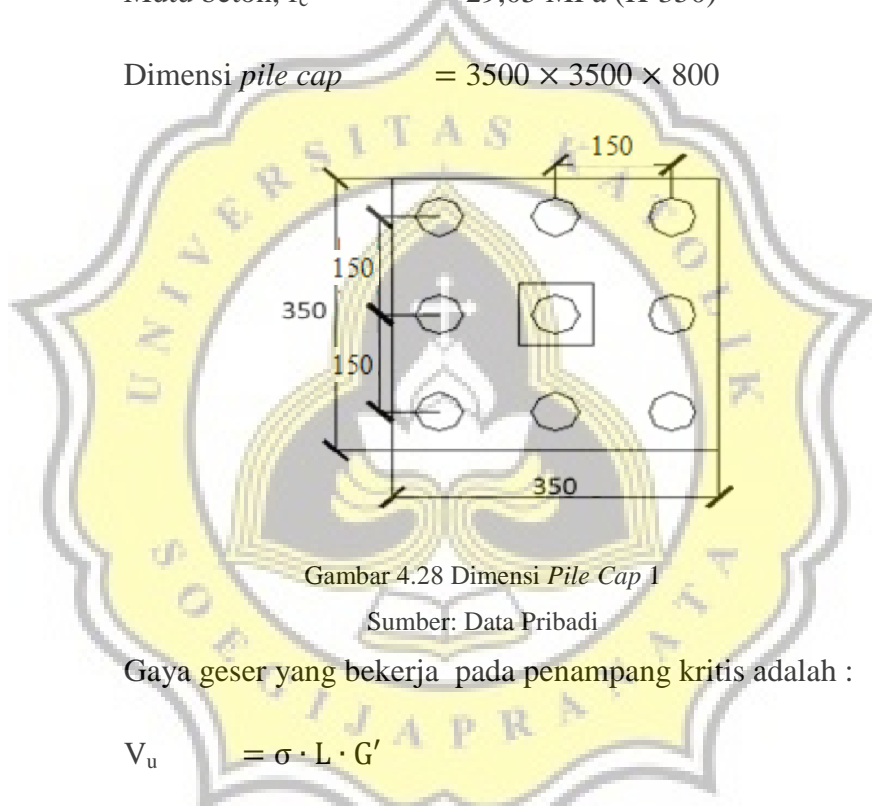
Diambil contoh perhitungan *pile cap* PC1

Dimensi kolom = 800 × 800 mm

Beban aksial, P = 317,38 Ton

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

Dimensi *pile cap* = 3500 × 3500 × 800



Gambar 4.28 Dimensi *Pile Cap* 1

Sumber: Data Pribadi

Gaya geser yang bekerja pada penampang kritis adalah :

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

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

keterangan :

V_u = gaya geser (ton)

σ = $\frac{P}{A}$ (ton/m²)

L = panjang *pile cap* (mm)

d = tebal efektif *pile cap* (cm)



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

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

$$= \frac{292,58}{(3,5 \times 3,5)} = 46,81 \text{ ton/m}^2$$

L = 2,5 m

d = 800 mm – 75 mm = 725 mm = 0,725 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 :

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

keterangan :

b = panjang pondasi (cm)

d = tebal efektif pondasi (cm)

h = tebal pondasi (cm)

V_c = gaya geser nominal yang disumbangkan oleh beton (ton)

f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa)

V_u = gaya geser 1 arah yang terjadi (ton)

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

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



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 :

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

keterangan :

$$\sigma = 46,81 \text{ t/m}^2$$

$$B' = 1,525 \text{ m}$$

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

$$V_u = 46,81 \cdot (2,5^2 - 1,525^2) = 183,71 \text{ ton}$$

SNI 03-1726-2012, Pasal 12.8-13

Besar V_c adalah nilai terkecil dari :

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

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

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

$$\beta_c = \frac{\alpha k}{b k}$$

$$b_o = 4B'$$

$$\phi V_c > V_u$$



keterangan :

V_u = gaya geser 2 arah yang terjadi (ton)

b_k = panjang kolom (cm)

α_k = lebar kolom (cm)

d = tinggi efektif pondasi (cm)

h = tebal pondasi (cm)

b_o = keliling penampang kritis pondasi telapak (cm)

α_s = konstanta untuk perhitungan pondasi telapak

$$\begin{aligned} V_{c1} &= \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f_c'} b_o d}{6} \\ &= \left(1 + \frac{2}{1}\right) \cdot \frac{\sqrt{29,05} \cdot 6100 \cdot 725}{6} \\ &= 1190,8 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{c2} &= \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f_c'} b_o d}{12} \\ &= \left(\frac{40 \cdot 725}{6100} + 2\right) \frac{\sqrt{29,05} \cdot 6100 \cdot 725}{12} \\ &= 1340,45 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{c3} &= \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} b_o d \\ &= \frac{1}{3} \sqrt{29,05} \cdot 6100 \cdot 725 \\ &= 793,86 \text{ ton} \end{aligned}$$

Jadi V_c yang dipakai adalah 793,86 ton

$$\phi V_c = 0,75 \times 793,86 \text{ ton}$$

$$= 595,39 \text{ ton} > V_u = 183,71 \text{ ton}$$



b. *Pile Cap* 2 (PC 2)

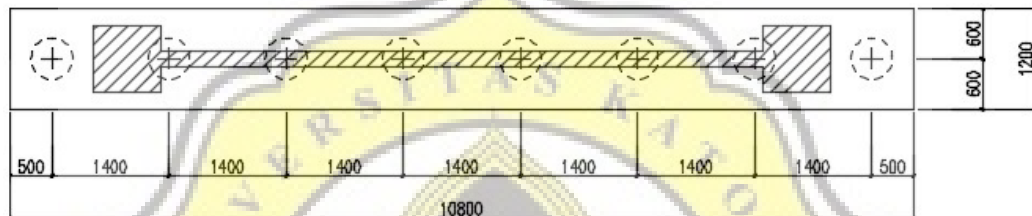
Diambil contoh perhitungan *pile cap* PC2

Dimensi kolom = 800 × 800 mm

Beban aksial, P = 313,12 Ton

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

Dimensi *pile cap* = 1200 × 10800 × 800



Gambar 4.29 Detail Dimensi *Pile Cap* 2

Sumber: Data pribadi

Gaya geser yang bekerja pada penampang kritis adalah :

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

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

keterangan :

V_u = gaya geser (kN)

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

L = panjang *pile cap* (mm)

d = tebal efektif *pile cap* (mm)

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



$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{313,12}{(1,2 \times 10,8)} = 46,81 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

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

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

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

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

Kuat geser beton adalah :

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d \\ \phi V_c &= 0,75 \cdot \frac{1}{6} \cdot \sqrt{29,05} \cdot 2500 \cdot 725 \\ \phi V_c &= 122,0076 \text{ ton} > V_u = 14,629 \text{ ton} \text{ OK}\end{aligned}$$

keterangan :

b = panjang pondasi (mm)

d = tebal efektif pondasi (mm)

h = tebal pondasi (mm)

V_c = gaya geser nominal yang disumbangkan oleh beton (Ton)

f'_c = kuat tekan beton yang disyaratkan (MPa)

V_u = gaya geser 1 arah yang terjadi (Ton)



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 :

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

keterangan :

$$\sigma = 46,81 \text{ t/m}^2$$

$$B' = 1,525 \text{ m}$$

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

$$\begin{aligned} V_u &= 46,81 \cdot (2,5^2 - 1,525^2) \\ &= 183,71 \text{ ton} \end{aligned}$$

SNI 03-1726-2012, Pasal 12.8-13

Besar V_c adalah nilai terkecil dari :

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

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

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

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

$$b_o = 4B'$$

$$\phi V_c > V_u$$



keterangan :

V_u = gaya geser 2 arah yang terjadi (Ton)

b_k = panjang kolom (mm)

α_k = lebar kolom (mm)

d = tinggi efektif pondasi (mm)

h = tebal pondasi (mm)

b_o = keliling penampang kritis pondasi telapak

α_s = konstanta untuk perhitungan pondasi telapak

$$\begin{aligned} V_{c1} &= \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \frac{\sqrt{f_c'} b_o d}{6} \\ &= \left(1 + \frac{2}{1}\right) \cdot \frac{\sqrt{29,05} \cdot 6100 \cdot 725}{6} \\ &= 1190,8 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{c2} &= \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \frac{\sqrt{f_c'} b_o d}{12} \\ &= \left(\frac{40 \cdot 725}{6100} + 2\right) \frac{\sqrt{29,05} \cdot 6100 \cdot 725}{12} \\ &= 1340,45 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{c3} &= \frac{1}{3} \sqrt{f_c'} b_o d \\ &= \frac{1}{3} \sqrt{29,05} \cdot 6100 \cdot 725 \\ &= 793,86 \text{ ton} \end{aligned}$$

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 *Pile Cap*

a. *Pile Cap* (PC 1)

Beban yang bekerja:

$$P_u = 317,38 \text{ ton}$$

$$\text{Mutu beton, } f_c' = 29,05 \text{ MPa (K-350)}$$

$$\text{Mutu besi, } f_y = 400 \text{ MPa (BJTS 40)}$$

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 (terpasang 20 tulangan)

$$\phi M_n = \phi A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{1}{2} a \right)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$A_s = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 25^2 \cdot 20$$

$$= 9821,43 \text{ mm}^2$$



$$a = \frac{9821,43 \cdot 400}{0,85 \cdot 29,05 \cdot 2500}$$

$$= 63,75 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 0,8 \cdot 9821,43 \cdot 400 \cdot 693,125$$

$$= 2178,39 \text{ kNm} > M_u = 1152,98 \text{ kNm}$$

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'

$$B' = \frac{\text{lebar pile cap}}{2} - \frac{\text{lebar kolom}}{2}$$

$$= \frac{1,2}{2} - \frac{0,8}{2} = 0,85 \text{ m}$$

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*

1. Penulangan lentur bagian tumpuan

Data perencanaan :

K-350

$$f_c' = 29 \text{ MPa} = 4.213 \text{ Psi}$$

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

$$b = 40 \text{ cm} = 15,74 \text{ in}$$

$$h = 60 \text{ cm} = 23,62 \text{ in}$$

$$d' = 5 \text{ cm} = 2 \text{ in}$$

$$d = h - d' = 60 - 5 = 55 \text{ cm} = 21,65 \text{ in}$$

$$M_u = \frac{1}{3} \times M_u \text{ beton}$$

$$= 0,33 \times 270,06$$

$$= 90021 \text{ kgm} = 651,12 \text{ ft-k}$$

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

$$= \frac{651,12 \times 12 \times 1000}{0,9 \times 15,74 \times 21,6^2} = 1175,8 \text{ Psi}$$

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

$$= \frac{0,85 \times 4213}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1175,8}{0,85 \times 4213}} \right) = 0,0255$$

Menghitung presentase maksimal tulangan baja (ρ_{max})



$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \beta f_c'}{f_y} \left[\frac{87000}{87000 + f_y} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 4213,346}{58000} \left[\frac{87000}{87000 + 58000} \right] \\ &= 0,03148\end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b = 0,023$$

Menghitung presentase minimum tulangan baja (ρ_{min})

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= \frac{3\sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{3\sqrt{29}}{400} \\ &= 0,00336\end{aligned}$$

Tetapi tidak boleh kurang dari

$$\frac{200}{f_y} = 0,00345$$

Menghitung luas tulangan baja yang dibutuhkan

Gunakan ρ_{min} sebab $\rho > \rho_{max}$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00345 \times 15,74 \times 21,65 \\ &= 1,17 \text{ in}^2\end{aligned}$$

$$A_s = 1,17 \times 645,16 = 758,42 \text{ mm}^2$$

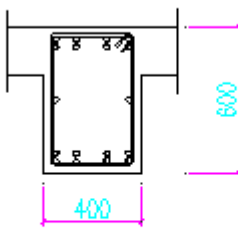
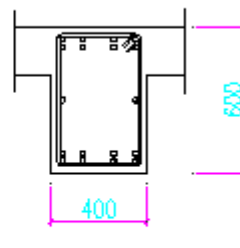
Jadi tulangan yang digunakan adalah 8 D16 dengan A_s sebesar

$$\begin{aligned}A_s &= \text{Jumlah tulangan} \times \text{Luas tulangan} \\ &= 8 \times 0,25 \times 3,14286 \times 256 = 1005,7 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$d_{tul} = 16 \text{ mm} = 0,86614 \text{ in}$$

Jadi tulangan yang digunakan untuk tie beam pada bagian tumpuan berjumlah 8 tulangan dengan diameter 16 mm, dengan A_s 1005,7 mm².



DETAIL TIE BEAM	TYPE TIE BEAM 1	
	TUMPUAN	LAPANGAN
		
DIMENSI	400 x 600	
TUL. ATAS	8 D 16	8 D 16
TUL. BAWAH	8 D 16	8 D 16
TUL. TENGAH	2 D 16	2 D 16
TUL. SENGKANG	D10 - 250	D10 - 300

Gambar 4.30 Detail Penulangan Lentur *Tie Beam* Bagian Tumpuan

Sumber : Data Pribadi

Penulangan lentur bagian lapangan

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{1}{3} \times M_u \text{ kolom} \\
 &= 0,33 \times 93832 \\
 &= 31277 \text{ kgm} \\
 &= 226,2 \text{ ft-k}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_u}{\phi b d^2} \\
 &= \frac{226,2 \times 12 \times 1000}{0,9 \times 15,74 \times 21,6^2} = 408,5 \text{ Psi}
 \end{aligned}$$

Menghitung presentase tulangan baja (ρ)

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 \cdot f'_c}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 4.213}{58000} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 408,5}{0,85 \times 4.213}} \right) = 0,0075
 \end{aligned}$$

Menghitung presentase maksimal tulangan baja (ρ_{max})

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \beta f'_c}{f_y} \left[\frac{87000}{87000 + f_y} \right] \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 4213,346}{58000} \left[\frac{87000}{87000 + 58000} \right] \\
 &= 0,03148
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\rho_{max} &= 0,75\rho_b \\ &= 0,023\end{aligned}$$

Menghitung presentase minimum tulangan baja (ρ_{min})

$$\begin{aligned}\rho_{min} &= \frac{3\sqrt{f_c'}}{f_y} \\ &= \frac{3\sqrt{29}}{400} = 0,00336\end{aligned}$$

Tetapi tidak boleh kurang dari

$$\frac{200}{f_y} = 0,00345$$

Menghitung luas tulangan baja yang dibutuhkan

Gunakan ρ_{min} sebab $\rho > \rho_{max}$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,00345 \times 15,7 \times 21,6 = 1,17 \text{ in}^2 \\ A_s &= 1,17 \times 645,16 = 758,42 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jadi tulangan yang digunakan adalah 8 D16 dengan A_s sebesar

$$\begin{aligned}A_s &= \text{Jumlah tulangan} \times \text{Luas tulangan} \\ &= 8 \times 0,25 \times 3,14286 \times 256 \\ &= 1005,7 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$d_{tul} = 16 \text{ mm}$$

Jadi tulangan yang digunakan untuk tie beam pada bagian lapangan berjumlah 8 tulangan dengan diameter 16 mm, dengan A_s 1005,7 mm².



DETAIL TIE BEAM	TYPE TIE BEAM 1	
	TUMPUAN	LAPANGAN
DIMENSI	400 x 600	
TUL. ATAS	8 D.16	8 D.16
TUL. BAWAH	8 D.16	8 D.16
TUL. TENGAH	2 D.16	2 D.16
TUL. SENGKANG	D10 - 250	D10 - 300

Gambar 4.31 Penulangan Lentur *Tie Beam* Bagian Lapangan

Sumber : Data Pribadi

Penulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{1}{3} \times V_u \text{ kolom} \\
 &= 0,33 \times 93830 \\
 &= 31277 \text{ kg} = 68953 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

Mencari kebutuhan sengkang

$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= 0,85 \times (2 \times \sqrt{f'c} \times b \times d) \\
 &= (0,85) \times (2 \times \sqrt{4213,34} \times 15,7 \times 21,6) \\
 &= 37629 \text{ lb}
 \end{aligned}$$

$$0,5 \cdot \phi V_c = 18814 \text{ lb}$$

Sedangkan diperlukan jika $V_u > 0,5 \phi V_c$ (peraturan ACI 11.5.5.1)

$$0,5 \phi V_c \dots V_u$$

$$18814 < 68953 \text{ (Perlu sengkang)}$$

Mencari jarak teoritis sengkang 2 kaki (sengkang #3) dengan $A_v = 0,11 \text{ in}$

$$V_s = \frac{\phi V_c - V_u}{\phi}$$

$$V_s = \frac{37629 - 68953,2}{0,85} = -36853 \text{ lb}$$

Karena hasil V_s negatif, maka digunakan sengkang praktis #3 atau $\phi 10$ dengan jarak sengkang minimum :



Menghitung luas geser tulangan praktis minimum (A_v)

$$\begin{aligned} s &= d/2 \\ &= 21,7 / 2 \\ &= 10,8 \text{ in} \\ &= 275 \text{ in} \end{aligned}$$

Jadi perencanaan sengkang praktis menggunakan sengkang #3 atau $\emptyset 10$ dengan jarak sebagai berikut :

$$\text{Tumpuan} = \emptyset 10 - 275 \text{ mm} = 523,8 \text{ mm}^2$$

$$\text{Lapangan} = \emptyset 10 - 325 \text{ mm} = 392,9 \text{ mm}^2$$

Cek pendimensian balok

Menurut peraturan ACI 11.5.6.8, V_s tidak boleh $> (8 \sqrt{f'_c} bd)$

$$V_s \dots\dots (8 \sqrt{f'_c} bd) = 8 \times \sqrt{29} \times 15,7 \times 21,6 = 177075,63$$

-36853 lb $<$ 177075,63 lb **OK** (Maka tidak diperlukan dimensi balok).

4.9 Perencanaan Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang adalah bagian dari struktur yang digunakan untuk menerima dan mentransfer beban dari struktur atas ke tanah penunjang yang terletak pada kedalaman tertentu.

Direncanakan menggunakan Pancang dengan diameter 60 cm :

A. Menentukan Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal

Pondasi direncanakan pada hingga kedalaman 12 m.

$$Pa = \frac{qc \cdot A}{FK1} + \frac{T_f \cdot A_{st}}{FK2}$$

$$P_{all} = \frac{150 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 60^2)}{3} + \frac{1370 \cdot (157,14)}{5}$$

$$P_{all} = 141271,4 \text{ kg}$$

$$P_{all} = 141,2714 \text{ Ton pada kedalaman 19 m}$$

B. Daya Dukung Ijin Tarik

$$Pa = \frac{(T_f \cdot A_{st}) \cdot 0,7}{FK2} + wp$$



$$Pa = \frac{(1370.157,1429) \cdot 0,7}{5} + 8957,143$$

$$Pa = 39,09 \text{ Ton}$$

C. Penentuan Jumlah Tiang Pancang

$$P = F3 = 770,4443 \text{ kg}$$

$$P_{\text{all}} (\text{Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal}) = 141,2714 \text{ Ton}$$

$$\text{jumlah tiang, } n = \frac{P}{P_{\text{all}}}$$

$$n = \frac{770,4443}{141,2714}$$

$$n = 5,453646 \approx 9$$

D. Menghitung Efisiensi Kelompok Tiang

Dipakai persamaan Conversi – Labarre (Pamungkas dan Erny, 2013) :

$$Eg = 1 - \varphi \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n} \right]$$

Keterangan :

- m = jumlah baris
- n = jumlah pancang dalam baris
- d = diameter tiang (mm)
- s = jarak sengkang, (mm)
- φ = $\arctan (d/s)$, dalam derajat ($^{\circ}$)

Daya Dukung Tiang Pancang

$$P_{\text{ult}} = \eta \cdot P_{\text{tiang}} \cdot \text{Jumlah tiang}$$

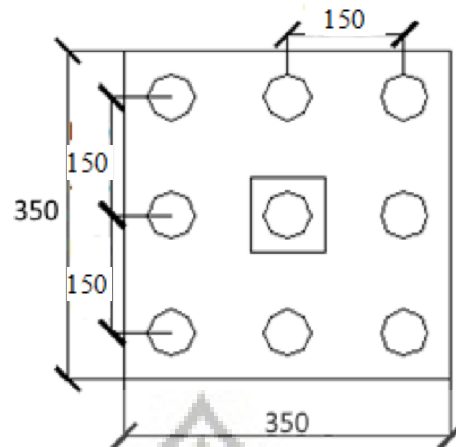
$$P_{\text{ult}} = 0,7039 \cdot 141,2714 \cdot 9$$

$$P_{\text{ult}} = 895,0086 \text{ Ton} >$$

$$P = 770,4443 \text{ (OK)}$$

Beban Maksimum tiang pada kelompok tiang

$$Pa = \frac{Pu}{n} + \frac{Mx \cdot y_{\text{max}}}{nx \Sigma y^2} + \frac{My \cdot x_{\text{max}}}{ny \Sigma x^2}$$



Gambar 4.32 Denah Tiang Pancang Diameter 60 cm

Sumber : Data Pribadi

Digunakan poer (*pile cap*) ukuran 3,5 m x 3,5 m, tebal 80 cm, dengan jarak antar tiang-tiang 125 cm dan jarak tiang ke tepi 50 cm

$$P_u = 770,4443 \text{ kg}$$

$$n_p = 9$$

$$x_{\max} = 1,25 \text{ m}$$

$$y_{\max} = 1,25 \text{ m}$$

$$n_x = 51,1048 \text{ Ton.m}$$

$$n_y = 38,16552 \text{ Ton.m}$$

$$\Sigma x^2 = 2a^2$$

$$\Sigma x^2 = 2 \cdot 1,5625^2$$

$$\Sigma x^2 = 3,125 \text{ m}^2$$

$$\Sigma y^2 = 2a^2$$

$$\Sigma y^2 = 2 \cdot 1,5625^2$$

$$\Sigma y^2 = 3,125 \text{ m}^2$$



$$P_{all} = \frac{770,4443}{9} + \frac{38,165 \cdot 1,25}{3 \cdot 12,5} + \frac{51,1048 \cdot 1,25}{3 \cdot 12,5}$$

$$P_{all} = 88580,6 \text{ kg} = 88,58 \text{ Ton}$$

P_{all} yang bekerja pada 1 tiang pancang < P_{ult} 1 tiang pancang

$$88,58 \text{ Ton} < 141,2714 \text{ Ton} \dots\dots\dots \text{AMAN}$$

4.10 Perencanaan dak atap

1. Data-data :

Tebal plat = 12 cm = 0,12 m

Tebal spasi keramik = 3 cm = 0,03 m

2. Berat jenis :

Beton bertulang = 2400 kg/m³

Adukan semen / cm tebal = 21 kg/m²

Penutupan lantai / cm tebal = 24 kg/m²

Plafon + penggantung = 18 kg/m²

Mutu beton K-350 = 29 MPa

Pembebanan plat lantai

3. Perhitungan Pembebanan lantai

Beban hidup (LL) yang bekerja pada lantai = 250 kg/m²

Beban Mati (DL) tebal 12 cm

a. Beban plat = $0,12 \times 2.400 \text{ kg/m}^3$ = 288 kg/m²

b. Beban spesi (3 cm) = $0,03 \times 21 \text{ kg/m}^3$ tebal = 0,63 kg/m²

c. Beban keramik (1 cm) = $0,01 \times 24 \text{ kg/m}^3$ = 0,24 kg/m²

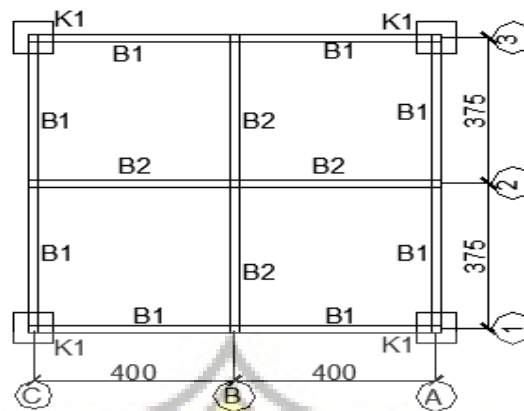
d. Penggantung + Plafon = 11 + 7 = 18 kg/m²

e. Urugan pasir = $0,05 \times 1800 \text{ kg/m}^3$ = 90 kg/m²

Total (q_{DL}) = 307 kg/m²



4. Penulangan Plat lantai 1-5



Gambar 4.33 Plat Dak Atap

Sumber : Data pribadi

$$l_x = 3750 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} q_u &= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL} \\ &= 1,2 (307) + 1,6 (250) \\ &= 768,2 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan jarak tulangan plat lantai

Data-data plat lantai

$$\text{Lebar plat } (l_y) = 400 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang plat } (l_x) = 375 \text{ cm}$$

$$\text{Diameter tulangan } (\emptyset) = 0,1 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal plat } (t) = 12 \text{ cm}$$

$$\text{Selimut beton } (d') = 2,5 \text{ cm}$$

Mencari koefisien C_x dan C_y

$$\frac{l_y}{l_x} = \frac{4}{3,75} = 1,06$$



→ Nilai C_x

Tabel 4.19 Penentuan nilai C_x Perhitungan Plat Lantai 1-5

		l_y/l_x	1,0	1,1
I		$(M_{lx}) = 0,001 qlx^2 X$	44	52
		$(M_{ly}) = 0,001 qlx^2 X$	44	45
II		$(M_{lx}) = - (M_{tx}) = 0,001 qlx^2 X$	36	42
		$(M_{ly}) = 0,001 qlx^2 X$	36	37
		$- (M_{ty}) = 0,001 qlx^2 X$	36	37

Sumber: tabel 13.3.1 pbi 1971

Nilai C_x diperoleh dengan cara interpolasi

l_y/l_x	1	1,06667	1,1
M_{lx}	36	C_x	42

$$C_x = \frac{1,06-1}{1,1-1} = \frac{C_x-36}{42-36}$$

$$C_x = 40$$

Jadi, nilai C_x yang diperoleh sebesar 40

→ Nilai C_y

Tabel 4.20 Penentuan nilai C_y Perhitungan Plat Lantai 1-5

		l_y/l_x	1,0	1,1
I		$(M_{lx}) = 0,001 qlx^2 X$	44	52
		$(M_{ly}) = 0,001 qlx^2 X$	44	45
II		$(M_{lx}) = - (M_{tx}) = 0,001 qlx^2 X$	36	42
		$(M_{ly}) = 0,001 qlx^2 X$	36	37
		$- (M_{ty}) = 0,001 qlx^2 X$	36	37

Sumber: tabel 13.3.1 pbi 1971

Nilai C_y diperoleh dengan cara interpolasi

l_y/l_x	1	1,06667	1,1
M_{ly}	36	C_y	37



$$C_y = \frac{1,06 - 1}{1,1 - 1} = \frac{C_x - 36}{37 - 36}$$

$$C_y = 36,6$$

Jadi, nilai C_y yang diperoleh sebesar 36,6

Penulangan arah x

Mencari jarak tulangan arah x dengan tulangan 10 mm

$$\begin{aligned} d_x &= t - d' - \frac{\phi_x}{2} \\ &= 120 - 25 - 5 = 90 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ux} &= 0,001 \times q_u \times C_x \times l_x^2 \\ &= 0,001 \times 768,2 \times 40 \times 14,1 \\ &= 432,1 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$M_{nx} = \frac{M_{ux}}{\phi} = \frac{432,1}{0,8} = 540,17 \text{ kgm} = 5401716 \text{ Nmm}$$

Persamaan a_x

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

$$0,5 (0,85 \times 29 \times 1000) a_x^2 - (0,85 \times 29 \times 1000 \times 90) a_x + 5401716 = 0$$

$$12346,3 \times a_x^2 - 2222325 \times a_x + 5401716 = 0$$

Rumus ABC

$$a_x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a_x = \frac{-2222325 \pm \sqrt{2222325^2 - 4 \times 12346,25 \times 5401716}}{2 \times 12346,3}$$

$$a_{x1} = 177,53$$

$$a_{x2} = 2,46$$



Diambil nilai terkecil dari a_{x1} dan a_{x2} sebagai nilai a_x yaitu 2,46

Menghitung luas tulangan baja yang diperlukan (A_{s_x})

Mutu baja BJ 24, $f_y = 240$ MPa

$$\begin{aligned} A_{s_x 1} &= \frac{0,85 \times f_c' \times a_x \times 1000}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 29 \times 2,46 \times 1000}{240} \\ &= 253,55 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_x 2} &= \frac{\sqrt{f_c'} \times 1000 \times d_x}{4f_y} \\ &= \frac{\sqrt{29} \times 1000 \times 90}{4 \times 240} \\ &= 505,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_x 3} &= \frac{1,4 \times 1000 \times d_x}{f_y} \\ &= \frac{1,4 \times 1000 \times 90}{240} = 525 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

A_{s_x} diambil nilai yang terbesar, yaitu sebesar 525 mm^2

Menentukan jarak tulangan arah x

$$\text{Jarak arah } x = (1/4\pi\phi_x^2/A_{s_x}) \times 1000 = 149,65 \text{ mm} = 125 \text{ mm}$$

Jadi tulangan yang digunakan d10-125 mm

Penulangan arah y

Mencari jarak tulangan arah y dengan tulangan 10 mm

$$\begin{aligned} d_y &= t - d' - \phi_x - \frac{\phi_y}{2} \\ &= 120 - 25 - 10 - 5 = 80 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= 0,001 \times q_u \times C_x \times l_y^2 \\ &= 0,001 \times 768,2 \times 36,6 \times 16 = 450,7 \text{ kg.m} \end{aligned}$$



$$M_{ny} = \frac{M_{uy}}{\phi} = \frac{450,7}{0,8} = 563,37 \text{ kgm} = 5633789 \text{ Nmm}$$

Persamaan a_y

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

$$0,5 (0,85 \times 29 \times 1000) a_y^2 - (0,85 \times 29 \times 1000 \times 80) a_y + 56337893 = 0$$

$$12346,3 \times a_y^2 - 1975400 \times a_y + 5633789 = 0$$

Rumus ABC

$$a_y = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a_y = \frac{-1975400 \pm \sqrt{1975400^2 - 4 \times 12346,25 \times 5633789}}{2 \times 12346,3}$$

$$a_{y1} = 157,09$$

$$a_{y2} = 2,90$$

Diambil nilai terkecil dari a_{y1} dan a_{y2} sebagai nilai a_y yaitu 2,90

Menghitung luas tulangan baja yang diperlukan (A_{s_y})

Mutu baja BJ 24, $f_y = 240 \text{ MPa}$

$$A_{s_y 1} = \frac{0,85 \times f_c' \times a_y \times 1000}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 29 \times 2,90 \times 1000}{240}$$

$$= 298,85 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_y 2} = \frac{\sqrt{f_c' \times 1000 \times d_y}}{4f_y}$$

$$= \frac{\sqrt{29 \times 1000 \times 80}}{4 \times 240}$$

$$= 449,15 \text{ mm}^2$$



$$\begin{aligned} A_{s_y} 3 &= \frac{1,4 \times 1000 \times d_y}{f_y} \\ &= \frac{1,4 \times 1000 \times 80}{240} \\ &= 466,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

A_{s_y} diambil nilai yang terbesar, yaitu sebesar $466,67 \text{ mm}^2$

Jarak arah $y = (1/4\pi\phi_y^2/A_{s_y}) \times 1000 = 168,4 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$

Jadi tulangan yang digunakan D10-150 mm.

