

BAB VI

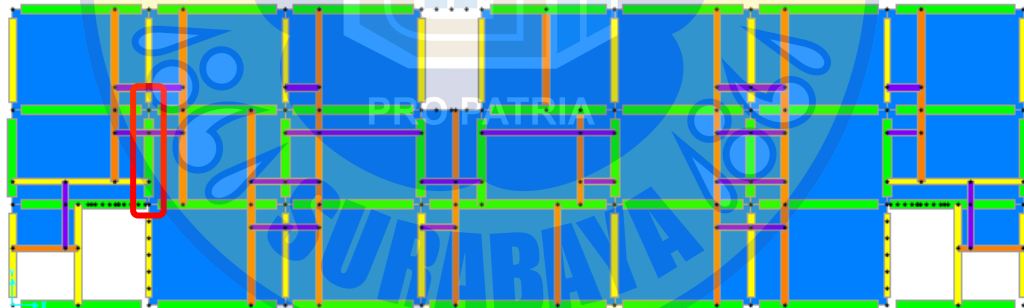
DESAIN STRUKTUR PRIMER

6.1 Umum

Untuk perhitungan struktur primer akan ditinjau sebanyak 1 portal, yaitu portal arah memanjang atau portal arah melintang. Masing-masing portal akan dihitung kebutuhan tulangan balok, kolom, dan hubungan balok-kolom sebagai berikut:

6.2 Perhitungan Struktur Balok

Balok yang akan dihitung secara manual adalah balok yang mengalami momen terbesar dari SAP 2000 v.14, dan gaya paling besar terjadi pada balok induk dimensi 40/75 terdapat pada frame 1002.



Gambar 6.1 Balok yang Ditinjau dalam Perhitungan

6.2.1 Data Perencanaan

Mutu beton $f'c$	= 30 Mpa
Dimensi balok induk	= 400 mm x 750 mm
Bentang balok (L)	= 4150 mm
Bentang bersih balok (L_n)	= 4150 mm - 750 mm/2 - 750 mm/2
	= 3400 mm

Selimut beton = 40 mm

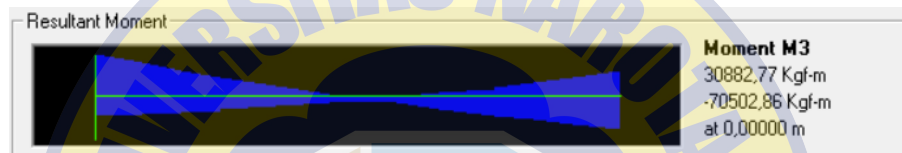
Diameter tulangan lentur = 25 mm, $f_y = 400$ Mpa

Diameter tulangan geser = 13 mm, $f_y = 400$ Mpa

$\beta_1 = 0,85$

6.2.2 Gaya yang terjadi pada Balok

Pada program SAP 2000 v.14 didapatkan hasil output gaya yang terjadi pada balok sebagai berikut:



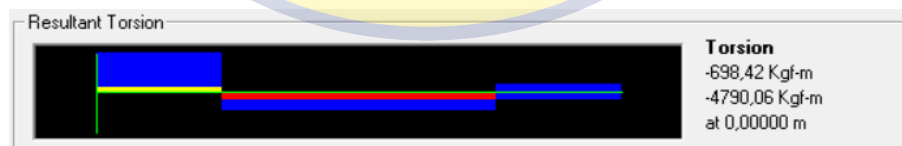
Gambar 6.2 Gaya Momen pada Balok Induk Melintang

- Mu Tumpuan = 30882,77 kg.m = 308,827 kN.m
- Mu Lapangan = 8000,83 kg.m = 80,01 kN.m



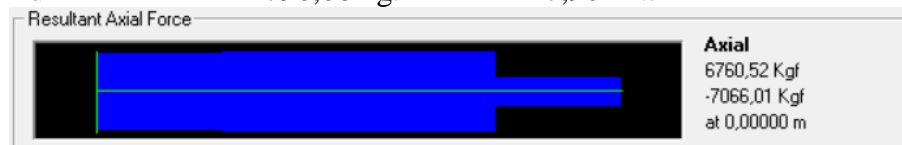
Gambar 6.3 Gaya Geser pada Balok Induk Melintang

- $V_u = 39770,64$ kg = 397,71 kN



Gambar 6.4 Gaya Torsi pada Balok Induk Melintang

- $T_u = 4790,06$ kg.m = 47,90 kN.m



Gambar 6.5 Gaya Aksial pada Balok Induk Melintang

- $P_u = 7066,01$ kg.m = 70,66 kN.m

6.2.3 Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

- Gaya aksial tekan terfaktor maksimum pada komponen struktur lentur dibatasi $0,1 \cdot A_g \cdot f_c'$:

$$0,1 \cdot A_g \cdot f_c' = 0,1 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 750 \text{ mm} \cdot 30 \text{ Mpa} = 900 \text{ kN}$$

Dari program bantu SAP 2000 v.14. didapatkan: $P_u = 70,66 \text{ kN} < 980 \text{ kN}$ (OKE)

- Bentang bersih komponen struktur tidak boleh kurang dari 4 kali tinggi efektifnya (SNI 2847-2019 Pasal 18.6.2.1)

$$L_n = 6400 \text{ mm}$$

$$d = h_{\text{balok}} - t_{\text{selimut}} - \text{sengkang} - d_{\text{lentur}}/2$$

$$d = 750 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \frac{25 \text{ mm}}{2} = 684,5 \text{ mm}$$

asumsi tulangan lentur 1 lapis

$$4d = 4 \cdot 634,5 \text{ mm} = 2738 \text{ mm} < 6400 \text{ mm} \text{ (OKE)}$$

- Lebar komponen balok tidak boleh kurang dari $0,3h$ dan 250 mm (SNI 2847-2019 Pasal 18.6.2.1)

$$0,3 \cdot h = 0,3 \cdot 750 \text{ mm} = 225 \text{ mm} < 250 \text{ mm} \text{ (OKE)}$$

$$225 \text{ mm} < 250 \text{ mm} \text{ (OKE)}$$

6.2.4 Perhitungan Tulangan Longitudinal (Momen Lentur)

6.2.4.1 Kondisi 1 (Tumpuan Kanan Momen Negatif)

$$M_u = -424,38 \text{ kN.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{424,38 \text{ kN.m}}{0,9} = 471,53 \text{ kN.m}$$

Jika diambil nilai $X_r \leq 0,75 X_b$ untuk mencari titik berat, sehingga:

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \cdot 684,5 \text{ mm} = 410,7 \text{ mm}$$

$$X_r = 0,75 \cdot 410,7 \text{ mm} = 308,025 \text{ mm}, \text{ maka nilai } X_r = 200 \text{ mm}$$

$$d' = t_{\text{selimut}} + d_{\text{sengkang}} + \frac{d_{\text{lentur}}}{2} = 40 \text{ mm} + 13 \text{ mm} + \frac{25 \text{ mm}}{2} = 65,5 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot X_r}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}}{400 \text{ Mpa}} = 4335 \text{ mm}^2$$

$$M_{nc} = A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_r}{f_y} \right) = 4335 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \cdot \left(684,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \cdot 200}{400 \text{ Mpa}} \right)$$

$$M_{nc} = 1.186.229.400 \text{ N} \cdot \text{mm} = 1.186,23 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_n - M_{nc} = 471,53 \text{ kN} \cdot \text{m} - 1.186,23 \text{ kN} \cdot \text{m} = -714,70 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Karena nilai $M_n - M_{nc} < 0$, maka tidak perlu tulangan tekan, maka digunakan perhitungan tulangan tunggal.

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{471.532.778 \text{ N} \cdot \text{mm}}{400 \text{ mm} \cdot (684,5 \text{ mm})^2} = 2,515 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$p = \frac{1}{15,686} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 2,515 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$p = 0,0066$$

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

$$p_{\text{max}} = 0,025 \text{ (SNI 2847-2019 Pasal 18.6.3.1/R18.6.3)}$$

Karena $p_{\text{min}} < p < p_{\text{max}}$, maka dipakai $p = 0,0066$

$$\text{Sehingga: } A_{s_{\text{perlu}}} = p \cdot b \cdot d = 0,0066 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 684,5 \text{ mm} = 1816,72 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai 4-D25 $\rightarrow A_{s\text{pakai}} = 1963,50 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{b - 2 \cdot t_{\text{selimut}} - d_{\text{senggang}} - n \cdot d_{\text{lentur}}}{n - 1}$$

$$s = \frac{400 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 2 \cdot 13 \text{ mm} - 4 \cdot 25 \text{ mm}}{4 - 1} = 64,67 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OKE)}$$

Cek batas jarak antar tulangan untuk membatasi retak yang terjadi di daerah tarik:

$$s_{\text{max}} = 380 \cdot \frac{280}{f_s} - 2,5 \cdot C_c; \text{ dengan } C_c = t + d = 40 \text{ mm} + 13 \text{ mm} = 53 \text{ mm}$$

$$s_{\text{max}} = 380 \cdot \frac{280}{f_s} - 2,5 \cdot C_c = 380 \cdot \frac{280}{0,67 \cdot 400 \text{ Mpa}} - 2,5 \cdot 53 \text{ mm} = 264,51 \text{ mm}$$

$$s = 64,67 \text{ mm} < 264,51 \text{ mm (OKE)}$$

6.2.4.2 Kondisi 3 (Tumpuan Kiri Momen Negatif)

$$M_u = -705,03 \text{ kN.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{705,03 \text{ kN.m}}{0,9} = 783,365 \text{ kN.m}$$

Jika diambil nilai $X_r \leq 0,75 X_b$ untuk mencari titik berat, sehingga:

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \cdot d = \frac{600}{600 + 400 \text{ Mpa}} \cdot 684,5 \text{ mm} = 410,7 \text{ mm}$$

$$X_r = 0,75 \cdot 410,7 \text{ mm} = 308,025 \text{ mm}, \text{ maka nilai } X_r = 200 \text{ mm}$$

$$d' = t_{\text{selimut}} + d_{\text{senggang}} + \frac{d_{\text{lentur}}}{2} = 400 \text{ mm} + 13 \text{ mm} + \frac{25 \text{ mm}}{2} = 65,5 \text{ mm}$$

$$A_{sc} = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot X_r}{f_y} = \frac{0,85 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ Mpa} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 200 \text{ mm}}{400 \text{ Mpa}} = 4335 \text{ mm}^2$$

$$M_{nc} = A_{sc} \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{\beta_1 \cdot X_r}{f_y} \right) = 4335 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \cdot \left(684,5 \text{ mm} - \frac{0,85 \cdot 200}{400 \text{ Mpa}} \right)$$

$$M_{nc} = 1.186.229.400 \text{ N.mm} = 1.186,23 \text{ kN.m}$$

$$M_n - M_{nc} = 783,365 \text{ kN.m} - 1.186,23 \text{ kN.m} = -402,86 \text{ kN.m}$$

Karena nilai $M_n - M_{nc} < 0$, maka tidak perlu tulangan tekan, maka digunakan perhitungan tulangan tunggal.

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{783.365.111 \text{ N.mm}}{400 \text{ mm} \cdot (684,5 \text{ mm})^2} = 4,18 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$p = \frac{1}{15,686} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 4,18 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$p = 0,01148$$

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

$$p_{\max} = 0,025 \text{ (SNI 2847-2019 Pasal 18.6.3.1/R18.6.3)}$$

Karena $p_{\min} < p < p_{\max}$, maka dipakai $p = 0,01148$

$$\text{Sehingga: } A_{s_{\text{perlu}}} = p \cdot b \cdot d = 0,01148 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 684,5 \text{ mm} = 3144,29 \text{ mm}^2$$

$$\text{Maka dipakai 7-D25} \rightarrow A_{s_{\text{pakai}}} = 3436,117 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - 2 \cdot t_{\text{selimut}} - d_{\text{senggang}} - n \cdot d_{\text{lentur}}}{n - 1}$$

$$s = \frac{400 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 2 \cdot 13 \text{ mm} - 5 \cdot 25 \text{ mm}}{5 - 1} = 42,25 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OKE)}$$

Cek batas jarak antar tulangan untuk membatasi retak yang terjadi di daerah tarik:

$$s_{\max} = 380 \cdot \frac{280}{f_s} - 2,5 \cdot C_c; \text{ dengan } C_c = t + d = 40 \text{ mm} + 13 \text{ mm} = 53 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 380 \cdot \frac{280}{f_s} - 2,5 \cdot C_c = 380 \cdot \frac{280}{0,67 \cdot 400 \text{ Mpa}} - 2,5 \cdot 53 \text{ mm} = 264,51 \text{ mm}$$

$$s = 42,25 \text{ mm} < 264,51 \text{ mm (OKE)}$$

6.2.4.3 Kondisi 2 (Tumpuan Kanan Momen Positif)

$$M_u = 534,72 \text{ kN.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{534,72 \text{ kN.m}}{0,9} = 594,13 \text{ kN.m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{594.134.111,11 \text{ N.mm}}{400 \text{ mm} \cdot (684,5 \text{ mm})^2} = 3,17 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$p = \frac{1}{15,686} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 3,17 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$p = 0,0085$$

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

$$p_{\max} = 0,025 \text{ (SNI 2847-2019 Pasal 18.6.3.1/R18.6.3)}$$

Karena $p > p_{\min}$, maka dipakai $p = 0,0085$

$$\text{Sehingga: } A_{s_{\text{perlu}}} = p \cdot b \cdot d = 0,0085 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 684,5 \text{ mm} = 2324,77 \text{ mm}^2$$

SNI 2847-2019 Pasal 18.6.3.2 “mensyaratkan bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari $\frac{1}{2}$ kuat lentur negatifnya pada muka tersebut”

$$A_{s_{\min}} = \frac{1}{2} \cdot A_{s_{\text{perlu}}} \text{ tulangan momen negatif tumpuan kanan}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1}{2} \cdot 1816,72 \text{ mm}^2 = 908,36 \text{ mm}^2$$

Karena $2324,77 \text{ mm}^2 > 908,36 \text{ mm}^2$ maka yang dipakai adalah

$$A_{s\text{perlu}} = 2324,77 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai tulangan 5-D25 dengan $A_s = 2454,37 \text{ mm}^2$

6.2.4.4 Kondisi 4 (Tumpuan Kiri Momen Positif)

$$M_u = 308,83 \text{ kN.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{308,83 \text{ kN.m}}{0,9} = 343,14 \text{ kN.m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{343.141.889 \text{ N.mm}}{400 \text{ mm} \cdot (684,5 \text{ mm})^2} = 1,83 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$p = \frac{1}{15,686} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 1,83 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$p = 0,00475$$

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

$$p_{\text{max}} = 0,025 \text{ (SNI 2847-2019 Pasal 18.6.3.1/R18.6.3)}$$

Karena $p > p_{\text{min}}$, maka dipakai $p = 0,00475$

$$\text{Sehingga: } A_{s\text{perlu}} = p \cdot b \cdot d = 0,00475 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 684,5 \text{ mm} = 1301,8 \text{ mm}^2$$

SNI 2847-2019 Pasal 18.6.3.2 “mensyaratkan bahwa kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari $\frac{1}{2}$ kuat lentur negatifnya pada muka tersebut”

$$A_{s\text{min}} = \frac{1}{2} \cdot A_{s\text{perlu}} \text{ tulangan momen negatif tumpuan kiri}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1}{2} \cdot 3144,29 \text{ mm}^2 = 1572,15 \text{ mm}^2$$

Karena $1301,8 \text{ mm}^2 < 1572,15 \text{ mm}^2$ maka yang dipakai adalah

$$A_{s_{\min}} = 1572,15 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai tulangan 4-D25 dengan $A_s = 1963,49 \text{ mm}^2$

6.2.4.5 Kondisi 5 (Momen Lapangan)

$$M_u = 80,01 \text{ kN.m}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{80,01 \text{ kN.m}}{0,9} = 88,89 \text{ kN.m}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{88.898.111 \text{ N.mm}}{400 \text{ mm} \cdot (684,5 \text{ mm})^2} = 0,47 \text{ N/mm}^2$$

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

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

$$p = \frac{1}{15,686} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 0,47 \text{ N/mm}^2}{400 \text{ Mpa}}} \right)$$

$$p = 0,0012$$

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

$$p_{\max} = 0,025 \text{ (SNI 2847-2019 Pasal 18.6.3.1/R18.6.3)}$$

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

$$\text{Sehingga: } A_{s_{\text{perlu}}} = p \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 400 \text{ mm} \cdot 684,5 \text{ mm} = 958,3 \text{ mm}^2$$

SNI 2847-2019 Pasal 18.6.3.2 “mensyaratkan bahwa baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap penampang di sepanjang bentang tidak

boleh kurang dari $\frac{1}{4}$ kuat lentur terbesar yang disediakan pada kedua muka kolom tersebut”

$$A_{s_{\min}} = \frac{1}{4} \cdot A_{s \text{ perlu terbesar}}$$

$$A_{s_{\min}} = \frac{1}{4} \cdot 3144,29 \text{ mm}^2 = 786,07 \text{ mm}^2$$

Karena $958,3 \text{ mm}^2 > 786,07 \text{ mm}^2$ maka yang dipakai adalah $A_{s_{\text{perlu}}} = 958,3 \text{ mm}^2$

Maka dipakai tulangan 2-D25 dengan $A_s = 981,74 \text{ mm}^2$

$$s = \frac{b - 2 \cdot t_{\text{selimut}} - d_{\text{senggang}} - n \cdot d_{\text{lentur}}}{n - 1}$$

$$s = \frac{400 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 2 \cdot 13 \text{ mm} - 2 \cdot 25 \text{ mm}}{2 - 1} = 244 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OKE)}$$

Cek batas jarak antar tulangan untuk membatasi retak yang terjadi di daerah tarik:

$$s_{\max} = 380 \cdot \frac{280}{f_s} - 2,5 \cdot C_c; \text{ dengan } C_c = t + d = 40 \text{ mm} + 13 \text{ mm} = 53 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 380 \cdot \frac{280}{f_s} - 2,5 \cdot C_c = 380 \cdot \frac{280}{0,67 \cdot 400 \text{ Mpa}} - 2,5 \cdot 53 \text{ mm} = 264,51 \text{ mm}$$

$$s = 244 \text{ mm} < 264,51 \text{ mm (OKE)}$$

6.2.5 Perhitungan Tulangan Geser

6.2.5.1 Menghitung Probable Moment Capacities (M_{pr})

a. M_{pr} apabila struktur bergoyang ke kanan

kondisi 1 (4-D25, $A_s = 1963,50 \text{ mm}^2$)

$$a_{pr_1} = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 1963,50 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa} \cdot 400 \text{ mm}} = 96,25 \text{ mm}$$

$$M_{pr_1} = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr_1}}{2} \right)$$

$$M_{pr_1} = 1,25 \cdot 1963,50 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \cdot \left(684,5 \text{ mm} - \frac{96,25 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{pr_1} = 624.759.805,77 \text{ N. mm} = 624,75 \text{ kN. m}$$

kondisi 4 (4-D25, $A_s=1963,50 \text{ mm}^2$)

$$a_{pr_4} = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 1963,50 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa} \cdot 400 \text{ mm}} = 96,25 \text{ mm}$$

$$M_{pr_4} = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr_4}}{2} \right)$$

$$M_{pr_4} = 1,25 \cdot 1963,50 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \cdot \left(684,5 \text{ mm} - \frac{96,25 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{pr_4} = 624.759.805,77 \text{ N. mm} = 624,75 \text{ kN. m}$$

b. Mpr apabila struktur bergoyang ke kiri

kondisi 3 (7-D25, $A_s=3436,12 \text{ mm}^2$)

$$a_{pr_3} = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 3436,12 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa} \cdot 400 \text{ mm}} = 168,44 \text{ mm}$$

$$M_{pr_3} = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr_3}}{2} \right)$$

$$M_{pr_3} = 1,25 \cdot 3436,12 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \cdot \left(684,5 \text{ mm} - \frac{168,44 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{pr_3} = 1.031.318.631,76 \text{ N. mm} = 1.031,32 \text{ kN. m}$$

kondisi 2 (5-D25, $A_s=2454,37 \text{ mm}^2$)

$$a_{pr_2} = \frac{1,25 \cdot A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1,25 \cdot 2454,37 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 30 \text{ Mpa} \cdot 400 \text{ mm}} = 120,32 \text{ mm}$$

$$M_{pr_2} = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a_{pr_2}}{2} \right)$$

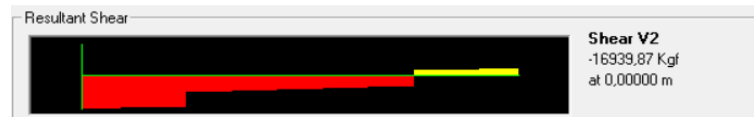
$$M_{pr_2} = 1,25 \cdot 2454,37 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \cdot \left(684,5 \text{ mm} - \frac{120,32 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$M_{pr_2} = 766.185.266,66 \text{ N. mm} = 766,19 \text{ kN. m}$$

6.2.5.2 Menghitung Diagram Gaya Geser

Dalam mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok akibat gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 2847-2019 Gambar R18.6.5

Untuk gaya gravitasi dengan kombinasi 1,2 D + 1,6 L didapatkan pada program bantu SAP 2000 v.14 adalah sebagai berikut:



Gambar 6.6 Gaya Gravitasi Kombinasi 1,2 D + 1,6 L pada Balok yang Ditinjau

$$V_g = 16393,87 \text{ kg} = 163,87 \text{ kN}$$

$$W_u = \frac{V_g \cdot 2}{L_n} = \frac{16393,87 \text{ Kg} \cdot 2}{3,4 \text{ m}} = 9643,45 \text{ kg/m} = 96,435 \text{ kN/m}$$

Menghitung geser akibat struktur bergoyang ke kiri

$$V_{\text{sway}} = \frac{M_{\text{pr}_3} + M_{\text{pr}_2}}{l_n} = \frac{1031,32 \text{ kN} \cdot \text{m} + 766,19 \text{ kN} \cdot \text{m}}{3,4 \text{ m}} = 528,68 \text{ kN}$$

Total reaksi geser di ujung kiri dan kanan balok: $V_g \pm V_{\text{sway}}$

$$\text{Reaksi di kiri} = V_g \pm V_{\text{sway}} = 163,87 \text{ kN} - 528,68 \text{ kN} = -364,74 \text{ kN}$$

$$\text{Reaksi di kanan} = V_g \pm V_{\text{sway}} = 163,87 \text{ kN} + 528,68 \text{ kN} = 692,62 \text{ kN}$$

Menghitung geser akibat struktur bergoyang ke kanan

$$V_{\text{sway}} = \frac{M_{\text{pr}_1} + M_{\text{pr}_4}}{l_n} = \frac{624,76 \text{ kN} \cdot \text{m} + 624,76 \text{ kN} \cdot \text{m}}{3,4 \text{ m}} = 367,51 \text{ kN}$$

Total reaksi geser di ujung kiri dan kanan balok: $V_g \pm V_{\text{sway}}$

$$\text{Reaksi di kiri} = V_g \pm V_{\text{sway}} = 163,87 \text{ kN} + 367,51 \text{ kN} = 531,44 \text{ kN}$$

$$\text{Reaksi di kanan} = V_g \pm V_{\text{sway}} = 163,87 \text{ kN} - 367,51 \text{ kN} = -203,57 \text{ kN}$$

6.2.5.3 Menghitung Kebutuhan Sengkang

SNI 2847-2019 Pasal 18.7.6.2.1 mensyaratkan bahwa *kontribusi beton dalam menahan geser, yaitu $V_c=0$ pada perencanaan sendi plastis apabila:*

- Gaya geser V_{sway} akibat sendi plastis di ujung-ujung balok melebihi kuat geser perlu maksimum, V_u di sepanjang bentang.
- Gaya aksial tekan terfaktor akibat gaya gempa dan gravitasi $< \frac{A_g \cdot f_c'}{20}$, apabila

$$\text{diketahui } P_u = 70,66 \text{ kN dan } \frac{A_g \cdot f_c'}{20} = \frac{400 \text{ mm} \cdot 750 \text{ mm} \cdot 30 \text{ Mpa}}{20} = 450.000 \text{ N} = 450 \text{ kN}$$

$$P_u < \frac{A_g \cdot f_c'}{20} = 70,66 \text{ kN} < 490 \text{ kN (OKE)}$$

Dikarenakan salah satu syarat tidak nilai terpenuhi, maka nilai $V_c \neq 0$

a. Muka Kolom Kiri

$V_u = 531,44 \text{ kN}$, diambil nilai V_u terbesar, $V_c \neq 0$, dengan demikian

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

$$V_c = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 684,5 \text{ mm} = 249.944,06 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 249.944,06 \text{ N} = 187.458,05 \text{ N} = 187,46 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_c = 0,5 \cdot 187,46 \text{ kN} = 93,73 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{531,44 \text{ kN}}{0,75} - 249,94 = 458,65 \text{ kN} = 458.648,56 \text{ N}$$

Menurut SNI 2847-2019 Pasal 18.10.4.4, nilai maksimum V_s adalah sebagai berikut:

$$V_s \text{ max} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 684,5 \text{ mm} = 999.776,24 \text{ N}$$

Karena nilai $V_s < V_s \text{ max} = 458,65 \text{ kN} < 999,78 \text{ kN (OKE)}$

Apabila dicoba dengan sengkang D13 dipasang 2 kaki

$$A_v = 2 \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2 \right) = 265,46 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{265,46 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \cdot 684,5 \text{ mm}}{458.648,56 \text{ N}} = 158,47 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan sengkang 2 kaki D13-150

Syarat spasi maksimum tulangan geser balok berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal

18.10.7.4:

- $\frac{d}{4} = \frac{684,5 \text{ mm}}{4} = 171,13 \text{ mm}$
- $6 \cdot d_b = 6 \cdot 25 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$
- $s \leq 150 \text{ mm}$

Maka diambil nilai yang terkecil yaitu: $150 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm}$ (OKE)

Dipasang sengkang 2 kaki D13-150 sepanjang $2 \cdot h = 2 \cdot 750 \text{ mm} = 1500 \text{ mm}$ dari muka kolom kiri, dimana sengkang pertama dipasang 50 mm dari muka kolom.

b. Muka Kolom Kanan PATRIA

$V_u = 692,62 \text{ kN}$, diambil nilai V_u terbesar, $V_c = 0$, dengan demikian

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

$$V_c = 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 684,5 \text{ mm} = 249.944,06 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,75 \cdot 249.944,06 \text{ N} = 187.458,05 \text{ N} = 187,46 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_c = 0,5 \cdot 187,46 \text{ kN} = 93,73 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{692,62 \text{ kN}}{0,75} - 249,94 = 673,54 \text{ kN} = 673.544,35 \text{ N}$$

Menurut SNI 2847-2019 Pasal 18.10.4.4, nilai maksimum V_s adalah sebagai berikut:

$$V_s \text{ max} = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 684,5 \text{ mm} = 999.776,24 \text{ N}$$

Karena nilai $V_s < V_{s \max} = 673,54 \text{ kN} < 999,78 \text{ kN}$ (OKE)

Apabila dicoba dengan sengkang D13 dipasang 2 kaki

$$A_v = 2 \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2 \right) = 265,46 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{265,46 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \cdot 684,5 \text{ mm}}{673.544,35 \text{ N}} = 107,91 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan sengkang 2 kaki D13-150

Syarat spasi maksimum tulangan geser balok berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal

18.10.7.4:

- $\frac{d}{4} = \frac{684,5 \text{ mm}}{4} = 171,13 \text{ mm}$
- $6 \cdot d_b = 6 \cdot 25 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$
- $s \leq 150 \text{ mm}$

Maka diambil nilai yang terkecil yaitu: $150 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm}$ (OKE)

Dipasang sengkang 2 kaki D13-150 sepanjang $2 \cdot h = 2 \cdot 750 \text{ mm} = 1500 \text{ mm}$ dari muka kolom kanan, dimana sengkang pertama dipasang 50 mm dari muka kolom.

c. Daerah Lapangan (Ujung zona sendi plastis)

Gaya geser maksimum V_u di ujung zona sendi plastis, yaitu sejarak $2 \cdot h = 2 \cdot$

$750 \text{ mm} = 1500 \text{ mm}$ dari muka kolom adalah $692,62 \text{ kN} - 2 \cdot h \cdot W_u = 692,62 \text{ kN} -$

$2 \cdot 750 \text{ mm} \cdot 96,435 \text{ kN/m} = 547,96 \text{ kN}$

$$V_u = 547,96 \text{ kN}$$

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 684,5 \text{ mm} = 249.944,06 \text{ N}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{547,96}{0,75} - 249,94 \text{ kN} = 480,68 \text{ kN} = 480.675,29 \text{ N}$$

Menurut SNI 2847-2019 Pasal 18.10.4.4, nilai maksimum V_s adalah sebagai berikut:

$$V_s \max = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'c'} \cdot b \cdot d = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 684,5 \text{ mm} = 999.776,24 \text{ N}$$

Karena nilai $V_s < V_s \max = 480,68 \text{ kN} < 999,78 \text{ kN}$ (OKE)

Apabila dicoba dengan sengkang D13 dipasang 2 kaki

$$A_v = 2 \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2 \right) = 265,46 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{265,46 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \cdot 634,5 \text{ mm}}{480.675,29 \text{ N}} = 151,21 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan sengkang 2 kaki D13-150

Syarat spasi maksimum tulangan geser balok berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal

18.10.7.4:

- $\frac{d}{4} = \frac{684,5 \text{ mm}}{4} = 171,13 \text{ mm}$
- $6 \cdot d_b = 6 \cdot 25 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$
- $s \leq 150 \text{ mm}$

Maka diambil nilai yang terkecil yaitu: $150 \text{ mm} \leq 150 \text{ mm}$ (OKE)

6.2.6 Perhitungan Tulangan Torsi

1. Periksa kecukupan penampang menahan momen torsi terfaktor berdasarkan

SNI 2847-2019 Pasal 22.7.7.1:

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

Dimana untuk gaya yang terjadi:

Torsi maksimum terjadi: $T_u = 4790,06 \text{ Kg.m} = 47.900.600 \text{ N.mm}$

Geser maksimum terjadi: $V_u = 397,71 \text{ kN} = 397.706,40 \text{ N}$

$$b_h = b - 2 \cdot t - d_{\text{senggang}} = 400 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 13 \text{ mm} = 307 \text{ mm}$$

$$h_h = h - 2 \cdot t - d_{\text{senggang}} = 750 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 13 \text{ mm} = 657 \text{ mm}$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$P_h = 2 \cdot (b_h + h_h) = 2 \cdot (307 \text{ mm} + 657 \text{ mm}) = 1928 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang:

$$A_{oh} = b_h \cdot h_h = 307 \text{ mm} \cdot 657 \text{ mm} = 201.699 \text{ mm}^2$$

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot 400 \text{ mm} \cdot 684,5 \text{ mm} = 249.944,06 \text{ N}$$

Maka:

$$\sqrt{\left(\frac{397.706,40 \text{ N}}{400 \text{ mm} \cdot 684,5 \text{ mm}}\right)^2 + \left(\frac{63.837.500 \text{ N} \cdot \text{mm} \cdot 1928 \text{ mm}}{1,7 \cdot (201.699 \text{ mm}^2)^2}\right)^2} = 1,97 \text{ Mpa}$$

$$0,75 \cdot \left(\frac{249.944,06 \text{ N}}{400 \text{ mm} \cdot 684,5 \text{ mm}} + 0,66 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}}\right) = 3,39 \text{ Mpa}$$

Karena nilai $1,97 \text{ Mpa} \leq 3,39 \text{ Mpa}$, maka penampang cukup untuk menahan torsi terfaktor.

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

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

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

Dimana:

A_{cp} : Luas Penampang Keseluruhan

P_{cp} : Keliling Penampang Keseluruhan

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

ϕ : 0,75 (faktor reduksi beban torsi)

Periksa persyaratan pengaruh momen puntir:

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

$$P_{cp} = 2 \cdot (b + h) = 2 \cdot (400 \text{ mm} + 750 \text{ mm}) = 2300 \text{ mm}$$

Maka nilai Tu_{min} :

$$Tu_{min} = 0,75 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{(300.000 \text{ mm}^2)^2}{2300 \text{ mm}} \right) = 13.341.807 \text{ N.mm}$$

$Tu \geq Tu_{min} = 47.900.600 \text{ N.mm} \geq 13.124.016 \text{ N.mm}$, maka perlu tulangan torsi.

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 22.7.3.3.(b), untuk nilai torsi maksimum boleh direduksi sebagai berikut:

$$= \varphi \cdot 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) = 0,75 \cdot 0,33 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}} \cdot \left(\frac{(300.000 \text{ mm}^2)^2}{2300 \text{ mm}} \right)$$

$$= 53.045.738,99 \text{ N.mm}$$

Karena nilai $Tu \leq \varphi \cdot 0,33 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$, maka nilai Tu yang dipakai :

$$47.900.600 \text{ N.mm}$$

3. Perhitungan kebutuhan tulangan transversal penahan torsi:

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

$$A_o = 0,85 \cdot A_{oh} = 0,85 \cdot 201.699 \text{ mm}^2 = 171.444,15 \text{ mm}^2$$

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

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

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{\varphi \cdot 2 \cdot A_o \cdot f_{yt} \cdot \cot 4^\circ}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{47.900.600 \text{ N.mm}}{0,75 \cdot 2 \cdot 171.444,15 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \cdot \cot 45^\circ} = 0,466 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Kebutuhan tulangan sengkang sebelum torsi:

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \cdot d} = \frac{458.648,56 \text{ N}}{400 \text{ Mpa} \cdot 684,5 \text{ mm}} = 1,68 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Kebutuhan tulangan sengkang setelah torsi:

$$\frac{A_{vt}}{s} = \frac{A_v}{s} + 2 \frac{A_t}{s} = 1,68 + 2 \cdot 0,466 = 2,606 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Untuk tulangan sengkang terpasang sebelum torsi adalah 2 kaki D13 – 100

$$\frac{A_{v_{pakai}}}{s} = \frac{2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2}{100 \text{ mm}} = 2,655 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

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

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

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

Sehingga:

$$A_\ell = 0,466 \text{ mm}^2/\text{mm} \cdot 1928 \text{ mm} \left(\frac{400 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \right) \cdot \cot^2 45^\circ = 897,79 \text{ mm}^2$$

Apabila digunakan tulangan 4-D19, maka:

$$4 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (19 \text{ mm})^2 = 1134,11 \text{ mm}^2 > 897,79 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Jadi, digunakan tulangan 4-D19 di setiap sisi samping kiri dan kanan balok baik di sepanjang tumpuan maupun lapangan.

6.2.7 Panjang Penyaluran Tulangan

1. Panjang penyaluran tulangan tarik

Tulangan diteruskan sejauh d , $12d_b$, atau $L_n/16$ (SNI 2847-2019 Pasal 9.7.3.3 dan 9.7.3.4)

- $d = 684,5 \text{ mm}$
- $12d_b = 12 \cdot 25 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$
- $\frac{L_n}{16} = \frac{3400 \text{ mm}}{16} = 212,50 \text{ mm}$

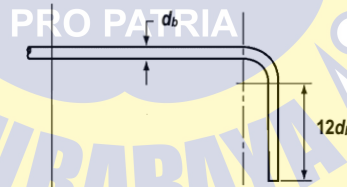
Mencari nilai l_d (SNI 2847-2019 Pasal 25.4.2.2):

$$d_b = 25 \text{ mm}; \psi_t = 1,0; \psi_e = 1,0; \psi_s = 1,0; \lambda = 1,0$$

$$l_d = \left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) \cdot d_b = \left(\frac{400 \text{ Mpa} \cdot 1,0 \cdot 1,0}{1,7 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}}} \right) \cdot 25 \text{ mm} = 1073,97 \text{ mm}$$

Diambil nilai $l_d = 1100 \text{ mm}$

2. Panjang penyaluran tulangan berkait



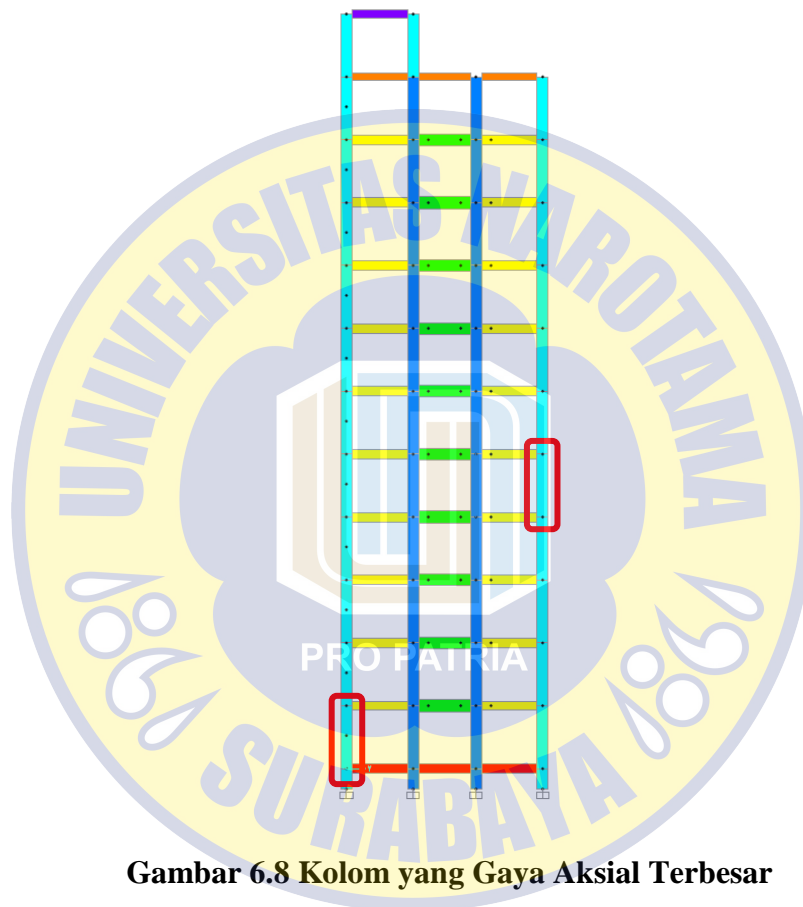
Gambar 6.7 Detail Tulangan untuk Penyaluran Kait Standar

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) \cdot d_b = \left(\frac{0,24 \cdot 1,0 \cdot 400 \text{ Mpa}}{1,0 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}}} \right) \cdot 25 \text{ mm} = 438,18 = 500 \text{ mm}$$

Panjang kait $12d_b = 12 \cdot 25 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$

6.3 Perhitungan Struktur Kolom

Kolom yang akan dihitung secara manual adalah kolom yang mengalami gaya aksial terbesar dari SAP 2000 v.14, dan gaya aksial paling besar terjadi pada kolom terdapat pada frame 603.



Gambar 6.8 Kolom yang Gaya Aksial Terbesar

6.3.1 Data Perencanaan

Mutu beton f'_c	= 35 Mpa	
Dimensi kolom	= 750 mm x 750 mm	
Tinggi kolom	= 4000 mm	
Selimut beton	= 40 mm	
Diameter tulangan lentur	= 25 mm,	$f_y = 400$ Mpa
Diameter tulangan geser	= 13 mm,	$f_y = 400$ Mpa

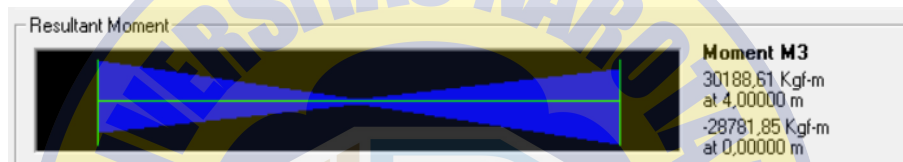
6.3.2 Gaya yang terjadi pada Kolom

Pada program SAP 2000 v.14 didapatkan hasil output gaya yang terjadi pada kolom sebagai berikut:



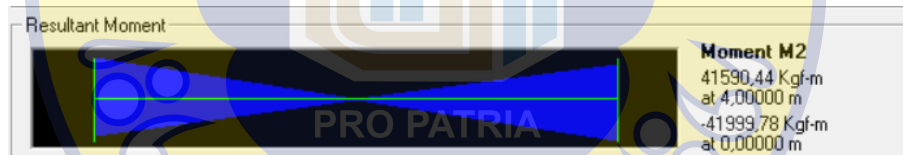
Gambar 6.9 Gaya Aksial Kolom pada SAP 2000 v.14

- Pu Bawah = 318.036,17 kg = 3180,36 kN



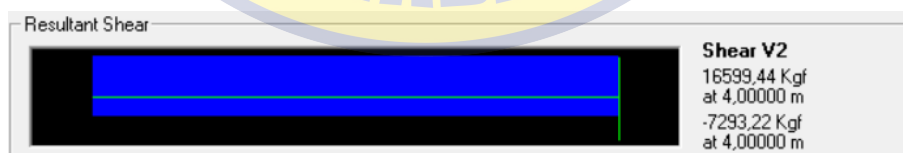
Gambar 6.10 Gaya Momen X Kolom pada SAP 2000 v.14

- MuX = 30.188,61 kg.m = 301,89 kN.m



Gambar 6.11 Gaya Momen Y Kolom pada SAP 2000 v.14

- MuY = 419.999,78 kg.m = 419,99 kN.m



Gambar 6.12 Gaya Geser Kolom pada SAP 2000 v.14

- Vu = 20.889,77 kg = 208,90 kN.m

6.3.3 Cek Syarat Komponen Struktur Penahan Gempa

- Gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada kolom harus melebihi

$$\frac{A_g \cdot f_c'}{10} = \frac{750 \text{ mm} \cdot 750 \text{ mm} \cdot 35 \text{ Mpa}}{10} = 1.968.750 \text{ N} = 196.875 \text{ kg}$$

$P_u = 318.036,2 \text{ kg} > 196.875 \text{ kg}$ (OKE) , (SNI 2847-2019 Pasal 18.7.5.6)

- Sisi terpendek penampang kolom tidak kurang dari 300 mm (SNI 2847-2019 Pasal 18.7.2.1)

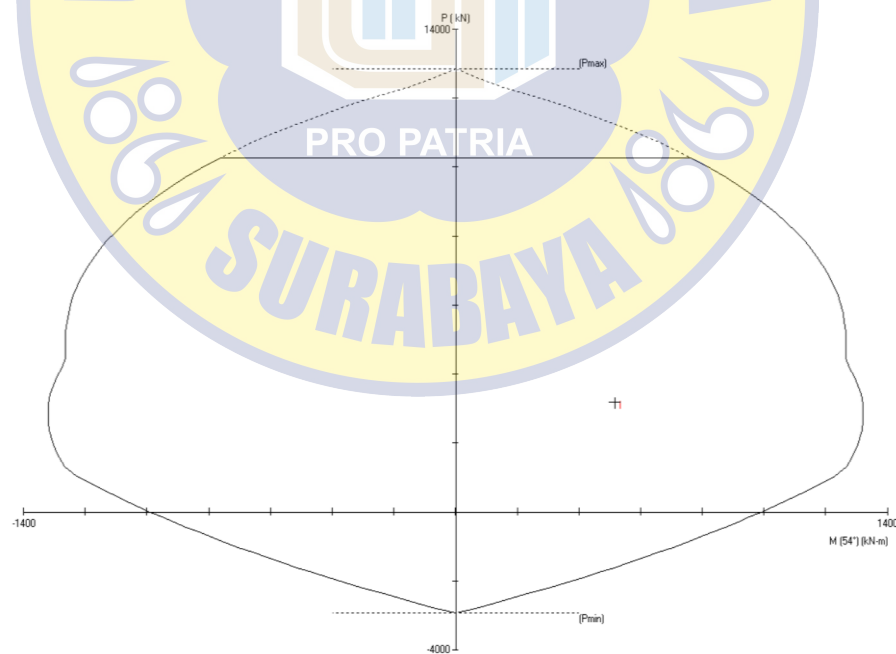
Sisi terpendek kolom = 750 mm > 300 mm (OKE)

- Rasio penampang tidak kurang dari 0,4 (SNI 2847-2019 Pasal 18.7.2.1)

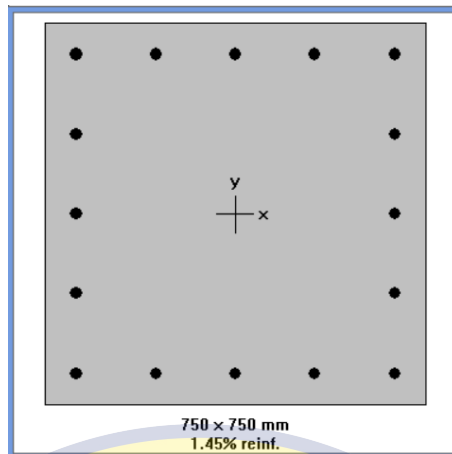
Rasio antara b dan h = $\frac{750 \text{ mm}}{750 \text{ mm}} = 1 > 0,4$ (OKE)

6.3.4 Perhitungan Tulangan Longitudinal (Momen Lentur)

Berdasarkan (SNI 2847-2019 Pasal 18.7.4), luas tulangan longitudinal dibatasi yakni tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,06A_g$. Untuk mendapatkan konfigurasi tulangan memanjang, digunakan program PCACOL dan didapatkan sebagai berikut:



Gambar 6.13 Diagram Interaksi P-M pada Program PCACOL



Gambar 6.14 Konfigurasi Penulangan Kolom pada Program PCACOL

Dengan memasukkan gaya-gaya yang ada pada kolom, didapatkan konfigurasi penulangan 16-D25 untuk menahan gaya-gaya yang ada pada kolom dengan $\rho = 1,45\%$ atau $0,0145$, sehingga nilai $0,01 < 0,0145 < 0,06$ telah terpenuhi.

6.3.5 Cek Syarat “Strong Column Weak Beam”

Berdasarkan (SNI 2847-2019 Pasal 18.7.3.2), kekuatan kolom harus memenuhi nilai $\sum M_c \geq 1,2 \cdot \sum M_g$, dimana:

- $\sum M_c$: Jumlah M_n dua kolom yang bertemu di joint
 $\sum M_g$: Termasuk M_n dua balok yang bertemu di joint (termasuk sambungan tulangan plat di selebar efektif plat lantai)

- Menentukan nilai $\sum M_g$:

$$\text{As tulangan lentur atas balok} = 7\text{-D25} = 3436,12 \text{ mm}^2$$

$$\text{As tulangan lentur bawah balok} = 4\text{-D25} = 1963,50 \text{ mm}^2$$

$$d = 684,5 \text{ mm}$$

- Menentukan M_g^+

$$\alpha^+ = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{3436,12 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 35 \text{ Mpa} \cdot 400 \text{ mm}} = 115,50 \text{ mm}$$

$$M_g^+ = \varphi \cdot A_s \cdot f_y \left(d - \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$M_g^+ = 1,25 \cdot 3436,12 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \left(684,5 \text{ mm} - \frac{115,50 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$Mg^+ = 1.076.793.386 \text{ N.mm} = 1.076,79 \text{ kN.m}$$

- Menentukan Mg^-

$$\alpha^- = \frac{As \cdot fy}{0,85 \cdot fc' \cdot b} = \frac{1963,50 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa}}{0,85 \cdot 35 \text{ Mpa} \cdot 400 \text{ mm}} = 65,99 \text{ mm}$$

$$Mg^- = \varphi \cdot As \cdot fy \left(d - \frac{\alpha}{2} \right)$$

$$Mg^- = 1,25 \cdot 1963,50 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa} \left(684,5 \text{ mm} - \frac{65,99 \text{ mm}}{2} \right)$$

$$Mg^- = 639.608.705 \text{ N.mm} = 639,61 \text{ kN.m}$$

- $Mg^+ + Mg^-$

$$\sum M_g = Mg^+ + Mg^- = 1.076,79 \text{ kN.m} + 639,61 \text{ kN.m} = 1.716,40 \text{ kN.m}$$

$$1,2 \cdot \sum M_g = 1,2 \cdot 1.716,40 \text{ kN.m} = 2129,10 \text{ kN.m}$$

2. Menentukan nilai $\sum M_c$:

Untuk menentukan nilai M_c , didapatkan dari diagram interaksi P-M antara kolom atas dengan kolom bawah dengan program PCACOL. Untuk gaya-gaya yang terjadi pada kolom atas (frame 603) adalah sebagai berikut:



Gambar 6.15 Gaya Aksial pada Kolom Atas

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)						
No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	3180.0	301.0	420.0	769.2	1073.3	2.556
2	7014.0	279.0	156.0	1055.8	590.3	3.784

Gambar 6.16 Output Diagram Interaksi P-M Kolom Bawah

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)						
No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	3180.0	301.0	420.0	769.2	1073.3	2.556
2	7014.0	279.0	156.0	1055.8	590.3	3.784

Gambar 6.17 Output Diagram Interaksi P-M Kolom Atas

Dari gambar di atas, didapatkan nilai M_c sebagai berikut:

$$M_c \text{ kolom bawah} = 1073,3 \text{ kN.m}$$

$$M_c \text{ kolom atas} = 1055,8 \text{ kN.m}$$

$$\sum M_c = M_{c_bawah} + M_{c_atas} = 1073,3 \text{ kN.m} + 1055,8 \text{ kN.m} = 2129,1 \text{ kN.m}$$

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \cdot \sum M_{nb} = 2129,1 \text{ kN.m} \geq 1072,66 \text{ kN.m (OKE)}$$

Maka syarat “*strong column weak beam*” telah terpenuhi.

6.3.6 Perhitungan Tulangan Transversal sebagai Confinement

1. Tentukan daerah pemasangan tulangan sengkang persegi (hoop). Tulangan hoop diperlukan sepanjang ℓ_0 dari ujung-ujung kolom dengan ℓ_0 merupakan nilai terbesar berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.7.5.1:

- Tinggi komponen struktur pada muka joint, $h = 750 \text{ mm}$
- $1/6$ bentang bersih komponen struktur kolom:

$$\frac{1}{6} \cdot \ell_n = \frac{1}{6} \cdot (4000 \text{ mm} - 750 \text{ mm}) = 541,67 \text{ mm}$$

- 450 mm

Maka digunakan yang paling besar, yaitu $\ell_0 = 750 \text{ mm}$

2. Tentukan spasi maksimum hoop, S_{\max} pada daerah sepanjang ℓ_0 dari ujung-ujung kolom. Nilai S_{\max} merupakan nilai terbesar berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.7.5.3:

- $1/4$ dimensi komponen struktur minimum:

$$\frac{1}{4} \cdot \ell_n = \frac{1}{4} \cdot 750 = 187,5 \text{ mm}$$

- $6 \times db = 6 \times 25 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$
- Nilai S_0 , dimana: $S_0 = 100 + \frac{350 - 0,5 \cdot h_x}{3}$

$$h_x = (750 \text{ mm} - 2 \cdot 40 \text{ mm} - 2 \cdot 25 \text{ mm})/3 = 206,67 \text{ mm}$$

$$S_0 = 100 + \frac{350 - 0,5 \cdot 206,67 \text{ mm}}{3} = 182,22 \text{ mm}$$

Namun, nilai S_0 tidak perlu diambil kurang dari 100 mm, sehingga $S_0 = 150 \text{ mm}$

Maka coba diambil spasi hoop sepanjang ℓ_0 dari muka kolom sebesar $S = 100 \text{ mm}$

3. Penentuan luas tulangan *confinement*

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.7.5.4, untuk daerah sepanjang ℓ_0 dari ujung-ujung kolom total luas penampang *hoop* tidak boleh kurang dari salah satu yang terbesar diantara:

$$A_{sh1} = 0,3 \cdot \left(\frac{s \cdot b_c \cdot f_c'}{f_{yt}} \right) \cdot \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \text{ dan } A_{sh2} = \frac{0,09 \cdot s \cdot b_c \cdot f_c'}{f_{yt}}$$

b_c = lebar penampang inti beton (yang terkekang)

$$b_c = b_w - 2 \cdot (t + 0,5 \cdot d_b) = 750 - 2 \cdot (40 + 0,5 \cdot 13) = 657 \text{ mm}$$

A_{ch} = luas penampang inti beton

$$A_{ch} = (b_w - 2 \cdot t) \cdot (b_w - 2 \cdot t) = (750 - 2 \cdot 40) \cdot (750 - 2 \cdot 40)$$

$$A_{ch} = 448.900 \text{ mm}^2$$

Sehingga:

$$A_{sh1} = 0,3 \cdot \left(\frac{100 \text{ mm} \cdot 657 \text{ mm} \cdot 35 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} \right) \cdot \left(\frac{750 \text{ mm} \cdot 750 \text{ mm}}{448.900 \text{ mm}^2} - 1 \right)$$

$$A_{sh1} = 436,4 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh2} = \frac{0,09 \cdot 100 \text{ mm} \cdot 657 \text{ mm} \cdot 35 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} = 517,39 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai nilai terbesar yaitu $A_{sh2} = 517,39 \text{ mm}^2$

Digunakan sengkang (hoop) 54 kaki D13 di sepanjang ℓ_0 :

$$A_{sh} = 5 \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2 \right) = 530,93 \text{ mm}^2 > 517,39 \text{ mm}^2 \text{ OKE}$$

Sehingga, untuk daerah sejarak ℓ_0 dari muka kolom, menggunakan tulangan *hoop 4 kaki D13-100*.

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.7.5.3, untuk daerah sepanjang sisa tinggi kolom bersih (tinggi kolom total dikurangi ℓ_0 di masing-masing ujung kolom) diberi hoops dengan spasi minimum yaitu:

- $6 \times db = 6 \times 25 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$
- 150 mm

Maka dipakai yang terkecil yaitu $s = 150 \text{ mm}$, sehingga digunakan spasi **4 kaki D13-150** untuk daerah di luar ℓ_0 .

6.3.7 Perhitungan Gaya Geser Desain, V_e

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.7.6.1, gaya geser desain yang digunakan tidak perlu lebih besar dari nilai berikut:

$$V_{\text{sway}} = \frac{M_{\text{prb_atas}} \cdot DF_{\text{atas}} + M_{\text{prb_bawah}} \cdot DF_{\text{bawah}}}{\ell_n}$$

Namun, tidak boleh lebih dari V_u hasil analisis struktur

1. Hitung V_{sway}

$$V_{\text{sway}} = \frac{M_{\text{prb_atas}} \cdot DF_{\text{atas}} + M_{\text{prb_bawah}} \cdot DF_{\text{bawah}}}{\ell_n}$$

Dimana:

DF : faktor distribusi momen di bagian atas dan bawah kolom yang didesain, karena kolom di lantai atas dan lantai bawah mempunyai kekakuan yang sama, maka $DF_{\text{atas}} = DF_{\text{bawah}} = 0,5$.

Untuk M_{pr} atas dan M_{pr} bawah adalah penjumlahan M_{pr} untuk masing-masing balok di lantai atas dan di lantai bawah di muka kolom interior.

$$V_{\text{sway}} = \frac{(1031,32 + 766,19)\text{kN} \cdot \text{m} \cdot 0,5 + (1031,32 + 766,19)\text{kN} \cdot \text{m} \cdot 0,5}{3,25}$$

$$V_{\text{sway}} = 553,078 \text{ kN}$$

2. Hitung V_u akibat beban terfaktor hasil analisis struktur program SAP2000

Dari program SAP2000 v.14, didapatkan gaya geser maksimum pada kolom yang ditinjau, yaitu sebesar: $V_u = 12.528,90 \text{ kg} = 125,29 \text{ kN}$

Karena nilai $V_{\text{sway}} = 553,08 \text{ kN} > V_u = 125,29 \text{ kN}$, maka dipakai nilai $V_u = 553,08 \text{ kN}$

3. Cek kontribusi beton dalam menahan gaya geser, V_c

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.7.6.2, kontribusi beton akan diabaikan dalam menahan gaya geser rencana apabila:

- Apabila nilai $V_e > \frac{1}{2} V_u$

$$553,08 \text{ kN} > \frac{125,29 \text{ kN}}{2}; 553,08 \text{ kN} > 62,64 \text{ (OKE)}$$

- Apabila $P_u < \frac{A_g \cdot f_c'}{10}$

$$P_u < \frac{750 \text{ mm} \cdot 750 \text{ mm} \cdot 35 \text{ Mpa}}{10} = 1.968,75 \text{ kN}$$

Dari SAP2000 v.14, didapatkan nilai $P_u = 701.468,38 \text{ Kg}$,

maka $7014,68 \text{ kN} > 1968,75 \text{ kN}$ (TIDAK OKE)

karena terdapat nilai yang tidak memenuhi, maka kontribusi V_c dapat diperhitungkan, sehingga:

$$d = 750 \text{ mm} - 40 \text{ mm} - 13 \text{ mm} - \frac{25 \text{ mm}}{2} = 684,5 \text{ mm}$$

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

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}} \cdot 750 \text{ mm} \cdot 684,5 \text{ mm} = 506.194,58 \text{ N} = 506,2 \text{ kN}$$

4. Hitung kebutuhan tulangan transversal untuk menahan gaya geser rencana.

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{553,08 \text{ kN}}{0,75} = 737,44 \text{ kN}$$

$$\frac{V_c}{2} = \frac{506,2 \text{ kN}}{2} = 253,09 \text{ kN}$$

$$\frac{V_u}{\phi} > \frac{V_c}{2}, \text{ maka perlu tulangan geser.}$$

Pengecekan apakah cukup dipasang tulangan geser minimum :

$$\frac{V_u}{\phi} = \frac{553,08 \text{ kN}}{0,75} = 737,44 \text{ kN}$$

$$V_c + \frac{1}{3} \cdot b_w \cdot d = 506,2 \text{ kN} + \frac{750 \text{ mm} \cdot 684,5 \text{ mm}}{3 \cdot 1000} = 667,31 \text{ kN}$$

$$\frac{V_u}{\phi} > V_c + \frac{1}{3} \cdot b_w \cdot d, \text{ Sehingga diperlukan tulangan geser, karena sebelumnya}$$

telah dipasang tulangan confinement **4 kaki D13-100**, sehingga:

$$A_{v \text{ min}} = \frac{b_w \cdot s}{3 \cdot f_y} = \frac{750 \text{ mm} \cdot 100 \text{ mm}}{3 \cdot 400 \text{ Mpa}} = 62,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} > A_{v \text{ min}} = 4 \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2 \right) = 530,93 \text{ mm}^2 > 66,66 \text{ mm}^2 \text{ OKE}$$

Untuk daerah di luar ℓ_0 , SNI 2847-2019 Pasal 18.10.2

.2 memberikan nilai V_c bila ada gaya aksial yang bekerja, yaitu:

$$V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{N_u}{14 \cdot A_g} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

Dari hasil analisis menggunakan SAP2000 v.14, didapatkan nilai $P_u =$

$$701.468,38 \text{ Kg} = 7.014.683,8 \text{ N}$$

$$\frac{N_u}{A_g} = \frac{7.014.683,8 \text{ N}}{750 \text{ mm} \cdot 750 \text{ mm}} = 12,47 \text{ Mpa}$$

$$V_c = 0,17 \cdot \left(1 + \frac{12,47 \text{ Mpa}}{14} \right) \cdot 1,0 \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}} \cdot 750 \text{ mm} \cdot 734,5 \text{ mm}$$

$$V_c = 976.230,95 \text{ N} = 976,23 \text{ kN} > 737,44 \text{ kN (OKE)}$$

Karena nilai $\frac{V_u}{\phi} < V_c$, untuk bentang kolom di luar ℓ_0 , maka tulangan sengkang tidak dibutuhkan untuk geser pada bentang tersebut, tetapi hanya untuk *confinement*.

6.3.8 Perhitungan Sambungan Lewatan

Karena seluruh tulangan pada sambungan lewatan disalurkan pada lokasi yang sama, maka sambungan lewatan yang digunakan tergolong kelas B.

Untuk sambungan kelas B panjang minimum sambungan lewatannya adalah $1,3 \cdot \ell d$. Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 25.7.3.6 dimana $\ell d = 48 \cdot d_b$:

Diketahui nilai : $d_b=25$ mm, maka $1,3 \cdot \ell d = 1,3 \cdot 48 \cdot 25$ mm = 1.560 mm

Namun berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 10.7.5.2.1, nilai $1,3 \cdot \ell d$ dapat dikurangi dengan dikalikan 0,83, jika *confinement* di sepanjang lewatan mempunyai area efektif yang tidak kurang dari $0,0015 \cdot h \cdot x$:

Untuk $s = 150$ mm, maka:

$$\text{Area efektif} = 0,0015 \times 750 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} = 168,75 \text{ mm}^2$$

$$\text{Area hoops} = 530,92 \text{ mm}^2$$

Sehingga, lap splices menjadi = $0,83 \times 1560$ mm = 1295 mm, diambil nilai

lap splices = 1300 mm.

6.4 Desain Hubungan Balok-Kolom (HBK)

Pada perhitungan penulangan desain dan detail penulangan hubungan balok-kolom, dimana tempat pertemuan komponen struktur balok dan kolom yang telah di desain sebelumnya.

1. Cek syarat panjang joint

Dimensi kolom yang sejajar dengan tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar berdasarkan (SNI 2847-2019 Pasal 18.8.2.3)

$$b = h = 750 \text{ mm}$$

$$20 \times d_b = 20 \times 25 \text{ mm} = 500 \text{ mm} < 750 \text{ mm} \text{ (OKE)}$$

2. Tentukan luas efektif joint, A_j

A_j ialah perkalian tinggi joint dengan lebar joint efektif berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.8.4.3:

Lebar balok, $b = 400 \text{ mm}$; Tinggi kolom, $h = 750 \text{ mm}$

$$X = (750 \text{ mm} - 400 \text{ mm})/2 = 175 \text{ mm}$$

Tinggi joint = tinggi keseluruhan kolom, $h = 750 \text{ mm}$

Lebar joint efektif merupakan nilai yang terkecil dari:

- $b + h = 400 \text{ mm} + 750 \text{ mm} = 1150 \text{ mm}$
- $b + 2x = 400 \text{ mm} + (2 \times 175 \text{ mm}) = 750 \text{ mm}$

maka lebar efektif joint dipakai sebesar, $b = 750 \text{ mm}$

maka $A_j = \text{tinggi joint} \times \text{lebar efektif joint}$

$$A_j = 750 \text{ mm} \times 750 \text{ mm} = 562.500 \text{ mm}^2$$

3. Hitung tulangan transversal untuk *confinement*

Untuk joint interior, jumlah tulangan confinement setidaknya setengah dari tulangan confinement yang dibutuhkan di ujung-ujung kolom. Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.8.3, spasi vertikal tulangan confinement diijinkan untuk diperbesar hingga 150 mm.

$$\frac{A_{sh}}{s}_{joint} = 0,5 \cdot \frac{A_{sh}}{s}_{kolom} = 0,5 \cdot \frac{517,39 \text{ mm}^2}{100 \text{ mm}} = 2,58 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$A_{sh} = 2,58 \frac{\text{mm}^2}{\text{mm}} \cdot 150 \text{ mm} = 388 \text{ mm}^2$$

Dipakai sengkang 4 kaki D13 = 530,92 mm²

4. Hitung gaya geser pada joint

- Hitung Me

Balok yang memasuki joint, memiliki:

$$M_{pr}^+ = 1.031,32 \text{ kN.m}$$

$$M_{pr}^- = 766,19 \text{ kN.m}$$

Karena kekakuan antara kolom atas dengan kolom bawah sama, maka nilai DF adalah sama, yaitu DF = 0,5, sehingga:

$$Me = 0,5 \times (1.031,32 \text{ kN.m} + 766,19 \text{ kN.m}) = 898,75 \text{ kN.m}$$

- Hitung geser pada kolom atas

$$V_{sway} = \frac{Me + Me}{\ell_u} = \frac{898,75 \text{ kN.m} + 898,75 \text{ kN.m}}{3,25 \text{ m}} = 553,08 \text{ kN}$$

- Hitung gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal

1. Gaya tarik pada tulangan balok di bagian kiri, yaitu 4D25 = 1963,49 mm²

$$T_1 = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y = 1,25 \cdot 1963,49 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa}$$

$$T_1 = 981.748 \text{ N} = 981,7 \text{ kN}$$

2. Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kiri, yaitu:

$$C_1 = T_1 = 981,7 \text{ kN}$$

3. Gaya tarik pada tulangan balok di bagian kanan, yaitu $7D25 = 3436,12 \text{ mm}^2$

$$T_1 = 1,25 \cdot A_s \cdot f_y = 1,25 \cdot 3436,12 \text{ mm}^2 \cdot 400 \text{ Mpa}$$

$$T_1 = 1.718.058 \text{ N} = 1.718,05 \text{ kN}$$

4. Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kanan, yaitu:

$$C_1 = T_1 = 1.718,05 \text{ kN}$$

- Hitung gaya geser pada joint

$$V_j = V_{\text{sway}} - T_1 - C_2$$

$$V_j = 553,08 \text{ kN} - 981,7 \text{ kN} - 1.718,05 \text{ kN} = 2146,73 \text{ kN}$$

5. Cek kuat geser joint

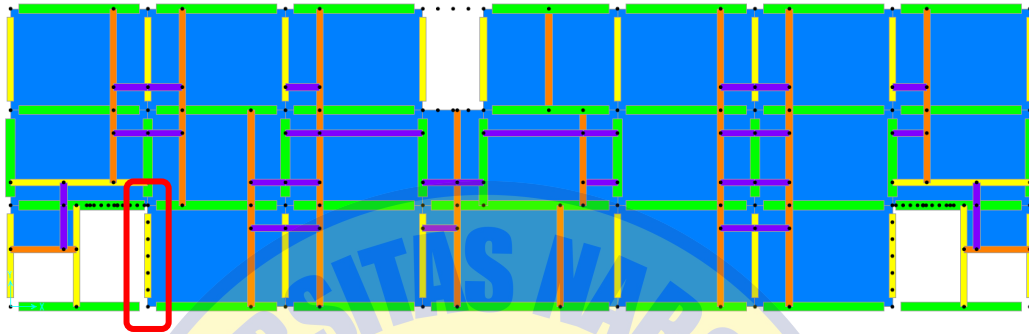
Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.8.4.1, untuk kuat geser joint yang dikekang di keempat sisinya adalah:

$$V_n = 1,7 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_j = 1,7 \cdot \sqrt{35 \text{ Mpa}} \cdot 562.500 \text{ mm}^2 = 5.237.596,96 \text{ N}$$

$$V_n = 5.237,60 \text{ kN} > 2.146,73 \text{ kN (OKE)}$$

6.5 Desain Struktur Shearwall

Pada bangunan yang ditinjau terdapat 2 shearwall dan 2 corewall seperti denah di bawah ini:



Gambar 6.18 Denah Shearwall yang Ditinjau

6.5.1 Data Perencanaan

Tebal dinding	= 300 mm
Panjang total	= 4415 mm
Panjang badan	= 4415 mm - 750 mm - 750 mm = 2915 mm
Tinggi total dinding	= 44.000 mm
Selimut beton	= 40 mm
Mutu beton (f_c')	= 30 Mpa
Mutu baja (f_y)	= 400 Mpa
Diameter tulangan lentur	= 16 mm, $f_y = 400$ Mpa
Diameter tulangan geser	= 16 mm, $f_y = 400$ Mpa

Dari program bantu SAP2000 v.14, didapatkan hasil output reaksi gaya maksimum yang terjadi pada shearwall (kombinasi 1,2DD + 1,0LL + 1,0 EY) adalah sebagai berikut:

$$P_u = 7790,76 \text{ kN}$$

$$V_u = 663,924 \text{ kN}$$

$$Mu = 22.325,4 \text{ kN.m}$$

6.5.2 Kontrol Ketebalan Terhadap Geser

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.10.4.4, kuat geser nominal tiap dinding tidak boleh melebihi: $0,83 \cdot Acw \cdot \sqrt{fc'}$

Dimana:

Acw = Luas penampang dinding yang ditinjau

= tebal dinding x (0,8 panjang badan)

$$= 300 \text{ mm} \times 0,8 \times 2915 \text{ mm} = 699.600 \text{ mm}^2$$

$$0,83 \cdot Acw \cdot \sqrt{fc'} = 0,83 \cdot 699.600 \text{ mm}^2 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}}$$

$$0,83 \cdot Acw \cdot \sqrt{fc'} = 3.180.450 \text{ N} = 3180,45 \text{ kN} > 663,924 \text{ kN (OKE)}$$

Maka, ketebalan *shearwall* mampu untuk menahan gaya geser.

6.5.3 Kebutuhan Tulangan Vertikal dan Horizontal Minimum

1. Rasio tulangan minimum

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.10.2.1, apabila nilai $V_u > 0,083 \cdot \lambda \cdot$

$Acv \cdot \sqrt{fc'}$, maka ρ_{min} tulangan horizontal dan vertikal adalah 0,0025

Acv = panjang badan x tebal dinding

$$= 2915 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} = 874.500 \text{ mm}^2$$

λ = 1 (untuk beton normal)

$$V_u > 0,083 \cdot \lambda \cdot Acv \cdot 0,083 \cdot 1,0 \cdot 874.500 \text{ mm}^2 \cdot \sqrt{30} = 397.556 \text{ N}$$

$663,924 \text{ kN} > 397.556 \text{ N}$, karena nilai $V_u > 0,083 \cdot \lambda \cdot Acv \cdot \sqrt{fc'}$, maka

nilai untuk $\rho_{min} = 0,0025$

2. Cek kebutuhan lapis tulangan

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.10.2.1, apabila nilai $V_u > 0,17 \cdot A_{cv} \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}$, maka dibutuhkan 2 lapis tulangan.

$$V_u > 0,17 \cdot 874.500 \text{ mm}^2 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{30} = 814.271,74 \text{ N} = 814,27 \text{ kN}$$

$663,924 \text{ kN} < 814,27 \text{ kN}$, maka dibutuhkan 1 lapis tulangan.

3. Perhitungan tulangan longitudinal dan transversal

Luas minimal tulangan per meter panjang = $300 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} = 300.000$

mm^2 . Luas minimal kebutuhan tulangan per meter panjang arah longitudinal

dan transversal: $A_{s \text{ min}} = 0,0025 \cdot 300.000 \text{ mm}^2 = 750 \text{ mm}^2/\text{m}$

Apabila dicoba pakai tulangan 2 kaki D16 dengan $A_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16\text{mm})^2$

$$A_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (16\text{mm})^2 = 402,12 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_s}{A_{s \text{ min}}} = \frac{402,12 \text{ mm}^2}{0,75 \text{ mm}^2/\text{m}} = 536,17 \text{ mm}, \text{ s pakai} = 300 \text{ mm},$$

Maka tulangan yang dipakai adalah **2D16-300** pada arah horizontal dan vertikal.

6.5.4 Kuat Geser Dinding Struktural

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.10.4.1, kuat geser nominal dinding

dapat dihitung sebagai berikut: $V_n = A_{cv} \cdot (\alpha_c \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'} + \rho_t \cdot f_y)$

Dimana:

$$\alpha_c = 0,25 \text{ untuk } h_w/l_w \leq 1,5$$

$$= 0,17 \text{ untuk } h_w/l_w \geq 2,0$$

= variatif secara linier antara 0,25 dan 0,17 untuk h_w/l_w antara 1,5

dan 2,0

$$\frac{hw}{lw} = \frac{\text{tinggi total dinding}}{\text{panjang dinding}} = \frac{44.000 \text{ mm}}{2915 \text{ mm}} = 15,09$$

Karena nilai $hw/lw > 2,0$ maka $\alpha_c = 0,17$

Pada dinding terdapat tulangan transversal dengan konfigurasi 2D16-300.

$$\text{Rasio tulangan terpasang adalah: } \rho_t = \frac{A_s}{s \cdot t} = \frac{402,12 \text{ mm}^2}{300 \text{ mm} \cdot 300 \text{ mm}} = 0,0045 >$$

0,0025 (OKE)

$$V_n = 874.500 \text{ mm}^2 \cdot (0,17 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{30} + 0,0045 \cdot 400 \text{ Mpa}) = 2.377.193,14 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_n = 0,75 \cdot 2.377.193,14 \text{ N} = 1.782.894,86 \text{ N} = 1.782,89 \text{ kN}$$

$$V_u < \phi \cdot V_n = 663,924 \text{ kN} < 1.782,89 \text{ kN} \text{ (OKE)}$$

Namun, pada SNI 2847-2019 Pasal 18.10.4.4, kuat geser nominal maksimum

yang terjadi dibatasi yaitu: $V_n = 0,83 \cdot A_{cw} \cdot \sqrt{f_c'} = 0,83 \cdot 699.600 \text{ mm}^2 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}}$

$$V_n \text{ maks} = 3.180.449,62 \text{ N} = 3.180,45 \text{ kN}$$

Karena $\phi \cdot V_n < V_n \text{ maks} = 1.782,89 \text{ kN} < 3.180,45 \text{ kN}$, maka dipakai nilai terkecil yaitu 3.180,45 kN

6.5.5 Pemeriksaan terhadap Syarat Komponen Batas Khusus (*Special Boundary Element*)

Untuk pemeriksaan terhadap kebutuhan *special boundary element* dihitung menggunakan pendekatan tegangan, yaitu:

$$A_g = (300 \text{ mm} \cdot 2915 \text{ mm}) + 2 \cdot (750 \text{ mm} \cdot 750 \text{ mm}) = 1.999.500 \text{ mm}^2 = 2 \text{ m}^2$$

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 300 \text{ mm} \cdot (2915 \text{ mm})^3 = 6,19 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4 = 0,6 \text{ m}^4$$

$$y = \frac{\text{Panjang Badan}}{2} = \frac{2915 \text{ mm}}{2} = 1,46 \text{ m}$$

Daerah tekan harus diperkuat dengan elemen khusus pembatas apabila:

$$\frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u \cdot y}{I_g} > 0,2 \cdot f_c'$$

$$\frac{7.790,08 \text{ kN}}{2 \text{ m}^2} + \frac{22.325,4 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot 1,46 \text{ m}}{0,6 \text{ m}^4} > 0,2 \cdot 30 \text{ Mpa}$$

$$56.443,88 \text{ kN/m}^2 > 6 \text{ Mpa}$$

$$56,44 \text{ Mpa} > 6 \text{ Mpa}$$

maka perlu *special boundary element* di daerah tekan pada dinding.

6.5.6 Penentuan Panjang *Special Boundary Element*

Berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 18.10.6.2, *special boundary element* harus dipasang secara horizontal dari sisi serat tekan terluar tidak kurang daripada $c - 0,1 \cdot \ell_w$ dan $c/2$. Namun berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 21.9.6.4(b) bahwa *shearwall* yang bersayap, komponen batas khususnya mencakup lebar efektif sayap pada zona tekan dan harus diperpanjang sedikitnya 300 mm ke dalam badan. Karena dimensi sayap 750 mm sedangkan panjang yang dipakai untuk *special boundary element* adalah 1000 mm, maka zona tekan sudah masuk ke dalam daerah badan.

6.5.7 Tulangan Confinement untuk Dinding Struktural

1. Tulangan longitudinal pada *special boundary element*

Sesuai hasil perhitungan di atas dilakukan kontrol cek, pada *special boundary element* terdapat 20-D16, sehingga rasio tulangan yang dihasilkan adalah:

$$\rho = \frac{\left(20 \times \frac{1}{4} \cdot \pi^2 \cdot (16\text{mm})^2\right)}{(750\text{mm} \cdot 750\text{mm}) + (750\text{mm} \cdot 300\text{mm})} = 0,0051$$

Berdasarkan UBC (1997), rasio tulangan longitudinal minimum pada daerah komponen batas khusus ditetapkan tidak kurang dari 0,005. Jadi tulangan longitudinal terpasang sudah memenuhi syarat minimum.

2. Tulangan *confinement* pada *special boundary element*

Apabila digunakan hoop bentuk persegi diameter D13, maka spasi maksimum hoop ditentukan oleh yang terkecil diantara:

- $\frac{1}{4}$ panjang sisi terpendek = $\frac{1}{2} \times 300 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$
- $6d_b = 6 \times 25 \text{ mm} = 150 \text{ mm}$
- Nilai S_0 , dimana: $s_0 = 100 + \frac{350 - 0,5 \cdot h_x}{3}$; $h_x = 300 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 16 \text{ mm} = 188$

$$s_0 = 100 + \frac{350 - 0,5 \cdot 188 \text{ mm}}{3} = 185,33 \text{ mm}$$

S_0 tidak perlu diambil kurang dari 100 mm, maka nilai s max terkecil, yaitu 100 mm. **$S = 100 \text{ mm}$** .

Karakteristik inti penampang:

$$b_c = \text{dimensi inti core, diukur dari sumbu ke sumbu hoop} \\ = 750 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm} + 2 \times 13 \text{ mm} / 2) = 657 \text{ mm}$$

Tulangan *confinement* yang dibutuhkan adalah:

$$A_{sh} = \frac{0,09 \cdot s \cdot b_c \cdot f_c'}{f_{yt}} \\ A_{sh} = \frac{0,09 \cdot 100 \text{ mm} \cdot 657 \text{ mm} \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} = 443,475 \text{ mm}^2$$

Apabila digunakan 4 kaki D13 maka:

$$A_s = 4 \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2 \right) = 530,93 \text{ mm}^2$$

Agar nilai $A_s > A_{sh}$, maka dipasang 4 kaki D13 sejarak 100 mm di area *special boundary element*.

3. Tulangan *confinement* pada badan penampang dinding struktural

Untuk tulangan pada daerah badan dinding struktur, dicoba menggunakan tulangan bentuk persegi dengan D13.

Mencari nilai s max:

- $\frac{1}{4}$ panjang sisi terpendek = $\frac{1}{2} \times 300 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$
- $6d_b = 6 \times 13 \text{ mm} = 78 \text{ mm}$
- Nilai S_0 , dimana: $s_0 = 100 + \frac{350 - 0,5 \cdot h_x}{3}$; $h_x = 300 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 2 \times 13 \text{ mm} = 194$

$$s_0 = 100 + \frac{350 - 0,5 \cdot 194 \text{ mm}}{3} = 184,33 \text{ mm}$$

S_0 tidak perlu diambil kurang dari 100 mm, maka nilai s max terkecil, yaitu 100 mm. **S = 100 mm.**

- Untuk tulangan *confinement* pada arah sejajar dinding struktural, digunakan D13-100

b_c = dimensi inti core, diukur dari sumbu ke sumbu hoop
 $= 300 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm} + 2 \times 13 \text{ mm} / 2) = 207 \text{ mm}$

Tulangan *confinement* yang dibutuhkan adalah:

$$A_{sh} = \frac{0,09 \cdot s \cdot b_c \cdot f_c'}{f_{yt}}$$

$$A_{sh} = \frac{0,09 \cdot 100 \text{ mm} \cdot 207 \text{ mm} \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} = 139,73 \text{ mm}^2$$

Apabila digunakan 2 kaki D13 maka:

$$A_s = 2 \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2 \right) = 265,46 \text{ mm}^2 > 139,73 \text{ mm}^2 \text{ (OKE)}$$

Agar nilai $A_s > A_{sh}$, maka dipasang **2 kaki D13-100** mm di area sejajar *shearwall*.

- Untuk tulangan confinement pada arah tegak lurus dinding struktural, digunakan D13-100

$$b_c = \text{dimensi inti core, diukur dari sumbu ke sumbu hoop}$$

$$= 300 \text{ mm} + (2 \times 13 \text{ mm} / 2) = 313 \text{ mm}$$

Tulangan *confinement* yang dibutuhkan adalah:

$$A_{sh} = \frac{0,09 \cdot s \cdot b_c \cdot f_c'}{f_{yt}}$$

$$A_{sh} = \frac{0,09 \cdot 100 \text{ mm} \cdot 313 \text{ mm} \cdot 30 \text{ Mpa}}{400 \text{ Mpa}} = 211,28 \text{ mm}^2$$

Apabila digunakan 2 kaki D13 maka:

$$A_s = 2 \times \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2 \right) = 265,46 \text{ mm}^2 > 211,28 \text{ mm}^2 \text{ (OKE)}$$

Agar nilai $A_s > A_{sh}$, maka dipasang **2 kaki D13-100** mm di area tegak lurus *shearwall*.

6.5.8 Panjang Penyaluran Tulangan

Untuk panjang penyaluran tulangan D16 yang dibutuhkan ℓ_d , diambil dari nilai yang terbesar berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal 12.2.2

Diketahui nilai:

$$\psi_t = 1,3 ; \psi_e = 1,0$$

$$\psi_s = 1,0 ; \lambda = 1,0 ; d_b = 1,0$$

$$\ell_d = \left(\frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{1,7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c'}} \right) \cdot d_b = \left(\frac{400 \text{ Mpa} \cdot 1,3 \cdot 1,0}{1,7 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{30 \text{ Mpa}}} \right) \cdot 16 \text{ mm} = 893,54 \text{ mm}$$

berdasarkan SNI 2847-2019 Pasal R18.10.6.5 bahwa penulangan di daerah

special boundary element harus menerus secara vertikal dari penampang

kritis yang tidak kurang dari yang lebih besar dari $\ell_w = 4,415 \text{ m}$ atau $\frac{M_u}{4 \cdot V_u} =$

$$\frac{22.325,41 \text{ kN.m}}{4 \cdot 663,92 \text{ kN}} = 8,4 \text{ m, sehingga diambil yang paling besar yaitu } = 8,4 \text{ m}$$