

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Struktur Sekunder

4.1.1 Perencanaan Struktur Atap (dak)

Struktur atap yang digunakan adalah atap dari pelat beton bertulang, pelat atap diasumsikan sebagai beban pada struktur bukan sebagai pengekang struktur. Spesifikasi yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Beton yang digunakan mutu (f_c') = 25 Mpa
- b. Tulangan menggunakan baja mutu (f_y) = 400 Mpa

Perencanaan tebal pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya $\frac{L_x}{L_y} < 2$ maka harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- 1) Untuk $\alpha_m < 0,2$

harus memenuhi ketentuan SNI 2847-2013 tabel 10 dan tidak boleh kurang dari nilai berikut :

- a. Pelat tanpa penebalan > 120 mm
- b. Pelat dengan penebalan > 100 mm

- 2) Untuk $0,2 < \alpha_m < 2,0$

ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h_{min} = \frac{l_n 0,8 + \frac{f_y}{1500}}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} < 120 \text{ mm} \dots\dots\dots(\text{Pers 9-12 SNI 2847-2013})$$

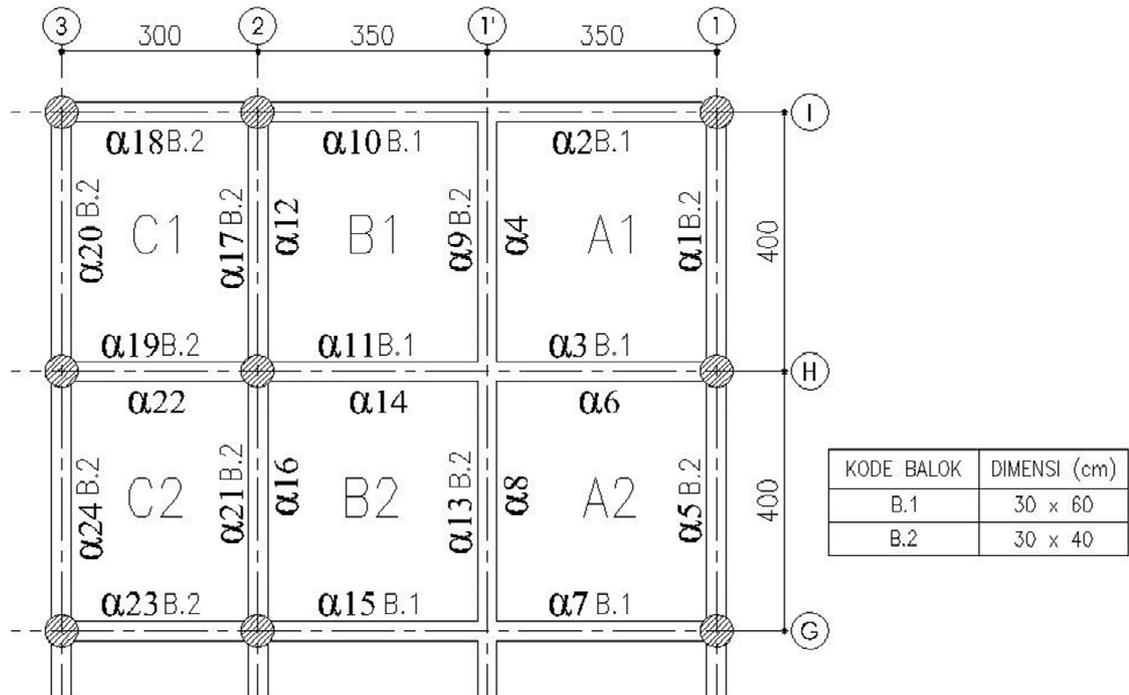
- 3) Untuk $\alpha_m > 2,0$

ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{l_n 0,8 + \frac{f_y}{1500}}{36 + 9\beta} > 90 \text{ mm} \dots\dots\dots(\text{Pers 9-13 SNI 2847-2013})$$

Perencanaan dimensi Pelat atap (Dak)

Untuk menentukan tebal pelat, maka ditinjau panel pelat yang paling luas atau bentang antar balok terpanjang. Adapun data rencana pelat dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut :



Gambar 4.1. Area Rencana Pelat Atap

Tinjau Plat A1, A2, B1 dan B2

Bentang Bersih Sumbu Panjang :

$$l_n = 400 - (30/2) - (30/2) = 370 \text{ cm}$$

Bentang Bersih Sumbu Pendek :

$$s_n = 350 - (30/2) - (30/2) = 320 \text{ cm}$$

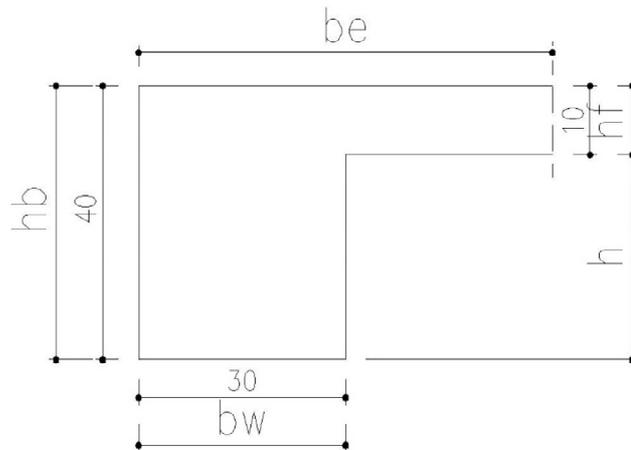
$$\beta = l_n / s_n$$

$$\beta = 370 / 320 = 1,17$$

Direncanakan pelat tebal 12 cm, $f_c' = 25 \text{ Mpa}$

Tinjau rasio kekakuan pada pelat atap area A1 :

Balok as 1 joint H-I



Gambar 4.2. Rencana Balok L 30x40 Pelat Atap

$$be \leq bw + hb - hf \quad : 30 + 40 - 10 \quad = 60 \text{ cm}$$

$$be \leq bw + 6 \times 12 \quad : 30 + 6 \times 10 \quad = 90 \text{ cm}$$

pilih nilai terkecil $be = 60 \text{ cm}$

Penampang di ekuivalen-kan menjadi penampang homogen, dengan angka ekuivalensi :

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} = \frac{1 + \left(\frac{60}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{30}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{10}{30}\right)^2 + \left(\frac{60}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{30}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{60}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{30}\right)}$$

$$= 1,593$$

Inersia penampang balok L :

$$I = K \frac{bw \cdot hb^3}{12}$$

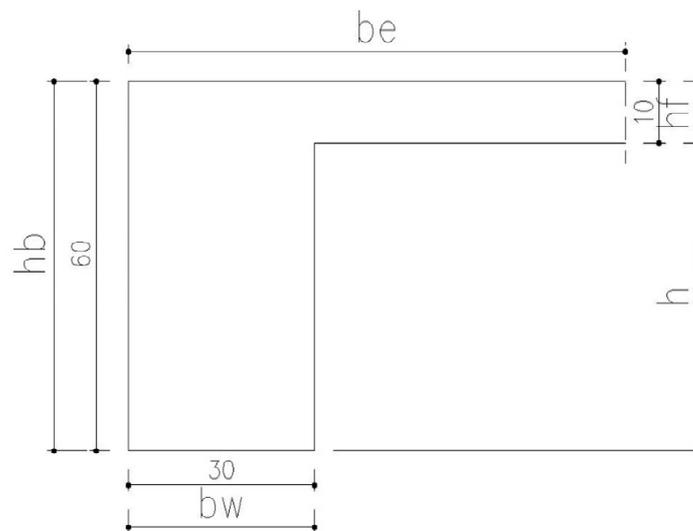
$$I_b = 1,593 \times \frac{30 \cdot 40^3}{12} = 254814,8 \text{ cm}^4$$

Inersia lajur pelat :

$$I_p = \frac{bp \cdot t^3}{12} = \frac{400 \cdot 10^3}{12} = 33333,33 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{254814,8}{33333,33} = 7,64$$

Balok as I joint 1-1'



Gambar 4.3. Rencana Balok L 30x60 Pelat Atap

$$be \leq bw + hb - hf \quad : 30 + 60 - 10 \quad = 80 \text{ cm}$$

$$be \leq bw + 6 \times 12 \quad : 30 + 6 \times 12 \quad = 90 \text{ cm}$$

pilih nilai terkecil $be = 80 \text{ cm}$

Penampang di ekuivalen-kan menjadi penampang homogen, dengan angka ekivalensi :

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} = \frac{1 + \left(\frac{80}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{50}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{10}{50}\right)^2 + \left(\frac{80}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{50}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{80}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{50}\right)}$$

$$= 1,693$$

Inersia penampang balok L :

$$I = K \frac{bw \cdot hb^3}{12}$$

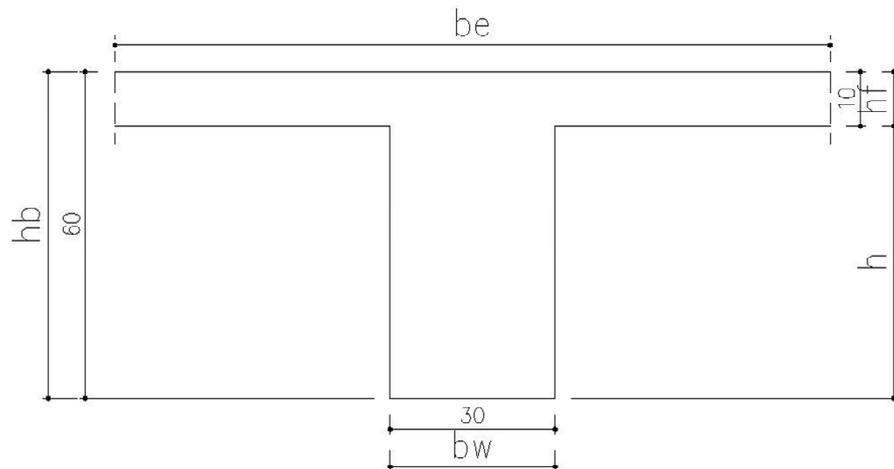
$$Ib = 1,693 \times \frac{30 \cdot 60^3}{12} = 914400 \text{ cm}^4$$

Inersia lajur pelat :

$$I_p = \frac{bp \cdot t^3}{12} = \frac{350 \cdot 10^3}{12} = 29166,67 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_2 = \frac{Ib}{I_p} = \frac{914400}{29166,67} = 31,35$$

Balok as H joint 1-1'



Gambar 4.4. Rencana Balok T 30x60 Pelat Atap

$$be \leq bw + 2x (hb - hf) : 30 + 2x(60 - 10) = 130 \text{ cm}$$

$$be \leq bw + 8 x hf : 30 + 8x10 = 110 \text{ cm}$$

pilih nilai terkecil be = 110 cm

Penampang di ekivalen-kan menjadi penampang homogen, dengan angka ekivalensi :

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} = \frac{1 + \left(\frac{110}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{50}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{10}{50}\right)^2 + \left(\frac{110}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{50}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{110}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{50}\right)}$$

$$= 1,967$$

Inersia penampang balok L :

$$I = K \frac{bw \cdot hb^3}{12}$$

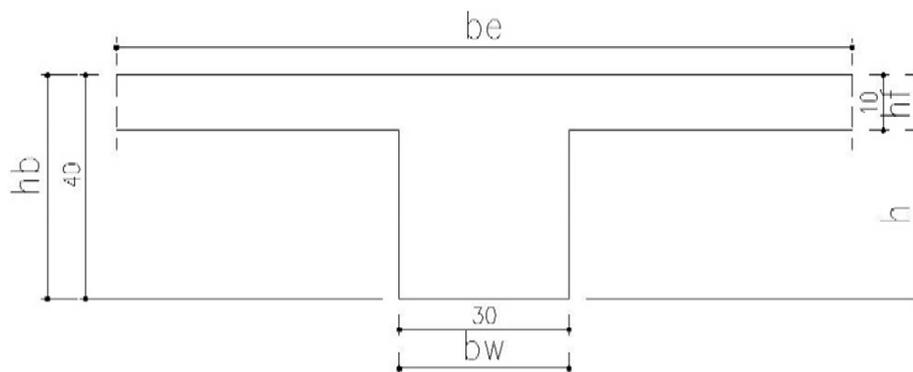
$$I_b = 1,967 \times \frac{30 \cdot 60^3}{12} = 1062407 \text{ cm}^4$$

Inersia lajur pelat :

$$I_p = \frac{bp \cdot t^3}{12} = \frac{350 \cdot 10^3}{12} = 29166,67 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_3 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1062407}{29166,67} = 36,43$$

Balok as 1' joint H-I



Gambar 4.5. Rencana Balok T 30x40 Pelat Atap

$$be \leq bw + 2x (hb - hf) : 30 + 2x(40 - 10) = 90 \text{ cm}$$

$$be \leq bw + 8 \times hf : 30 + 8 \times 10 = 110 \text{ cm}$$

pilih nilai terkecil $be = 90 \text{ cm}$

Penampang di ekivalen-kan menjadi penampang homogen, dengan angka ekivalensi :

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} = \frac{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{30}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{10}{30}\right)^2 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{30}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{30}\right)}$$

$$= 1,963$$

Inersia penampang balok L :

$$I = K \frac{bw \cdot hb^3}{12}$$

$$I_b = 1,963 \times \frac{30 \cdot 40^3}{12} = 314074,1 \text{ cm}^4$$

Inersia lajur pelat :

$$I_p = \frac{bp \cdot t^3}{12} = \frac{400 \cdot 10^3}{12} = 33333,33 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_4 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{314074}{33333,33} = 9,422$$

Rasio kekauan rata-rata pada pelat atap area A1 :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} = \frac{7,64 + 31,35 + 36,43 + 9,42}{4} = 21,21$$

Tinjau rasio kekakuan pada pelat atap area A2 :

Balok as 1 joint G-H = Balok as 1 joint H-I

$$\alpha_5 = 7,64$$

Balok as H joint 1-1'

$$\alpha_6 = 36,43$$

Balok as G joint 1-1' = Balok as H joint 1-1'

$$\alpha_7 = 36,43$$

Balok as 1' joint H-I = Balok as 1' joint G-H

$$\alpha_8 = 9,42$$

Rasio kekakuan rata-rata pada pelat atap area A2 :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_5 + \alpha_6 + \alpha_7 + \alpha_8}{4} = \frac{7,64 + 36,43 + 36,43 + 9,42}{4} = 22,48$$

Tinjau rasio kekakuan pada pelat atap area B1 :

Balok as 1' joint H-I

$$\alpha_9 = 9,42$$

Balok as I joint 1'-2 = Balok as I joint 1-1'

$$\alpha_{10} = 31,35$$

Balok as H joint 1'-2 = Balok as H joint 1-1'

$$\alpha_{11} = 36,43$$

Balok as 2 joint H-I = Balok as 1' joint H-I

$$\alpha_{12} = 9,42$$

Rasio kekakuan rata-rata pada pelat atap area B1 :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_9 + \alpha_{10} + \alpha_{11} + \alpha_{12}}{4} = \frac{9,42 + 31,35 + 36,43 + 9,42}{4} = 21,65$$

Tinjau rasio kekakuan pada pelat atap area B2 :

Balok as 1' joint G-H = Balok as 1' joint H-I

$$\alpha_{13} = 9,42$$

Balok as H joint 1'-2 = Balok as H joint 1-1'

$$\alpha_{14} = 36,43$$

Balok as G joint 1'-2 = Balok as G joint 1-1'

$$\alpha_{15} = 36,43$$

Balok as 2 joint G-H = Balok as 2 joint H-I

$$\alpha_{16} = 9,42$$

Rasio kekakuan rata-rata pada pelat atap area B2 :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_{13} + \alpha_{14} + \alpha_{15} + \alpha_{16}}{4} = \frac{9,42 + 36,43 + 36,43 + 9,42}{4} = 22,92$$

Tinjau Plat C1 dan C2

Bentang Bersih Sumbu Panjang

$$l_n = 400 - (30/2) - (30/2) = 370 \text{ cm}$$

Bentang Bersih Sumbu Pendek

$$s_n = 300 - (30/2) - (30/2) = 270 \text{ cm}$$

$$\beta = l_n / s_n$$

$$\beta = 370 / 270 = 1,37$$

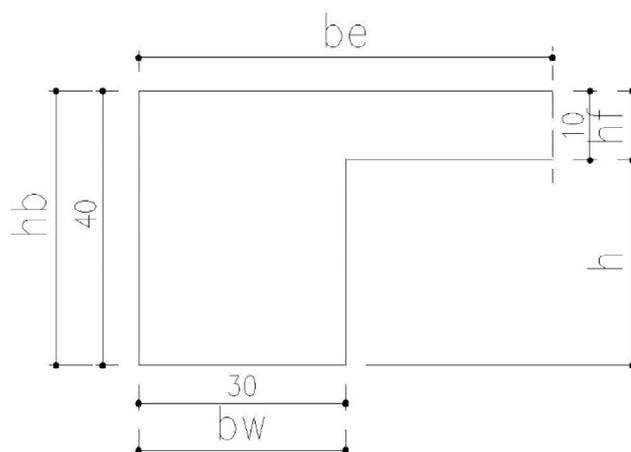
Direncanakan pelat tebal 12 cm, $f_c' = 25 \text{ Mpa}$

Tinjau rasio kekakuan pada pelat atap area C1 :

Balok as 2 joint H-I = Balok as 1' joint H-I

$$\alpha_{17} = 9,42$$

Balok as I joint 2-3



Gambar 4.6. Rencana Balok L 30x40 Pelat Atap

$$be \leq bw + hb - hf \quad : 30 + 40 - 10 \quad = 60 \text{ cm}$$

$$be \leq bw + 6 \times 12 \quad : 30 + 6 \times 12 \quad = 90 \text{ cm}$$

pilih nilai terkecil $b_e = 60 \text{ cm}$

Penampang di ekuivalen-kan menjadi penampang homogen, dengan angka ekuivalensi :

$$k = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} = \frac{1 + \left(\frac{60}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{30}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{10}{30}\right)^2 + \left(\frac{60}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{30}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{60}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{30}\right)}$$

$$= 1,593$$

Inersia penampang balok L :

$$I = K \frac{b_w \cdot h b^3}{12}$$

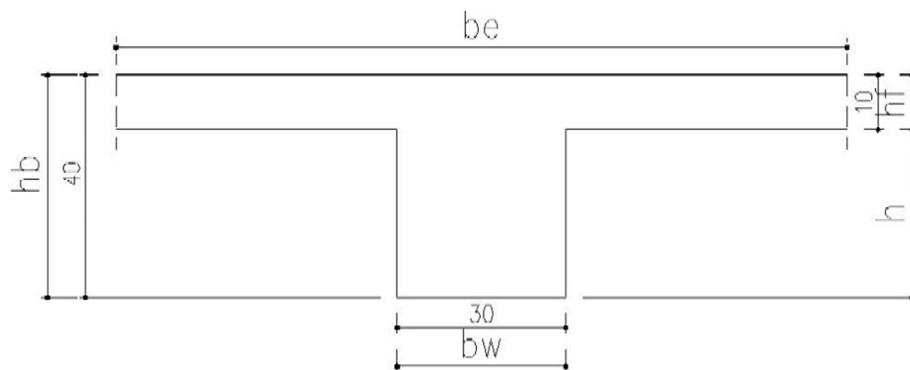
$$I_b = 1,593 \times \frac{30 \cdot 40^3}{12} = 254814,8 \text{ cm}^4$$

Inersia lajur pelat :

$$I_p = \frac{b p \cdot t^3}{12} = \frac{300 \cdot 10^3}{12} = 25000 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_{18} = \frac{I_b}{I_p} = \frac{254814,8}{25000} = 10,19$$

Balok as H joint 2-3



Gambar 4.7. Rencana Balok T 30x40 Pelat Atap

$$b_e \leq b_w + 2x (h_b - h_f) : 30 + 2x(40 - 10) = 90 \text{ cm}$$

$$b_e \leq b_w + 8 x h_f : 30 + 8x10 = 110 \text{ cm}$$

pilih nilai terkecil $b_e = 90 \text{ cm}$

Penampang di ekivalen-kan menjadi penampang homogen, dengan angka ekivalensi :

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} = \frac{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{30}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{10}{30}\right)^2 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{30}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{90}{30} - 1\right) \left(\frac{10}{30}\right)}$$

$$= 1,963$$

Inersia penampang balok L :

$$I = K \frac{bw \cdot hb^3}{12}$$

$$I_b = 1,963 \times \frac{30 \cdot 40^3}{12} = 314074,1 \text{ cm}^4$$

Inersia lajur pelat :

$$I_p = \frac{bp \cdot t^3}{12} = \frac{300 \cdot 10^3}{12} = 25000 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_{19} = \frac{I_b}{I_p} = \frac{314074,1}{25000} = 12,56$$

Balok as 3 joint H-I = Balok as 1 joint H-I

$$\alpha_{20} = 7,64$$

Rasio kekakuan rata-rata pada pelat atap area C1 :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_{17} + \alpha_{18} + \alpha_{19} + \alpha_{20}}{4} = \frac{9,42 + 10,19 + 12,56 + 7,64}{4} = 9,95$$

Tinjau rasio kekakuan pada pelat atap area C2 :

Balok as 2 joint G-H = Balok as 2 joint H-I

$$\alpha_{21} = 9,42$$

Balok as H joint 2-3 = Balok as H joint 2-3

$$\alpha_{22} = 12,56$$

Balok as G joint 2-3 = Balok as H joint 2-3

$$\alpha_{23} = 12,56$$

Balok as 3 joint G-H = Balok as 3 joint H-I

$$\alpha_{24} = 7,64$$

Rasio kekauan rata-rata pada pelat atap area C2 :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_{21} + \alpha_{22} + \alpha_{23} + \alpha_{24}}{4} = \frac{9,42 + 12,56 + 12,56 + 7,54}{4} = 10,54$$

Dari ke 6 Tipe plat diatas yang terdiri dari : plat A1=21,21; plat A2=22,48; plat B1=21,65; plat B2=22,92; plat C1=9,95; dan plat C2=10,54; maka diambil rata-rata α_m terkecil yaitu Plat C1 dengan nilai $\alpha_m = 9,95$.

Karena $\alpha_m > 2,0$ maka dipakai (Pers 9-13 SNI 2847-2013) :

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9\beta} > 90 \text{ mm}$$

$$h = \frac{3700 \left(0,8 + \frac{400}{1500} \right)}{36 + 9 \cdot 1,17} = 84,82 \text{ mm} \sim 85 \text{ mm} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

maka pelat tebal 100 mm bisa dipakai

4.1.2 Perencanaan Penulangan Pelat Atap (dak)

Untuk pembebanan direncanakan pelat menerima beban-beban sesuai dengan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung 1983.

Pembebanan untuk pelat tipe A :

Beban mati (qd)

Berat sendiri	= 0,10 m x 2400 kg/m ³	= 240 kg/m ²
Plafond + penggantung	= 11 kg/m ² + 7 kg/m ²	= 18 kg/m ²
<u>Mekanikal Elektrikal</u>	<u>= 1 x 25 kg/m²</u>	<u>= 25 kg/m²</u>
Beban total		= 283 kg/m ²

Beban hidup (ql)

Beban hidup adalah 100 kg/m²

Kombinasi pembebanan (qu)

Kombinasi pembebanan yang digunakan perhitungan penulangan pelat sesuai dengan SNI 2847-2013.

$$\begin{aligned}q_u &= 1,2 q_d + 1,6 q_l \\ &= 1,2 \times 283 \text{ kg/m}^2 + 1,6 \times 100 \text{ kg/m}^2 \\ &= 499,6 \text{ kg/m}^2 \\ &= 4,996 \text{ KN/m}^2\end{aligned}$$

4.1.2.1 Analisa Gaya Dalam

Dalam menganalisa gaya dalam yang terjadi pada pelat digunakan pasal 13.3 Tabel 13.3.1 PBI 1971 sebagai acuan. Perletakan yang digunakan pada pelat terhadap balok tepi dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\alpha_m \leq 0,375 & \longrightarrow \text{sebagai pelat tanpa balok tepi} \\ 0,375 \leq \alpha_m \leq 1,875 & \longrightarrow \text{sebagai balok tepi yang fleksibel} \\ \alpha_m \geq 2,0 & \longrightarrow \text{sebagai balok tepi kaku}\end{aligned}$$

Penentuan syarat batas :

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{4000}{3500} = 1,14 \text{ (pelat dua arah)}$$

Perencanaan tebal pelat :

Tebal pelat minimum yang telah memenuhi syarat adalah sebesar 100 mm.

Karena pada perhitungan kekakuan rata-rata balok terhadap pelat pada tipe pelat A diperoleh 1,14 maka untuk perletakan tipe pelat A dapat diasumsikan sebagai pelat dengan balok tepi yang fleksibel atau terjepit penuh pada keempat sisinya.

Untuk pelat terjepit penuh keempat sisinya :

$$1. Ml_x = 0,001qu \cdot I_x^2 \cdot X$$

$$2. Ml_y = 0,001qu \cdot I_x^2 \cdot X$$

$$3. Mt_x = 0,001qu \cdot I_x^2 \cdot X$$

$$4. Mt_y = 0,001qu \cdot I_x^2 \cdot X$$

Dimana :

Ml_x = momen lapangan arah x

Ml_y = momen lapangan arah y

Mt_x = momen tumpuan arah x

Mt_y = momen tumpuan arah y

L_x = bentang terpendek dari pelat

X = koefisien (*Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang; Ir W. C. Vis dan Ir. Gideon Kusuma M. Eng*)

Perhitungan penulangan pelat menggunakan diameter tulangan polos 10 mm untuk tulangan utama dan 10 mm untuk tulangan susut dengan mutu baja 400 MPa dan mutu beton 25 MPa. Direncanakan tebal selimut pelat 20 mm (*Tabel 2.2 Syarat selimut beton (non-prategang)*).

$$1. Ml_x = 0,001qu \cdot I_x^2 \cdot X$$

$$Ml_x = 0,001 \times 4,996 \text{ KN/m}^2 \times (3,5 \text{ m})^2 \times 25$$

$$Ml_x = 1,53 \text{ KNm}$$

$$2. Ml_y = 0,001qu \cdot I_x^2 \cdot X$$

$$Ml_y = 0,001 \times 4,996 \text{ KN/m}^2 \times (3,5 \text{ m})^2 \times 21$$

$$Ml_y = 1,285 \text{ KNm}$$

$$3. Mt_x = (-0,001)qu \cdot I_x^2 \cdot X$$

$$Mt_x = (-0,001) \times 4,996 \text{ KN/m}^2 \times (3,5 \text{ m})^2 \times 59$$

$$M_{t_x} = -3,611 \text{ KNm}$$

$$4. M_{t_y} = (-0,001)q_u \cdot I_x^2 \cdot X$$

$$M_{t_y} = (-0,001) \times 4,996 \text{ KN/m}^2 \times (3,5 \text{ m})^2 \times 54$$

$$M_{t_y} = -3,305 \text{ KNm}$$

4.1.2.2 Perhitungan Tulangan

Data-data Perencanaan :

- a. Tebal pelat lantai (t) = 100 mm
- b. Penutup beton (p) = 20 mm
- c. Mutu beton (f_c') = 25 MPa
- d. Mutu baja (f_y) = 400 MPa
- e. Lebar pelat yang ditinjau = 1000 mm
- f. Diameter tulangan utama = 10 mm

Koefisien reduksi penampang (ϕ) = 0,8

Tinggi efektif untuk arah X

$$d_x = h - \text{tebal selimut} - \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan}$$

$$d_x = 100 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} \times 10 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$$

Tinggi efektif untuk arah Y

$$d_y = h - \text{tebal selimut} - \phi \text{ tulangan} - \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan}$$

$$d_y = 100 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 10 \text{ mm} = 65 \text{ mm}$$

Tulangan minimum dan maksimum

SNI 2847 2013 pasal 10.2.7.3

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \rightarrow \text{untuk beton } f_c' > 28 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0,85 \rightarrow \text{untuk beton } f_c' \leq 28 \text{ Mpa}$$

SNI 2847 2013 pasal 7.12.2.1

$$\rho_{\min} = 0,002$$

SNI 2847-2013, sebagai alternatif, untuk komponen struktur yang besar dan masif, luas tulangan yang diperlukan pada setiap penampang, positif atau negatif, paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan berdasarkan analisis.

SNI 2847 2013 pasal B.8.4.2

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85\beta_i f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{400} \left(\frac{600}{600+400} \right) \\ &= 0,0271\end{aligned}$$

SNI 2847 2013 pasal B.10.3.3, tulangan maksimum untuk struktur lentur adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0271 \\ &= 0,02033 \\ m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,821\end{aligned}$$

4.1.2.2.1. Penulangan Lapangan Arah X

$$M_{lx} = 1,53 \text{ KNm}$$

$$M_{nlx} = \frac{M_{lx}}{\phi} = \frac{1,53 \text{ KNm}}{0,8} = 1,912 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_{nlx}}{b d x^2} = \frac{1,912 \text{ KNm}}{1 \times (0,075)^2} = 340 \text{ KNm} = 0,34 \text{ Mpa}$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 0,34}{400}} \right)\end{aligned}$$

$$= 0,0009$$

Syarat :

$$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\text{maks}}$$

$$0,002 \leq 0,0009 \leq 0,02033$$

$$\rho_{\min} \geq \rho_{\text{perlu}} \quad \text{jadi dipakai } \rho = 0,002$$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_x \\ &= 0,002 \times 1000 \times 75 \\ &= 150 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan lapangan arah X dengan Ø10-250 (*Dasar Perencanaan Beton Bertulang; Ir W. C. Vis dan Ir. Gideon Kusuma M. Eng*)

Luas tulangan pakai :

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{250 \text{ mm}} \\ &= 314 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.1.2.2.2 Penulangan Tumpuan Arah X

$$M_{tx} = 3,61 \text{ KNm}$$

$$M_{ntx} = \frac{M_{tx}}{\phi} = \frac{3,61 \text{ KNm}}{0,8} = 4,512 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_{ntx}}{b d_x^2} = \frac{4,512 \text{ KNm}}{1 \times (0,075)^2} = 802,22 \text{ KNm} = 0,802 \text{ Mpa}$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 0,802}{400}} \right) \\ &= 0,002 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\text{maks}}$$

$$0,002 \leq 0,002 \leq 0,02033$$

$$\rho_{\min} \geq \rho_{\text{perlu}} \quad \text{jadi dipakai } \rho = 0,002$$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_{S\text{perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_x \\ &= 0,002 \times 1000 \times 75 \\ &= 150 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan tumpuan arah X dengan Ø10-200 (*Dasar Perencanaan Beton Bertulang; Ir W. C. Vis dan Ir. Gideon Kusuma M. Eng*)

Luas tulangan pakai :

$$\begin{aligned} A_{S\text{pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \\ &= 392,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.1.2.2.3. Penulangan Lapangan Arah Y

$$M_{ly} = 1,285 \text{ KNm}$$

$$M_{nl_y} = \frac{M_{ly}}{\phi} = \frac{1,285 \text{ KNm}}{0,8} = 1,606 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_{nl_y}}{b \cdot d_x^2} = \frac{1,606 \text{ KNm}}{1 \times (0,065)^2} = 380,177 \text{ KNm} = 0,38 \text{ Mpa}$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 0,38}{400}} \right) \\ &= 0,001 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\text{maks}}$$

$$0,002 \leq 0,001 \leq 0,02033$$

$$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min} \quad \text{jadi dipakai } \rho = 0,002$$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_y \\ &= 0,002 \times 1000 \times 65 \\ &= 130 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan lapangan arah Y dengan Ø10-250 (*Dasar Perencanaan Beton Bertulang; Ir W. C. Vis dan Ir. Gideon Kusuma M. Eng*)

Luas tulangan pakai :

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \\ &= 314 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

4.1.2.2.4. Penulangan Tumpuan Arah Y

$$M_{t_y} = 3,305 \text{ KNm}$$

$$M_{nt_y} = \frac{M_{t_y}}{\phi} = \frac{3,305 \text{ KNm}}{0,8} = 4,131 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_{nt_y}}{b d_x^2} = \frac{4,131 \text{ KNm}}{1 \times (0,065)^2} = 977,81 \text{ KNm} = 0,978 \text{ Mpa}$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 0,978}{400}} \right) \\ &= 0,0025 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\text{maks}}$$

$$0,002 \leq 0,0025 \leq 0,02033$$

$$\rho_{\text{perlu}} \geq \rho_{\text{min}} \quad \text{jadi dipakai } \rho = 0,0025$$

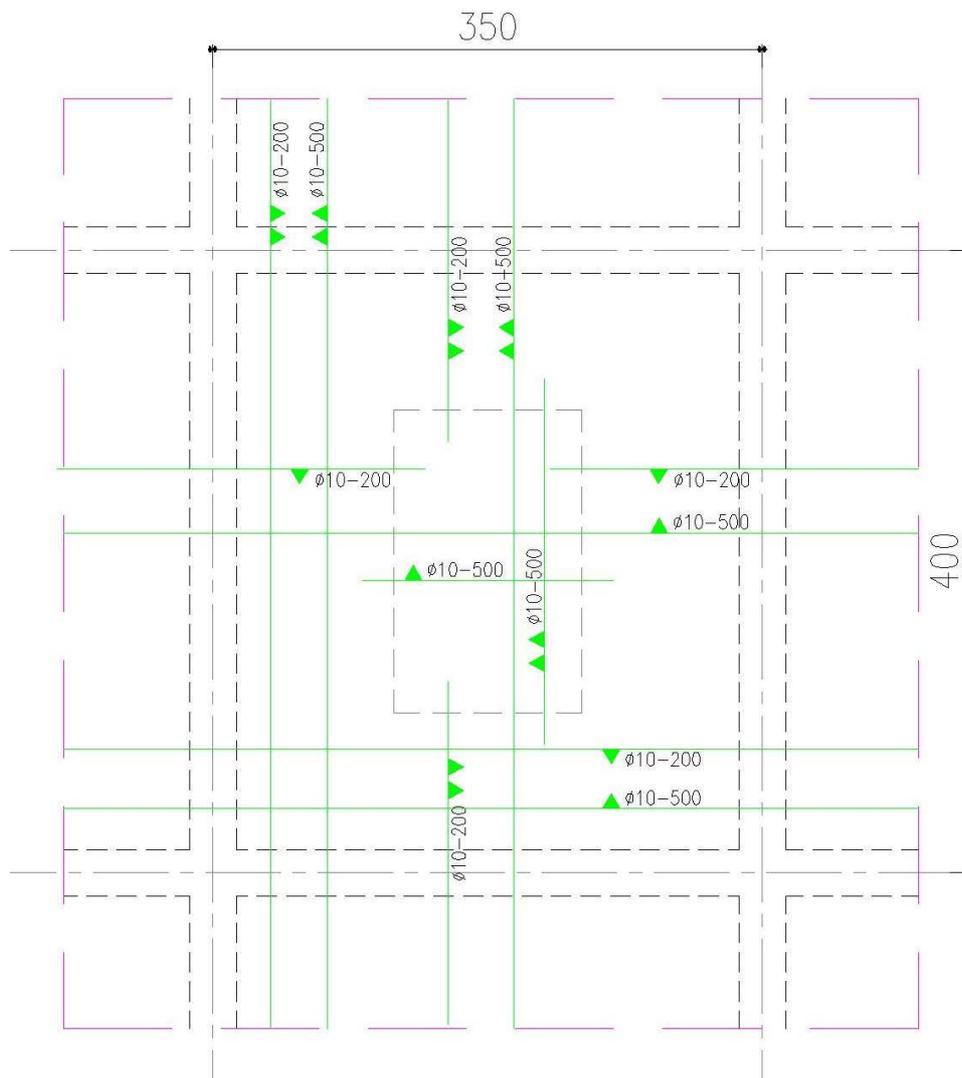
Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_y \\ &= 0,0025 \times 1000 \times 65 \\ &= 162,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai Tulangan tumpuan arah Y dengan Ø10-200 (*Dasar Perencanaan Beton Bertulang; Ir W. C. Vis dan Ir. Gideon Kusuma M. Eng*)

Luas tulangan pakai :

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \\ &= 392,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



Gambar 4.8. Penulangan pelat atap

Tulangan yang dipakai :

- Tulangan lapangan arah X ; $\phi 10-250 = 314 \text{ mm}^2$
- Tulangan lapangan arah Y ; $\phi 10-250 = 314 \text{ mm}^2$
- Tulangan tumpuan arah X ; $\phi 10-200 = 392,5 \text{ mm}^2$
- Tulangan tumpuan arah Y ; $\phi 10-200 = 392,5 \text{ mm}^2$

4.2 Perencanaan Struktur Lantai

Struktur lantai yang digunakan adalah pelat beton bertulang, pelat lantai diasumsikan sebagai beban pada struktur bukan sebagai pengekang struktur.

Spesifikasi yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Beton yang digunakan mutu (f_c') = 25 Mpa
- b. Tulangan menggunakan baja mutu (f_y) = 400 Mpa

Perencanaan tebal pelat minimum dengan balok yang menghubungkan tumpuan pada semua sisinya $\frac{L_x}{L_y} < 2$ maka harus memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- 1) Untuk $\alpha_m < 0,2$

harus memenuhi ketentuan SNI 2847-2013 tabel 10 dan tidak boleh kurang dari nilai berikut :

- a. Pelat tanpa penebalan > 120 mm
- b. Pelat dengan penebalan > 100 mm

- 2) Untuk $0,2 < \alpha_m < 2,0$

ketebalan pelat minimum harus memenuhi :

$$h_{min} = \frac{l_n 0,8 + \frac{f_y}{1500}}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0,2)} < 120 \text{ mm} \dots\dots\dots (\text{Pers 9-12 SNI 2847-2013})$$

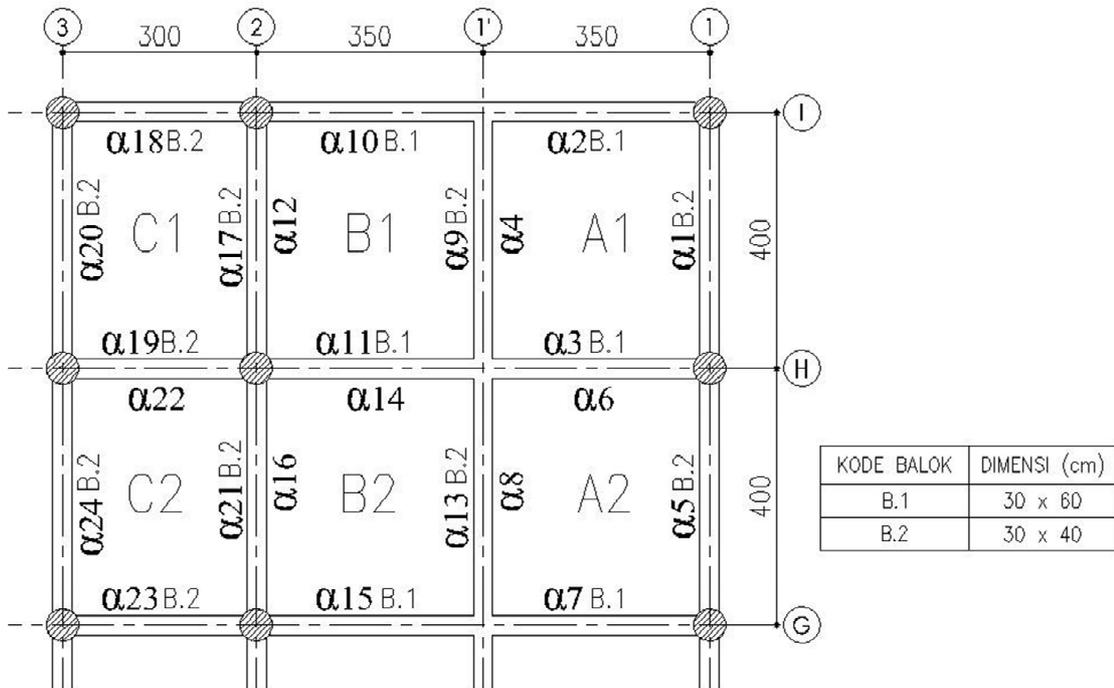
- 3) Untuk $\alpha_m > 2,0$

ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari :

$$h = \frac{l_n 0,8 + \frac{f_y}{1500}}{36 + 9\beta} > 90 \text{ mm} \dots\dots\dots (\text{Pers 9-13 SNI 2847-2013})$$

Perencanaan dimensi pelat lantai

Untuk menentukan tebal pelat, maka ditinjau panel pelat yang paling luas atau bentang antar balok terpanjang. Adapun data rencana pelat dapat dilihat pada gambar 4.11 berikut :



Gambar 4.9. Area Rencana Pelat Lantai

Tinjau Pelat A1, A2, B1 dan B2

Bentang Bersih Sumbu Panjang :

$$l_n = 400 - (30/2) - (30/2) = 370 \text{ cm}$$

Bentang Bersih Sumbu Pendek :

$$s_n = 350 - (30/2) - (30/2) = 320 \text{ cm}$$

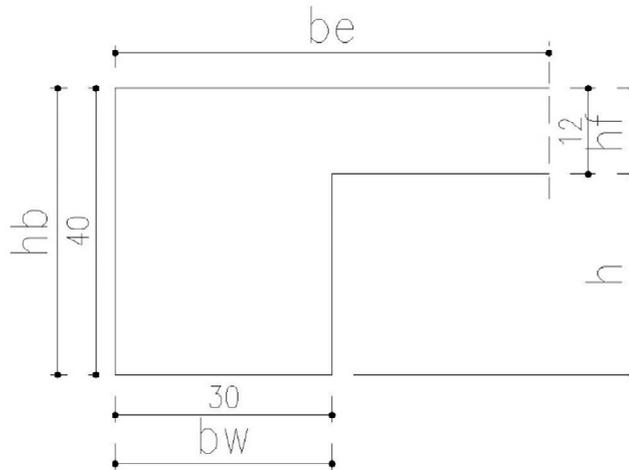
$$\beta = l_n / s_n$$

$$\beta = 370 / 320 = 1,17$$

Direncanakan pelat tebal 12 cm, $f_c' = 25 \text{ Mpa}$

Tinjau rasio kekakuan pada pelat lantai area A1 :

Balok as 1 joint H-I



Gambar 4.10. Rencana Balok L 30x40 Pelat Lantai

$$be \leq bw + hb - hf \quad : 30 + 40 - 12 \quad = 58 \text{ cm}$$

$$be \leq bw + 6 \times 12 \quad : 30 + 6 \times 12 \quad = 102 \text{ cm}$$

pilih nilai terkecil $be = 58 \text{ cm}$

Penampang di ekuivalen-kan menjadi penampang homogen, dengan angka ekuivalensi :

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} = \frac{1 + \left(\frac{58}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{28}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{28}\right)^2 + \left(\frac{58}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{28}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{58}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{28}\right)}$$
$$= 1,563$$

Inersia penampang balok L :

$$I = K \frac{bw \cdot hb^3}{12}$$

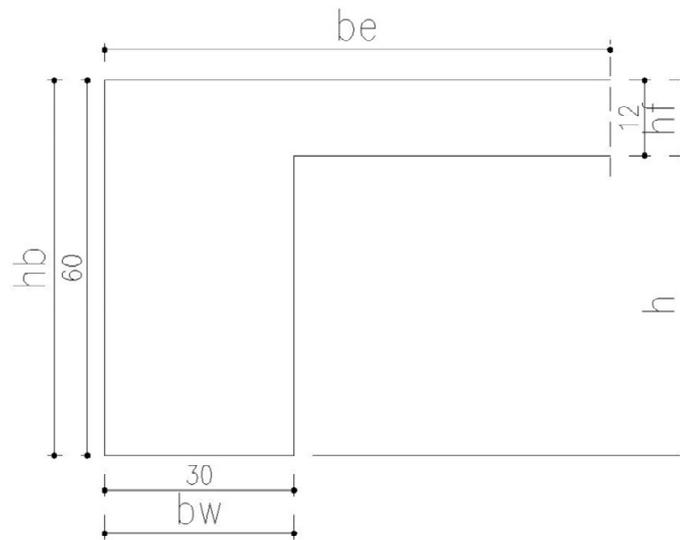
$$I_b = 1,563 \times \frac{30 \cdot 40^3}{12} = 250080 \text{ cm}^4$$

Inersia lajur pelat :

$$I_p = \frac{bp \cdot t^3}{12} = \frac{400 \cdot 12^3}{12} = 57600 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{250080}{57600} = 4,34$$

Balok as I joint 1-1'



Gambar 4.11. Rencana Balok L 30x60 Pelat Lantai

$$be \leq bw + hb - hf \quad : 30 + 60 - 12 \quad = 78 \text{ cm}$$

$$be \leq bw + 6 \times 12 \quad : 30 + 6 \times 12 \quad = 102 \text{ cm}$$

pilih nilai terkecil $be = 78 \text{ cm}$

Penampang di ekuivalen-kan menjadi penampang homogen, dengan angka ekivalensi :

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} = \frac{1 + \left(\frac{78}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{48}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{48}\right)^2 + \left(\frac{78}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{48}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{78}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{48}\right)}$$

$$= 1,757$$

Inersia penampang balok L :

$$I = K \frac{bw \cdot hb^3}{12}$$

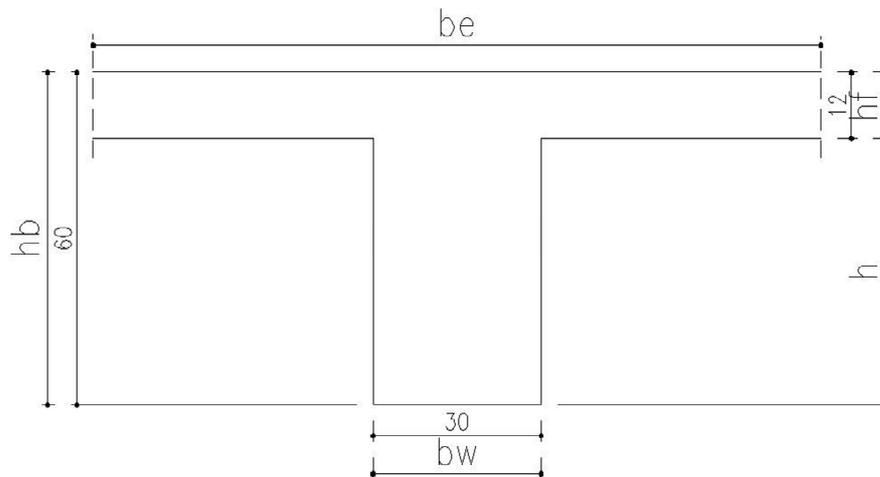
$$I_b = 1,757 \times \frac{30 \cdot 60^3}{12} = 948780 \text{ cm}^4$$

Inersia lajur pelat :

$$I_p = \frac{bp \cdot t^3}{12} = \frac{350 \cdot 12^3}{12} = 50400 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_2 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{948780}{50400} = 18,83$$

Balok as H joint 1-1'



Gambar 4.12. Rencana Balok T 30x60 Pelat Lantai

$$be \leq bw + 2x (hb - hf) : 30 + 2x(60 - 12) = 126 \text{ cm}$$

$$be \leq bw + 8 \times hf : 30 + 8 \times 12 = 126 \text{ cm}$$

pilih nilai terkecil $be = 126 \text{ cm}$

Penampang di ekivalen-kan menjadi penampang homogen, dengan angka ekivalensi :

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} = \frac{1 + \left(\frac{126}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{48}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{48}\right)^2 + \left(\frac{126}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{48}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{126}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{48}\right)}$$

$$= 2,189$$

Inersia penampang balok L :

$$I = K \frac{bw \cdot hb^3}{12}$$

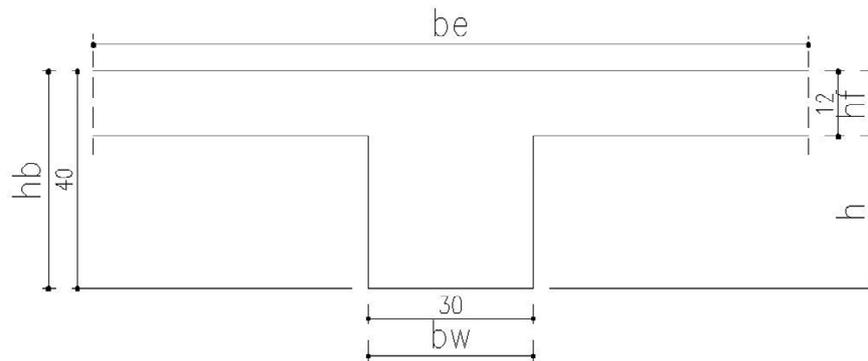
$$I_b = 2,189 \times \frac{30 \cdot 60^3}{12} = 1182060 \text{ cm}^4$$

Inersia lajur pelat :

$$I_p = \frac{bp \cdot t^3}{12} = \frac{350 \cdot 12^3}{12} = 50400 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_3 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1182060}{50400} = 23,45$$

Balok as 1' joint H-I



Gambar 4.13. Rencana Balok T 30x40 Pelat Lantai

$$be \leq bw + 2x (hb - hf) : 30 + 2x(40 - 12) = 86 \text{ cm}$$

$$be \leq bw + 8 x hf : 30 + 8x12 = 126 \text{ cm}$$

$$\text{pilih nilai terkecil } be = 86 \text{ cm}$$

Penampang di ekuivalen-kan menjadi penampang homogen, dengan angka ekuivalensi :

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} = \frac{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{28}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{28}\right)^2 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{28}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{28}\right)}$$

$$= 1,909$$

Inersia penampang balok L :

$$I = K \frac{bw \cdot hb^3}{12}$$

$$Ib = 1,909 \times \frac{30 \cdot 40^3}{12} = 305440 \text{ cm}^4$$

Inersia lajur pelat :

$$Ip = \frac{bp \cdot t^3}{12} = \frac{400 \cdot 12^3}{12} = 57600 \text{ cm}^4$$

$$\alpha 4 = \frac{Ib}{Ip} = \frac{305440}{57600} = 5,30$$

Rasio kekakuan rata-rata pada pelat lantai area A1 :

$$\alpha_m = \frac{\alpha 1 + \alpha 2 + \alpha 3 + \alpha 4}{4} = \frac{4,34 + 18,83 + 23,45 + 5,30}{4} = 12,98$$

Tinjau rasio kekakuan pada pelat lantai area A2 :

Balok as 1 joint G-H = Balok as 1 joint H-I

$$\alpha_5 = 4,34$$

Balok as H joint 1-1'

$$\alpha_6 = 23,45$$

Balok as G joint 1-1' = Balok as H joint 1-1'

$$\alpha_7 = 23,45$$

Balok as 1' joint H-I = Balok as 1' joint G-H

$$\alpha_8 = 5,30$$

Rasio kekakuan rata-rata pada pelat lantai area A2 :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_5 + \alpha_6 + \alpha_7 + \alpha_8}{4} = \frac{4,34 + 23,45 + 23,45 + 5,30}{4} = 14,14$$

Tinjau rasio kekakuan pada pelat lantai area B1 :

Balok as 1' joint H-I = Balok as 1' joint G-H

$$\alpha_9 = 5,30$$

Balok as I joint 1'-2 = Balok as I joint 1-1'

$$\alpha_{10} = 18,83$$

Balok as H joint 1'-2 = Balok as H joint 1-1'

$$\alpha_{11} = 23,45$$

Balok as 2 joint H-I = Balok as 1' joint H-I

$$\alpha_{12} = 5,30$$

Rasio kekakuan rata-rata pada pelat lantai area B1 :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_9 + \alpha_{10} + \alpha_{11} + \alpha_{12}}{4} = \frac{5,30 + 18,83 + 23,45 + 5,30}{4} = 13,22$$

Tinjau rasio kekakuan pada pelat lantai area B2 :

Balok as 1' joint G-H = Balok as 1' joint H-I

$$\alpha_{13} = 5,30$$

Balok as H joint 1'-2 = Balok as H joint 1-1'

$$\alpha_{14} = 23,45$$

Balok as G joint 1'-2 = Balok as G joint 1-1'

$$\alpha_{15} = 23,45$$

Balok as 2 joint G-H = Balok as 2 joint H-I

$$\alpha_{16} = 5,30$$

Rasio kekakuan rata-rata pada pelat lantai area B2 :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_{13} + \alpha_{14} + \alpha_{15} + \alpha_{16}}{4} = \frac{5,30 + 23,45 + 23,45 + 5,30}{4} = 14,38$$

Tinjau Pelat C1 dan C2

Bentang Bersih Sumbu Panjang

$$l_n = 400 - (30/2) - (30/2) = 370 \text{ cm}$$

Bentang Bersih Sumbu Pendek

$$s_n = 300 - (30/2) - (30/2) = 270 \text{ cm}$$

$$\beta = l_n / s_n$$

$$\beta = 370 / 270 = 1,37$$

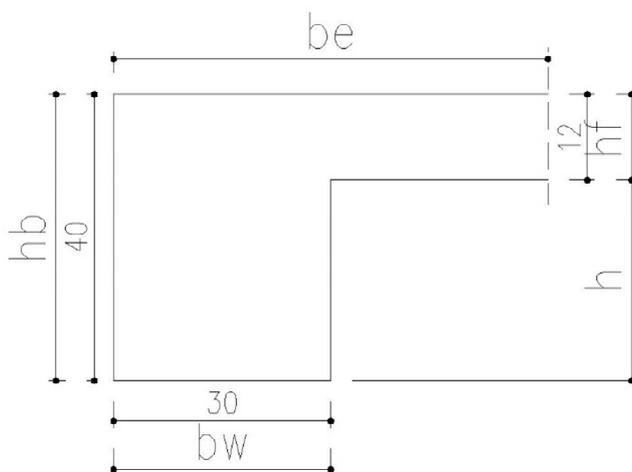
Direncanakan pelat tebal 12 cm, $f_c' = 25 \text{ Mpa}$

Tinjau rasio kekakuan pelat lantai area C1 :

Balok as 2 joint H-I = Balok as 1' joint I-H

$$\alpha_{17} = 5,30$$

Balok as I joint 2-3



Gambar 4.14. Rencana Balok L 30x40 Pelat Lantai

$$b_e \leq b_w + h_b - h_f \quad : 30 + 40 - 12 \quad = 58 \text{ cm}$$

$$be \leq bw + 6 \times 12 \quad : 30+6 \times 12 \quad = 102 \text{ cm}$$

pilih nilai terkecil $be = 58 \text{ cm}$

Penampang di ekuivalen-kan menjadi penampang homogen, dengan angka ekivalensi :

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} = \frac{1 + \left(\frac{58}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{28}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{28}\right)^2 + \left(\frac{58}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{28}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{58}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{28}\right)}$$

$$= 1,563$$

Inersia penampang balok L :

$$I = K \frac{bw \cdot hb^3}{12}$$

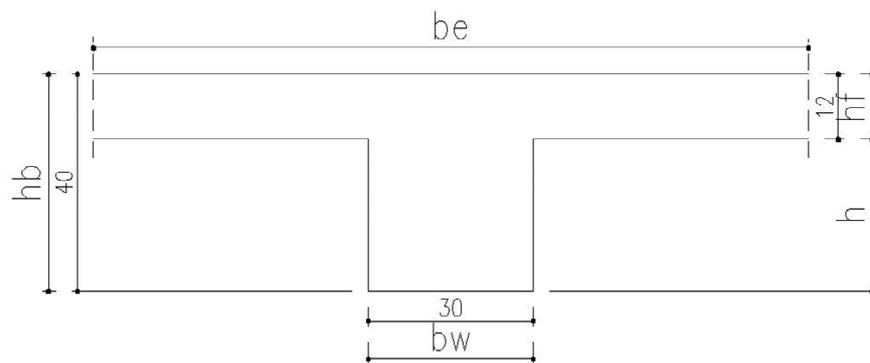
$$I_b = 1,563 \times \frac{30 \cdot 40^3}{12} = 250080 \text{ cm}^4$$

Inersia lajur pelat :

$$I_p = \frac{bp \cdot t^3}{12} = \frac{300 \cdot 12^3}{12} = 43200 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_{18} = \frac{I_b}{I_p} = \frac{250080}{43200} = 5,79$$

Balok as H joint 2-3



Gambar 4.15. Rencana Balok T 30x40 Pelat Lantai

$$be \leq bw + 2x (hb - hf) \quad : 30 + 2x(40 - 12) \quad = 86 \text{ cm}$$

$$be \leq bw + 8 \times hf \quad : 30 + 8 \times 12 \quad = 126 \text{ cm}$$

pilih nilai terkecil $be = 86 \text{ cm}$

Penampang di ekuivalen-kan menjadi penampang homogen, dengan angka ekuivalensi :

$$k = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{t}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) \left(\frac{t}{h}\right)} = \frac{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{28}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{12}{28}\right)^2 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{28}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{86}{30} - 1\right) \left(\frac{12}{28}\right)}$$

$$= 1,909$$

Inersia penampang balok L :

$$I = K \frac{bw \cdot hb^3}{12}$$

$$I_b = 1,909 \times \frac{30 \cdot 40^3}{12} = 305440 \text{ cm}^4$$

Inersia lajur pelat :

$$I_p = \frac{bp \cdot t^3}{12} = \frac{300 \cdot 12^3}{12} = 43200 \text{ cm}^4$$

$$\alpha_{19} = \frac{I_b}{I_p} = \frac{305440}{43200} = 7,07$$

Balok as 3 joint H-I = Balok as 1 joint H-I

$$\alpha_{20} = 4,34$$

Rasio kekakuan rata-rata pada pelat lantai area C1 :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_{17} + \alpha_{18} + \alpha_{19} + \alpha_{20}}{4} = \frac{5,30 + 5,79 + 7,07 + 4,30}{4} = 5,62$$

Tinjau rasio kekakuan pada pelat lantai area C2 :

Balok as 2 joint G-H = Balok as 2 joint H-I

$$\alpha_{21} = 5,30$$

Balok as H joint 2-3

$$\alpha_{22} = 7,07$$

Balok as G joint 2-3 = Balok as H joint 2-3

$$\alpha_{23} = 7,07$$

Balok as 3 joint G-H = Balok as 3 joint H-I

$$\alpha_{24} = 4,34$$

Rasio kekauan rata-rata pada pelat lantai area C2 :

$$\alpha m = \frac{\alpha 21 + \alpha 22 + \alpha 23 + \alpha 24}{4} = \frac{5,30 + 7,07 + 7,07 + 4,34}{4} = 5,95$$

Dari ke 6 Tipe pelat lantai diatas yang terdiri dari : pelat A1=12,98; pelat A2=14,14; pelat B1=13,22; pelat B2=14,38; pelat C1=5,62; dan pelat C2=5,95), maka diambil rata-rata αm terkecil yaitu pelat C1 ($\alpha m = 5,62$)

Karena $\alpha m > 2,0$ maka dipakai (Pers 9-13 SNI 2847-2013) :

$$h = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1500} \right)}{36 + 9\beta} > 90 \text{ mm}$$

$$h = \frac{3700 \left(0,8 + \frac{400}{1500} \right)}{36 + 9 \cdot 1,17} = 84,82 \text{ mm} \sim 85 \text{ mm} \dots\dots\dots (\text{OK})$$

maka pelat lantai dengan tebal 120 mm bisa dipakai

4.2.2 Perencanaan Penulangan Pelat Lantai

Untuk pembebanan direncanakan pelat menerima beban-beban sesuai dengan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Bangunan Gedung 1983.

Pembebanan untuk pelat tipe A :

Beban mati (qd)

Berat sendiri	= 0,12 m x 2400 kg/m ³	= 288 kg/m ²
Plafond + penggantung	= 11 kg/m ² + 7 kg/m ²	= 18 kg/m ²
Mekanikal Elektrikal	= 1 x 25 kg/m ²	= 25 kg/m ²
<u>Keramik (24 kg/m²) + Spesi 1 cm (3 kg/m²)</u>		<u>= 27 kg/m² +</u>
Beban total		= 358 kg/m ²

Beban hidup (ql)

Beban hidup adalah 100 kg/m²

Kombinasi pembebanan (qu)

Kombinasi pembebanan yang digunakan perhitungan penulangan pelat sesuai dengan SNI 2847-2013.

$$\begin{aligned}q_u &= 1,2 q_d + 1,6 q_l \\ &= 1,2 \times 358 \text{ kg/m}^2 + 1,6 \times 100 \text{ kg/m}^2 \\ &= 589,6 \text{ kg/m}^2 \\ &= 5,896 \text{ KN/m}^2\end{aligned}$$

4.2.2.1 Analisa Gaya Dalam

Dalam menganalisa gaya dalam yang terjadi pada pelat digunakan pasal 13.3 Tabel 13.3.1 PBI 1971 sebagai acuan. Perletakan yang digunakan pada pelat terhadap balok tepi dapat diasumsikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\alpha_m \leq 0,375 & \longrightarrow \text{sebagai pelat tanpa balok tepi} \\ 0,375 \leq \alpha_m \leq 1,875 & \longrightarrow \text{sebagai balok tepi yang fleksibel} \\ \alpha_m \geq 2,0 & \longrightarrow \text{sebagai balok tepi kaku}\end{aligned}$$

Penentuan syarat batas :

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{4000}{3500} = 1,14 \text{ (pelat dua arah)}$$

Perencanaan tebal pelat :

Tebal pelat minimum yang telah memenuhi syarat adalah sebesar 120 mm.

Karena pada perhitungan kekakuan rata-rata balok terhadap pelat pada tipe pelat A diperoleh 1,14 maka untuk perletakan tipe pelat A dapat diasumsikan sebagai pelat dengan balok tepi yang fleksibel atau terjepit penuh pada keempat sisinya.

Untuk pelat terjepit penuh keempat sisinya :

$$1. Ml_x = 0,001qu \cdot I_x^2 \cdot X$$

$$2. Ml_y = 0,001qu \cdot I_x^2 \cdot X$$

$$3. Mt_x = 0,001qu \cdot I_x^2 \cdot X$$

$$4. Mt_y = 0,001qu \cdot I_x^2 \cdot X$$

Dimana :

Ml_x = momen lapangan arah x

Ml_y = momen lapangan arah y

Mt_x = momen tumpuan arah x

Mt_y = momen tumpuan arah y

L_x = bentang terpendek dari pelat

X = koefisien (*Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang; Ir W. C. Vis dan Ir. Gideon Kusuma M. Eng*)

Perhitungan penulangan pelat menggunakan diameter tulangan polos 10 mm untuk tulangan utama dan 10 mm untuk tulangan susut dengan mutu baja 400 MPa dan mutu beton 25 MPa. Direncanakan tebal selimut pelat 20 mm (*Tabel 2.2 Syarat selimut beton (non-prategang)*).

$$1. Ml_x = 0,001qu \cdot I_x^2 \cdot X$$

$$Ml_x = 0,001 \times 5,896 \text{ KN/m}^2 \times (3,5 \text{ m})^2 \times 25$$

$$Ml_x = 1,806 \text{ KNm}$$

$$2. Ml_y = 0,001qu \cdot I_x^2 \cdot X$$

$$Ml_y = 0,001 \times 5,896 \text{ KN/m}^2 \times (3,5 \text{ m})^2 \times 21$$

$$Ml_y = 1,517 \text{ KNm}$$

$$3. M_{t_x} = (-0,001)q_u \cdot I_x^2 \cdot X$$

$$M_{t_x} = (-0,001) \times 5,896 \text{ KN/m}^2 \times (3,5 \text{ m})^2 \times 59$$

$$M_{t_x} = -4,260 \text{ KNm}$$

$$4. M_{t_y} = (-0,001)q_u \cdot I_y^2 \cdot X$$

$$M_{t_y} = (-0,001) \times 5,896 \text{ KN/m}^2 \times (3,5 \text{ m})^2 \times 54$$

$$M_{t_y} = -3,900 \text{ KNm}$$

4.2.2.2 Perhitungan Tulangan

Data-data Perencanaan :

- a. Tebal pelat lantai (t) = 120 mm
- b. Penutup beton (p) = 20 mm
- c. Mutu beton (fc') = 25 MPa
- d. Mutu baja (fy) = 400 MPa
- e. Lebar pelat yang ditinjau = 1000 mm
- f. Diameter tulangan utama = 10 mm

Koefisien reduksi penampang (ϕ) = 0,8

Tinggi efektif untuk arah X

$$d_x = h - \text{tebal selimut} - \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan}$$

$$d_x = 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} \times 10 \text{ mm} = 95 \text{ mm}$$

Tinggi efektif untuk arah Y

$$d_y = h - \text{tebal selimut} - \phi \text{ tulangan} - \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan}$$

$$d_y = 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 10 \text{ mm} = 85 \text{ mm}$$

Tulangan minimum dan maksimum

SNI 2847 2013 pasal 10.2.7.3

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \left(\frac{f'c - 28}{7} \right) \rightarrow \text{untuk beton } f'c > 28 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0,85 \rightarrow \text{untuk beton } f'c \leq 28 \text{ Mpa}$$

SNI 2847 2013 pasal 7.12.2.1

$$\rho_{\min} = 0,002$$

SNI 2847-2013, sebagai alternatif, untuk komponen struktur yang besar dan masif, luas tulangan yang diperlukan pada setiap penampang, positif atau negatif, paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan berdasarkan analisis.

SNI 2847 2013 pasal B.8.4.2

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85\beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{400} \left(\frac{600}{600+400} \right) \\ &= 0,0271\end{aligned}$$

SNI 2847 2013 pasal B.10.3.3, tulangan maksimum untuk struktur lentur adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0271 \\ &= 0,02033 \\ m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,821\end{aligned}$$

4.2.2.2.1 Penulangan Lapangan Arah X

$$M_{lx} = 1,806 \text{ KNm}$$

$$M_{nlx} = \frac{M_{lx}}{\phi} = \frac{1,806 \text{ KNm}}{0,8} = 2,257 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_{nlx}}{bdx^2} = \frac{2,257 \text{ KNm}}{1 \times (0,095)^2} = 250,14 \text{ KNm} = 0,250 \text{ Mpa}$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 0,25}{400}} \right)$$

$$= 0,0006$$

Syarat :

$$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\text{maks}}$$

$$0,002 \leq 0,0006 \leq 0,02033$$

$$\rho_{\min} \geq \rho_{\text{perlu}} \quad \text{jadi dipakai } \rho = 0,002$$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$A_{\text{Sperlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_x$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 95$$

$$= 190 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan lapangan arah X dengan Ø10-250 (*Dasar Perencanaan Beton Bertulang; Ir W. C. Vis dan Ir. Gideon Kusuma M. Eng*)

Luas tulangan pakai :

$$A_{\text{Spakai}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{250 \text{ mm}}$$

$$= 314 \text{ mm}^2$$

4.2.2.2.2 Penulangan Tumpuan Arah X

$$M_{tx} = 4,26 \text{ KNm}$$

$$M_{ntx} = \frac{M_{tx}}{\phi} = \frac{4,26 \text{ KNm}}{0,8} = 5,325 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_{ntx}}{b d_x^2} = \frac{5,325 \text{ KNm}}{1 \times (0,095)^2} = 590,028 \text{ KNm} = 0,590 \text{ Mpa}$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 0,590}{400}} \right)$$

$$= 0,0015$$

Syarat :

$$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\text{maks}}$$

$$0,002 \leq 0,0015 \leq 0,02033$$

$$\rho_{\min} \geq \rho_{\text{perlu}} \quad \text{jadi dipakai } \rho = 0,002$$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$A_{S\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_x$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 95$$

$$= 190 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan tumpuan arah X dengan Ø10-200 (*Dasar Perencanaan Beton Bertulang; Ir W. C. Vis dan Ir. Gideon Kusuma M. Eng*)

Luas tulangan pakai :

$$A_{S\text{pakai}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}$$

$$= 392,5 \text{ mm}^2$$

4.2.2.2.3 Penulangan Lapangan Arah Y

$$M_{ly} = 1,517 \text{ KNm}$$

$$M_{nly} = \frac{M_{ly}}{\phi} = \frac{1,517 \text{ KNm}}{0,8} = 1,896 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_{nly}}{b \cdot d_x^2} = \frac{1,896 \text{ KNm}}{1 \times (0,085)^2} = 262,457 \text{ KNm} = 0,262 \text{ Mpa}$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 0,262}{400}} \right)$$

$$= 0,0007$$

Syarat :

$$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$$

$$0,002 \leq 0,0007 \leq 0,02033$$

$$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min} \quad \text{jadi dipakai } \rho = 0,002$$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_y$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 85$$

$$= 170 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan lapangan arah Y dengan Ø10-250 (*Dasar Perencanaan Beton Bertulang; Ir W. C. Vis dan Ir. Gideon Kusuma M. Eng*)

Luas tulangan pakai :

$$A_{S_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}$$

$$= 314 \text{ mm}^2$$

4.2.2.2.4 Penulangan Tumpuan Arah Y

$$M_{t_y} = 3,9 \text{ KNm}$$

$$M_{nt_y} = \frac{M_{t_y}}{\phi} = \frac{3,9 \text{ KNm}}{0,8} = 4,875 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_{nt_y}}{b d_x^2} = \frac{4,875 \text{ KNm}}{1 \times (0,085)^2} = 674,74 \text{ KNm} = 0,675 \text{ Mpa}$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 0,675}{400}} \right)$$

$$= 0,0017$$

Syarat :

$$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\text{maks}}$$

$$0,002 \leq 0,0017 \leq 0,02033$$

$$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min} \quad \text{jadi dipakai } \rho = 0,002$$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_y$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 85$$

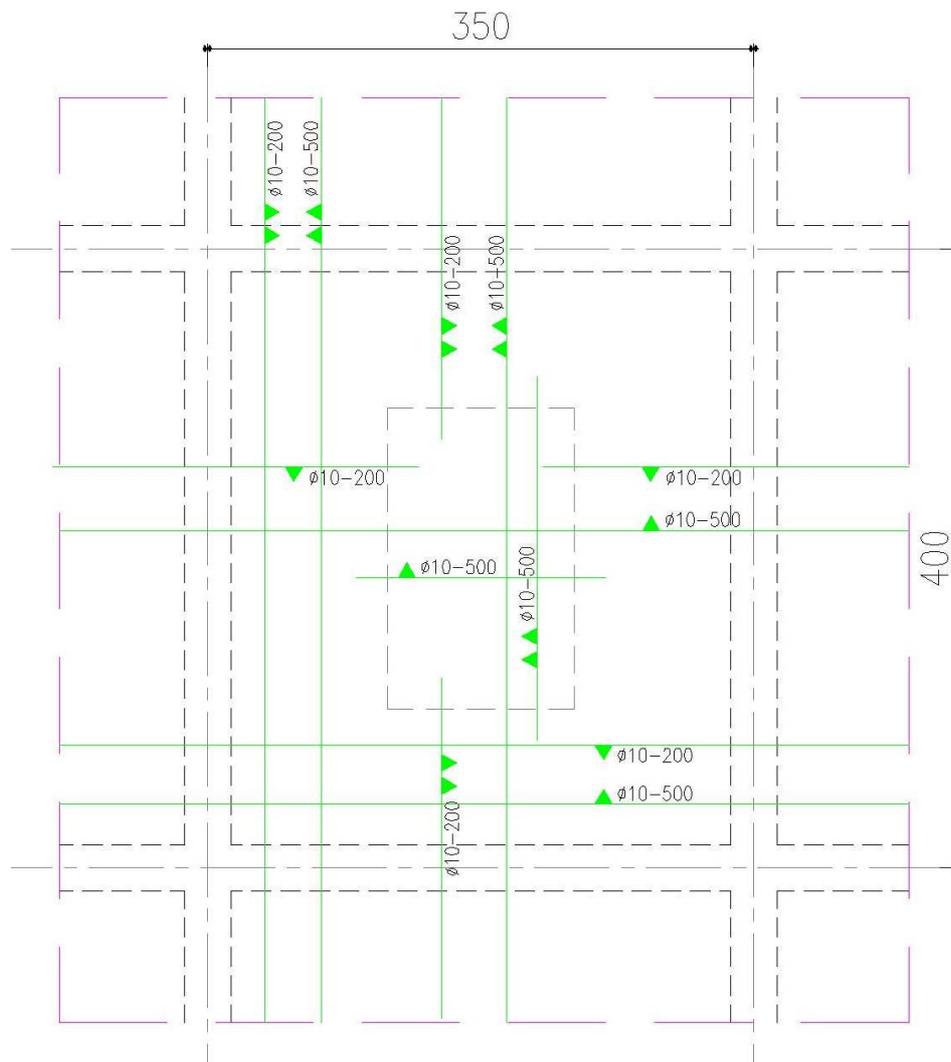
$$= 170 \text{ mm}^2$$

Dipakai Tulangan tumpuan arah Y dengan Ø10-250

Luas tulangan pakai :

$$A_{S_{\text{pakai}}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}$$

$$= 392,5 \text{ mm}^2$$



Gambar 4.16. Penulangan pelat lantai

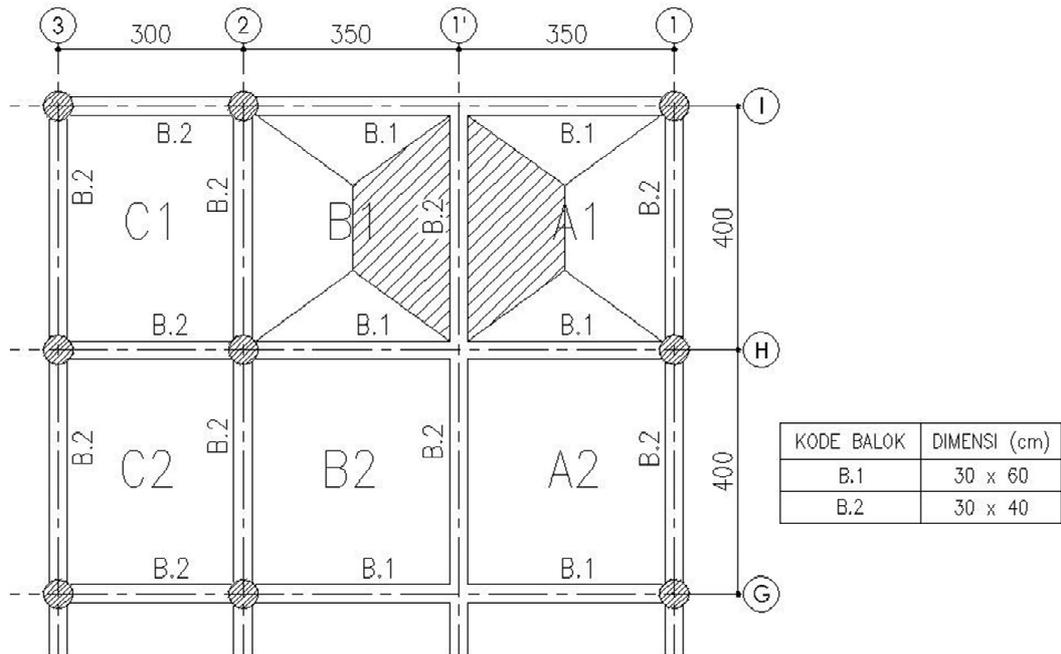
Tulangan yang dipakai :

- Tulangan lapangan arah X ; $\text{Ø}10-250 = 314 \text{ mm}^2$
- Tulangan lapangan arah Y ; $\text{Ø}10-250 = 314 \text{ mm}^2$
- Tulangan tumpuan arah X ; $\text{Ø}10-200 = 392,5 \text{ mm}^2$
- Tulangan tumpuan arah Y ; $\text{Ø}10-200 = 392,5 \text{ mm}^2$

4.3. Perencanaan Struktur Balok Anak

Perencanaan balok anak disesuaikan dengan beban – beban yang bekerja menurut PPIUG 1983. Balok anak merupakan system struktur sekunder yang direncanakan menerima beban mati dan beban hidup dengan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan SNI 2847-2012 pasal 9.2.1 yaitu : $1,2D + 1,6L$

4.3.1 Pembebanan



Gambar 4.17. Tributary area balok anak

Untuk pembebanan direncanakan pelat menerima beban – beban sesuai dengan Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung 1983.

Pembebanan untuk pelat tipe A :

Beban mati (qd)

Berat sendiri	$= 0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	$= 288 \text{ kg/m}^2$
Keramik tebal 1 cm	$= 1 \times 24 \text{ kg/m}^2$	$= 24 \text{ kg/m}^2$
Spesi tebal 3 cm	$= 3 \times 3 \text{ kg/m}^2$	$= 9 \text{ kg/m}^2$
Instalasi ME	$= 1 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 25 \text{ kg/m}^2$
Plafond+penggantung	$= 11 \text{ kg/m}^2 + 7 \text{ kg/m}^2$	$= 18 \text{ kg/m}^2 +$
Beban total		$= 364 \text{ kg/m}^2$

pembebanan pelat sesuai perhitungan pembebanan pada pelat lantai 4.3.1 sebesar 364 kg/m^2 diubah menjadi beban merata sepanjang balok anak.

a. Beban mati (DL) pada bangunan

- Beban akibat pelat $q = 364 \text{ kg/m}^2$

- q ekuivalen (beban trapesium)

$$\begin{aligned} q_{ek} &= \frac{1}{2} \cdot q \cdot \left(\frac{lx}{ly^2} \right) \cdot \left(ly^2 - \frac{1}{3} lx^2 \right) \cdot 2 \\ &= \frac{1}{2} \times 364 \times \left(\frac{3,5}{4^2} \right) \times \left(4^2 - \frac{1}{3} \times 3,5^2 \right) \times 2 \\ &= 948,86 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

- Berat sendiri balok = berat jenis x luas penampang
 $= 2400 \text{ kg/m}^2 \times (0,3\text{m} \times 0,4\text{m})$

$$= 288 \text{ kg/m}$$

- $WD = 948,86 + 288 = 1236,86 \text{ kg/m}$

b. Beban hidup (LL) pada bangunan

- q ekuivalen (beban trapesium)

$$\begin{aligned} q_{ek} &= \frac{1}{2} \cdot q \cdot \left(\frac{lx}{ly^2} \right) \cdot \left(ly^2 - \frac{1}{3} lx^2 \right) \cdot 2 \\ &= \frac{1}{2} \times 250 \times \left(\frac{3,5}{4^2} \right) \times \left(4^2 - \frac{1}{3} \times 3,5^2 \right) \times 2 \\ &= 651,69 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

c. Beban ultimate

- $q_u = 1,2 \times q_d + 1,6 \times q_l$

$$= 1,2 \times 1236,86 + 1,6 \times 651,69$$

$$= 2526,94 \text{ kg/m}$$

Perhitungan Momen

Gaya yang terjadi pada balok merupakan gaya momen lentur akibat beban yang terjadi.

[Grafik dan tabel perhitungan CUR 4 hal 24, Ir W. C, Vis dan Ir. Gideon Kusuma M. Eng]

$$\begin{aligned} \text{Momen Tumpuan Ujung} &= \frac{1}{16} q \cdot l^2 \\ &= \frac{1}{16} \times 2526,94 \times 4^2 \\ &= 2526,94 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen Lapangan} &= \frac{1}{14} q \cdot l^2 \\ &= \frac{1}{14} \times 2526,94 \times 4^2 \\ &= 2887,93 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen Tumpuan Kedua} &= \frac{1}{10} q \cdot l^2 \\
 &= \frac{1}{10} \times 2526,94 \times 4^2 \\
 &= 4043,10 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

4.3.2 Perhitungan Tulangan

4.3.2.1 Tulangan Lentur Tumpuan Kiri

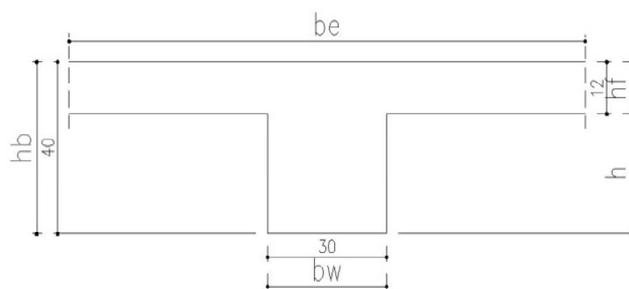
Tinggi balok (h)	= 400 mm
Lebar balok (b)	= 300 mm
Selimit beton (p)	= 40 mm
Diameter tulangan (ϕ_D)	= 16 mm
Diameter sengkang (ϕ_D)	= 10 mm

Tinggi efektif

$$\begin{aligned}
 d &= h - (\text{tebal selimit} + \text{tul. Sengkang} + \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan}) \\
 d &= 400 - (40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} \times 16 \text{ mm}) \\
 &= 342 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan lebar efektif be

[SNI 2847:2013 Pasal 13.2.4]



$$\begin{aligned}
 \text{be} &: bw + 2 \times (40-12) \\
 &: 30 + 2 \times (40-12) = 86 \\
 \text{be} &: bw + 8 \times hf \\
 &: 30 + 8 \times 12 = 126
 \end{aligned}$$

pilih nilai terkecil be : 86 cm

$$Mu = 2526,96 \text{ kgm} = 25,27 \text{ KNm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{25,27}{0,8} = 31,59 \text{ KNm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{be d^2} = \frac{31,59}{0,86 \times (0,342)^2} = 314,05 \text{ KNm} = 0,314 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,82$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 0,314}{400}} \right) \\ &= 0,0007\end{aligned}$$

Pembatasan nilai ρ

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

$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}}$, Jadi memakai $\rho = 0,0035$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b_e \times d \\ &= 0,0007 \times 860 \times 342 \\ &= 205,88 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{S_{\text{min}}} &= \rho_{\text{min}} \times b_e \times d \\ &= 0,0035 \times 860 \times 342 \\ &= 1029,42 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Dipakai tulangan dengan 4D19 ($A_s = 1134 \text{ mm}^2$) (**Tulangan Tarik**)

$$\rho' = 0,5 \times 0,0035 = 0,00175$$

$$A_{s'} = 0,00175 \times 860 \times 342 = 514,71 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan dengan 2D19 ($A_s = 567 \text{ mm}^2$) (**Tulangan Tekan**)

4.3.2.2 Tulangan Lentur Lapangan

Tinggi efektif

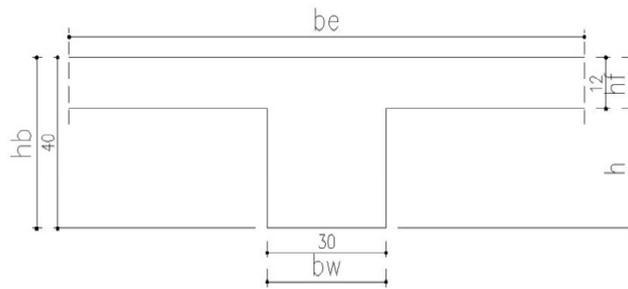
$$d = h - (\text{tebal selimut} + \text{tul. Sengkang} + \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan})$$

$$d = 400 - (40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} \times 16 \text{ mm})$$

$$= 342 \text{ mm}$$

Perhitungan lebar efektif be

[SNI 2847:2013 Pasal 13.2.4]



$$be : bw + 2 \times (40-12) \\ : 30 + 2 \times (40-12) = 86$$

$$be : bw + 8 \times hf \\ : 30 + 8 \times 12 = 126$$

pilih nilai terkecil be : 86 cm

$$Mu = 2887,93 \text{ kgm} = 28,87 \text{ KNm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{28,87}{0,8} = 36,09 \text{ KNm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{be d^2} = \frac{36,09}{0,86 \times (0,342)^2} = 358,78 \text{ KNm} = 0,358 \text{ Mpa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,82$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times Rn}{fy}} \right) \\ = \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 0,358}{400}} \right) \\ = 0,0009$$

Pembatasan nilai ρ

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

$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}}$, Jadi memakai $\rho = 0,0035$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$As_{\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times be \times d \\ = 0,0009 \times 860 \times 342 \\ = 264,71 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\min}} &= \rho_{\min} \times b_e \times d \\
 &= 0,0035 \times 860 \times 342 \\
 &= 1029,42 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan dengan 4D19 ($A_s = 1134 \text{ mm}^2$) (**Tulangan Tarik**)

$$\rho' = 0,5 \times 0,0035 = 0,00175$$

$$A_{s'} = 0,00175 \times 860 \times 342 = 514,71 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan dengan 2D19 ($A_s = 567 \text{ mm}^2$) (**Tulangan Tekan**)

4.3.2.3 Tulangan Lentur Tumpuan Kanan

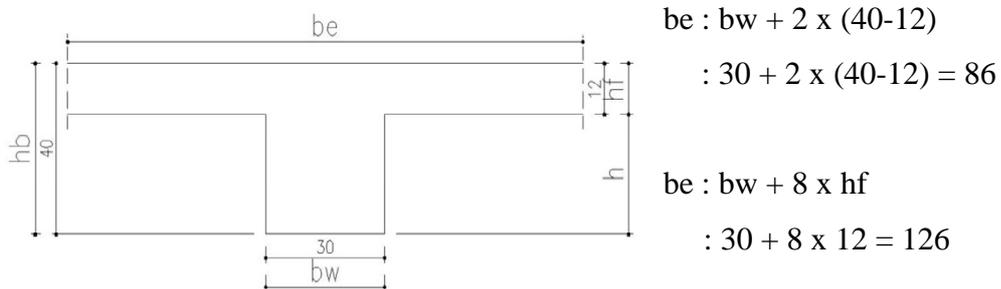
Tinggi efektif

$$d = h - (\text{tebal selimut} + \text{tul. Sengkang} + \frac{1}{2} \phi \text{ tulangan})$$

$$\begin{aligned}
 d &= 400 - (40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} \times 16 \text{ mm}) \\
 &= 342 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan lebar efektif b_e

[SNI 2847:2013 Pasal 13.2.4]



pilih nilai terkecil b_e : 86 cm

$$M_u = 4043,10 \text{ kgm} = 40,43 \text{ KNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{40,43}{0,8} = 50,54 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b_e d^2} = \frac{50,54}{0,86 \times (0,342)^2} = 504,44 \text{ KNm} = 0,504 \text{ Mpa}$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 0,504}{400}} \right)$$

$$= 0,00127$$

Pembatasan nilai ρ

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

$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$, Jadi memakai $\rho = 0,0035$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b_e \times d$$

$$= 0,00127 \times 860 \times 342$$

$$= 373,53 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\min}} = \rho_{\min} \times b_e \times d$$

$$= 0,0035 \times 860 \times 342$$

$$= 1029,42 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan dengan 4D19 ($A_s = 1134 \text{ mm}^2$) (**Tulangan Tarik**)

$$\rho' = 0,5 \times 0,0035 = 0,00175$$

$$A_{s'} = 0,00175 \times 860 \times 342 = 514,71 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan dengan 2D19 ($A_s = 567 \text{ mm}^2$) (**Tulangan Tekan**)

4.3.2.4 Penulangan Geser

Gaya yang terjadi

$$V_u = \frac{1}{2} \times q_u \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times 2526,94 \times 4$$

$$= 5053,88 \text{ kg}$$

[SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1]

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \cdot \text{eff}$$

$$= 0,17 \times \sqrt{25} \times 400 \times 342$$

$$= 114000 \text{ N}$$

V_u' = gaya geser pada jarak $1d$ dari tepi balok induk

$$\frac{Vu}{1/2L} = \frac{Vu \text{ kritis}}{\frac{1}{2L} - (d + \frac{b}{2})} \rightarrow \frac{5053,88}{2000} = \frac{Vu \text{ kritis}}{2000 - (342 + \frac{300}{2})}$$

$$= \frac{5053,88 \times 1508}{2000} = 3810,63 \text{ N}$$

$$\Phi = 0,6$$

$$0,6Vc = 0,6 \times 114000$$

$$= 68400 \text{ N} > Vu \rightarrow \text{Dipakai Tulangan Minimum}$$

Direncanakan tulangan geser $\phi 10$

Kontrol tulangan geser min :

$$Av = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$= 0,25 \times \pi \times 10^2$$

$$= 78,54 \text{ mm}^2$$

$$= 78,54 \times 2$$

$$= 157,08 \text{ mm}^2$$

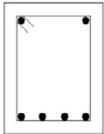
$$Av \text{ min} = \frac{b_w \times S}{3fy}$$

$$\text{Jadi } S_{\text{max}} = \frac{3fy \times Av}{b_w}$$

$$= \frac{3 \times 400 \times 157,08}{400}$$

$$= 471,24 \text{ mm}$$

Jadi pakai tulangan $\phi 10 - 200$

KODE	B.2	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
		
DIMENSI	300 x 400	300 x 400
TULANGAN ATAS	3 D 16	2 D 16
TULANGAN SAMPING	--	--
TULANGAN BAWAH	2 D 16	3 D 16
SENGKANG	D10-200	D10-200

Gambar 4.18. Detail Penulangan Balok Anak 30x40

4.4 Perencanaan Tangga

4.4.1 Perencanaan Dimensi Tangga

Direncanakan :

- Ujung perletakan dianggap sendi
- Ujung bordes dianggap sendi
- Kemiringan tangga = $25^\circ < \alpha < 45^\circ$

Dimana : l = lebar injakan (cm)

t = tinggi injakan (cm)

α = sudut kemiringan tanjakan

- Data – data Perencanaan Tangga :

Panjang datar tangga : 270 cm

Tinggi tangga : 350 cm

Tinggi pelat bordes : 175 cm

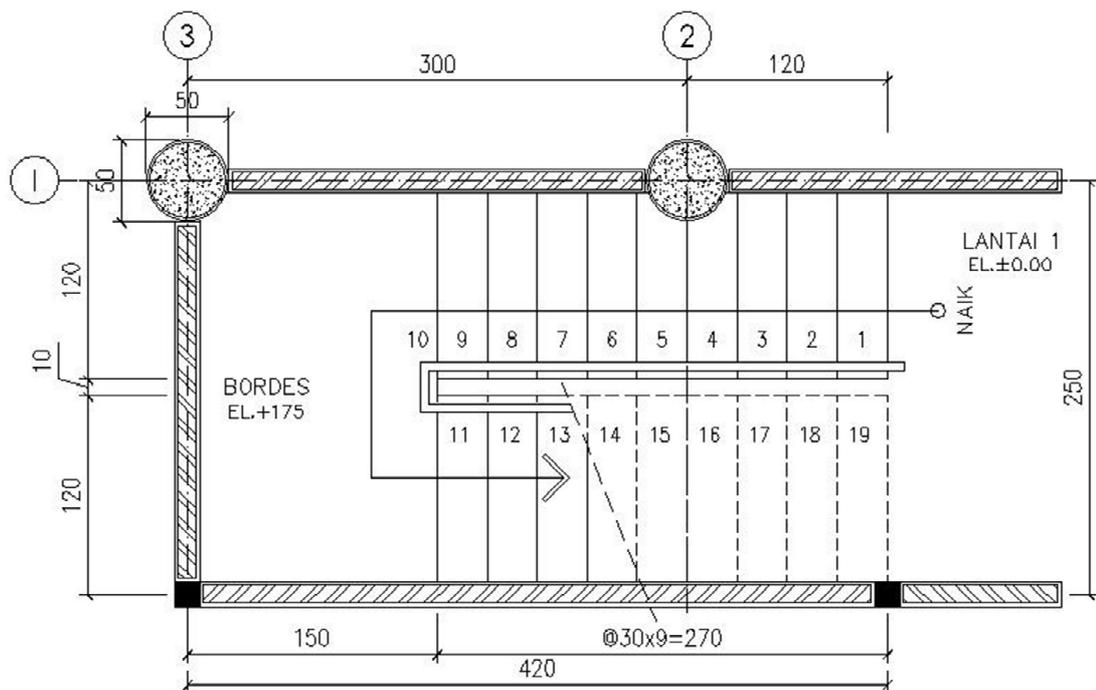
Tebal rencana pelat tangga : 12 cm

Tebal rencana pelat bordes : 12 cm

Lebar injakan (i) : 30 cm

Tinggi injakan (t) : 17,5 cm

Lebar anak tangga : 150 cm



Gambar 4.19. Denah tangga utama

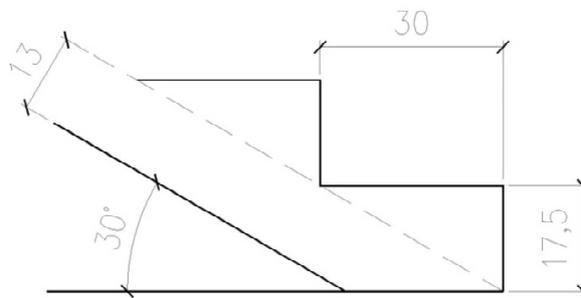
- Perhitungan perencanaan
 - Sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}\alpha &= \text{arc tan } \frac{t}{i} \\ &= \text{arc tan } \frac{17,5}{30} \\ &= 30,25^\circ \\ &= 30^\circ\end{aligned}$$

Syarat sudut kemiringan tangga

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 30^\circ \leq 40^\circ \rightarrow \text{memenuhi}$$



Gambar 4.20. Perencanaan dimensi tangga

- Jumlah tanjakan

$$\begin{aligned}n_t &= \frac{\text{tinggi tangga}}{t} \\ &= \frac{350}{17,5} \\ &= 20 \text{ anak tangga}\end{aligned}$$

- Jumlah injakan

$$n_i = n_t - 1 = 20 - 1 = 19 \text{ buah}$$

- Tebal efektif pelat tangga

Tebal pelat rata-rata dapat diasumsikan :

Tebal selimut beton : 2 cm

$$\text{Tebal pelat tangga : } H_{min} = \frac{H}{27} = \frac{200/\sin 39}{27} = 12,96$$

digunakan $h = 13 \text{ cm} = 0,13 \text{ m}$

$$h' = h + \frac{opt}{2} \cdot \cos \alpha = 13 + \frac{17,5}{2} \cdot \cos 30^\circ = 20,57 \text{ cm} = 0,2057 \text{ m}$$

Maka ekivalensi tebal anak tangga = $0,2057 - 0,13 = 0,0757 \text{ m}$

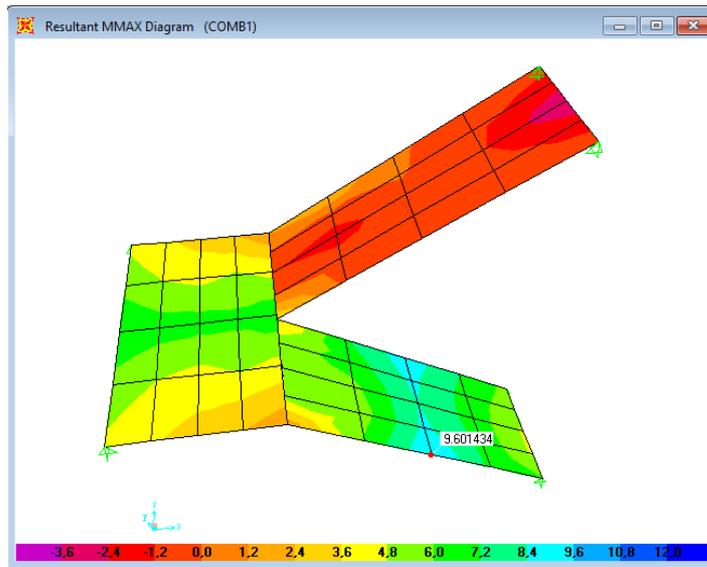
4.4.2 Pembebanan Tangga (h = 0,13m)

- Beban Mati (DL)
 - Berat sendiri pelat tangga = $0,0757 \times 2400 = 181,68 \text{ kg/m}^2$
 - Berat keramik = $24 \times 1 = 24 \text{ kg/m}^2$
 - Pegangan tangga = 10 kg/m^2
 - Berat spesi (t = 1 cm) = $21 \times 1 = \underline{21 \text{ kg/m}^2}$
= $236,68 \text{ kg/m}^2$
- Beban Hidup (LL) = 300 kg/m^2
- Beban ultimate (qu) = $1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$
= $(1,2 \times 232,68) + (1,6 \times 300)$
= $764,016 \text{ kg/m}^2$

4.4.3 Pembebanan Bordes (h = 0,13m)

- Beban Mati (DL)
 - Beban sendiri balok bordes = $0,2 \times 0,4 \times 2400 = 192 \text{ kg/m}^2$
 - Berat spesi (t=1 cm) = $0,01 \times 2100 = 21 \text{ kg/m}^2$
 - Pegangan tangga = $\underline{10 \text{ kg/m}^2} +$
= 223 kg/m^2
- Beban Hidup (LL) = 300 kg/m^2
- Beban ultimate (qu) = $1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$
= $(1,2 \times 223) + (1,6 \times 300)$
= $747,6 \text{ kg/m}^2$

4.4.4 Analisis Gaya pada Tangga



Gambar 4.21. Permodelan Pelat tangga pada SAP2000

Output gaya yang terjadi dengan kombinasi pembebanan 1,2DL + 1,6LL adalah sebagai berikut :

TABLE: Element Forces - Area Shells						
Area	AreaElem	Joint	OutputCase	CaseType	MMax	MMin
Text	Text	Text	Text	Text	KN-m/m	KN-m/m
4	1	3	1,2DL+1,6LL	Combination	6,0629	0,7685
4	1	12	1,2DL+1,6LL	Combination	4,7504	0,3186
4	1	13	1,2DL+1,6LL	Combination	3,5053	-0,1285
4	1	14	1,2DL+1,6LL	Combination	4,8921	0,2471
5	2	14	1,2DL+1,6LL	Combination	9,0164	0,9229
5	2	13	1,2DL+1,6LL	Combination	9,9357	1,2093
5	2	15	1,2DL+1,6LL	Combination	9,5781	-0,4027
5	2	16	1,2DL+1,6LL	Combination	8,7014	-0,7317
6	3	16	1,2DL+1,6LL	Combination	10,5015	0,0921
6	3	15	1,2DL+1,6LL	Combination	7,8749	-0,6562
6	3	17	1,2DL+1,6LL	Combination	9,5363	0,5023
6	3	18	1,2DL+1,6LL	Combination	12,1208	1,2927
7	4	18	1,2DL+1,6LL	Combination	0,0928	-5,8337
7	4	17	1,2DL+1,6LL	Combination	1,2808	-1,9972
7	4	19	1,2DL+1,6LL	Combination	6,0659	-0,4852
7	4	6	1,2DL+1,6LL	Combination	4,3738	-3,8175
8	5	12	1,2DL+1,6LL	Combination	4,3826	3,0185
8	5	20	1,2DL+1,6LL	Combination	4,4144	3,3013
8	5	21	1,2DL+1,6LL	Combination	3,6569	0,6364
8	5	13	1,2DL+1,6LL	Combination	3,5507	0,4279
9	6	13	1,2DL+1,6LL	Combination	10,1802	1,6459
9	6	21	1,2DL+1,6LL	Combination	9,6287	1,4978
9	6	22	1,2DL+1,6LL	Combination	9,2016	0,0325
9	6	15	1,2DL+1,6LL	Combination	9,731	0,2028
10	7	15	1,2DL+1,6LL	Combination	7,4999	-0,2425
10	7	22	1,2DL+1,6LL	Combination	7,4248	-0,1648
10	7	23	1,2DL+1,6LL	Combination	8,3325	2,8202
10	7	17	1,2DL+1,6LL	Combination	8,4355	2,7147
11	8	17	1,2DL+1,6LL	Combination	1,9352	0,3643
11	8	23	1,2DL+1,6LL	Combination	2,8661	1,3151
11	8	24	1,2DL+1,6LL	Combination	5,4123	0,9345
11	8	19	1,2DL+1,6LL	Combination	4,4734	-0,0084

Tabel 4.4.1 Output tangga pada SAP2000

TABLE: Element Forces - Area Shells						
Area	AreaElem	Joint	OutputCase	CaseType	MMax	MMin
Text	Text	Text	Text	Text	KN-m/m	KN-m/m
12	9	20	1,2DL+1,6LL	Combination	4,779	3,1278
12	9	25	1,2DL+1,6LL	Combination	5,3098	2,9294
12	9	26	1,2DL+1,6LL	Combination	4,0454	0,3096
12	9	21	1,2DL+1,6LL	Combination	3,6714	0,3512
13	10	21	1,2DL+1,6LL	Combination	9,421	1,2435
13	10	26	1,2DL+1,6LL	Combination	9,3754	1,2214
13	10	27	1,2DL+1,6LL	Combination	9,2094	0,6465
13	10	22	1,2DL+1,6LL	Combination	9,2544	0,6692
14	11	22	1,2DL+1,6LL	Combination	7,6626	0,4508
14	11	27	1,2DL+1,6LL	Combination	8,0898	0,5809
14	11	28	1,2DL+1,6LL	Combination	8,591	2,1155
14	11	23	1,2DL+1,6LL	Combination	8,1386	2,0107
15	12	23	1,2DL+1,6LL	Combination	3,3253	0,0624
15	12	28	1,2DL+1,6LL	Combination	4,2363	0,2839
15	12	29	1,2DL+1,6LL	Combination	6,0398	0,8448
15	12	24	1,2DL+1,6LL	Combination	5,2211	0,531
16	13	25	1,2DL+1,6LL	Combination	5,1588	0,7857
16	13	4	1,2DL+1,6LL	Combination	5,6458	0,741
16	13	30	1,2DL+1,6LL	Combination	4,6822	-0,714
16	13	26	1,2DL+1,6LL	Combination	4,2223	-0,6963
17	14	26	1,2DL+1,6LL	Combination	9,3614	0,7066
17	14	30	1,2DL+1,6LL	Combination	9,7539	0,8096
17	14	31	1,2DL+1,6LL	Combination	9,5357	0,3071
17	14	27	1,2DL+1,6LL	Combination	9,1478	0,1994
18	15	27	1,2DL+1,6LL	Combination	8,1857	0,0527
18	15	31	1,2DL+1,6LL	Combination	8,728	0,1942
18	15	32	1,2DL+1,6LL	Combination	9,1742	1,24
18	15	28	1,2DL+1,6LL	Combination	8,6157	1,1148
19	16	28	1,2DL+1,6LL	Combination	4,2168	-1,0879
19	16	32	1,2DL+1,6LL	Combination	4,8703	-0,8239
19	16	5	1,2DL+1,6LL	Combination	5,6006	-1,0294
19	16	29	1,2DL+1,6LL	Combination	4,976	-1,3223

Tabel 4.4.2 Output tangga pada SAP2000

TABLE: Element Forces - Area Shells						
Area	AreaElem	Joint	OutputCase	CaseType	MMax	MMin
Text	Text	Text	Text	Text	KN-m/m	KN-m/m
20	17	7	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,7872	-6,2666
20	17	33	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,3231	-4,9158
20	17	34	1,2DL+1,6LL	Combination	0,1252	-3,5579
20	17	35	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,2534	-4,9943
21	18	35	1,2DL+1,6LL	Combination	-1,0219	-9,183
21	18	34	1,2DL+1,6LL	Combination	-1,2827	-9,983
21	18	36	1,2DL+1,6LL	Combination	0,3258	-9,6093
21	18	37	1,2DL+1,6LL	Combination	0,6222	-8,8449
22	19	37	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,1537	-10,5318
22	19	36	1,2DL+1,6LL	Combination	0,615	-7,7989
22	19	38	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,6385	-9,4919
22	19	39	1,2DL+1,6LL	Combination	-1,4457	-12,1863
23	20	39	1,2DL+1,6LL	Combination	5,7533	-0,2986
23	20	38	1,2DL+1,6LL	Combination	1,8343	-1,5534
23	20	40	1,2DL+1,6LL	Combination	0,2007	-5,7791
23	20	9	1,2DL+1,6LL	Combination	3,6939	-4,0984
24	21	33	1,2DL+1,6LL	Combination	-3,2259	-4,6105
24	21	41	1,2DL+1,6LL	Combination	-3,6379	-4,5041
24	21	42	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,8481	-3,6754
24	21	34	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,5951	-3,6228
25	22	34	1,2DL+1,6LL	Combination	-1,8539	-10,2191
25	22	42	1,2DL+1,6LL	Combination	-1,6835	-9,5863
25	22	43	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,2464	-9,17
25	22	36	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,4423	-9,7773
26	23	36	1,2DL+1,6LL	Combination	0,0308	-7,4613
26	23	43	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,0763	-7,4544
26	23	44	1,2DL+1,6LL	Combination	-3,0508	-8,3422
26	23	38	1,2DL+1,6LL	Combination	-2,9219	-8,3709
27	24	38	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,6818	-2,1681
27	24	44	1,2DL+1,6LL	Combination	-1,5668	-3,0314
27	24	45	1,2DL+1,6LL	Combination	-1,3294	-5,3515
27	24	40	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,4526	-4,4798

Tabel 4.4.3 Output tangga pada SAP2000

TABLE: Element Forces - Area Shells						
Area	AreaElem	Joint	OutputCase	CaseType	MMax	MMin
Text	Text	Text	Text	Text	KN-m/m	KN-m/m
28	25	41	1,2DL+1,6LL	Combination	-3,4118	-4,9041
28	25	46	1,2DL+1,6LL	Combination	-3,1321	-5,4856
28	25	47	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,4799	-4,0879
28	25	42	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,5748	-3,6913
29	26	42	1,2DL+1,6LL	Combination	-1,4414	-9,3882
29	26	47	1,2DL+1,6LL	Combination	-1,4398	-9,4195
29	26	48	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,877	-9,2477
29	26	43	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,8778	-9,2171
30	27	43	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,6766	-7,7214
30	27	48	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,8187	-8,2133
30	27	49	1,2DL+1,6LL	Combination	-2,2712	-8,7126
30	27	44	1,2DL+1,6LL	Combination	-2,1568	-8,1929
31	28	44	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,261	-3,4517
31	28	49	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,4066	-4,3291
31	28	50	1,2DL+1,6LL	Combination	-1,1767	-6,1134
31	28	45	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,9456	-5,3216
32	29	46	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,7228	-5,3303
32	29	8	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,6968	-5,9284
32	29	51	1,2DL+1,6LL	Combination	0,7071	-4,8519
32	29	47	1,2DL+1,6LL	Combination	0,7021	-4,2749
33	30	47	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,7905	-9,4048
33	30	51	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,9093	-9,8628
33	30	52	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,3694	-9,6206
33	30	48	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,2449	-9,1683
34	31	48	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,1167	-8,3176
34	31	52	1,2DL+1,6LL	Combination	-0,3028	-9,0262
34	31	53	1,2DL+1,6LL	Combination	-1,3203	-9,5172
34	31	49	1,2DL+1,6LL	Combination	-1,1525	-8,7902
35	32	49	1,2DL+1,6LL	Combination	1,1327	-4,2743
35	32	53	1,2DL+1,6LL	Combination	0,9442	-4,8114
35	32	5	1,2DL+1,6LL	Combination	0,9175	-5,4656
35	32	50	1,2DL+1,6LL	Combination	1,124	-4,9465

Tabel 4.4.4 Output tangga pada SAP2000

TABLE: Element Forces - Area Shells						
Area	AreaElem	Joint	OutputCase	CaseType	MMax	MMin
Text	Text	Text	Text	Text	KN-m/m	KN-m/m
36	33	10	1,2DL+1,6LL	Combination	4,5276	0,5881
36	33	54	1,2DL+1,6LL	Combination	3,6315	-0,4078
36	33	55	1,2DL+1,6LL	Combination	2,954	-0,3955
36	33	56	1,2DL+1,6LL	Combination	3,8389	0,6116
37	34	56	1,2DL+1,6LL	Combination	3,6206	2,4196
37	34	55	1,2DL+1,6LL	Combination	2,696	0,6862
37	34	57	1,2DL+1,6LL	Combination	2,4244	0,7721
37	34	58	1,2DL+1,6LL	Combination	3,1076	2,747
38	35	58	1,2DL+1,6LL	Combination	3,1513	0,515
38	35	57	1,2DL+1,6LL	Combination	2,2951	-0,6007
38	35	59	1,2DL+1,6LL	Combination	3,4573	-0,3571
38	35	60	1,2DL+1,6LL	Combination	4,3479	0,7243
39	36	60	1,2DL+1,6LL	Combination	0,5686	-9,064
39	36	59	1,2DL+1,6LL	Combination	2,9363	-0,4225
39	36	61	1,2DL+1,6LL	Combination	1,2819	-2,152
39	36	9	1,2DL+1,6LL	Combination	-1,1041	-10,7752
40	37	54	1,2DL+1,6LL	Combination	7,3667	0,9179
40	37	62	1,2DL+1,6LL	Combination	7,1368	0,3992
40	37	63	1,2DL+1,6LL	Combination	6,5769	0,2472
40	37	55	1,2DL+1,6LL	Combination	6,7969	0,7758
41	38	55	1,2DL+1,6LL	Combination	6,7609	1,4094
41	38	63	1,2DL+1,6LL	Combination	6,5621	0,7591
41	38	64	1,2DL+1,6LL	Combination	6,4586	0,7328
41	38	57	1,2DL+1,6LL	Combination	6,6541	1,3864
42	39	57	1,2DL+1,6LL	Combination	6,3346	0,4427
42	39	64	1,2DL+1,6LL	Combination	6,517	1,0571
42	39	65	1,2DL+1,6LL	Combination	6,4619	1,0362
42	39	59	1,2DL+1,6LL	Combination	6,2807	0,4204
43	40	59	1,2DL+1,6LL	Combination	6,9622	2,238
43	40	65	1,2DL+1,6LL	Combination	6,2335	-0,0857
43	40	66	1,2DL+1,6LL	Combination	6,7924	0,0196
43	40	61	1,2DL+1,6LL	Combination	7,5906	2,2738

Tabel 4.4.5 Output tangga pada SAP2000

TABLE: Element Forces - Area Shells						
Area	AreaElem	Joint	OutputCase	CaseType	MMax	MMin
Text	Text	Text	Text	Text	KN-m/m	KN-m/m
44	41	62	1,2DL+1,6LL	Combination	7,1335	0,401
44	41	67	1,2DL+1,6LL	Combination	7,3647	0,9255
44	41	68	1,2DL+1,6LL	Combination	6,7901	0,782
44	41	63	1,2DL+1,6LL	Combination	6,5691	0,2474
45	42	63	1,2DL+1,6LL	Combination	6,5516	0,7615
45	42	68	1,2DL+1,6LL	Combination	6,7559	1,4305
45	42	69	1,2DL+1,6LL	Combination	6,6395	1,404
45	42	64	1,2DL+1,6LL	Combination	6,4388	0,7314
46	43	64	1,2DL+1,6LL	Combination	6,4868	1,0594
46	43	69	1,2DL+1,6LL	Combination	6,3182	0,4935
46	43	70	1,2DL+1,6LL	Combination	6,2239	0,461
46	43	65	1,2DL+1,6LL	Combination	6,3902	1,0292
47	44	65	1,2DL+1,6LL	Combination	6,1768	-0,0979
47	44	70	1,2DL+1,6LL	Combination	6,9275	2,2353
47	44	71	1,2DL+1,6LL	Combination	7,6626	2,2827
47	44	66	1,2DL+1,6LL	Combination	6,8323	0,0291
48	45	67	1,2DL+1,6LL	Combination	3,6303	-0,4009
48	45	11	1,2DL+1,6LL	Combination	4,5287	0,5901
48	45	72	1,2DL+1,6LL	Combination	3,8363	0,6106
48	45	68	1,2DL+1,6LL	Combination	2,9484	-0,3909
49	46	68	1,2DL+1,6LL	Combination	2,6919	0,7073
49	46	72	1,2DL+1,6LL	Combination	3,6266	2,4194
49	46	73	1,2DL+1,6LL	Combination	3,101	2,7435
49	46	69	1,2DL+1,6LL	Combination	2,407	0,7907
50	47	69	1,2DL+1,6LL	Combination	2,2784	-0,5468
50	47	73	1,2DL+1,6LL	Combination	3,1154	0,5393
50	47	74	1,2DL+1,6LL	Combination	4,2849	0,7446
50	47	70	1,2DL+1,6LL	Combination	3,4149	-0,3084
51	48	70	1,2DL+1,6LL	Combination	2,8559	-0,3969
51	48	74	1,2DL+1,6LL	Combination	0,5305	-8,9473
51	48	6	1,2DL+1,6LL	Combination	-1,2608	-10,7437
51	48	71	1,2DL+1,6LL	Combination	1,0506	-2,1793
					12,1208	-12,1863

Tabel 4.4.6 Output tangga pada SAP2000

4.4.5 Penulangan Pelat Tangga

$$f'c = 25 \text{ Mpa}$$

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

$$Mu = 12,1208 \text{ KNmm} = 12120800 \text{ Nmm}$$

$$\text{Øtul} = 16 \text{ mm}$$

$$dx = 120 - 20 - (16/2) = 92 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 \rightarrow \text{untuk beton } f'c \leq 28 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{SNI 2847 2013 pasal 10.2.7.3}$$

$$\rho_{\min} = 0,002 \dots\dots\dots \text{SNI 2847 2013 pasal 7.12.2.1}$$

SNI 2847-2013, sebagai alternatif untuk komponen struktur yang besar dan masif, luas tulangan yang diperlukan pada setiap penampang, positif atau negatif, paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan berdasarkan analisis.

$$\rho_b = \frac{0,85\beta_1 f'c'}{fy} \left(\frac{600}{600+fy} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 25}{400} \left(\frac{600}{600+400} \right)$$

$$= 0,0271$$

Tulangan maksimum untuk struktur lentur adalah sebagai berikut :

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

$$= 0,75 \times 0,0271$$

$$= 0,02$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c} = \frac{400}{0,85 \times 25} = 18,82$$

4.4.5.1. Perhitungan arah memanjang

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{12120800}{0,8} = 15151000 \text{ Nmm}$$

$$15151000 \text{ Nmm} = 15,15 \text{ KNm} \times 5 \text{ bordes}$$

$$= 75,75 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{75,75}{1,2 \times 0,092^2} = 7458,06 \text{ KNm} = 7,46$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 18,82 \times 7,46}{400}} \right)$$

$$= 0,00387$$

Syarat :

$$\rho_{\min} \leq \rho_{\text{perlu}} \leq \rho_{\max}$$

$$0,002 \leq 0,00387 \leq 0,02$$

$$\rho_{\max} \leq \rho_{\text{perlu}} \text{ jadi dipakai } \rho = 0,00387$$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d_x$$

$$= 0,00387 \times 1200 \times 92$$

$$= 427,248 \text{ mm}^2$$

Dipakai Tulangan lapangan arah X dengan D13-200

Luas tulangan pakai :

$$A_{Spakai} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{s} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1200 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}$$

$$= 795,99 \text{ mm}^2$$

4.4.5.2. Perhitungan arah melintang

Tulangan arah melintang merupakan tulangan susut atau tulangan bagi struktur tangga, dengan ρ susut sebagai berikut :

Dipakai $\rho = 0,002$

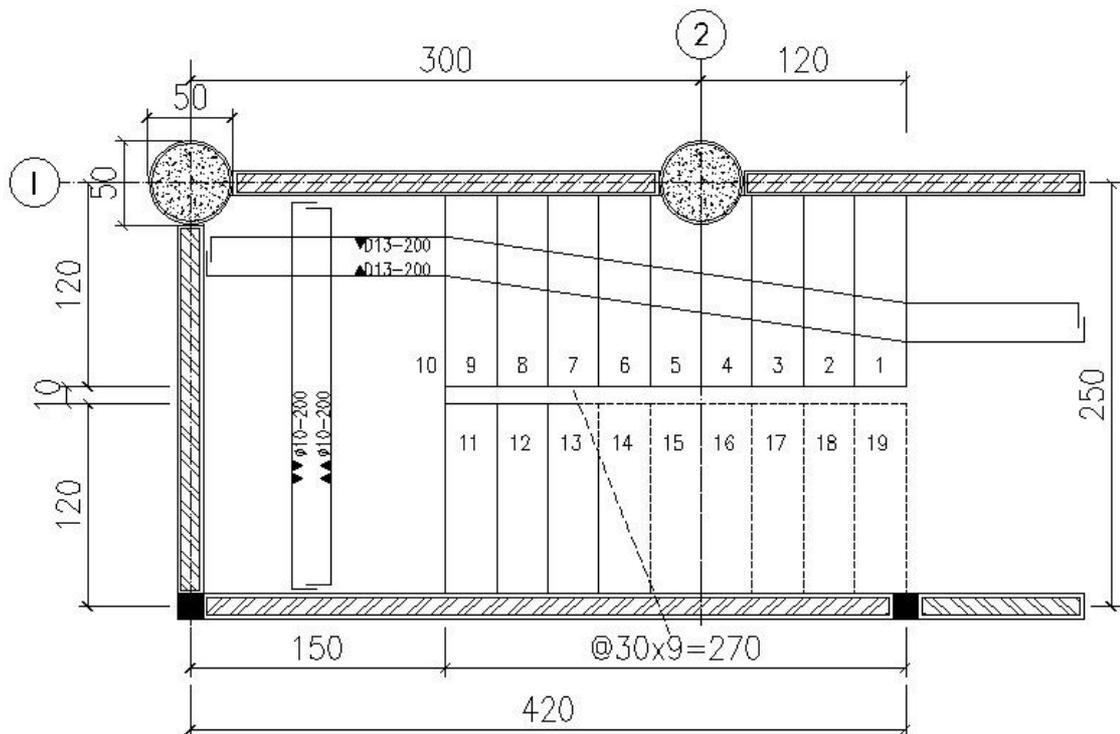
$$A_s \text{ susut perlu} = 0,002 \times b \times h = 0,002 \times 1200 \times 120 = 360 \text{ mm}^2$$

Dipakai Tulangan $\text{Ø}10\text{-}200$

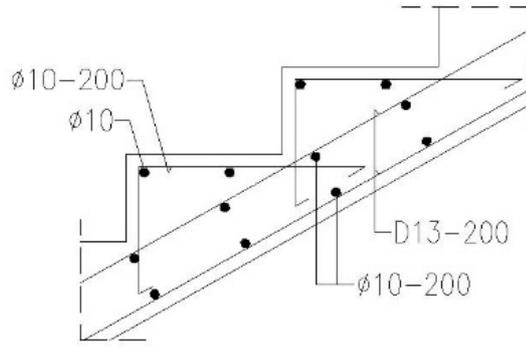
Luas tulangan pakai :

$$A_{Spakai} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{s} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1200 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}$$

$$= 471 \text{ mm}^2$$



Gambar 4.22. Penulangan Tangga



Gambar 4.23. Detail Penulangan Tangga

4.5. Analisa Struktur Utama

4.5.1. Analisa Pembebanan

- Dengan data perencanaan sebagai berikut :
Mutu beton (f_c') = 25 Mpa
Mutu baja (f_y) = 400 Mpa
Selimut beton = 40 mm
- Lokasi bangunan : Sidoarjo
- Jenis tanah : Lunak
- Kategori gedung : Perkantoran
- Tinggi tiap lantai : 3,5 meter

4.5.1.1. Tipe Pembebanan

- Beban hidup (LL)
Lantai 2-6 (Perkantoran) : 250 kg/m²
Lantai 7 (Atap) : 100 kg/m²
- Beban mati (DL)
Berat sendiri komponen struktur (DL) sudah dihitung secara otomatis oleh SAP2000 berdasarkan input data dimensi dan karakteristik material yang direncanakan.
- Beban mati tambahan (DL) antara lain sebagai berikut :

Plafond + penggantung	= 11 + 7	= 18 kg/m ²
Mekanikal Elektrikal	= 1 x 25	= 25 kg/m ²
Keramik (24 kg/m ²) + Spesi 1 cm (3 kg/m ²)		= 27 kg/m ²
Berat Air Hujan	= (10 x 1) x 0,05	= 0,5 kg/m ²
Finishing Atap	= 3	= 3 kg/m ²

Sehingga beban – beban gravitasi tersebut dapat dirangkum untuk masing – masing lantai sebagai berikut :

4.5.1.2. Pembebanan Pelat Lantai 2, 3,4,5 dan 6

Beban Mati (DL)

Berat sendiri	$= 0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$	$= 288 \text{ kg/m}^2$
Plafond+penggantung	$= 11 \text{ kg/m}^2 + 7 \text{ kg/m}^2$	$= 18 \text{ kg/m}^2$
Mekanikal Elektrikal	$= 1 \times 25 \text{ kg/m}^2$	$= 25 \text{ kg/m}^2$
<u>Keramik (24 kg/m²) + Spesi 1 cm (3 kg/m²)</u>		<u>$= 27 \text{ kg/m}^2 +$</u>
	DL	$= 358 \text{ kg/m}^2$

Beban Hidup

Beban hidup untuk Gedung Kantor

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

4.5.1.3. Pembebanan Pelat Atap

Beban Mati (DL)

Berat Pelat	$= 0,12 \times 2400$	$= 288 \text{ kg/m}^2$
Berat Air Hujan	$= (10 \times 1) \times 0,05$	$= 0,5 \text{ kg/m}^2$
Plafond + Penggantung	$= 11 + 7$	$= 18 \text{ kg/m}^2$
Mekanikal Eletrikal	$= 25 \times 1$	$= 25 \text{ kg/m}^2$
<u>Finishing Atap</u>	<u>$= 3$</u>	<u>$= 3 \text{ kg/m}^2 +$</u>
	DL	$= 334,5 \text{ kg/m}^2$

Beban Hidup

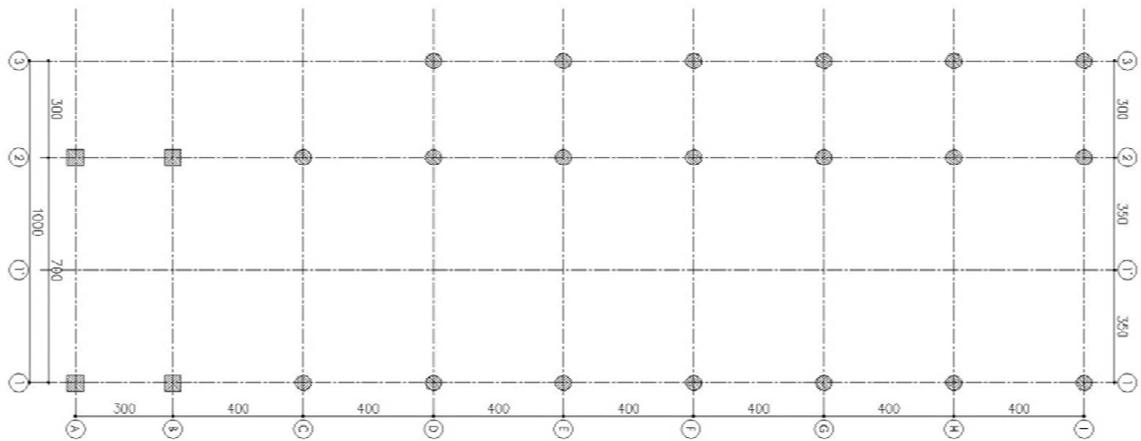
Beban hidup untuk atap

$$LL = 100 \text{ kg/m}^2$$

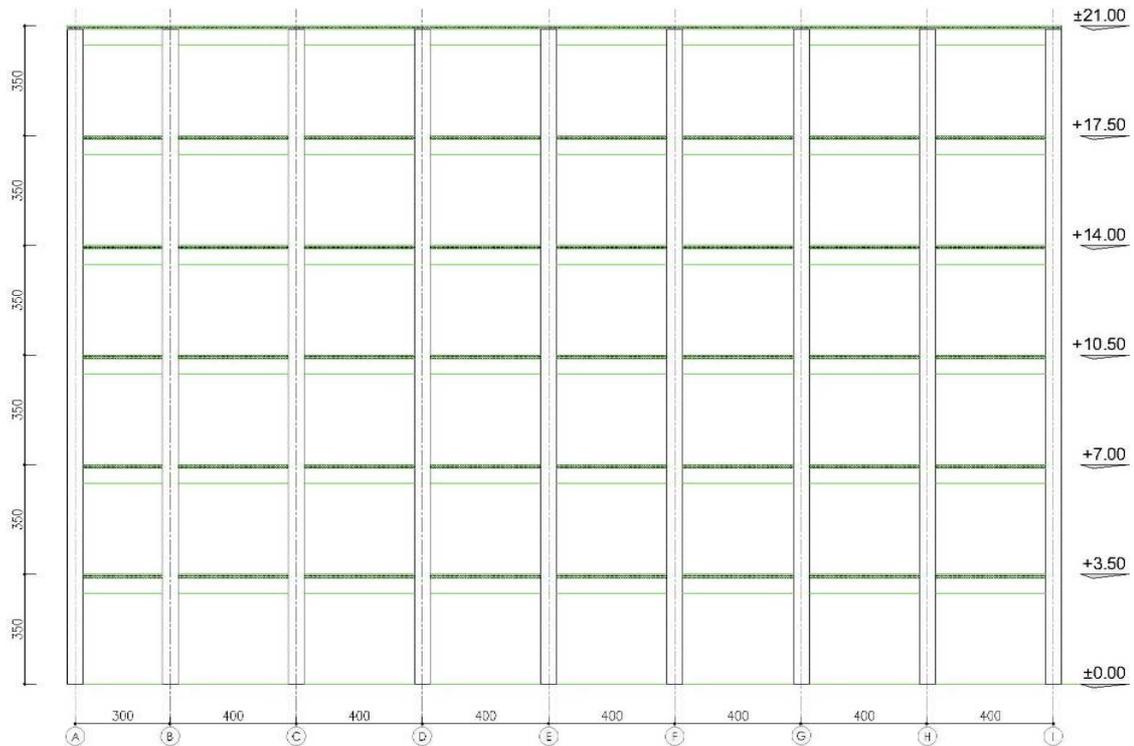
4.5.2. Perhitungan Gempa

- Data Bangunan

Type Bangunan	: Kantor 7 Lantai
Lebar Bangunan	: 10 m
Panjang Bangunan	: 31 m
Tinggi Bangunan	: 21 m
Mutu Beton (fc')	: 25 Mpa
Mutu Baja Ulir (fy)	: 390 MPa
Mutu Baja Polos (fy)	: 400 MPa



Gambar 4.24. Denah Gedung



Gambar 4.25. Tampak Samping

- Data Perencanaan

- Kolom : Dia. 50cm dan 50x50cm
- Balok utama : 30x60cm
- Balok anak : 30x40cm
- Tebal Pelat : Pelat Lantai : 12 cm

Pelat Atap : 10 cm

• Perhitungan Berat Bangunan Total W

❖ Berat lantai 2

Beban Mati (W_{DL}) :

$$\begin{aligned} \text{▪ Berat pelat} &= (31 \times 10 \times 0,12 \times 2400) + ((18+25+27) \times 31 \times 10) \\ &= 110980 \text{ kg} \end{aligned}$$

Balok Memanjang :

$$\text{▪ Balok induk} = 0,3 \times 0,4 \times (31 \times 2 + 20) \times 2400 = 23616 \text{ kg}$$

$$\text{▪ Balok anak} = 0,3 \times 0,4 \times 31 \times 2400 = 8928 \text{ kg}$$

Balok Melintang :

$$\text{▪ Balok induk} = 0,3 \times 0,6 \times (10 \times 6 + 7 \times 3) \times 2400 = 34992 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{▪ Kolom} &= [\{3,14 \times 0,5^2 \times 3,5 \times (6 \times 3 + 2)\} + \{0,5 \times 0,5 \times 3,5 \times (4)\}] \times 2400 \\ &= 140280 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{▪ Dinding} &= (31+7+11+3+20+10) \times 3,5 \times 2 \times 250 = \underline{71750 \text{ kg}} + \\ &390546 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban Mati (W_{LL}) :

$$\text{Beban hidup} = 250 \times 31 \times 10 = 77500 \text{ kg}$$

❖ Berat lantai Atap

Beban Mati (W_{DL}) :

$$\begin{aligned} \text{▪ Berat pelat} &= (31 \times 10 \times 0,1 \times 2400) + ((0,5+18+25+3) \times 31 \times 10) \\ &= 88815 \text{ kg} \end{aligned}$$

Balok Memanjang :

$$\text{▪ Balok induk} = 0,3 \times 0,4 \times (31 \times 2 + 20) \times 2400 = 23616 \text{ kg}$$

$$\text{▪ Balok anak} = 0,3 \times 0,4 \times 31 \times 2400 = 8928 \text{ kg}$$

Balok Melintang :

$$\text{▪ Balok induk} = 0,3 \times 0,6 \times (10 \times 6 + 7 \times 3) \times 2400 = 34992 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{▪ Dinding} &= (31+7+11+3+20+10) \times 2 \times 250 = \underline{41000 \text{ kg}} + \\ &197351 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban Mati (W_{LL}) :

$$\text{Beban hidup} = 100 \times 31 \times 10 = 31000 \text{ kg}$$

Untuk total berat lainnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.5. Berat Bangunan

Lantai	Beban Mati (W_{DL})						Beban Hidup (W_{LL})	Total
	Pelat	Balok Memanjang		Balok melintang	Kolom	Dinding		
		Balok induk	Balok anak	Balok induk				
Lantai 2	110.980,0	23.616,0	8.928,0	34.992,0	140.280,0	71.750,0	468.046,0	
Lantai 3	110.980,0	23.616,0	8.928,0	34.992,0	140.280,0	71.750,0	468.046,0	
Lantai 4	110.980,0	23.616,0	8.928,0	34.992,0	140.280,0	71.750,0	468.046,0	
Lantai 5	110.980,0	23.616,0	8.928,0	34.992,0	140.280,0	71.750,0	468.046,0	
Lantai 6	110.980,0	23.616,0	8.928,0	34.992,0	140.280,0	71.750,0	468.046,0	
Atap	88.815,0	23.616,0	8.928,0	34.992,0	-	41.000,0	228.351,0	
							Total	2.568.581,0

Tabel 4.6. Kategori Resiko Bangunan Gedung (SNI 1726:2012)

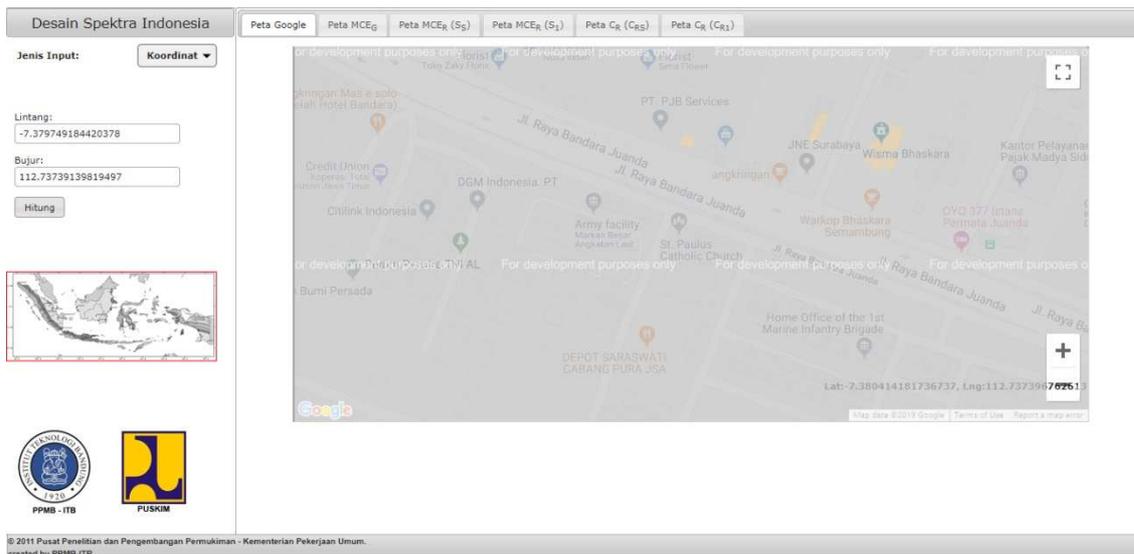
Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II

Kategori Resiko = II

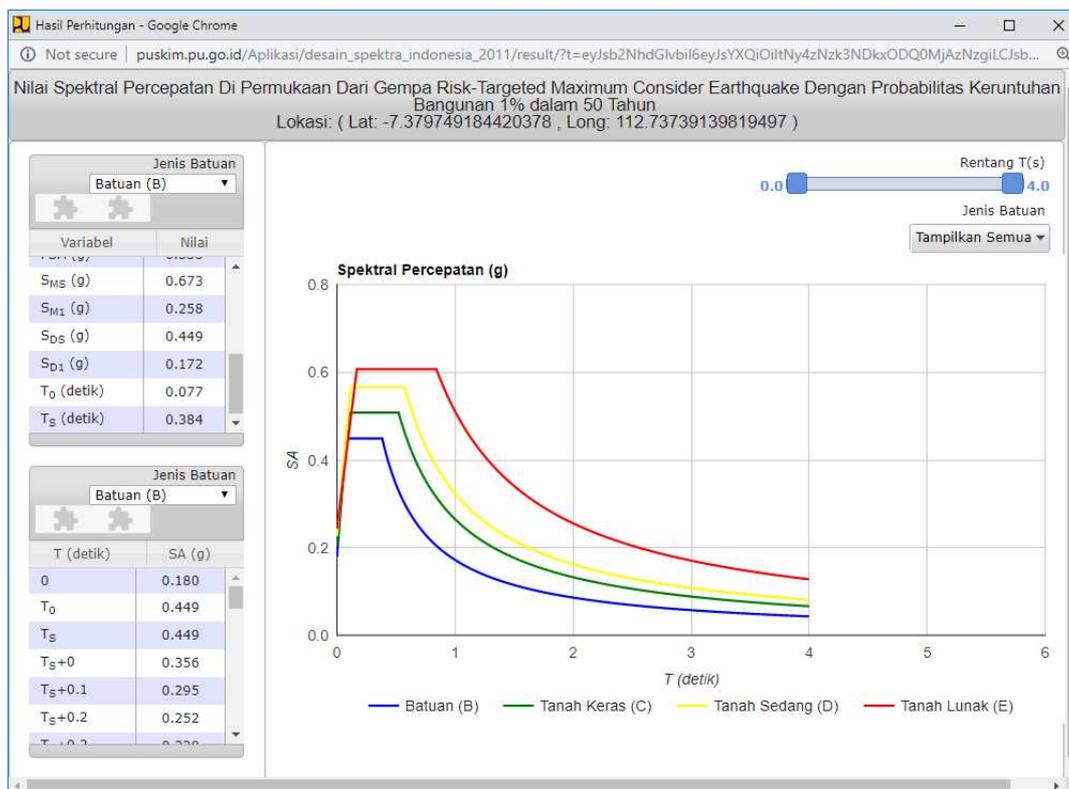
Faktor Keutamaan Gempa = 1,00

Tabel 4.7. Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726:2012)

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



Gambar 4.26. Koordinat Gedung Balai Paroki Gereja Khatolik Juanda



Gambar 4.27. Gambar tabel dan grafik Spektrum (www.puskimpu.go.id)

Tabel 4.8 Output Nilai Respon Spektrum

Variabel	Nilai
PGA (g)	0,333
S_S (g)	0,673
S_1 (g)	0,258
C_{RS}	0,993
C_{R1}	0,929
F_{PGA}	1
F_A	1
F_V	1
PSA (g)	0,333
S_{MS} (g)	0,673
S_{M1} (g)	0,258
S_{DS} (g)	0,449
S_{D1} (g)	0,172
T_0 (detik)	0,077
T_s (detik)	0,384

Tabel 4.9 Kategori Desain Seismik perioda pendek (SNI 1726:2012)

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Tabel 4.10 Kategori Desain Seismik perioda 1 detik (SNI 1726:2012)

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

Tabel 4.11. Pemilihan Respon Struktur dan Parameter Sistem
(SNI 1726:2012)

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat-lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^c				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^d	E ^d	F ^e
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^{h,i}	TI ^h	TI ⁱ
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB

Tabel 4.12. Nilai Parameter pendekatan C_t dan x (SNI 1726:2012)

Tipe struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 ^a	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 ^a	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 ^a	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 ^a	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 ^a	0,75

Total Berat Bangunan (Wt) = 2568581 kg

- Perhitungan Periode Alami Struktur (T)

Tinggi Gedung : 21,00 m

C_t : 0,0466

Sehingga periode alami struktur

$$T = C_t (h_n)^{3/4} = 0,0466 \times 21^{3/4} = 0,457 \text{ detik}$$

Kontrol pembatasan T sesuai SNI 03-1726-2012

$n = 7$ Lantai

$$\xi = 0,15 \text{ maka } \xi n = 0,15 \times 7 = 1,05 \text{ detik} > 0,457 \text{ detik} \dots \text{Ok}$$

Tabel 4.13. Koefisien ζ yang membatasi waktu getar alami Fundamental struktur gedung.

Wilayah Gempa	ζ
1	0,20
2	0,19
3	0,18
4	0,17
5	0,16
6	0,15

- Penentuan Faktor Respons gempa (C_t)

Penentuan nilai C_t berdasarkan :

$$\rightarrow \text{Periode alami struktur} = 0,457 \text{ detik}$$

$$\rightarrow \text{Faktor respons gempa (C)} = 0,35/T = 0,35/0,457 = 0,766$$

- a. Penentuan Faktor Keutamaan (I)

Kategori gedung : Gedung untuk perkantoran

Faktor keutamaan (I) : 1,0

- b. Penentuan Parameter Daktalitas Struktur (R)

$$R = 8$$

$$C_d = 5,5$$

$$\Omega_0 = 3$$

- c. Batasan periode fundamental struktur (T_a)

(SNI 1726:2012 pasal 7.8.2.1)

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

$$= 0,0466 \times 21^{0,9}$$

$$= 0,722$$

- d. Perhitungan koefisien respon seismik

(SNI 1726:2012 pasal 7.8.1.1)

$$S_{DS} = \text{Spectra percepatan desain } 0,449$$

I_e = Faktor keutamaan gempa = 1,00

R = 8

$C_s = \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}}$ tidak perlu melebihi $C_s \max = \frac{S_{D1}}{T(\frac{R}{I_e})}$, dan C_s harus tidak

kurang dari $C_s \min = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01$.

(SNI 1726:2012 pasal 7.8.1.1)

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{S_{DS}}{\frac{R}{I_e}} \\ &= \frac{0,449}{8/1,0} \\ &= 0,056 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s \min &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \\ &= 0,044 \times 0,449 \times 1,0 \geq 0,01 \\ &= 0,0197 \geq 0,01 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s \max &= \frac{S_{D1}}{T(\frac{R}{I_e})} \\ &= \frac{0,172}{0,722(\frac{8}{1,0})} \\ &= 0,0298 \end{aligned}$$

$$C_s \min \leq C_s$$

$$0,0197 \leq 0,056$$

e. Gaya geser gempa statik ekuivalen (V)

(SNI 1726:2012 pasal 7.8.1)

$$\begin{aligned} V &= C_s \times W_t \\ &= 0,056 \times 2568581 = 143840,54 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Distribusi gaya gesernya menggunakan rumus :

(SNI 1726:2012 pasal 7.8.3)

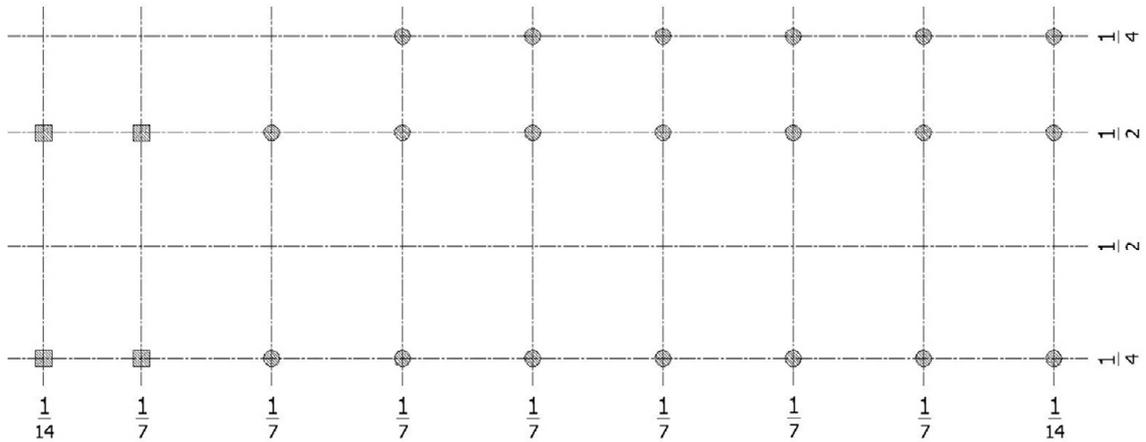
$$F = C_{vx} \cdot V$$

Tabel 4.14.1 Tabel distribusi gempa pada portal melintang dan memanjang

Lantai	Tinggi	Berat	w x h	$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$	V	F = V.C _{vx}
	m (h)	kg (w)				
Atap	21	228.351,0	4.795.371,0	0,163	143.840,54	23.487,26
Lantai 6	17,5	468.046,0	8.190.805,0	0,279	143.840,54	40.117,76
Lantai 5	14	468.046,0	6.552.644,0	0,223	143.840,54	32.094,21
Lantai 4	10,5	468.046,0	4.914.483,0	0,167	143.840,54	24.070,66
Lantai 3	7	468.046,0	3.276.322,0	0,112	143.840,54	16.047,10
Lantai 2	3,5	468.046,0	1.638.161,0	0,056	143.840,54	8.023,55
Σ		2.568.581,0	29.367.786,0			143.840,54 Kg

Tabel lanjutan 4.14.2 Tabel distribusi gempa pada portal melintang dan memanjang

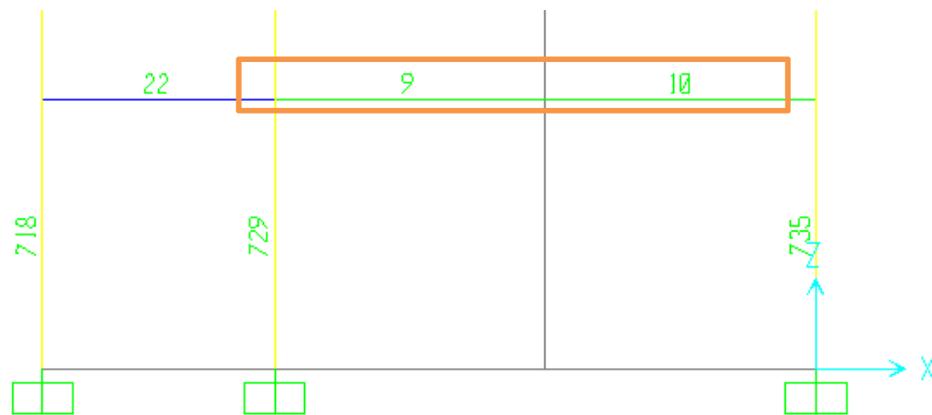
Lantai	Memanjang		Melintang		
	F : $\frac{1}{14}$	F : $\frac{1}{7}$	F : $\frac{1}{4}$	F : $\frac{1}{2}$	
Atap	1.677,66	3.355,32	5.871,81	11.743,63	Kg
Lantai 6	2.865,55	5.731,11	10.029,44	20.058,88	Kg
Lantai 5	2.292,44	4.584,89	8.023,55	16.047,10	Kg
Lantai 4	1.719,33	3.438,67	6.017,66	12.035,33	Kg
Lantai 3	1.146,22	2.292,44	4.011,78	8.023,55	Kg
Lantai 2	573,11	1.146,22	2.005,89	4.011,78	Kg



Gambar 4.28. Denah pembagian distribusi beban gempa

4.6. Perhitungan Balok Induk

4.6.1. Data Perencanaan Tulangan Balok Induk

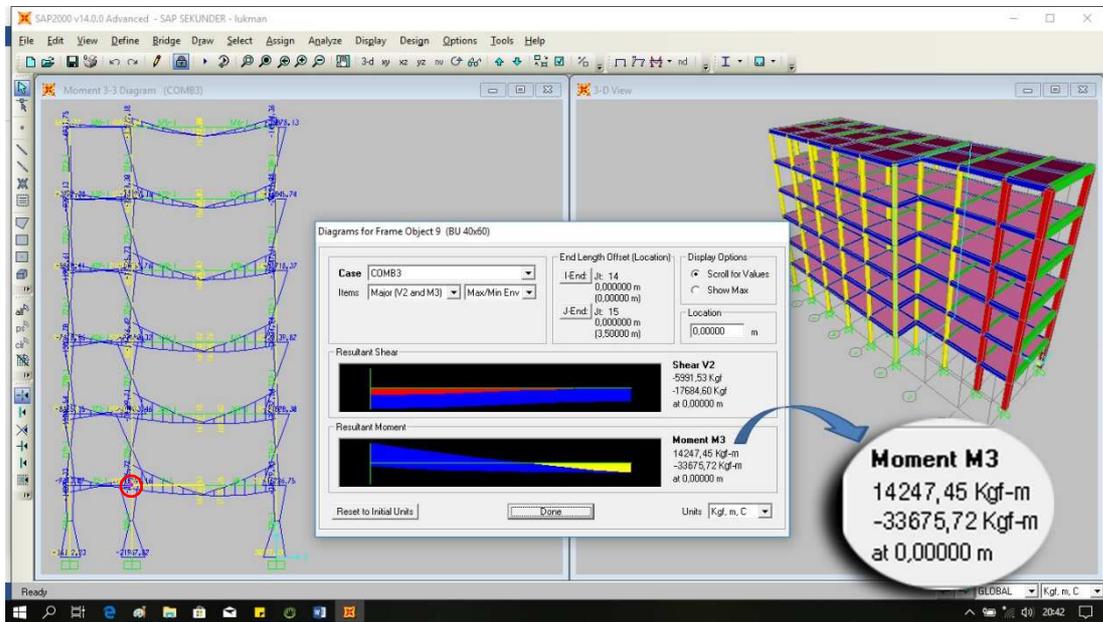


Gambar 4.29. Balok Induk yang ditinjau As D/1-3 Lantai 2

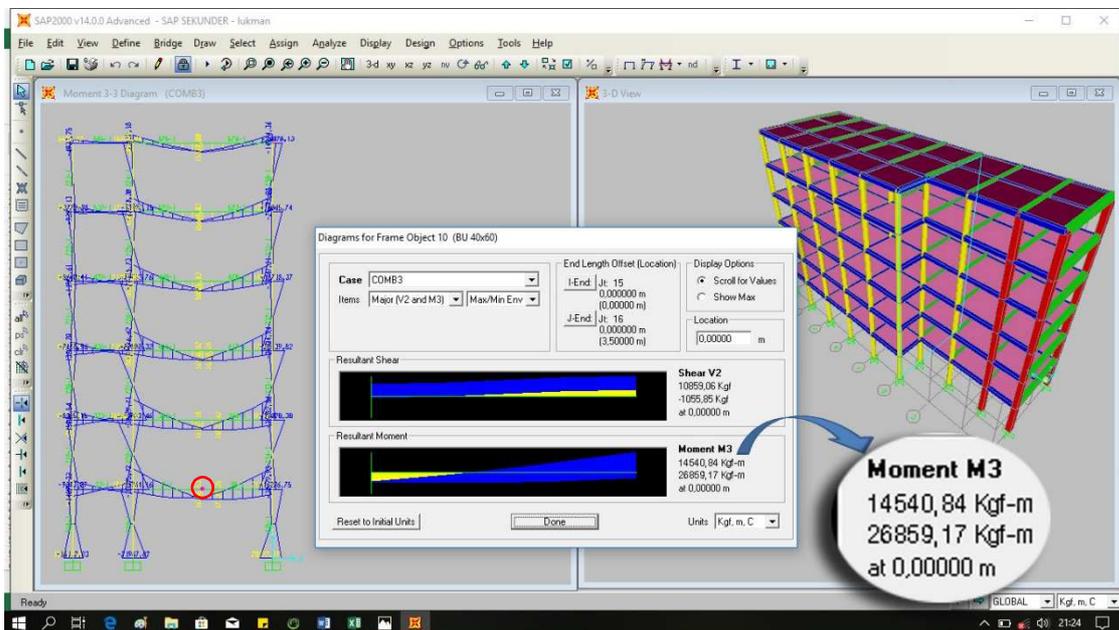
➤ Dengan data perencanaan sebagai berikut :

Tipe balok	= B1
Kuat tekan beton (f_c')	= 25 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	= 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 240 Mpa
Dimensi balok (b balok)	= 400 mm
Dimensi balok (h balok)	= 600 mm
Tebal selimut beton (t decking)	= 40 mm
	(SNI 2847:2013 Pasal 7.7.1)
Dia. tulangan lentur (D lentur)	= 22 mm
Dia. tulangan geser (\emptyset geser)	= 10 mm
$d = 600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 22$	= 539 mm
$d' = 600 - 539$	= 61 mm
Panjang bersih balok (l_n)	
$l_n = 7000 - 2 \times (\frac{1}{2} \times 500)$	= 6500 mm
Faktor β_1	= 0,85
	(SNI 2847:2013 Pasal 10.2.7.3)
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	= 0,9
	(SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.1)
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	= 0,75
	(SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.3)

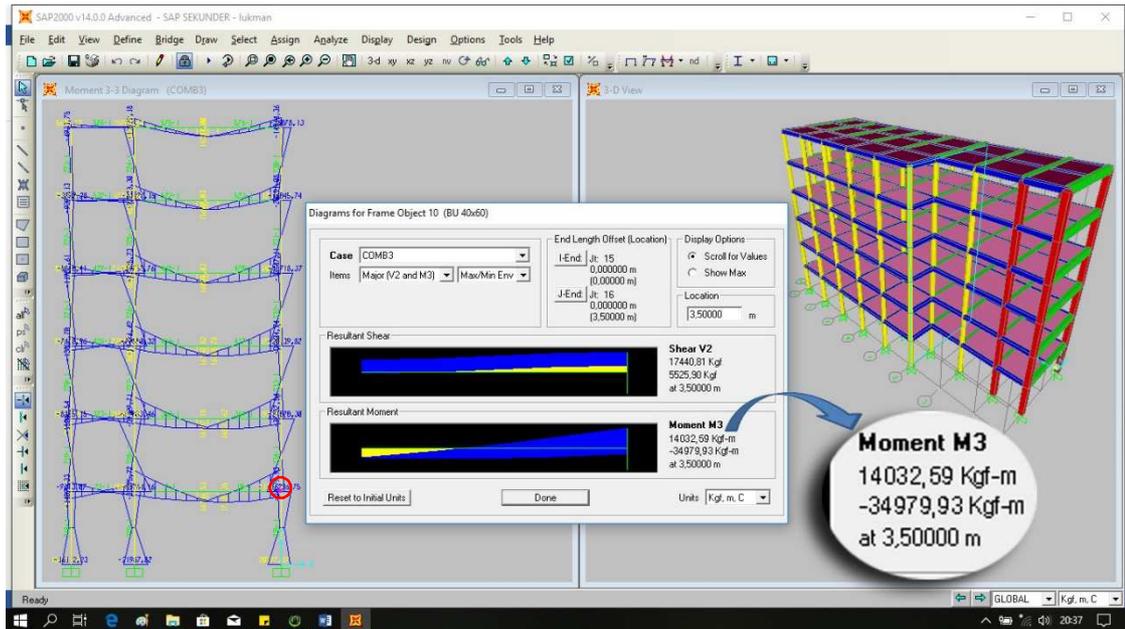
Faktor reduksi kekuatan puntir (ϕ) = 0,75
 (SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.3)



Gambar 4.30. Diagram frame 9 titik tumpuan kiri - SAP2000



Gambar 4.31. Diagram frame 10 titik lapangan - SAP2000



Gambar 4.32. Diagram frame 10 titik tumpuan kanan - SAP2000

Dari analisa struktur menggunakan program SAP2000, didapat hasil sebagai berikut Output Momen Max Balok Induk bentang 3,5 m/frame 9 dan 10 :



Gambar 4.40. Output SAP2000 Frame 9 dan 10

4.6.1.1. Penulangan Tumpuan Kiri

➤ Momen pada Tumpuan Kiri

$$\text{Momen (-)} = 33675,72 \text{ kgf-m}$$

$$\text{Momen (+)} = 14247,45 \text{ kgf-m}$$

➤ Perhitungan Tulangan Tarik

$$M_u = 33675,72 \text{ kgm} = 336,76 \text{ KNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{336,76}{0,9} = 374,18 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{374,18}{0,40 \times (0,539)^2} = 3219,9 \text{ KNm} = 3,22 \text{ Mpa}$$

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

ρ dalam keadaan seimbang (ρ balance) :

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85\beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600+400} \right) \\ &= 0,0271 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{max}} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0271 \\ &= 0,0203\end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,82$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 18,82 \times 3,22}{400} \right)} \right) \\ &= 0,0098\end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\text{min}}$, Jadi memakai $\rho = 0,0088$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0098 \times 400 \times 539 \\ &= 2112,88 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tulangan utama = D22 mm (As = 380,22)

$$\text{Kebutuhan tulangan} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As}} = \frac{2112,88}{380,22} = 5,1 \sim 6$$

Maka untuk tulangan tarik : **6 D22 (As = 2281 mm²)**

➤ Perhitungan Tulangan Tekan

$$M_u = 14247,45 \text{ kgm} = 142,47 \text{ KNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{142,47}{0,9} = 158,3 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{158,3}{0,40 \times (0,539)^2} = 1362,21 \text{ KNm} = 1,36 \text{ Mpa}$$

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

ρ dalam keadaan seimbang (ρ balance) :

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

$$= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600+400} \right)$$

$$= 0,0271 \text{ mm}^2$$

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

$$= 0,75 \cdot 0,0271$$

$$= 0,0203$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_{cr}} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,82$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y} \right)} \right)$$

$$= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 18,82 \times 1,36}{400} \right)} \right)$$

$$= 0,0035$$

$\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\min}$, Jadi memakai $\rho = 0,0035$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0035 \times 400 \times 539$$

$$= 754,6 \text{ mm}^2$$

Tulangan utama = D22 mm ($A_s = 380,22$)

$$\text{Kebutuhan tulangan} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s} = \frac{754,6}{380,22} = 1,9 \sim 3$$

Maka untuk tulangan tekan : **3 D22 ($A_s = 1140 \text{ mm}^2$)**

4.6.1.2. Penulangan Tumpuan Kanan

➤ Momen pada tumpuan kanan

$$\text{Momen (-)} = 34979,93 \text{ kgf-m}$$

$$\text{Momen (+)} = 14032,59 \text{ kgf-m}$$

➤ Perhitungan Tulangan Tarik

$$M_u = 34979,93 \text{ kgm} = 349,79 \text{ KNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{349,79}{0,9} = 388,65 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{388,65}{0,40 \times (0,539^2)} = 3344,42 \text{ KNm} = 3,34 \text{ Mpa}$$

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

ρ dalam keadaan seimbang (ρ balance) :

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85\beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600+400} \right) \\ &= 0,0271 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0271 \\ &= 0,0203\end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,82$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 18,82 \times 3,34}{400} \right)} \right) \\ &= 0,0093\end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\min}$, Jadi memakai $\rho = 0,0093$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0093 \times 400 \times 539 \\ &= 2005,08 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tulangan utama = D22 mm (As = 380,22)

$$\text{Kebutuhan tulangan} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As}} = \frac{2005,08}{380,22} = 5,27 \sim 6$$

Maka untuk tulangan tarik : **6 D22 (As = 2281 mm²)**

➤ Perhitungan Tulangan Tekan

$$M_u = 14032 \text{ kgm} = 140,32 \text{ KNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{140,32}{0,9} = 155,91 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{155,91}{0,40 \times (0,539)^2} = 1341,64 \text{ KNm} = 1,34 \text{ Mpa}$$

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

ρ dalam keadaan seimbang (ρ balance) :

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85\beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600+400} \right) \\ &= 0,0271 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{max}} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0271 \\ &= 0,0203\end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,82$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 18,82 \times 1,34}{400} \right)} \right) \\ &= 0,0035\end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} > \rho_{\text{min}}$, Jadi memakai $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \times 400 \times 539 \\ &= 754,6 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tulangan utama = D22 mm (As = 380,22)

$$\text{Kebutuhan tulangan} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As}} = \frac{754,6}{380,22} = 1,9 \sim 3$$

Maka untuk tulangan tekan : **3 D22 (As = 1140 mm²)**

4.6.1.3. Penulangan Lapangan

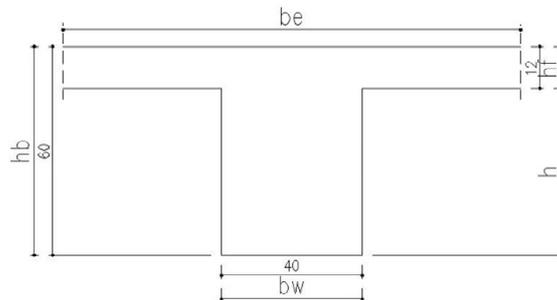
➤ Momen pada lapangan

$$\text{Momen (-)} = 14540,84 \text{ kgf-m}$$

$$\text{Momen (+)} = 26859,17 \text{ kgf-m}$$

➤ Perhitungan Tulangan Tekan

Perhitungan lebar efektif b_e : (SNI 2847:2013 Pasal 13.2.4)



$$b_e : 40 + (2 \times 48) = 136$$

$$b_e : 40 + 8 \times 12 = 136$$

pilih nilai terkecil b_e :
136 cm

$$M_u = 14540,84 \text{ kgm} = 145,41 \text{ KNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{145,41}{0,9} = 161,57 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b_e d^2} = \frac{161,57}{1,36 \times (0,539)^2} = 408,93 \text{ KNm} = 0,408 \text{ Mpa}$$

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

ρ dalam keadaan seimbang (ρ balance) :

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85\beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0271 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0271 \\ &= 0,0203 \end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,82$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 18,82 \times 0,408}{400} \right)} \right) \end{aligned}$$

$$= 0,001$$

$$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{min}}$$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b_e \cdot d \\ &= 0,001 \times 1360 \times 539 \\ &= 733,04 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= \rho_{\text{min}} \cdot b_e \cdot d \\ &= 0,0035 \times 1360 \times 539 \\ &= 2565,64 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Diambil nilai yang lebih dari $A_s \text{ perlu}$ tetapi kurang dari $A_s \text{ min}$

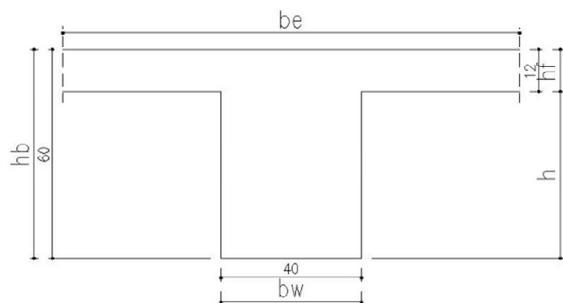
Tulangan utama = D22 mm ($A_s = 380,22$)

$$\text{Kebutuhan tulangan} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s} = \frac{1521}{380,22} = 4$$

Maka untuk tulangan tekan : **4 D22 ($A_s = 1521 \text{ mm}^2$)**

➤ Perhitungan Tulangan Tarik

Perhitungan lebar efektif b_e : (SNI 2847:2013 Pasal 13.2.4)



$$b_e : 40 + (2 \times 48) = 136$$

$$b_e : 40 + 8 \times 12 = 136$$

pilih nilai terkecil b_e : 136 cm

$$M_u = 26859,17 \text{ kgm} = 268,59 \text{ KNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{268,59}{0,9} = 298,43 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b_e d^2} = \frac{298,43}{1,36 \times (0,539)^2} = 755,31 \text{ KNm} = 0,76 \text{ Mpa}$$

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

ρ dalam keadaan seimbang (ρ_{balance}) :

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85\beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \\ &= 0,0271 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0271 \\ &= 0,0203\end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,82$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 18,82 \times 0,76}{400} \right)} \right) \\ &= 0,0019\end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$, Jadi memakai $\rho = 0,0035$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}A_s \text{ min} &= \rho_{\min} \cdot b \cdot e \cdot d \\ &= 0,0035 \times 1360 \times 539 \\ &= 2565,64 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

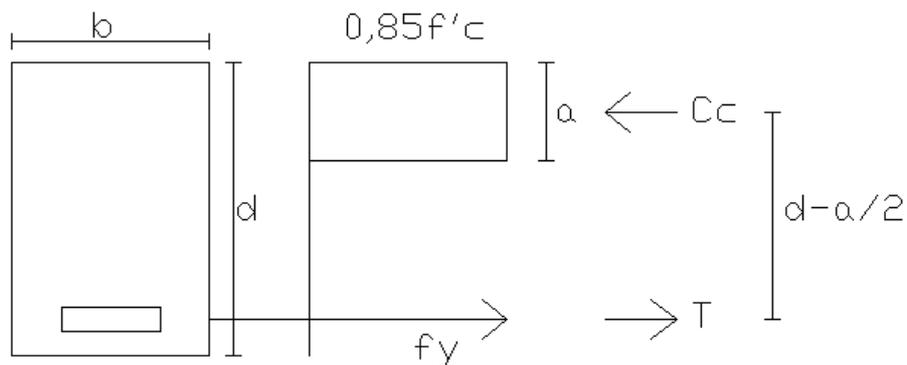
Dipilih yang terbesar yaitu $A_s = 2565,64 \text{ mm}^2$

Tulangan utama = D22 mm ($A_s = 380,22$)

$$\text{Kebutuhan tulangan} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s} = \frac{2565,64}{380,22} = 6,75 \sim 7$$

Maka untuk tulangan tarik : **7 D22 ($A_s = 2661 \text{ mm}^2$)**

4.6.2. Perhitungan Momen Kapasitas



$$M_{kap} = T \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$T - C_c = 0 \rightarrow T = C_c$$

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

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

a. Momen Nominal Kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pasang tulangan tarik} = 6 \text{ D22} = 2281 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pasang tulangan tekan} = 3 \text{ D22} = 1140 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{\text{As tulangan tarik} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$a = \frac{2281 \times 400}{0,85 \times 25 \times 400}$$

$$a = 107,34 \text{ mm}$$

$$M_{Kap \text{ ki}} = T \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 2281 \times 400 \times \left(539 - \frac{107,34}{2} \right)$$

$$= 442970200 \text{ Nmm}$$

$$= 44297,02 \text{ Kgf-m}$$

b. Momen Nominal Kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pasang tulangan tarik} = 6 \text{ D22} = 2281 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pasang tulangan tekan} = 3 \text{ D22} = 1140 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{\text{As tulangan tekan} \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$a = \frac{1140 \times 400}{0,85 \times 25 \times 400}$$

$$a = 53,65 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{Kap ki}} &= T \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1140 \times 400 \times \left(539 - \frac{53,65}{2} \right) \\
 &= 233551800 \text{ Nmm} \\
 &= 23355,18 \text{ Kgf-m}
 \end{aligned}$$

c. Momen Nominal Lapangan

Momen nominal lapangan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur lapangan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\text{As pasang tulangan tarik} = 7 \text{ D22} = 2661 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pasang tulangan tekan} = 4 \text{ D22} = 1521 \text{ mm}^2$$

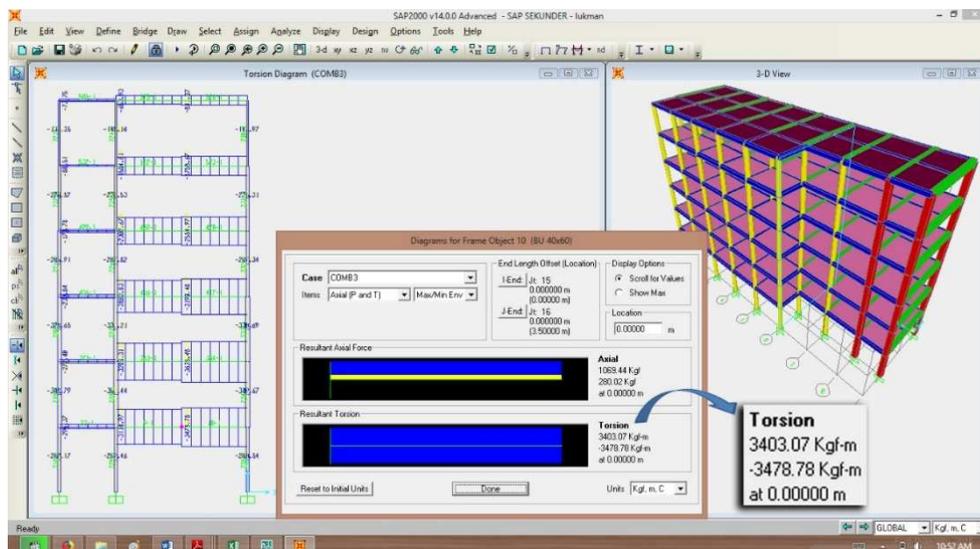
$$a = \frac{\text{As tulangan tekan} \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$a = \frac{2661 \times 400}{0,85 \times 25 \times 400}$$

$$a = 125,22 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{kap Lap tekan}} &= A_s \text{ tul} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 2661 \times 400 \times \left(539 - \frac{125,22}{2} \right) \\
 &= 507069516 \text{ Nmm} \\
 &= 50706,9 \text{ kgf-m}
 \end{aligned}$$

4.6.3. Perhitungan Penulangan Puntir



Gambar 4.33. Diagram puntir frame 10 - SAP2000

1. Momen Torsi (T_u) = 3478,78 kgf-m
2. Momen Tumpuan Kanan (M_{nr}) = 23355,18 kgf-m
3. Momen Tumpuan Kiri (M_{nl}) = 44297,02 kgf-m
4. Momen Lapangan = 50706,9 kgf-m

**Periksa Kecukupan Dimensi terhadap Beban Geser Lentur dan Puntir
Balok Induk 40/60 Lt.2 :**

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\ &= 400 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} \\ &= 240000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter luar irisan penampang beton A_{cp} :

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{\text{balok}} + h_{\text{balok}}) \\ &= 2 \times (400 \text{ mm} + 600 \text{ mm}) \\ &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \times (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) \\ &= (400 - (2 \times 40) - 10) \times (600 - (2 \times 40) - 10) \\ &= 158100 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times [(b_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}}) + (h_{\text{balok}} - 2 \cdot t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{geser}})] \\ &= 2 \times [(400 - (2 \times 40) - 10) + (600 - (2 \times 40) - 10)] \\ &= 1640 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi :

$$T_u = 3478,78 \text{ kgf-m}$$

Momen puntir nominal :

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\phi} \\ &= \frac{3478,78}{0,75} = 4638,373 \text{ kgf-m} \end{aligned}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari :

$$\begin{aligned}
 T_{u_{\min}} &= \phi \times 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \left(\frac{240000^2}{2000} \right) \\
 &= 8964000 \text{ Nmm} \\
 &= 8964 \text{ kgf-m} \qquad \qquad \qquad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.5.1.a}) \\
 \\
 T_{u_{\max}} &= \phi \times 0,33 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \\
 &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{25} \left(\frac{240000^2}{2000} \right) \\
 &= 35640000 \text{ Nmm} \\
 &= 35640 \text{ kgf-m} \qquad \qquad \qquad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.5.2.2.a})
 \end{aligned}$$

Cek pengaruh momen puntir :

Syarat :

$T_{u_{\min}} > T_u \rightarrow$ tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{\min}} < T_u \rightarrow$ memerlukan tulangan puntir

Kontrol $= T_{u_{\min}} > T_u$
 $8964 \text{ kgf-m} > 3478,78 \text{ kgf-m}$

Karena nilai $T_{u_{\min}}$ lebih besar dari T_u maka penampang balok tidak memerlukan penulangan puntir.

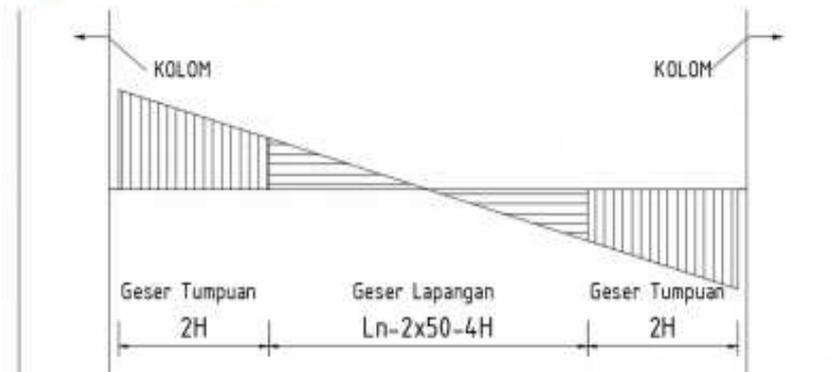
4.6.4. Perhitungan Penulangan Geser

Dengan data perencanaan sebagai berikut :

- Kuat tekan beton ($f'c'$) = 25 Mpa
- Kuat leleh tulangan geser (f_yv) = 240 Mpa
- Dimensi balok (b balok) = 400 mm
- Dimensi balok (h balok) = 600 mm
- Tebal selimut beton = 40 mm
- Diameter tulangan Lentur = 22 mm
- Diameter tulangan Geser = 12 mm
- $d = 600 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \times 22 = 539 \text{ mm}$
- $d' = 600 - 539 = 61 \text{ mm}$
- faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) = 0,75

faktor $\beta_1 = 0,85$

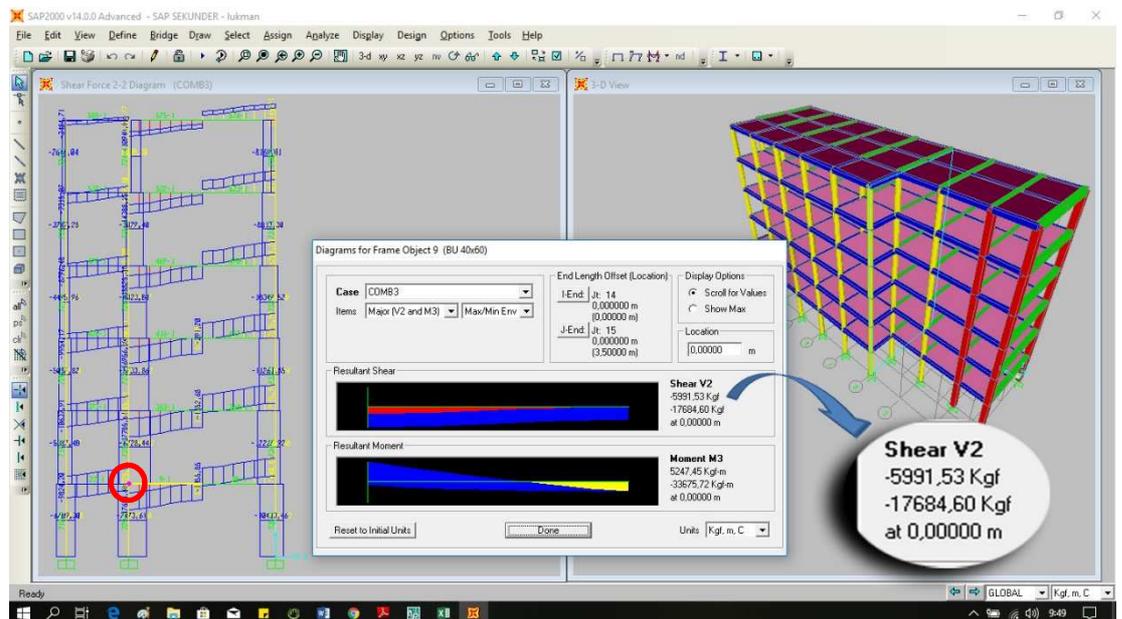
Pembagian Wilayah Geser Balok



Gambar 4.34. Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (SNI 2847:2013 Pasal 21.3)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.



Gambar 4.35. Diagram geser frame 9 tumpuan kiri - SAP2000

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat COMBO 3 (1,2DL+1,6LL+1,0QX+0,3QY) dari analisa SAP2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor (V_u) = 17684,6 kgf daerah tumpuan

Syarat kuat tekan beton (f_c') nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 8,3Mpa

$$\sqrt{f_c'} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$\sqrt{25} \text{ Mpa} < 8,3 \text{ Mpa}$$

$$5 \text{ Mpa} < 8,3 \text{ Mpa (memenuhi)} \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.1.2})$$

1. Tulangan geser balok :

$$\begin{aligned} V_u &= 17684,6 \text{ kgf} \\ &= 176846 \text{ N} \end{aligned}$$

2. Kuat geser beton :

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{25} \times 400 \times 539 \\ &= 183260 \text{ N} \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1}) \end{aligned}$$

3. Beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser :

Pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

$$\begin{aligned} V_{s \text{ min}} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 400 \times 539 \\ &= 71148 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ max}} &= 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{25} \times 400 \times 539 \\ &= 355740 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya geser diperoleh dari :

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{M_{nr} + M_{nl}}{l_n} + \frac{W_u + l_n}{2} \\ V_{u1} &= \frac{M_{nr} + M_{nl}}{l_n} + V_u \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 21.3.3}) \end{aligned}$$

Dimana :

- V_{u1} = Gaya geser pada muka perletakan
- M_{nl} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)
- M_{nr} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)
- l_n = Panjang bersih balok

Maka :

$$V_{u1} = \frac{23355,18 \text{ kgfm} + 44297,02 \text{ kgfm}}{6,5 \text{ m}} + 17684,6 \text{ kgf}$$

$$V_{u1} = 28092,63 \text{ kgf-m}$$

Periksa kondisi geser pada penampang balok :

Kondisi 1

$$V_{u1} \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$

$$28092,63 \text{ kgf-m} \leq 6872,25 \text{ kgf-m} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

(perlu tulangan geser)

Kondisi 2

$$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_{u1} \leq \phi \times V_c$$

$$6872,25 \text{ kgf-m} \leq 28092,63 \text{ kgf-m} \leq 13744,5 \text{ kgf-m}$$

(tulangan geser minimum)

Kondisi 3

$$\phi \times V_c \leq V_{u1} \leq \phi (V_c + V_s \text{ min})$$

$$13744,5 \text{ kgf-m} \leq 28092,63 \text{ kgf-m} \leq 19080,6 \text{ kgf-m}$$

(tulangan geser minimum)

(tidak memenuhi, maka kontrol kondisi 4)

Kondisi 4

$$\phi (V_c + V_s \text{ min}) \leq V_{u1} \leq \phi (V_c + V_s \text{ max})$$

$$19080,6 \text{ kgf-m} \leq 28092,63 \text{ kgf-m} \leq 47749,97 \text{ kgf-m}$$

(memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$\begin{aligned} V_s \text{ perlu} &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{28092,63 \text{ N} - 0,75 \times 183260 \text{ N}}{0,75} \\ &= 191308,4 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser adalah :

$$A_v = (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki}$$

$$A_v = (0,25 \pi 10^2) \times 2$$

$$A_v = 157 \text{ mm}^2$$

Perencanaan jarak perlu tulangan geser :

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$S_{\text{perlu}} = \frac{157 \text{ mm}^2 \times 240 \times 539 \text{ mm}}{191308,4 \text{ N}}$$

$$S_{\text{perlu}} = 106,16 \text{ mm}$$

Perencanaan dipasang jarak 100 mm

Periksa jarak spasi tulangan berdasarkan kondisi 4 :

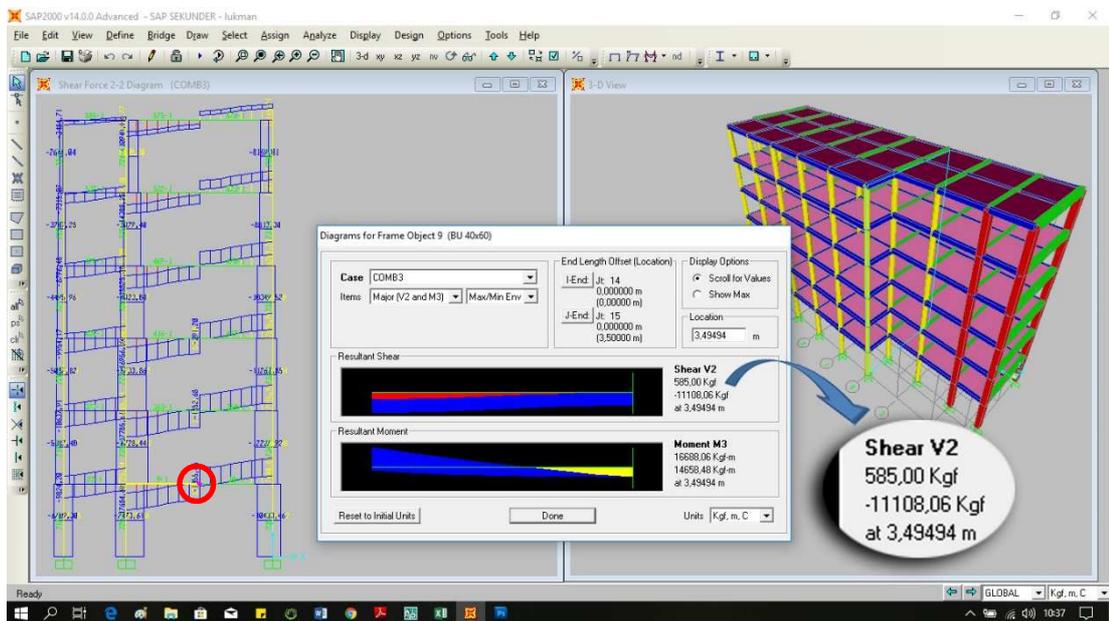
$$S_{max} = \frac{d}{2} \text{ atau } S_{max} < 600 \text{ mm}$$

$$S_{max} = \frac{539}{2} \text{ atau } S_{max} < 600 \text{ mm}$$

$$S_{perlu} = 269,5 \text{ mm atau } S_{max} < 600 \text{ mm}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5)

Jadi penulangan geser balok induk B1 (40x60) pada daerah tumpuan adalah Ø10-200



Gambar 4.36. Diagram geser frame 9 lapangan - SAP2000

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat COMBO (1,2DL+1,0LL+1,0QX+0,3QY) dari analisa SAP2000 didapatkan :

Gaya geser terfaktor (V_u) = 11108,06 kgf daerah lapangan

Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u2} = \frac{M_{nr} + M_{nl}}{l_n} + \frac{W_u + l_n}{2}$$

$$V_{u2} = \frac{M_{nr} + M_{nl}}{l_n} + V_u \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 21.3.4})$$

Dimana :

- V_{u1} = Gaya geser pada muka perletakan
- M_{nl} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)
- M_{nr} = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

- l_n = Panjang bersih balok

Maka :

$$V_{u2} = \frac{23355,18 + 44297,02}{6,5} + 11108,06$$

$$V_{u2} = 21516,09 \text{ kgf-m}$$

Periksa kondisi geser pada penampang balok :

Kondisi 1

$$V_{u2} \leq 0,5 \times \phi \times V_c$$

$$21516,09 \text{ kgf-m} \leq 6872,25 \text{ kgf-m} \quad (\text{tidak memenuhi})$$

(perlu tulangan geser)

Kondisi 2

$$0,5 \times \phi \times V_c \leq V_{u2} \leq \phi \times V_c$$

$$6872,25 \text{ kgf-m} \leq 21516,09 \text{ kgf-m} \leq 13744,5 \text{ kgf-m}$$

(tulangan geser minimum)

Kondisi 3

$$\phi \times V_c \leq V_{u2} \leq \phi (V_c + V_s \text{ min})$$

$$13744,5 \text{ kgf-m} \leq 21516,09 \text{ kgf-m} \leq 19080,6 \text{ kgf-m}$$

(tulangan geser minimum)

(tidak memenuhi, maka kontrol kondisi 4)

Kondisi 4

$$\phi (V_c + V_s \text{ min}) \leq V_{u2} \leq \phi (V_c + V_s \text{ max})$$

$$19080,6 \text{ kgf-m} \leq 21516,09 \text{ kgf-m} \leq 47749,97 \text{ kgf-m}$$

(memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$\begin{aligned} V_s \text{ perlu} &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{21516,09 \text{ N} - 0,75 \times 183260 \text{ N}}{0,75} \\ &= 103621,2 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser adalah :

$$A_v = (0,25 \pi d^2) \times n \text{ kaki}$$

$$A_v = (0,25 \pi 10^2) \times 2$$

$$A_v = 157 \text{ mm}^2$$

Perencanaan jarak perlu tulangan geser :

$$S_{perlu} = \frac{A_v \times F_{yv} \times d}{V_s \text{ perlu}}$$

$$S_{perlu} = \frac{157 \text{ mm}^2 \times 240 \times 539 \text{ mm}}{103621,2 \text{ N}}$$

$$S_{perlu} = 195,9 \text{ mm}$$

Perencanaan dipasang jarak 150 mm

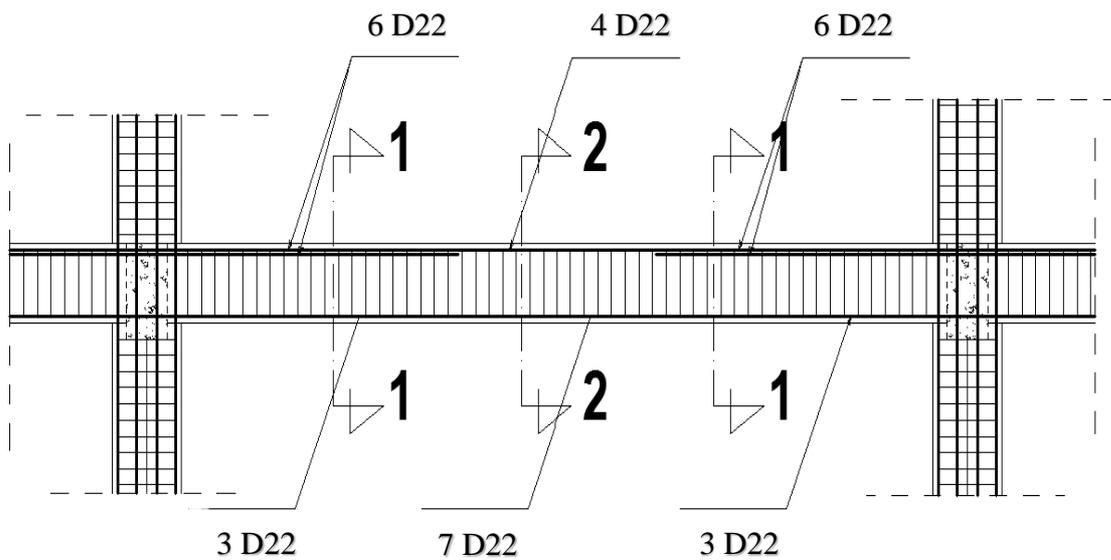
Periksa jarak spasi tulangan berdasarkan kondisi 4 :

$$S_{max} = \frac{d}{2} \text{ atau } S_{max} < 600 \text{ mm}$$

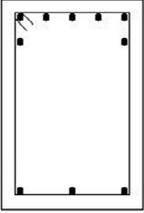
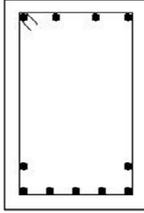
$$S_{max} = \frac{539}{2} \text{ atau } S_{max} < 600 \text{ mm}$$

$$S_{perlu} = 269,5 \text{ mm atau } S_{max} < 600 \text{ mm}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 11.4.5)



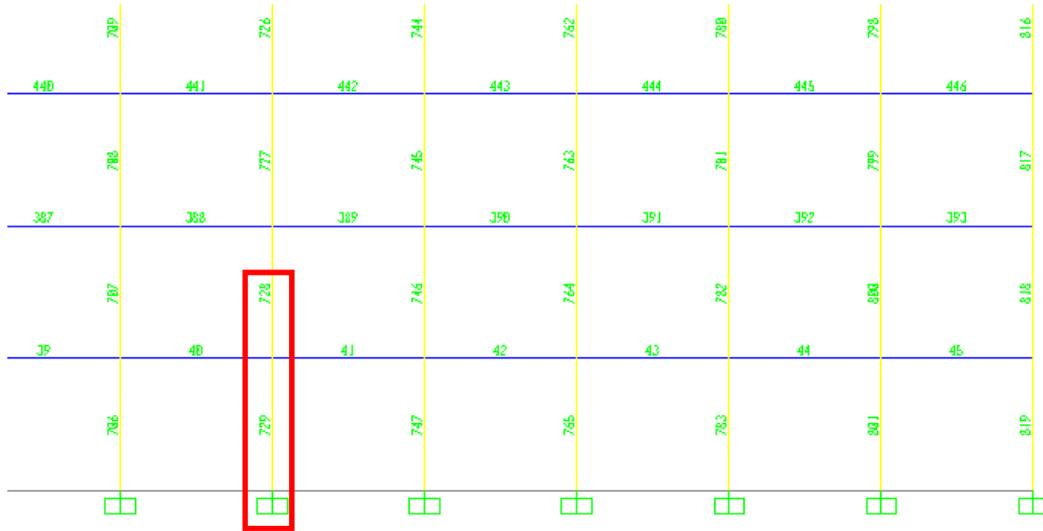
Gambar 4.37. Penulangan Balok Induk Frame 9 & 10

KODE	B.1	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
		
DIMENSI	400 x 600	400 x 600
TULANGAN ATAS	6 D 22	4 D 22
TULANGAN SAMPING	--	--
TULANGAN BAWAH	3 D 22	7 D 22
SENGKANG	ø10-100	ø10-150

Gambar 4.38. Detail Penulangan Balok Induk

4.7. Perhitungan Kolom

4.7.1. Data perencanaan Kolom



Gambar 4.39. Kolom yang ditinjau Frame 729 – SAP2000

1. Dengan data perencanaan sebagai berikut :

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| Tipe kolom | = K1 |
| Dimensi kolom (b kolom) | = \varnothing 500 mm |
| Dimensi kolom (h kolom) | = \varnothing 500 mm |
| Tinggi kolom | = 3500 mm |
- Elemen di atasnya :
- Kolom
 - Panjang = \varnothing 500 mm
 - Lebar = \varnothing 500 mm
 - Tinggi = 3500 mm
 - Balok induk melintang
 - Panjang = 7000 mm
 - Lebar = 400 mm
 - Tinggi = 600 mm
 - Balok anak memanjang
 - Panjang = 4000 mm
 - Lebar = 300 mm
 - Tinggi = 400 mm

Tebal selimut beton (t decking)	= 40 mm (SNI 2847:2013 Pasal 7.7.1)
Kuat tekan beton (f_c')	= 25 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	= 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 400 Mpa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	= 22 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset geser)	= 10 mm
Modulus Elastisitas beton (E_c)	= 23500 Mpa
Modulus Elastisitas baja (E_s)	= 200000 Mpa
Jarak spasi tulangan sejajar	= 40 mm (SNI 2847:2013 Pasal 7.6.3)
Faktor β	= 0,85 (SNI 2847:2013 Pasal 10.2.7.3)
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	= 0,65 (SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.2.b)
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	= 0,75 (SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.3)

2. Lebar efektif kolom adaah :

$$d = h - \text{decking} - \emptyset \text{sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul. lentur}$$

$$d = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 22$$

$$d = 439 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} - \emptyset \text{sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul. lentur}$$

$$d' = 40 - 10 - 11$$

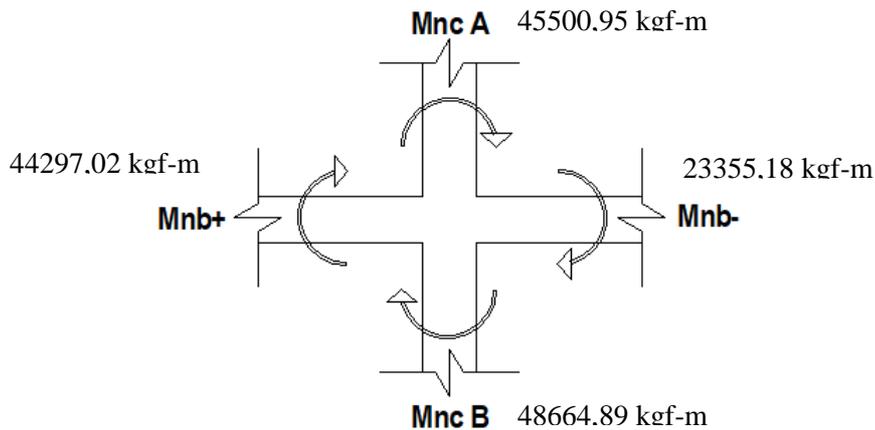
$$d' = 19 \text{ mm}$$

$$d'' = h - \text{decking} - \emptyset \text{sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset \text{ tul. lentur} - \frac{1}{2} h$$

$$d'' = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 22 - \frac{1}{2} 500$$

$$d'' = 189 \text{ mm}$$

4.7.2. Pemeriksaan Persyaratan “Strong Coloumn Weak Beam”



Persyaratan “*Strong Coloumn Weak Beam*” dipenuhi dengan persyaratan SNI 2847-2013 dilengkapi dengan penjelasan pasal 21.6.2.2 yaitu $\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$. Dimana nilai Nilai $\sum M_{nc}$ adalah jumlah dari M_{nA} dan M_{nB} yang bertemu di join dan $\sum M_{nb}$ adalah jumlah dari M_{nb+} dan M_{nb-} balok yang menyatu dengan kolom.

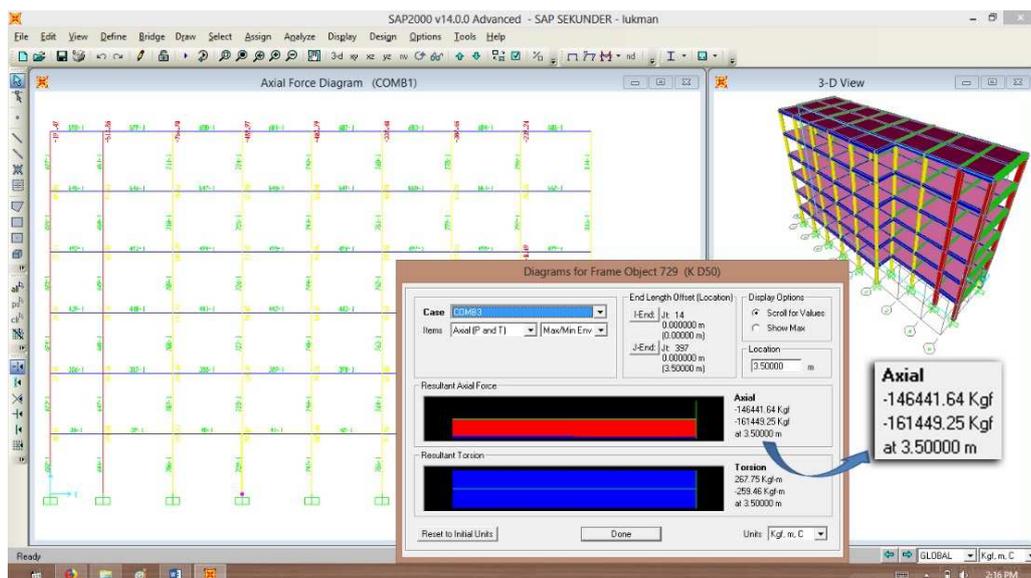
$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$$

$$(45500,95+48664,89) \text{ kgf-m} \geq 1,2 (44297,02+23355,18) \text{ kgf-m}$$

$$94165,84 \text{ kgf-m} \geq 81182,64 \text{ kgf-m (terpenuhi)}$$

✓ Gaya aksial yang terjadi pada frame 729 berdasarkan output SAP2000 :

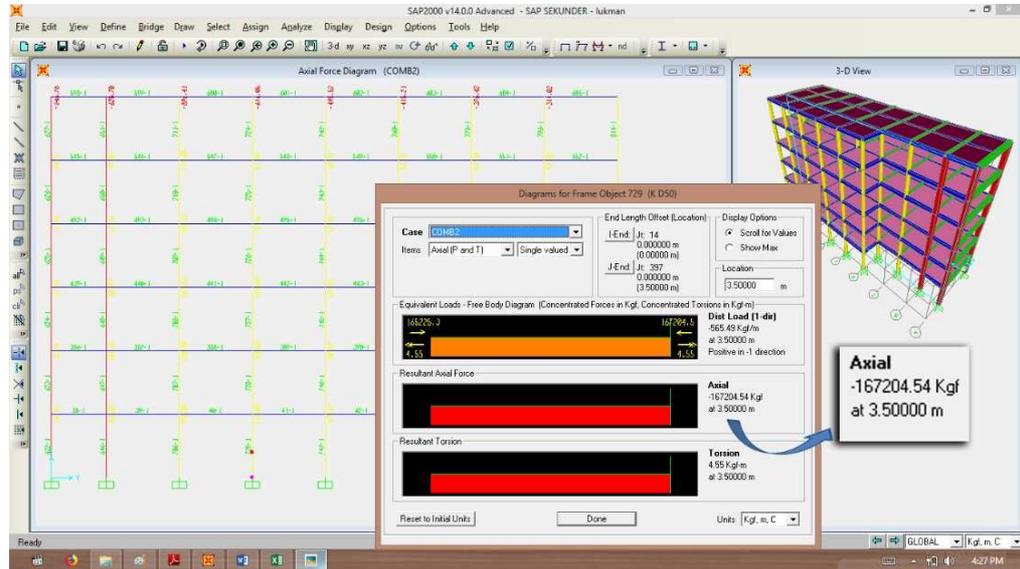
a. Gaya aksial kolom akibat beban mati (Pu Dead Load)



Gambar 4.40. Diagram Frame 729 gaya aksial kolom akibat beban mati – SAP2000

$$P_u = 161449,25 \text{ kgf}$$

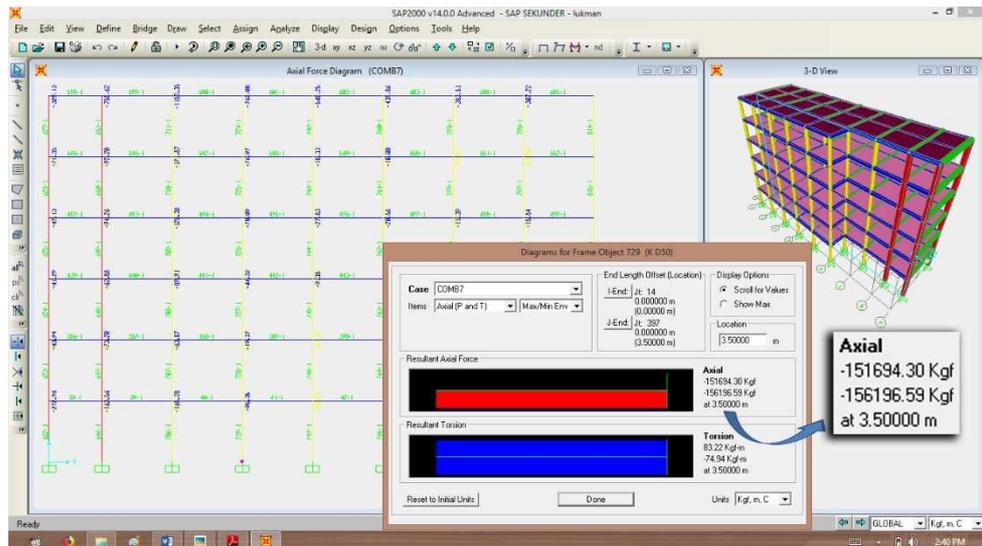
b. Gaya aksial kolom akibat kombinasi beban 1,2DL+1,6LL



Gambar 4.41.1 Diagram Frame 729 gaya aksial kolom akibat kombinasi beban – SAP2000

$$P_{u1,2DL+1,6LL} = 167204,54 \text{ kgf}$$

c. Gaya aksial kolom akibat kombinasi beban 1,2DL+1,6LL+0,3Qx+1Qy



Gambar 4.41.2 Diagram Frame 729 gaya aksial kolom akibat kombinasi beban – SAP2000

$$P_{u1,2DL+1,6LL+0,3Qx+1Qy} = 156196,59 \text{ kgf}$$

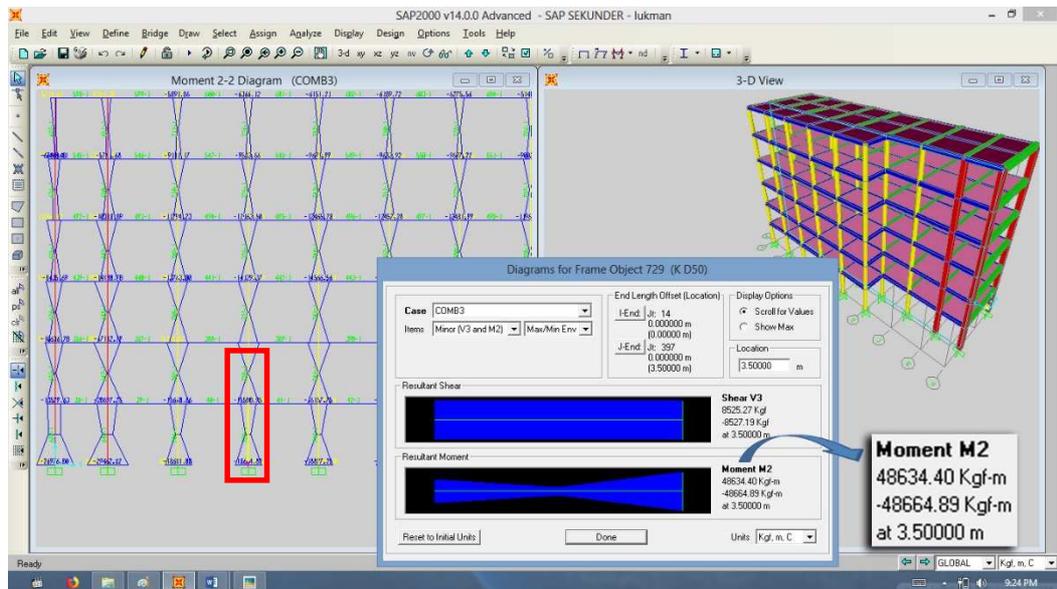
- ✓ Momen yang terjadi berdasarkan output SAP2000

Momen Nominal Balok induk

- Besarnya Momen Kapasitas Kiri Balok Frame 9
 $M_{nb}^+ = 44297,02 \text{ kgf-m}$
- Besarnya Momen Kapasitas Kanan Balok Frame 10
 $M_{nb}^- = 23355,18 \text{ kgf-m}$
- $\sum M_{nb} = M_{nb}^+ + M_{nb}^-$
 $= 44297,02 + 23355,18$
 $= 67652,2 \text{ kgf-m}$

Momen Nominal Kolom

- Momen Nominal Kolom Bawah Frame 729



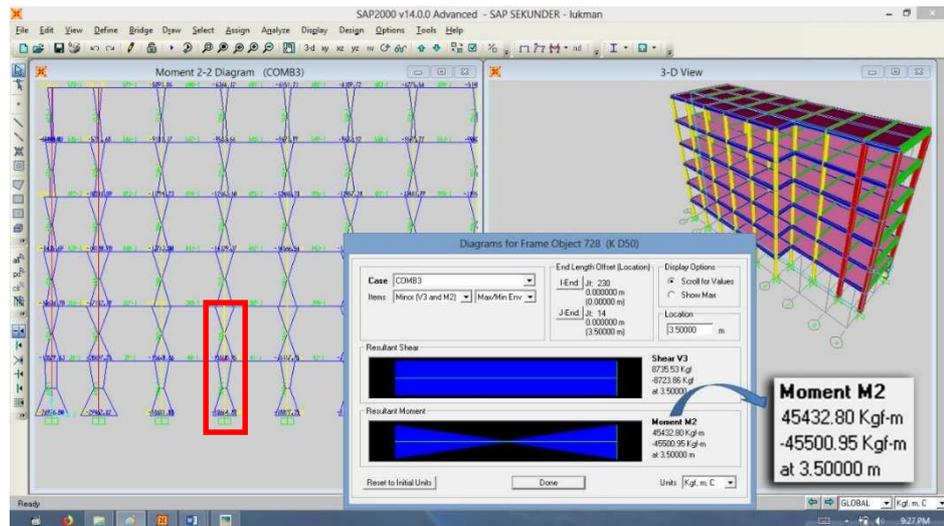
Gambar 4.42.1 Diagram Frame 729 momen nominal kolom – SAP2000

$$M_{uc} A = 48664,89 \text{ kgf-m}$$

$$M_{nc} A = \frac{48664,89}{0,8}$$

$$= 60831,11 \text{ kgf-m}$$

- Momen Nominal Kolom Atas Frame 728



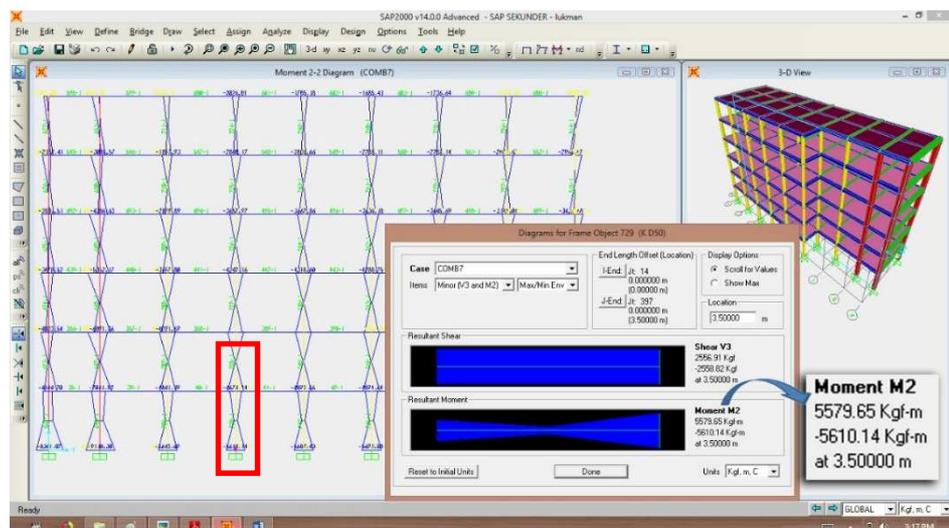
Gambar 4.42.2 Diagram Frame 729 momen nominal kolom – SAP2000

$$M_{uc\ B} = 45500,95 \text{ kgf-m}$$

$$M_{nc\ B} = \frac{45500,95}{0,8} = 56876,19 \text{ kgf-m}$$

$$\begin{aligned} \bullet \sum M_{nc} &= 60831,11 + 56876,19 \\ &= 117707,3 \text{ kgf-m} \end{aligned}$$

- Gaya momen akibat pengaruh beban gravitasi akibat kombinasi gempa $1,2DL+1,6LL+0,3Q_x+1Q_y$

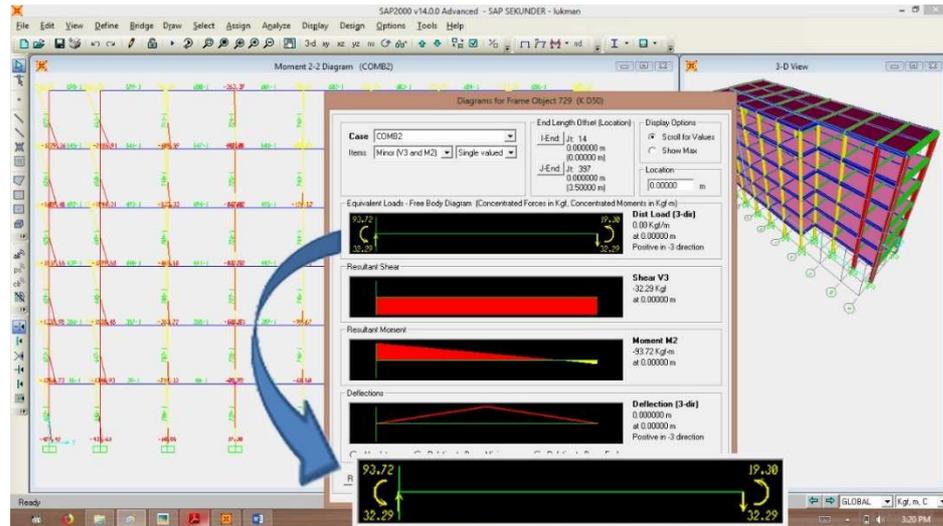


Gambar 4.43.1 Diagram Frame 729 gaya momen akibat beban gravitasi dan kombinasi gempa – SAP2000

$$M_{1s} = 5579,65 \text{ kgfm}$$

$$M_{2s} = 5610,14 \text{ kgfm}$$

- Gaya momen akibat pengaruh beban gravitasi akibat kombinasi gempa 1,2DL+1,6LL



Gambar 4.43.2 Diagram Frame 729 gaya momen akibat beban gravitasi dan kombinasi gempa – SAP2000

$$M_{1ns} = 144 \times 93,72 = 13500 \text{ kgfm}$$

$$M_{2ns} = 144 \times 19,30 = 2779,2 \text{ kgfm}$$

✓ Kontrol **Strong Column Weak Beam**

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$$

$$117707,3 \geq 1,2 (88594,04)$$

$$117707,3 \geq 106312,85$$

Kontrol **Strong Column Weak Beam** Terpenuhi.

4.7.3. Syarat Gaya Aksial Kolom

Menurut ketentuan SNI 2847:2013 Pasal 21.3.2 perlu diperhitungkan gaya aksial balok untuk menentukan perhitungan detail tulangan balok. Berikut perhitungan syarat gaya aksial balok :

$$\frac{Ag \times f'c}{10} = \frac{(0,25 \times 3,14 \times 0,5^2) \times 25}{10} = 490625 \text{ N} = 49062,5 \text{ kgf}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2DL+1,6LL+0,3Qx+1Qy pada komponen struktur sebesar 156196,59 kgf > 49062,5 kgf. Karena nilai gaya tekan aksial terfaktor (Pu) untuk komponen struktur yang lebih besar dari hasil diatas maka detail penulangan struktur rangka harus memenuhi SNI 2847:2013 Pasal 21.3.5

4.7.4. Kontrol Reduksi Kekakuan kolom

$$\beta = \frac{Pu_{DL}}{Pu_{1,2DL+1,6LL}}$$

$$\beta = \frac{161449,25}{167204,54}$$

$$\beta = 0,965$$

(SNI 2847:2013 Pasal 10.10.6.2)

4.7.5. Panjang tekuk kolom

$$\psi = \frac{\sum \left(\frac{EI}{L}\right)_{kolom}}{\sum \left(\frac{EI}{L}\right)_{balok}}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 10.10.7.2)

Dengan :

$$EI = \frac{0,4 Ec Ig}{1+\beta_d}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 10.10.6.1 pers.10-15)

Dimana:

- Kolom yang ditinjau ($\varnothing 50$)

$$EI = \frac{0,4 Ec Ig}{1+\beta_d}$$

$$EI = \frac{0,4 \times 23500 \times \frac{3,14 \times 500 \times 500^3}{4}}{1+0,965}$$

$$EI = 2,347 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

Elemen yang diatasnya

- Kolom ($\varnothing 50$)

$$EI = \frac{0,4 Ec Ig}{1+\beta_d}$$

$$EI = \frac{0,4 \times 23500 \times \frac{3,14 \times 500 \times 500^3}{4}}{1+0,965}$$

$$EI = 2,347 \times 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

- Balok melintang (40x60)

$$El = \frac{0,4 Ec Ig}{1 + \beta_d}$$

$$El = \frac{0,4 \times 23500 \times \frac{400 \times 600^3}{12}}{1 + 0,965}$$

$$El = 3,444 \times 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

- Balok memanjang (30x40)

$$El = \frac{0,4 Ec Ig}{1 + \beta_d}$$

$$El = \frac{0,4 \times 23500 \times \frac{300 \times 400^3}{12}}{1 + 0,965}$$

$$El = 7,654 \times 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

Sehingga :

$$\psi_a = \frac{\sum \left(\frac{El}{L} \right)_{kolom}}{\sum \left(\frac{El}{L} \right)_{balok}}$$

$$\psi_a = \frac{\left(\frac{El}{L} \right)_{kolom} + \left(\frac{El}{L} \right)_{kolom \text{ atas}}}{\left(\frac{El}{L} \right)_{B40 \times 60} + \left(\frac{El}{L} \right)_{B30 \times 40} + \left(\frac{El}{L} \right)_{B30 \times 40} + \left(\frac{El}{L} \right)_{30 \times 40}}$$

$$\psi_a = \frac{\left(\frac{2,347 \times 10^{14}}{3500} \right) + \left(\frac{2,347 \times 10^{14}}{3500} \right)}{\left(\frac{3,444 \times 10^{13}}{7000} \right) + \left(\frac{7,654 \times 10^{12}}{3000} \right) + \left(\frac{7,654 \times 10^{12}}{4000} \right) + \left(\frac{7,654 \times 10^{12}}{4000} \right)}$$

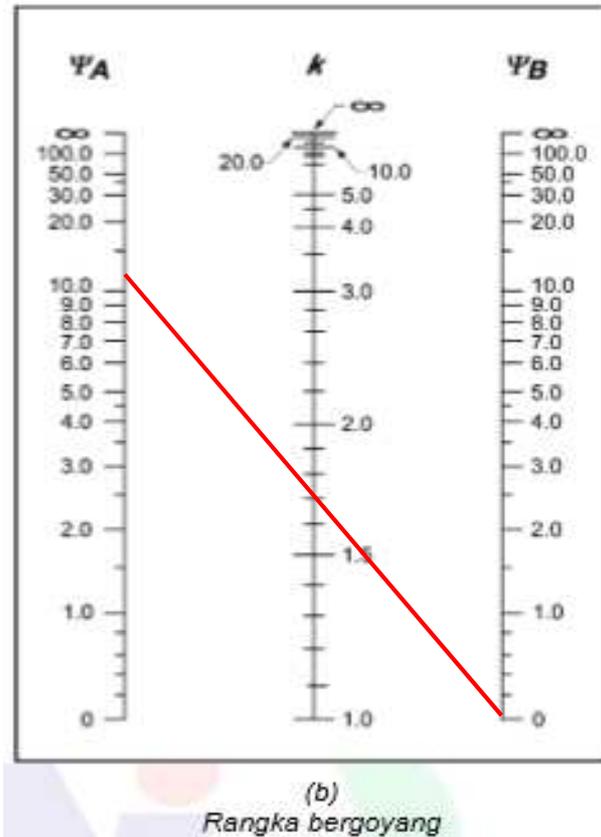
$$\psi_a = 11,87$$

$$\psi_b = 0 \text{ (Sendi Jepit)}$$

4.7.6. Menentukan panjang tekuk kolom

Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram faktor panjang tekuk (k)

(SNI 2847:2013 Pasal 10.10.7.2)



Gambar 4.44. Grafik Nomogram kolom

Sehingga berdasarkan grafik diatas diperoleh nilai faktor panjang tekuk kolom (k) adalah 1,7

4.7.7. Radius girasi

Radius girasi boleh diambil 0,30 kali dimensi untuk komponen struktur tekan persegi

$$r = 0,3 h$$

$$r = 0,3 \times 500$$

$$r = 150 \text{ mm}$$

(SNI 2847:2013 Pasal 10.10.1.2)

4.7.8. Kontrol kelangsingan

Pengaruh kelangsingan boleh diabaikan dalam kasus-kasu berikut :

$$\frac{kl}{r} \geq 22$$

$$\frac{1,7 \times 3500}{150} \geq 22$$

$$39,67 \geq 22$$

Pengaruh kelangsingan diabaikan

(termasuk kolom langsing)

4.7.9. Peninjauan kolom akibat momen

Perhitungan nilai Pc dan Pu pada kolom :

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 x EI}{K x I^2} && \text{(SNI 2847:2013 Pasal 10.10.6.1 pers.10-13)} \\ &= \frac{\pi^2 x (2,347 x 10^{14})}{1,7 x 3500^2} \\ &= 111118757,26 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_c &= n x P_c \\ &= 144 x 111118757,26 \\ &= 16001101045 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u = 161449,25 \text{ kgf}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_u &= n x P_u \\ &= 144 x 161449,25 \\ &= 232486920 \text{ kgf} \end{aligned}$$

Faktor pembesaran momen (δ_s) :

$$\begin{aligned} \delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \Sigma P_c}} \geq 1 && \text{(SNI 2847:2013 Pasal 10.10.7.4 pers.10-21)} \\ &= \frac{1}{1 - \frac{232486920}{0,75 x (16001101045)}} \geq 1 \\ &= 1,019 \geq 1 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Sehingga faktor pembesaran momen adalah $\delta_s = 1,019$

Nilai pembesaran momen :

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s M_{1s} && \text{(SNI 2847:2013 Pasal 10.10.7 pers.10-18)} \\ &= 135000 \text{ Nm} + 1,019 x 55796,5 \text{ Nm} \\ &= 191856,63 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s M_{2s} && \text{(SNI 2847:2013 Pasal 10.10.7 pers.10-19)} \\ &= 27792 \text{ Nm} + 1,019 x 56101,4 \text{ Nm} \\ &= 84959,33 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Momen yang diambil adalah yang terbesar yaitu 191856,63 Nm

Menentukan ρ_{perlu} dari diagram interaksi :

$$\mu = h \text{ kolom} - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \text{Ø geser}) - \text{Ø lentur}$$

$$\mu = 500 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - 22 \text{ mm}$$

$$\mu = 378 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{\mu h}{h_{kolom}}$$

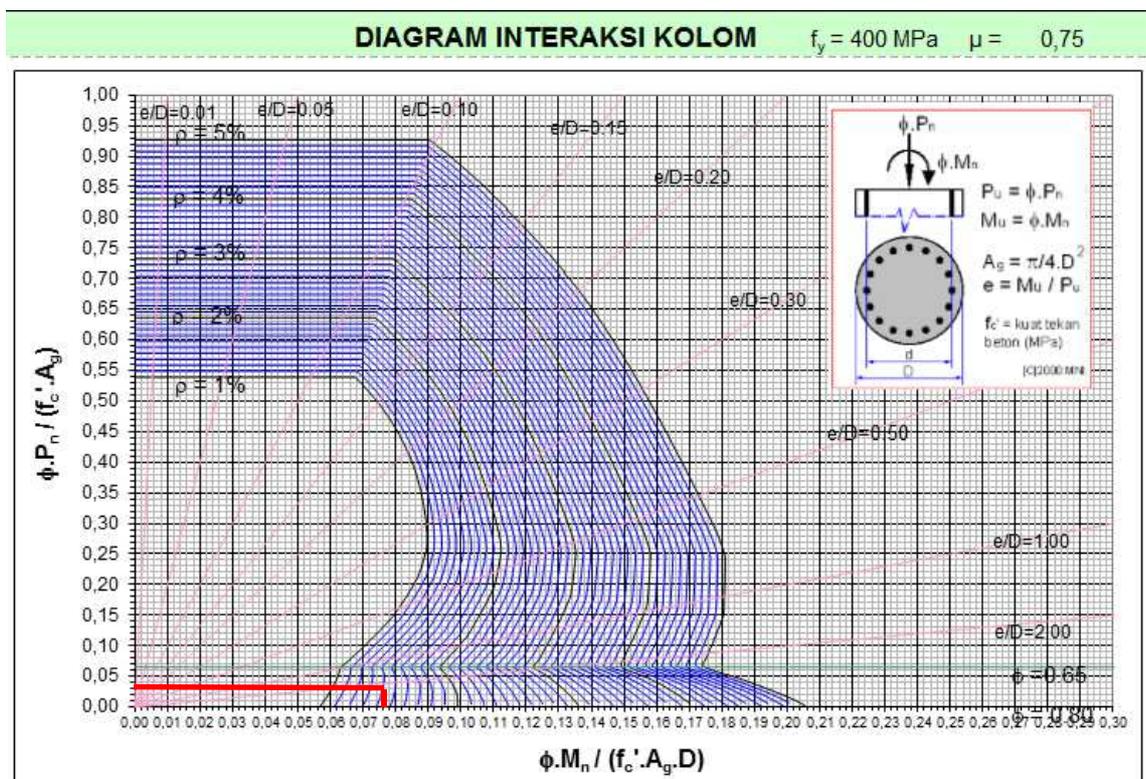
$$\mu = 0,75$$

Sumbu Horizontal :

$$\frac{\phi M_n}{f_c' x A_g x D} = \frac{M_u}{f_c' x A_g x D} = \frac{191856630 \text{ Nmm}}{25 x (0,25 x 3,14 x 500^2) x 500} = 0,078$$

Sumbu Vertikal :

$$\frac{\phi P_n}{f_c' x A_g} = \frac{P_u}{f_c' x b x h} = \frac{161449,25}{25 x (0,25 x 3,14 x 500^2)} = 0,03$$



Gambar 4.45. Diagram interaksi kolom

Dilihat dari diagram interaksi didapat $\rho_{perlu} = 2\%$, sedangkan syarat rasio tulangan lentur untuk kolom minimal 1% dari luas penampang kolom, maka ρ yang dipakai adalah $\rho = 0,02$.

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho \times b \times h \\ &= 0,02 \times 500 \times 500 = 5000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

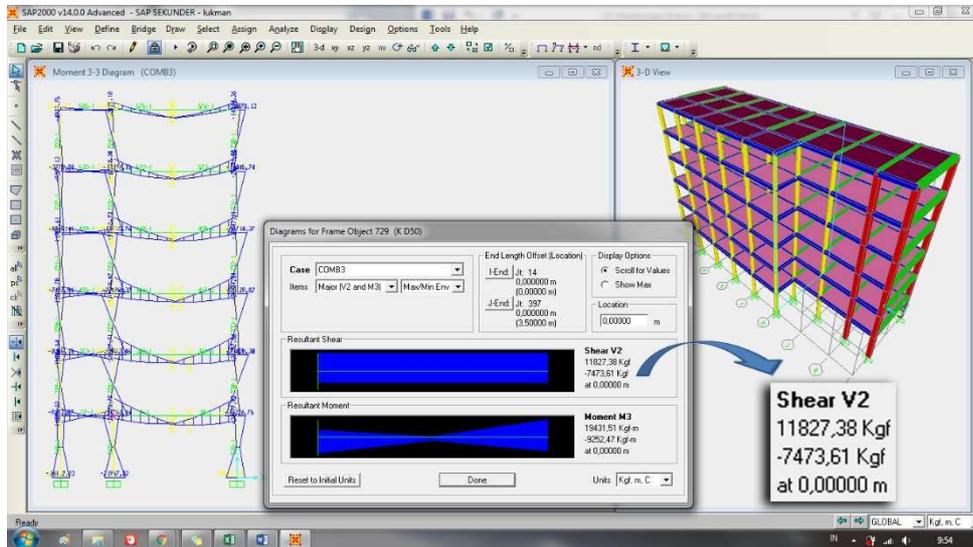
$$\text{Tulangan utama} = D 22 \text{ mm} \text{ (As } 380,22 \text{ mm}^2)$$

$$\text{Kebutuhan tulangan} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As}} = \frac{5000}{380,22} = 13,15 \sim 14$$

Direncanakan tulangan lentur **14D22** dengan luas (**As = 5323 mm²**)

4.7.10. Perhitungan penulangan geser

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya akibat kombinasi (1,2D+1,0L+3QY+1QX), dari analisa SAP2000 didapatkan :



Gambar 4.46. Diagram Frame 729 gaya geser kolom

$$V_u = 11827,38 \text{ kgf}$$

1. Syarat Kuat Tekan Beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa

$$\sqrt{f_c'} \leq 8,3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{25} \leq 8,3 \text{ MPa}$$

$$5 \text{ MPa} \leq 8,3 \text{ MPa} \text{ (memenuhi)} \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.1.2})$$

2. Kuat geser kolom

Kuat geser beton

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 500 \times 439$$

$$V_c = 186575 \text{ N} \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 11.2.1.1})$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_s \text{ min} = 0,33 \times b \times d$$

$$= 0,33 \times 500 \times 439$$

$$= 72435 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ max} &= 0,33 \times \sqrt{f'c'} \times 500 \times 439 \\ &= 0,33 \times \sqrt{25} \times 500 \times 439 \\ &= 362175 \text{ N} \end{aligned}$$

3. Perencanaan tulangan geser spiral

Direncanakan menggunakan tulangan geser diameter 10 mm dengan jumlah kaki 2

$$\begin{aligned} n_{\text{kaki}} &= 2 \\ A_v &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n_{\text{kaki}} \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Rasio tulangan spiral

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'c'}{f_{yv}} \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 10.9.3 pers.10-5})$$

dimana :

$$\begin{aligned} A_{ch} &= \text{Luas kolom} - \text{luas selimut kolom} \\ &= (0,25 \times 3,14 \times 500^2) - \{0,25 \times 3,14 \times (500 - 2 \times 40)^2\} \\ &= 57776 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\rho_s = 0,45 \left(\frac{(0,25 \times 3,14 \times 500^2)}{57776} - 1 \right) \frac{25}{400}$$

$$\rho_s = 0,037$$

Menentukan jarak spasi maksimum ρ_s

$$\rho_s = \frac{4 \times d''}{D_c \times s} \text{ sehingga } S_{max} = \frac{4 \times d''}{D_c \times \rho}$$

dimana :

$$\begin{aligned} D_c &= b - 2 \text{ decking} \\ &= 500 - 2 \times 40 \\ &= 420 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{max} = \frac{4 \times 189}{420 \times 0,037}$$

$$S_{max} = 48,65 \text{ mm}$$

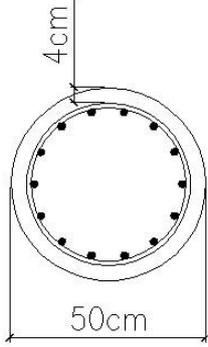
Syarat

$$25 \text{ mm} \leq 48,65 \text{ mm} \leq 75 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

Menurut ketentuan SNI 2847:2013 Pasal 7.10.4.3 spasi antar tulangan spiral tidak boleh melebihi 75 mm atau tidak kurang dari 25 mm. Sehingga tulangan geser spiral dipasang **D10 – 50 mm**.

4. Kesimpulan Perhitungan Penulangan Kolom Bulat

1. Penulangan Lentur → 14 D 22
2. Penulangan Geser spiral → D10 – 50

KODE	K1
	
DIMENSI	∅ 500
TULANGAN UTAMA	14 D 22
SENGKANG	SPIRAL D10-50
MUTU BETON	$f_c' = 25 \text{ MPa}$ (K-300)

Gambar 4.47. Detail Penulangan Kolom

4.8. Perhitungan Tiang Pancang, Pilecap dan Sloof

4.8.1. Perencanaan Tiang Pancang

Perhitungan menggunakan rumusan Mayerhof (1963). Daya dukung tiang pancang berdasarkan kekuatan bahan dan data sondir (CPT/Cone Penetration Test), berikut merupakan perhitungannya :

a. Data perencanaan

Kedalaman	= 27 m
Diameter tiang (D)	= 50 cm
Luas penampang tiang (A) $\frac{1}{4} \pi \cdot d^2$	= 1962,5 cm ²
Keliling penampang tiang (Ka) $\pi \cdot d$	= 157 cm
Berat beton bertulang (γ_b)	= 2400 kg/m ³

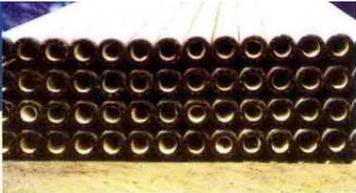
b. Daya dukung ijin berdasarkan kekuatan bahan

PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES (JBI PILES) JIS. A 5335

The manufacture of JBI piles uses a combined system : prestressing, spinning and steam curing which are done in the plant. Due to above system, the resulted processes the following qualities : Stable, high quality, high density of concrete, with extremely low absorption rate, totality free of corrosion problem. High resistance to shock, due to it's elasticity. The effective prestress at type A, AB, B, C are about 40, 60, 80, 100 Kg/Cm2 respectively. Bearing capacity determined by the material with concrete allowable stress according to ACI 543 : $0.33 \times 500 - 0.27 \times 40 = 154 \text{ Kg/Cm}^2$ (for type A pile, the other type are changed of effective prestressed).

Specification Of Prestressed Concrete Spun Piles, JIS A 5335

Out Side Diameter (mm)	Type (Class)	Thickness (mm)	Cross Section Area (cm ²)	Bearing Capacity (ton) ACI 543	Cracking Bending Moment (t.m)	Ultimate Bending Moment (t.m)	Length (meter) & Weight (ton)									
							7 m	8 m	9 m	10 m	11 m	12 m	13 m	14 m	15 m	
300	A	60	452,4	70	2,5	3,8	0.82	0.94	1.06	1.18	1.29	1.41	1.53			
	AB				3,0	5,0										
	B				3,5	6,3										
	C				4,0	8,0										
350	A	65	582,0	90	3,5	5,2	1.06	1.21	1.36	1.51	1.66	1.81	1.97	2.12	2.27	
	AB				4,0	7,1										
	B				5,0	9,0										
	C				6,0	12,0										
400	A	75	765,8	118	5,5	8,2	1.39	1.59	1.79	1.99	2.19	2.39	2.59	2.79	2.98	
	AB				6,5	10,7										
	B				7,5	13,5										
	C				9,0	18,0										
450	A	80	929,9	143	7,5	11,2	1.69	1.93	2.17	2.42	2.66	2.90	3.14	3.38	3.62	
	AB				9,0	15,5										
	B				11,0	19,8										
	C				12,5	25,0										
500	A	90	1.159,0	178	10,5	15,7	2.11	2.41	2.71	3.01	3.31	3.62	3.92	4.22	4.52	
	AB				12,5	18,8										
	B				15,0	27,0										
	C				17,0	34,0										
600	A	100	1.570,8	242	17,0	25,5	2.86	3.27	3.67	4.08	4.49	4.90	5.31	5.71	6.12	
	AB				20,0	35,3										
	B				25,0	45,0										
	C				29,0	58,0										



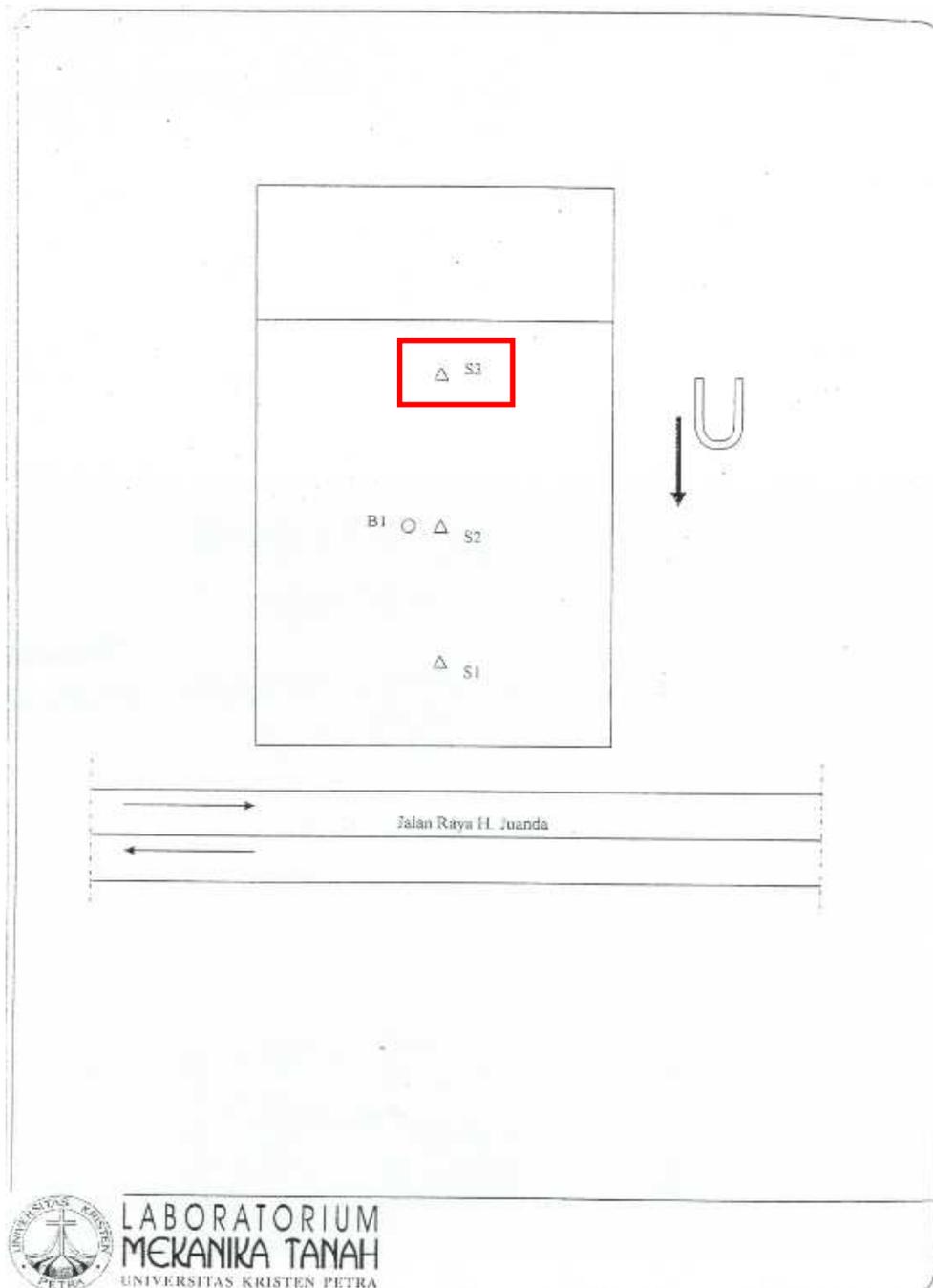
Concrete Strength, $f_c = 500 \text{ kg/cm}^2$ (Cylinder Test), or equivalent to K - 600 (Cube Test)

Gambar 4.48. Spesifikasi material tiang pancang

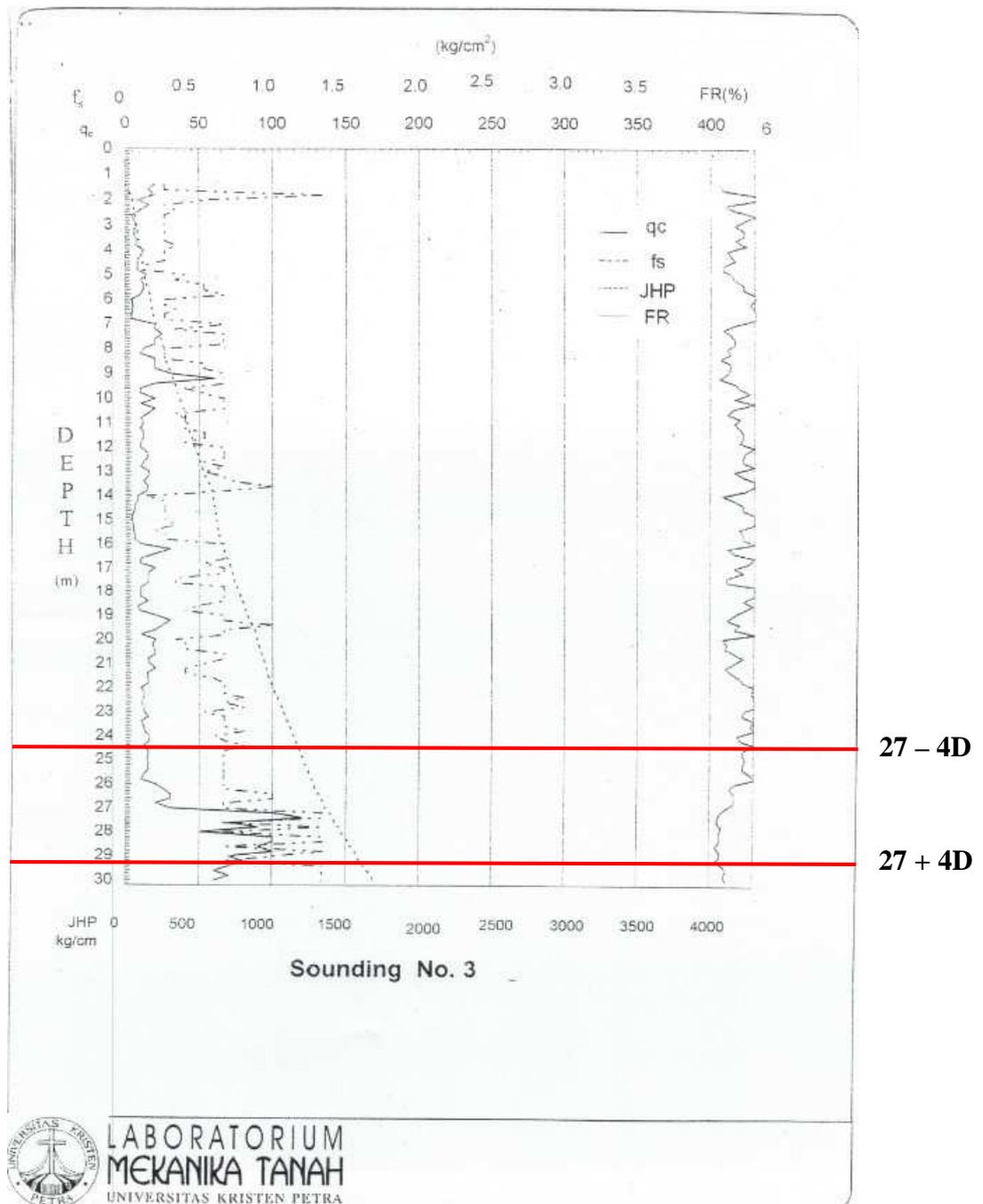
$$P_{\text{material}} = 178 \text{ ton} = 178000 \text{ kg} = 1780 \text{ kN}$$

$$Mu_{\text{material}} = 10,5 \text{ ton.m} = 10500 \text{ kgm}$$

c. Daya dukung ijin berdasarkan data Sounding



Gambar 4.49. Denah titik sounding



Gambar 4.50. Data titik sounding no.3

Nilai konus dari data tanah gedung Balai Paroki Gereja Katolik St Paulus diambil pada kedalaman 27 m dan menurut Mayerhof diambil nilai konus rata – rata pada jarak (27 – 4D) s/d (27 + 4D) :

$$q_c = \frac{18+18+16+14+25+27+28+21+93+122+57+75}{20} + \frac{87+100+85+98+28+22+15+20}{20}$$

$$q_c = 48,45 \text{ kg/cm}^2$$

JHP pada kedalaman 27 m adalah 1200 kg/cm,
 dan pada kedalaman 1,5 m JHP = 35 kg/cm dianggap tidak dapat menahan
 daya dukung berdasarkan pelekatan antara tiang dengan tanah (cleef) :

Maka JHP = 1200 – 35 = 1165 kg/cm

$$P_{\text{tiang}} = \frac{A \cdot q_c}{3} + \frac{JHP \cdot K_a}{5}$$

dimana :

P_{tiang} = Daya dukung tiang pancang ijin (kg)

q_c = Nilai konus (kg/cm²)

A_p = Luas penampang tiang pancang (cm²)

K_a = Keliling penampang tiang (cm)

JHP = Jumlah hambatan pelekat

SF = safety factor ; 3 dan 5

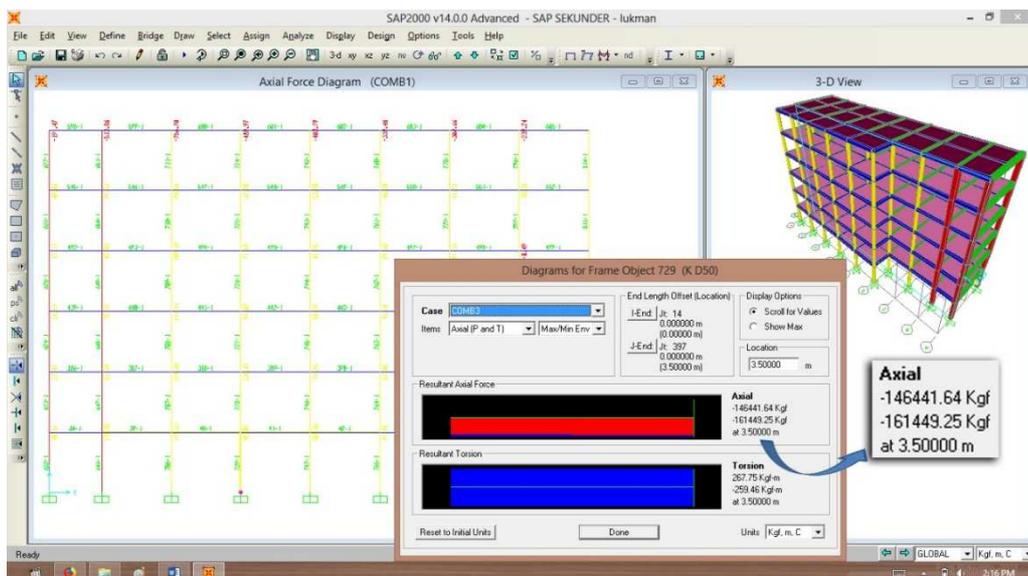
jadi :

$$P_{\text{tiang}} = \frac{1962,5 \times 48,45}{3} + \frac{1165 \times 157}{5}$$

$$P_{\text{tiang}} = 68275,375 \text{ kg}$$

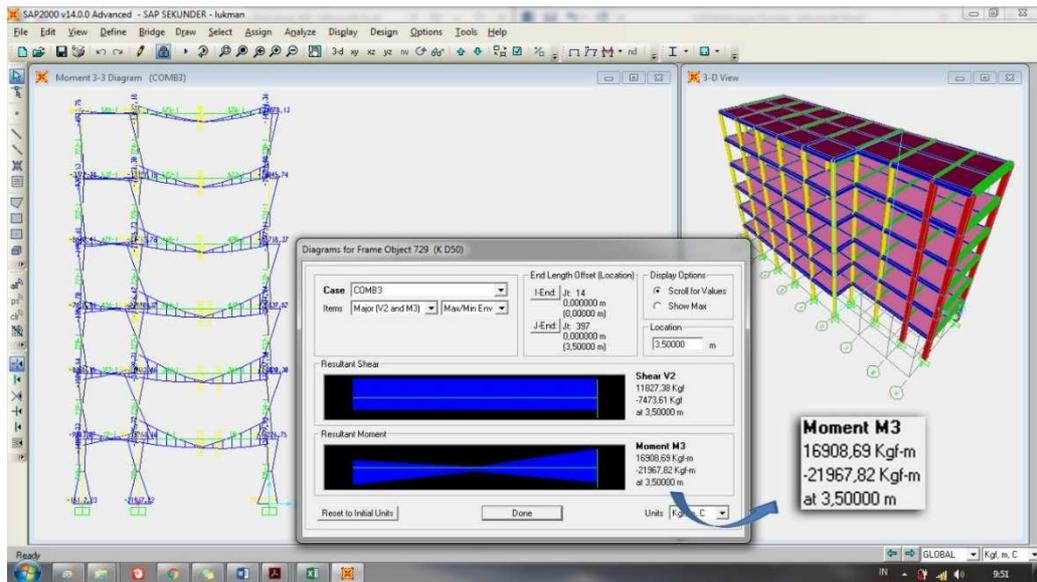
d. Perhitungan tiang pancang

Beban terfaktor hasil SAP2000



Gambar 4.51. Diagram Frame 729 gaya aksial kolom – SAP2000

$$P_u = 161449,25 \text{ Kgf}$$



Gambar 4.52. Diagram Frame 729 gaya momen kolom – SAP2000

$$M_{ux} = 16908,69 \text{ Kgf-m}$$

$$M_{uy} = -21967,82 \text{ Kgf-m}$$

Perhitungan kebutuhan tiang pancang tanpa efisiensi

$$n = \frac{P_u}{P_{tiang}} = \frac{161449,25}{68275,375}$$

= 2,36 maka digunakan 4 buah pancang

Jarak antar As tiang pancang kelompok

- Jarak antar As tiang pancang

$$2,5D < s < 4D$$

$$2,5 (50) < s < 4 (50)$$

$$125 \text{ cm} < s < 200 \text{ cm}$$

maka diambil 170 cm

- jarak As tiang pancang ke tepi

$$a > 1,25D$$

$$a > 1,25 (50)$$

$$a > 62,5 \text{ cm}$$

maka diambil 70 cm

Perletakan tiang pancang

Jumlah baris = 2 baris

$n_{\text{tiang arah x}} = 2$ tiang

$n_{\text{tiang arah y}} = 2$ tiang

Jarak antar As tiang pancang kelompok

$$2,5D < s < 4D$$

$$2,5 (500) < s < 4 (500)$$

$$1250 < s < 2000$$

diambil, 1700 mm

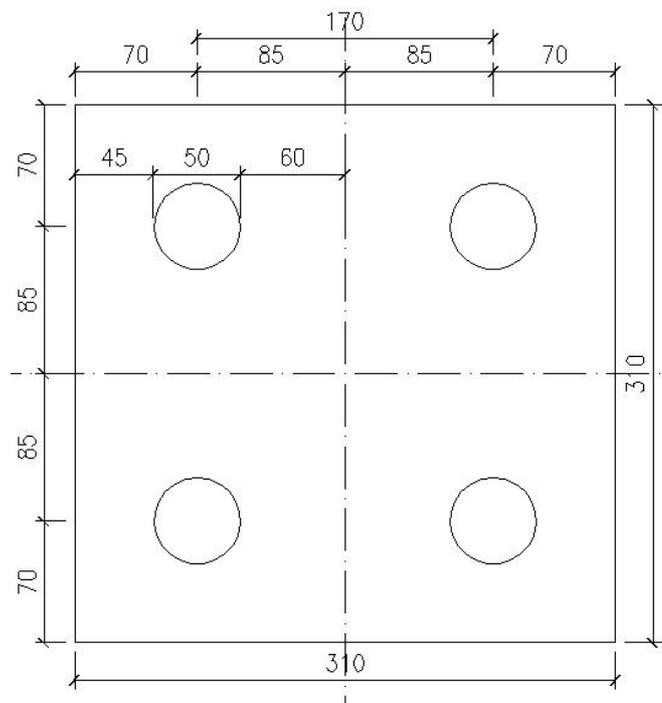
Jarak As tiang pancang ke tepi

$$s > 1,25 D$$

$$s > 625 \text{ mm}$$

diambil, 700 mm

Penentuan dimensi pilecap



Gambar 4.53. Rencana dimensi pilecap

$$L_x = (2 \times \text{jarak tepi}) + \{(n_{\text{tiang arah x}} - 1) \times (\text{jarak As})\}$$

$$= (2 \times 700) + \{(2 - 1) \times 1700\}$$

$$= 3100 \text{ mm} = 310 \text{ cm}$$

$$L_y = (2 \times \text{jarak tepi}) + \{(n_{\text{tiang arah y}} - 1) \times (\text{jarak As})\}$$

$$= (2 \times 700) + \{(2 - 1) \times 1700\}$$

$$= 3100 \text{ mm} = 310 \text{ cm}$$

Maka digunakan pilecap dimensi 310 x 310 cm dengan direncanakan tebal (h) 80 cm

Kontrol gaya yang bekerja pada tiang pancang

$$P_u = 161449,25 \text{ Kg}$$

$$W_{\text{pilecap}} = \gamma_b \times A_{\text{pilecap}}$$

$$= 2400 \times (3,1 \times 3,1 \times 0,8)$$

$$= 18451,2 \text{ Kg}$$

$$W_{\text{pancang}} = \gamma_b \times A_{\text{pancang}}$$

$$= 2400 \times (0,25 \times 3,14 \times 0,5^2) \times 27 \times 4$$

$$= 50868 \text{ Kg}$$

$$\Sigma P = P_u + W_{\text{pilecap}} + W_{\text{pancang}}$$

$$= 230768,45 \text{ kg}$$

Perhitungan P_{ijin} dalam kelompok Tiang Pancang

$$\emptyset = \arctan \frac{D}{\text{jarak As pancang}}$$

$$= 0,17$$

$$\text{Eff} = 1 - \frac{\emptyset}{90} \left\{ \frac{n_{\text{arah x}}^{-1} \times n_{\text{arah y}} + (n_{\text{arah y}} - 1) \times n_{\text{arah x}}}{n_{\text{arah x}} \times n_{\text{arah y}}} \right\}$$

$$= 0,99$$

$$P_{\text{ijin}} = \text{Eff} \times P_{\text{tiang}}$$

$$= 0,99 \times 68275,375$$

$$= 67592,62 \text{ Kg}$$

Kontrol :

$$P_u = \frac{P}{n} + \frac{M_y \cdot x_i}{\Sigma x^2} + \frac{M_x \cdot y_i}{\Sigma y^2}$$

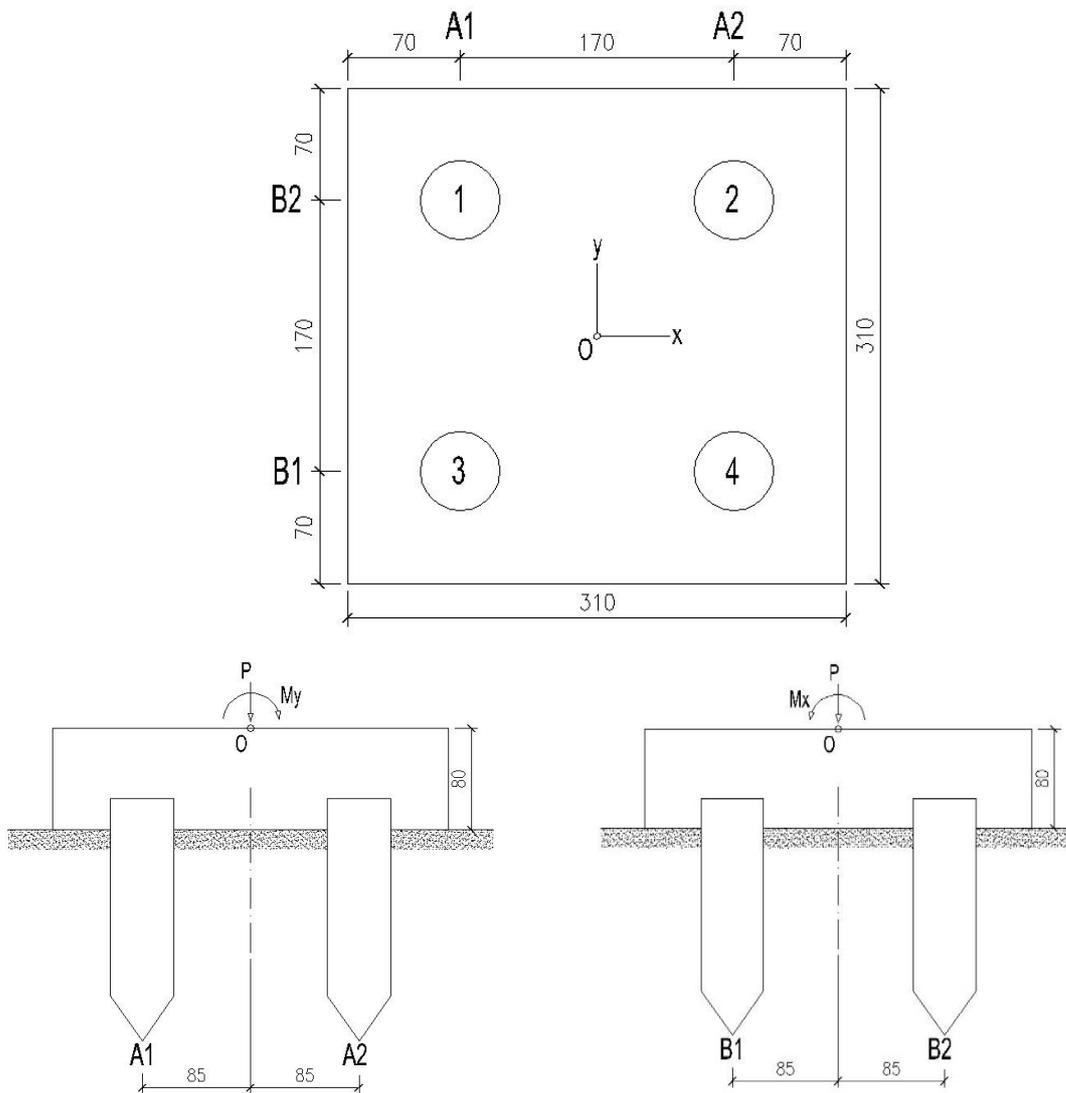
n = jumlah tiang dalam satu pilecap

Σx^2 = jumlah kuadrat jarak x terhadap titik pusat berat kelompok tiang

Σy^2 = jumlah kuadrat jarak y terhadap titik pusat berat kelompok tiang

x_i = jarak tiang ke-i terhadap titik pusat searah sumbu x

y_i = jarak tiang ke-i terhadap titik pusat searah sumbu y



Gambar 4.54. Kelompok tiang pancang dalam satu pilecap

$$n = 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \Sigma x^2 &= 4 \times 0,85^2 \\ &= 2,89 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma y^2 &= 4 \times 0,85^2 \\ &= 2,89 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &= \frac{230768,45}{4} + \frac{16908,69 \times 0,85}{2,89} + \frac{-21967,82 \times 0,85}{2,89} \\ &= 56204,37 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$P_{ijin} > P_u$$

$$67592,62 \text{ kg} > 56204,37 \text{ kg (AMAN)}$$

4.8.2. Perencanaan Pilecap

a. Data perencanaan

Lebar pilecap	= 310 cm
Panjang pilecap	= 310 cm
Tebal selimut beton (t decking)	= 75 mm
	(SNI 2847:2013 Pasal 7.7.1)
Kuat tekan beton (f_c')	= 25 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	= 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 400 Mpa
Berat beton bertulang (W_c)	= 24 kN/m ³
Berat tanah diatas pilecap (W_s)	= 18 kN/m ³
Diameter tulangan lentur (D lentur)	= 25 mm
Tinggi efektif $d = 800 - 75 - (\frac{1}{2} \cdot 25)$	= 712,5 mm
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	= 0,75
	(SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.3)
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	= 0,9
	(SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.1)

b. Kontrol geser pons terhadap tebal pilecap

Perhitungan geser pada pilecap akibat tiang pancang Berdasarkan SNI 2847:2013, Pasal 11.11.2.1 poin (a), (b), dan (c), untuk perencanaan pelat atau pondasi telapak aksi dua arah untuk beton non-prategang, maka V_c harus memenuhi persamaan berikut :

$$\beta = \frac{b_{kolom}}{h_{kolom}} = \frac{500mm}{500mm} = 1$$

$$\begin{aligned} bo &= \text{keliling tiang} \\ &= \pi \times 500 \\ &= 1570 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vu &= P_{\text{pancang}} \times 4 \\ &= 68275,375 \text{ kg} \times 4 \\ &= 273101,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

Persamaan 1

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

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left(1 + \frac{2}{1}\right) x 1 x \sqrt{25} x 1570 x 712,5 \\ &= 2852493,75 \text{ kg} \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$273101,5 \text{ kg} \leq 0,75 x 2852493,75 \text{ kg}$$

$$273101,5 \text{ kg} \leq 2139370,31 \text{ kg} \text{ (**memenuhi**)}$$

Persamaan 2

$$V_c = 0,83 \left(\frac{as x d}{b_o} + 2\right) \lambda x \sqrt{f_c'} x b_o x d$$

Dimana as adalah 40 untuk kolom interior, 30 untuk kolom tepi, 20 untuk kolom sudut

$$\begin{aligned} V_c &= 0,83 \left(\frac{20 x 712,5}{1570} + 2\right) x 1 x \sqrt{25} x 1570 x 712,5 \\ &= 93555525 \text{ kg} \end{aligned}$$

Syarat :

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$273101,5 \text{ kg} \leq 0,75 x 93555525 \text{ kg}$$

$$273101,5 \text{ kg} \leq 70166643,75 \text{ kg} \text{ (**memenuhi**)}$$

Persamaan 3

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

$$\begin{aligned} V_c &= 0,33 x 1 x \sqrt{25} x 1570 x 712,5 \\ &= 1845731,25 \text{ kg} \end{aligned}$$

Syarat :

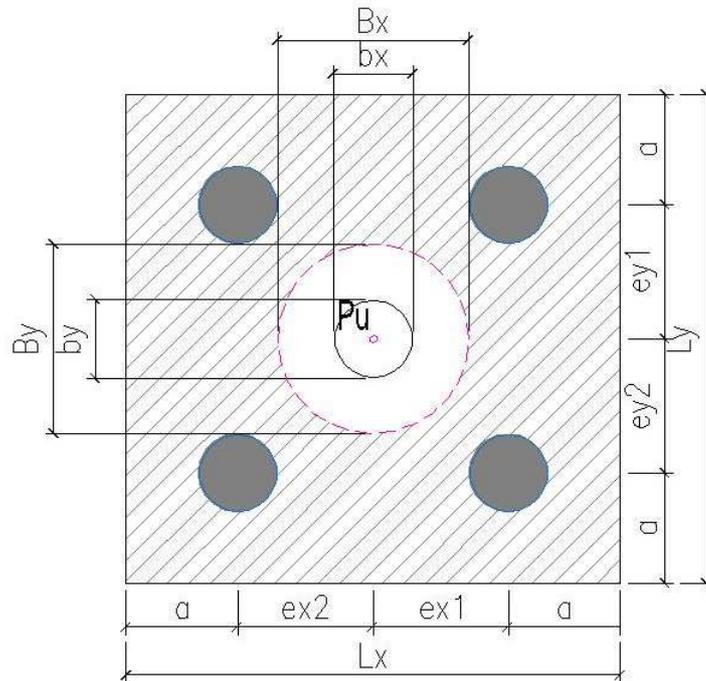
$$V_u \leq \phi V_c$$

$$273101,5 \text{ kg} \leq 0,75 x 1845731,25 \text{ kg}$$

$$273101,5 \text{ kg} \leq 1384298,44 \text{ kg} \text{ (**memenuhi**)}$$

Dari persamaan diatas didapatkan hasil memenuhi pada setiap persamaan sehingga tinggi pilecap dapat direncanakan (h) 800 mm.

c. Perhitungan tulangan pilecap



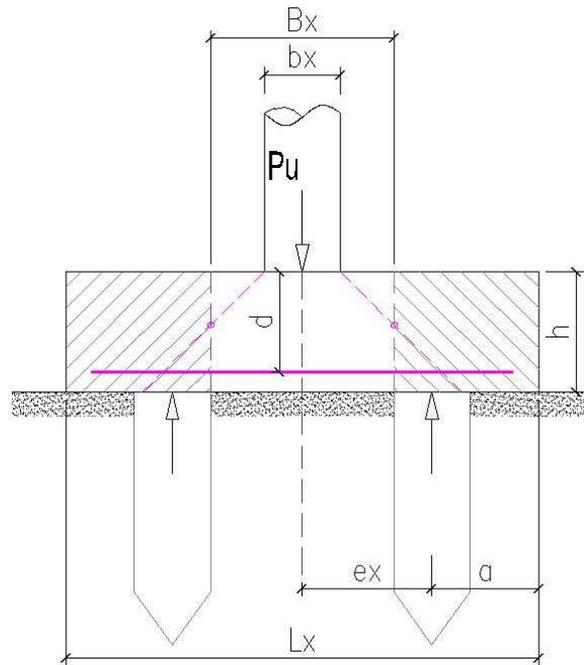
Gambar 4.55. Sketsa dimensi pilecap

Tinggi efektif pilecap :

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \varnothing \text{ tul. lentur} \\
 &= 800 - 75 - \frac{1}{2} 25 \\
 &= 712,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \varnothing \text{ tul. Lentur} - \varnothing \text{ tul. Lentur} \\
 &= 800 - 75 - \frac{1}{2} 25 - 25 \\
 &= 687,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan lentur arah X



Gambar 4.56. Potongan pilecap arah X

Jarak as tiang terhadap as kolom

$$\begin{aligned}e_x &= \left(\frac{Lx}{2}\right) - a \\ &= \left(\frac{3100}{2}\right) - 700 \\ &= 850 \text{ mm}\end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada pilecap

$$\begin{aligned}M_{ux} &= 2 \times P_{u\text{tiang}} \times e_x \\ &= 2 \times 161449,25 \times 850 \\ &= 2744637250 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= \frac{M_{ux}}{\phi} \\ &= \frac{2744637250}{0,9} \\ &= 3049596944,44 \text{ Nmm} \\ &= 3049596,94 \text{ kNmm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \\ &= \frac{400}{0,85 \times 25} \\ &= 18,82\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\
 &= \frac{3049596,94}{3100 \times 712,5^2} \\
 &= 0,019 \text{ kN/mm}^2
 \end{aligned}$$

Prosentase tulangan yang diperlukan

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

ρ dalam keadaan seimbang (ρ balance)

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85\beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600+400} \right) \\
 &= 0,0271 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\
 &= 0,75 \cdot 0,0271 \\
 &= 0,0203
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 18,82 \times 0,019}{400} \right)} \right) \\
 &= 0,000048
 \end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$, Jadi memakai 0,0035

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Sperlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times d \\
 &= 0,0035 \times 3100 \times 712,5 \\
 &= 7730,625 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak maksimum} &= 2h \\
 &= 2 \times 800 = 1600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak perlu} &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times b}{A_{\text{Sperlu}}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \times 3100}{7730,625} \\
 &= 196 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga tulangan pilecap rencana adalah D25 – 60

Periksa :

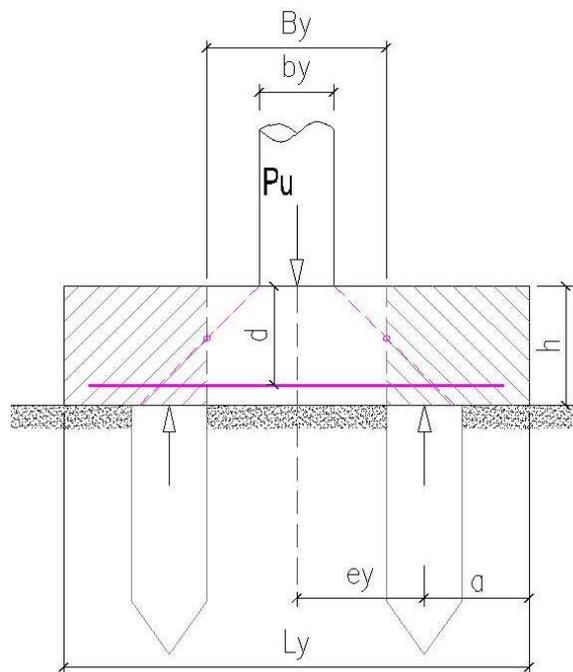
$$S_{\text{pasang}} < S_{\text{perlu}} < S_{\text{max}}$$

$$60 \text{ mm} < 196 \text{ mm} < 1600 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} < A_{S_{\text{pasang}}}$$

$$7730,625 \text{ mm}^2 < 8177,08 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Tulangan lentur arah Y



Gambar 4.56. Potongan pilecap arah Y

Jarak as tiang terhadap as kolom

$$\begin{aligned} e_x &= \left(\frac{Lx}{2}\right) - a \\ &= \left(\frac{3100}{2}\right) - 700 \\ &= 850 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada pilecap

$$\begin{aligned} M_{ux} &= 2 \times P_{u_{\text{tiang}}} \times e_x \\ &= 2 \times 161449,25 \times 850 \\ &= 2744637250 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\phi}$$

$$= \frac{2744637250}{0,9}$$

$$= 3049596944,44 \text{ Nmm}$$

$$= 3049596,94 \text{ kNmm}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'}$$

$$= \frac{400}{0,85 \times 25}$$

$$= 18,82$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2}$$

$$= \frac{3049596,94}{3100 \times 712,5^2}$$

$$= 0,019 \text{ kN/mm}^2$$

Prosentase tulangan yang diperlukan

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

ρ dalam keadaan seimbang (ρ balance)

$$\rho_b = \frac{0,85\beta_1fc' \left(\frac{600}{600+fy} \right)}{fy}$$

$$= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25 \left(\frac{600}{600+400} \right)}{400}$$

$$= 0,0271 \text{ mm}^2$$

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

$$= 0,75 \cdot 0,0271$$

$$= 0,0203$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy} \right)} \right)$$

$$= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 18,82 \times 0,019}{400} \right)} \right)$$

$$= 0,000048$$

$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$, Jadi memakai 0,0035

Luas tulangan yang diperlukan :

$$A_{S_{\text{perlu}}} = \rho_{\text{perlu}} \times b \times d$$

$$= 0,0035 \times 3100 \times 712,5$$

$$= 7730,625 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak maksimum} &= 2h \\
 &= 2 \times 800 = 1600 \text{ mm} \\
 \text{Jarak perlu} &= \frac{1/4 \times \pi \times d^2 \times b}{A_{\text{perlu}}} \\
 &= \frac{1/4 \times \pi \times 25^2 \times 3100}{7730,625} \\
 &= 196 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga tulangan pilecap rencana adalah D25 – 60

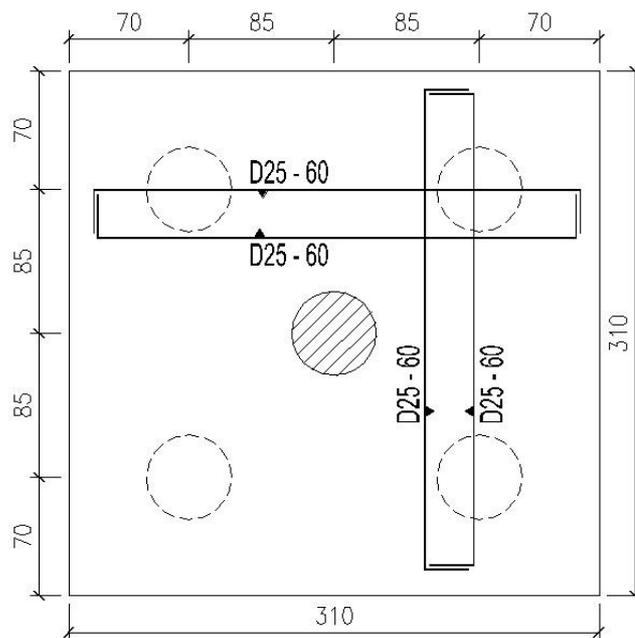
Periksa :

$$S_{\text{pasang}} < S_{\text{perlu}} < S_{\text{max}}$$

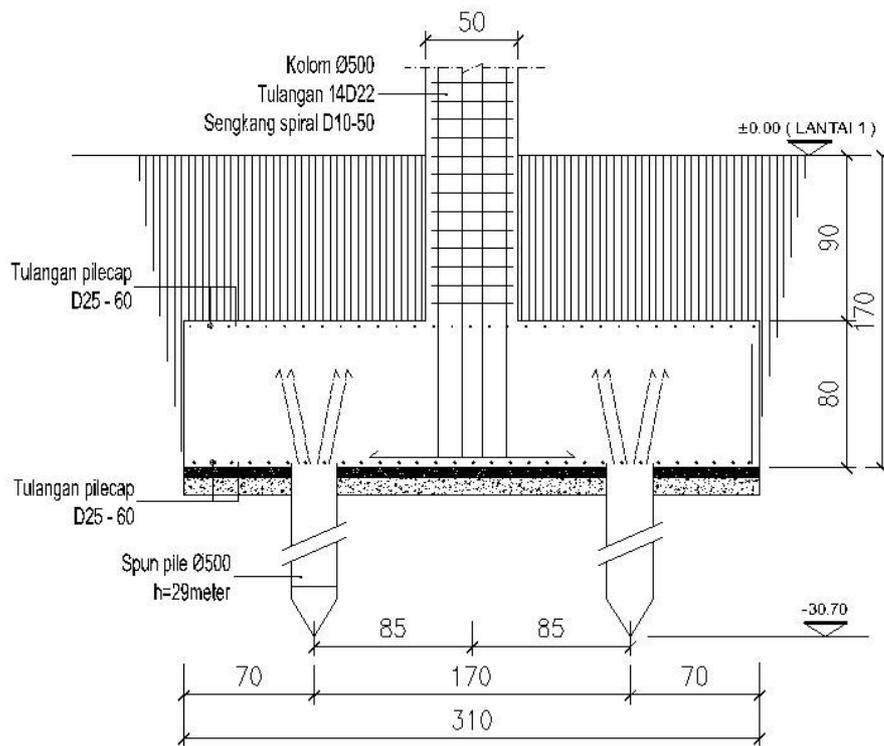
$$60 \text{ mm} < 196 \text{ mm} < 1600 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$A_{S_{\text{perlu}}} < A_{S_{\text{pasang}}}$$

$$7730,625 \text{ mm}^2 < 8177,08 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$



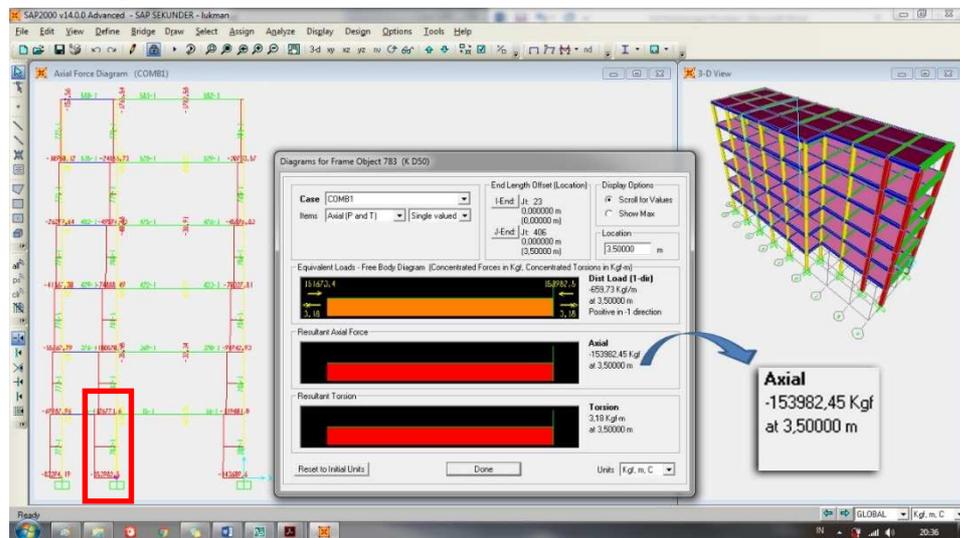
Gambar 4.58. Detail penulangan pilecap



Gambar 4.59. Detail potongan pilecap

4.8.3. Perencanaan Sloof

a. Data perencanaan



Gambar 4.60 Diagram Frame 783 gaya aksial kolom terhadap sloof

$$P_u = 153982,45 \text{ Kgf} = 1539,82 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya aksial kolom terbesar} = 1539,82 \text{ kN}$$

$$P_u \text{ sloof} = 10\% \times 1539,82 = 153,98 \text{ kN}$$

Dimensi sloof	= 300 mm x 500 mm
Mutu beton ($f'c$)	= 25 MPa
Mutu baja (f_y)	= 400 MPa
Tulangan utama	= D 19 mm
Tulangan sengkang	= \emptyset 12 mm
Tebal selimut beton (t decking)	= 75 mm
	(SNI 2847:2013 Pasal 7.7.1)
$d = 500 - 75 - 12 - 1/2 \times 19$	= 403,5 mm
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	= 0,75
	(SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.3)
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	= 0,9
	(SNI 2847:2013 Pasal 9.3.2.1)

b. Perhitungan tulangan lentur

Penulangan sloof didasarkan pada kondisi pembebanan dimana beban yang diterima adalah beban aksial dan lentur sehingga penulangannya seperti penulangan pada kolom beban yang diterima sloof :

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri} &= 0,3 \times 0,5 \times 2400 = 360 \text{ kg/m} \\ \text{Berat dinding} &= 3,5 \times 250 = \underline{875 \text{ kg/m}} + \\ \text{DL} &= 1235 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$q_u = 1,2 \times 1235 = 1482 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{1}{12} \cdot q_u \cdot l^2 \\ &= \frac{1}{12} \times 1482 \times 4^2 \\ &= 1976 \text{ kg/m} = 19,76 \text{ KNm} \end{aligned}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{19,76}{0,9} = 21,96 \text{ KNm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{21,96}{0,30 \times (0,4035)^2} = 449,59 \text{ KNm} = 0,449 \text{ Mpa}$$

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

ρ dalam keadaan seimbang (ρ balance) :

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85\beta_1 f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600+f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 25}{400} \left(\frac{600}{600+400} \right) \\ &= 0,0271 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\max} &= 0,75 \cdot \rho_b \\ &= 0,75 \cdot 0,0271 \\ &= 0,0203\end{aligned}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 25} = 18,82$$

Prosentase tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}\rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{18,82} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 18,82 \times 0,449}{400} \right)} \right) \\ &= 0,00113\end{aligned}$$

$\rho_{\text{perlu}} < \rho_{\min}$, Jadi memakai $\rho = 0,0035$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \times 300 \times 403,5 \\ &= 423,675 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Tulangan utama = D19 mm (As = 283,39)

$$\text{Kebutuhan tulangan} = \frac{\text{As perlu}}{\text{As}} = \frac{423,675}{283,39} = 1,49 \sim 3$$

Maka untuk tulangan tekan : **3 D19 (As = 851 mm²)**

$$\rho' = 0,5 \times 0,0035 = 0,00175$$

$$\text{As}' = 0,00175 \times 300 \times 403,5 = 211,84 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kebutuhan tulangan} = \frac{\text{As}'}{\text{As}} = \frac{211,84}{283,39} = 0,75 \sim 2$$

Maka untuk tulangan tarik : **2 D19 (As = 567 mm²)**

c. Perhitungan tulangan geser

$$V_u = \frac{1}{2} \times 1482 \times 4$$

$$= 2964 \text{ kgf}$$

$$P_u = 161449,25 \text{ kgf}$$

$$V_c = 2 \times \frac{1}{6} \sqrt{f'c'} \times b_w \times d \left(1 + \frac{P_u}{14 \times A_g} \right)$$

$$= 2 \times \frac{1}{6} \sqrt{25} \times 0,3 \times 0,4035 \left(1 + \frac{161449,25}{14 \times 0,3 \times 0,5} \right)$$

$$= 15510,86 \text{ kgf}$$

Dari perhitungan diatas didapat :

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

$$2964 \text{ kgf} \leq 5816,57 \text{ kgf} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dipakai tulangan geser minimum.

Direncanakan tulangan $A_v = 2\emptyset 12$

$$A_v = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$= 0,25 \times 3,14 \times 12^2$$

$$= 78,54 \text{ mm}^2$$

$$= 113,04 \times 2$$

$$= 226,08 \text{ mm}^2$$

Pakai tulangan geser min :

$$A_v \text{ min} = \frac{b_w \times S}{3fy}$$

$$\text{Jadi } S_{\text{max}} = \frac{3fy \times A_v}{b_w}$$

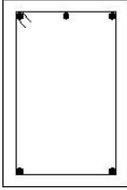
$$= \frac{3 \times 400 \times 226,08}{300}$$

$$= 904,32 \text{ mm}$$

Jarak tulangan geser tidak boleh lebih dari $d/2$ atau 300 mm

$$S = \frac{d}{2} = \frac{403,5}{2} = 201,75 \text{ mm}$$

Jadi tulangan geser pada sloof dipakai $\emptyset 12 - 175 \text{ mm}$

KODE	SLOOF	
POSISI	TUMPUAN	LAPANGAN
		
DIMENSI	300 x 500	300 x 500
TULANGAN ATAS	3 D 19	2 D 19
TULANGAN SAMPING	--	--
TULANGAN BAWAH	2 D 19	3 D 19
SENGKANG	ø12-175	ø12-175

Gambar 4.61. Detail penulangan Sloof