

BAB II

PERENCANAAN STRUKTUR

2.1 Data Umum

Deskripsi Proyek Perpustakaan Umum dan Co-Working Space di jalan Kenari, Kota Yogyakarta secara umum adalah sebagai berikut:

- a. Nama Proyek : Perpustakaan Umum dan Co-Working Space
- b. Lokasi Proyek : Jl. Kenari, Kecamatan Umbulharjo, Kota Yogyakarta
- c. Jumlah Lantai : 3 Lantai
- d. Luas Tanah : 5928 m²
- e. Luas Bangunan : 7369,07 m²
- f. Struktur Bangunan : Beton Bertulang

2.2 Perencanaan Atap

Pada perencanaan gedung Perpustakaan Umum dan Co-Working Space ini kami menggunakan atap model Cremona dengan tipe kuda-kuda *vaulted parallel chord* karena bentang kuda-kuda cukup besar yaitu 16 meter.

2.2.1 Data Perencanaan Atap

Data perencanaan atap yang akan didesain nantinya akan input kedalam *soft-ware* SAP2000. Berikut data perencanaan dari atap yang akan direncanakan:

1. Jarak antar kuda-kuda : 4 m
2. Jarak antar gording : 1,6 m
3. Kemiringan atap : 32°
4. Bahan gording : Baja profil lip channel
5. Bahan rangka kuda-kuda : Baja double angle
6. Mutu baja profil : Bj 37 (Fy 240 Mpa, Fu 370 Mpa)
7. Berat penutup atap : 50 kg/m²
8. Beban angin : 30 kg/m²
9. Berat plafon dan penggantung: 18 kg/m²
10. Berat Hidup (pekerja) : 100 kg
11. Berat gording : 7,33 kg/m²

2.2.2 Perhitungan Pembebanan

1. Gording

Denah atap pada bangunan sangat penting untuk fungsi dan penampilannya. Atap harus direncanakan terlebih dahulu dari gording atap.



Gambar 2. 1 Desain Gording

Setelah denah rencana atap dibuat, kemudian direncanakan gording sebagai berikut.

a. Beban Mati

$$\begin{aligned} \text{Berat gording} & : & & = 7,33 \text{ kg/m} \\ \text{Berat Penutup atap} & : 50 \text{ kg/ m}^2 \times 1,6 \text{ m} & = 80 \text{ kg/m} + \\ & & q & = 87,33 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$q_x = q \times \sin 32^\circ = 87,33 \times \sin 32^\circ = 46,278 \text{ kg/m}$$

$$q_y = q \times \cos 32^\circ = 87,33 \times \cos 32^\circ = 74,060 \text{ kg/m}$$

$$M_{x1} = \frac{1}{8} \times q_y \times L^2 = \frac{1}{8} \times 74,070 \times (4)^2 = 148,14 \text{ kgm}$$

$$M_{y1} = \frac{1}{8} \times q_x \times L^2 = \frac{1}{8} \times 46,278 \times (4)^2 = 92,556 \text{ kgm}$$

b. Beban Hidup

Dengan beban hidup (P) sebesar 100kg.

$$P_x = P \times \sin 32^\circ = 100 \times \sin 32^\circ = 52,992 \text{ kg}$$

$$P_y = P \times \cos 32^\circ = 100 \times \cos 32^\circ = 84,804 \text{ kg}$$

$$M_{x2} = \frac{1}{4} \times P_x \times L = \frac{1}{4} \times 84,804 \times 4 = 84,804 \text{ kgm}$$

$$M_{y2} = \frac{1}{4} \times P_y \times L = \frac{1}{4} \times 52,992 \times 4 = 52,992 \text{ kgm}$$

c. Beban Angin

Dengan beban angin kondisi normal sebesar 30 kg/m^2

$$\text{Koefisien kemiringan atap } (\alpha) = 32^\circ$$

$$\text{Koefisien angin tekan} = (0,02 \alpha - 0,4) = 0,24$$

$$\text{Koefisien angin hisap} = -0,4$$

Beban Angin:

$$1. \text{ Angin Tekan (W1)} = \text{koefisien angin tekan} \times \text{beban angin} \times \frac{1}{2} (s_1 + s_2)$$

$$= 0,24 \times 30 \times \frac{1}{2} (1,6 + 1,6) = 11,52 \text{ kg/m}$$

$$2. \text{ Angin Hisap (W2)} = \text{koefisien angin hisap} \times \text{beban angin} \times \frac{1}{2} (s_1 + s_2)$$

$$= -0,4 \times 30 \times \frac{1}{2} (1,6 + 1,6) = -19,2 \text{ kg/m}$$

M_y tidak ada karena beban hanya bekerja pada sumbu x, Maka:

$$M_x (\text{tekan}) = \frac{1}{8} \times W1 \times L^2 = \frac{1}{8} \times 11,52 \times (4)^2 = 23,04 \text{ kgm}$$

$$M_x (\text{hisap}) = \frac{1}{8} \times W2 \times L^2 = \frac{1}{8} \times -19,2 \times (4)^2 = -38,4 \text{ kgm}$$

Kombinasi Pembebanan

Dari SNI 2847-2019 didapat kombinasi pembebanan seperti berikut.

$$1. U = 1,4 D$$

$$U_x = 1,4 \times 148,14 = 207,396 \text{ kgm}$$

$$U_y = 1,4 \times 92,556 = 129,578 \text{ kgm}$$

$$2. U = 1,2 D + 0,5 L$$

$$U_x = 1,2 \times 148,14 + 0,5 \times 84,804 = 220,17 \text{ kgm}$$

$$U_y = 1,2 \times 92,556 + 0,5 \times 52,992 = 137,563 \text{ kgm}$$

$$3. U = 1,2 D + 1,6 L + 0,8 W$$

$$U_x = 1,2 \times 148,14 + 1,6 \times 84,804 + 0,8 \times 23,04 = 331,886 \text{ kgm}$$

$$U_y = 1,2 \times 92,556 + 1,6 \times 52,992 + 0,8 \times -38,4 = 165,134 \text{ kgm}$$

$$4. U = 1,2 D + 0,5 L + 1,3 W$$

$$U_x = 1,2 \times 148,14 + 0,5 \times 84,804 + 1,3 \times 23,04 = 250,122 \text{ kgm}$$

$$U_y = 1,2 \times 92,556 + 0,5 \times 52,992 + 1,3 \times -38,4 = 87,643 \text{ kgm}$$

5. U = 0,9 D ± 1,3 W

$$U_x = 0,9 \times 148,14 + 1,3 \times 23,04 = 163,278 \text{ kgm}$$

$$= 0,9 \times 148,14 - 1,3 \times 23,04 = 103,374 \text{ kgm}$$

$$U_y = 0,9 \times 92,556 + 1,3 \times -38,4 = 33,380 \text{ kgm}$$

$$= 0,9 \times 92,556 - 1,3 \times -38,4 = 133,220 \text{ kgm}$$

Tabel 2. 1 Hasil Kombinasi

Momen	Beban Mati	Beban Hidup	Beban Angin		Kombinasi	
			Tekan	Hisap	Minimum	Maksimum
M _x	148,14	84,804	23,04	-38,4	103,374	331,886
M _y	92,556	52,992	-	-	33,38	165,134

Dari kombinasi diperoleh nilai M_x maksimum dan M_y maksimum:

$$M_x \text{ Maksimum} = 331,886 \text{ kgm}$$

$$M_y \text{ Maksimum} = 165,134 \text{ kgm}$$

2.2.3 Kontrol Terhadap Tegangan

Untuk kontrol terhadap tegangan maka cek tegangan pada profil C, jika fb (tegangan) = $\left(\frac{M_x \text{ Maksimum}}{0,9 \times Z_x}\right) + \left(\frac{M_y \text{ Maksimum}}{0,9 \times Z_y}\right) \leq F_y$ tidak dipenuhi pilih profil yang lain dengan nilai φ = 0,9 untuk lentur dan geser. Profil yang digunakan adalah profil tipe channel dengan ukuran 200 × 75 × 20 × 2,5 mm.

- a. Berat gording = 7,33 kg/m
- b. I_x = 573 cm⁴
- c. I_y = 68 cm⁴
- d. h = 200 mm
- e. b = 75 mm
- f. t_s = 2,5 mm
- g. t_b = 2,5 mm
- h. Z_x = 57,3 cm³
- i. Z_y = 12,9 cm³

Digunakan nilai M_x maksimum dan M_y maksimum:

$$M_x \text{ Maksimum} = 331,886 \text{ kgm}$$

$$M_y \text{ Maksimum} = 165,134 \text{ kgm}$$

Maka:

$$\text{Tegangan} = \left(\frac{M_x \text{ Maksimum}}{0,9 \times Z_x} \right) + \left(\frac{M_y \text{ Maksimum}}{0,9 \times Z_y} \right) \leq 240 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} f_b &= \left(\frac{331,886 \times 0,00981}{0,9 \times 57,3 \times 10^3} \right) + \left(\frac{165,134 \times 0,00981}{0,9 \times 12,9 \times 10^3} \right) \\ &= 2,026 \text{ knm/mm}^3 \text{ konversi ke N/mm}^2 \text{ dikali } 10^6 \\ &= 202,665 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Tegangan Leleh} = 240 \text{ MPa}$$

$$F_b \leq \text{Tegangan Leleh} = 202,665 \text{ MPa} \leq 240 \text{ MPa}$$

Karena $F_b \leq F_y = 202,665 \text{ MPa} \leq 240 \text{ MPa}$, maka profil C aman.

2.2.4 Kontrol Terhadap Lentutan

Untuk kontrol terhadap lentutan maka cek lentutan yang terjadi, jika δ

$$= \sqrt{\delta_2^2 + \delta_3^2} \leq \frac{L}{240}, \text{ maka sesuai batas lentutan maksimum.}$$

$$\begin{aligned} \delta_2 &= \left(\frac{5}{384} \right) \times \left(\frac{q \times \cos \alpha \times L^4}{EI} \right) + \left(\frac{1}{48} \right) \times \left(\frac{P \times \cos \alpha \times L^3}{EI} \right) \\ &= \left(\frac{5}{384} \right) \times \left(\frac{87,33 \times \cos 32 \times 0,00981 \times 4000^4}{200000 \times 573 \times 10^4} \right) + \left(\frac{1}{48} \right) \times \\ &\quad \left(\frac{100 \times 0,00981 \times \cos 32 \times 4000^3}{200000 \times 573 \times 10^4} \right) \\ &= 0,0130 \times 162,240 + 0,021 \times 0,0465 \\ &= 2,11 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_3 &= \left(\frac{5}{384} \right) \times \left(\frac{q \times \sin \alpha}{EI} \right) \times \left(\frac{L}{3} \right)^4 + \left(\frac{1}{48} \right) \times \left(\frac{P \times \sin \alpha}{EI} \right) \times \left(\frac{L}{3} \right)^3 \\ &= \left(\frac{5}{384} \right) \times \left(\frac{87,33 \times \sin 32 \times 0,00981}{200000 \times 68 \times 10^4} \right) \times \left(\frac{4000}{3} \right)^4 + \left(\frac{1}{48} \right) \times \\ &\quad \left(\frac{100 \times 0,00981 \times \sin 32}{200000 \times 68 \times 10^4} \right) \times \left(\frac{4000}{3} \right)^3 \\ &= 0,0130 \times 3,338 \times 10^{-12} \times 3,160 \times 10^{12} + 0,021 \times 3,822 \times 10^{-12} \times \\ &\quad 237037037 \\ &= 0,137 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta &= \sqrt{\delta_2^2 + \delta_3^2} \leq \frac{L}{240} \\ &= \sqrt{2,112 + 0,137^2} \leq \frac{4000}{240} \end{aligned}$$

$$= 2,114 \text{ mm} \leq 16,667 \text{ mm}$$

Maka dari hasil yang diperoleh $\delta \leq \frac{L}{240} = 2,114 \text{ mm} \leq 16,667 \text{ mm}$

defleksi gording aman.

2.2.5 Perhitungan SAG-ROD

Untuk batang ikatan angin ditentukan dengan mempertimbangkan bentang dan jarak kuda-kuda sebagai berikut.

Jumlah Gording (n) dibawah nok = 6

Rencana SAG-ROD

$$\begin{aligned} F_{t,D} &= 6 \left(\frac{L}{3} \times q \times \sin \alpha \right) \\ &= 6 \left(\frac{4}{3} \times 87,33 \times \sin 32^\circ \times 0,00981 \right) \\ &= 3,628 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{t,L} &= \frac{n}{2} \times P \times \sin \alpha \\ &= \frac{6}{2} \times 100 \times 0,00981 \times \sin 32^\circ \\ &= 1,560 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kombinasi pembebanan

$$\begin{aligned} F_{t,U} &= 1,4 F_{t,D} \\ &= 1,4 \times 3,628 \\ &= 5,0792 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{t,U} &= 1,2 F_{t,D} + 1,6 F_{t,L} \\ &= 1,2 \times 3,628 + 1,6 \times 1,560 \\ &= 6,8496 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dipilih $F_{t,U} = 6,8496 \text{ kN}$

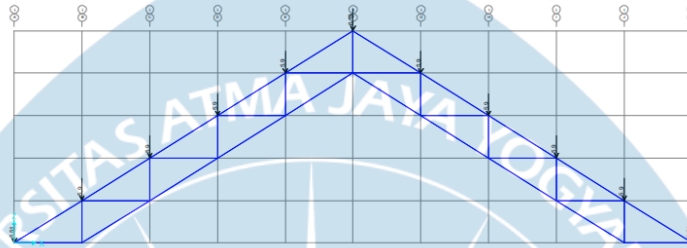
Luas batang SAG-ROD yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} A_{sr} &= \frac{(F_t \times 10^3)}{\phi F_y} \\ &= \frac{(6,8496 \times 10^3)}{0,9 \times 240} \\ &= 31,711 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Untuk kasus ini batang ikatan angin ditentukan 31,711 mm²

2.2.6 Pembebanan Kuda-Kuda

Perencanaan beban kuda-kuda dilakukan setelah penentuan dimensi gording, sag-rod dan lainnya sudah selesai dilakukan. Dengan denah rencana atap dapat dibuat seperti ditunjukkan gambar 2. Beban-beban P1, P2 dan P3 dihitung sesuai dengan jarak gording (lebar atap yang didukung) dan panjang gording (jarak antara kuda-kuda). Berat atap dan plafon diambil dari peraturan pembebanan yang berlaku.



Gambar 2. 2 Pembebanan Kuda-Kuda

Beban P1

$$\begin{aligned} \text{Berat Sendiri} &= \frac{a}{2} \times \text{berat kuda kuda} \\ &= \frac{1,6}{2} \times 50 \times 0,00981 \\ &= 0,392 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Gording} &= L \times \text{berat gording per m} \\ &= 4 \times 7,33 \times 0,00981 \\ &= 0,288 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Atap} &= \frac{\left(\frac{a}{2} + b\right)}{\cos \alpha} \times L \times \text{berat atap} \\ &= \frac{\left(\frac{1,6}{2} + 0,8\right)}{\cos 32^\circ} \times 4 \times 50 \times 0,00981 \\ &= 3,700 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Plafon} &= \left(\frac{a}{2} + b\right) \times L \times \text{berat plafon} \\ &= \left(\frac{1,6}{2} + 0,8\right) \times 4 \times 18 \times 0,00981 \\ &= 1,130 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban P2

$$\begin{aligned}\text{Berat Sendiri} &= a \times \text{berat kuda kuda} \\ &= 1,6 \times 50 \times 0,00981 \\ &= 0,785 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Gording} &= L \times \text{berat gording per m} \\ &= 4 \times 7,33 \times 0,00981 \\ &= 0,288 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Atap} &= \frac{a}{\cos \alpha} \times L \times \text{berat atap} \\ &= \frac{1,6}{\cos 32^\circ} \times 4 \times 50 \times 0,00981 \\ &= 3,700 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Plafon} &= a \times L \times \text{berat plafon} \\ &= 1,6 \times 4 \times 18 \times 0,00981 \\ &= 1,130 \text{ kN}\end{aligned}$$

Beban P3

$$\begin{aligned}\text{Berat Sendiri} &= a \times \text{berat kuda kuda} \\ &= 1,6 \times 50 \times 0,00981 \\ &= 0,785 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Gording} &= 2 \times L \times \text{berat gording per m} \\ &= 2 \times 4 \times 7,33 \times 0,00981 \\ &= 0,575 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Atap} &= \frac{a}{\cos \alpha} \times L \times \text{berat atap} \\ &= \frac{1,6}{\cos 32^\circ} \times 4 \times 50 \times 0,00981 \\ &= 3,700 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat Plafon} &= a \times L \times \text{berat plafon} \\ &= 1,6 \times 4 \times 18 \times 0,00981 \\ &= 1,130 \text{ kN}\end{aligned}$$

Beban P1, P2 dan P3 tersebut adalah beban mati (D), beban hidup (L) diambil sesuai ketentuan dalam Peraturan Pembeban, dalam hal ini diambil sebesar 1,0 kN pada setiap joint.

Beban Angin

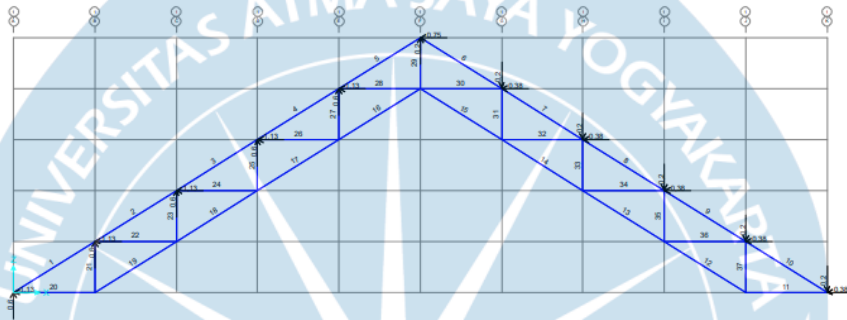
Untuk beban angin ditentukan koefisien angin tiup (C_{ti}) dan angin isap (C_{is}) sesuai dalam Peraturan Pembebanan, dan dijelaskan pada gambar 3 dan 4. Beban angin dikerjakan pada tiap joint atas kuda-kuda seperti berikut.

$$C_{ti} = 0,2$$

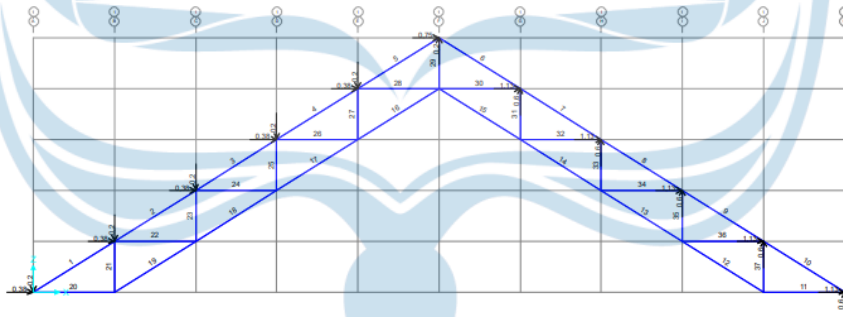
$$C_{is} = -0,6$$

$$Q_w = 30 \text{ kg/m}^2$$

$$L = 4 \text{ m}$$



Gambar 2. 3 Pembebanan Wka



Gambar 2. 4 Pembebanan Wki

Beban angin dari kiri dan kanan, besarnya W_1 , W_2 , W_3 , W_4 , W_5 dan W_6 dihitung sesuai dengan besar tiupan angin (Q_w), koefisien beban angin (C_{ti} atau C_{is}), jarak gording (lebar atap yang didukung) dan panjang gording (jarak antara kuda-kuda), seperti berikut.

$$\begin{aligned} \text{Beban } W_1 &= \frac{\left(\frac{a}{2} + b\right)}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w \\ &= \frac{\left(\frac{1,6}{2} + 0,8\right)}{\cos 32^\circ} \times 0,2 \times 4 \times 30 \times 0,00981 \\ &= 0,444 \text{ kN} \end{aligned}$$

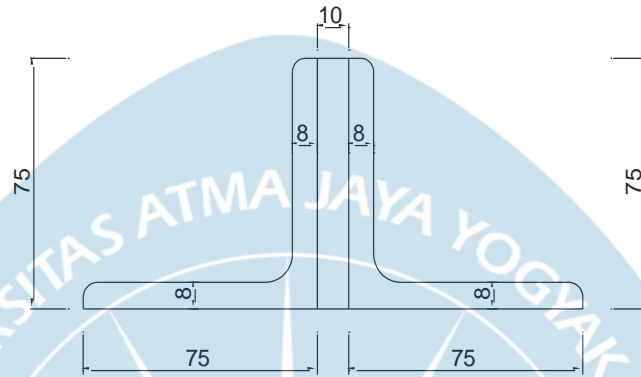
$$\begin{aligned}
\text{Beban W2} &= \frac{a}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
&= \frac{1,6}{\cos 32^\circ} \times 0,2 \times 4 \times 30 \times 0,00981 \\
&= 0,444 \text{ kN} \\
\text{Beban W3} &= \left(\frac{1}{2}\right) \times \left(\frac{a}{\cos \alpha}\right) \times C_{ti} \times L \times Q_w \\
&= \left(\frac{1}{2}\right) \times \left(\frac{1,6}{\cos 32^\circ}\right) \times 0,2 \times 4 \times 30 \times 0,00981 \\
&= 0,222 \text{ kN} \\
\text{Beban W4} &= \left(\frac{1}{2}\right) \times \left(\frac{a}{\cos \alpha}\right) \times C_{is} \times L \times Q_w \\
&= \left(\frac{1}{2}\right) \times \left(\frac{1,6}{\cos 32^\circ}\right) \times (-0,6) \times 4 \times 30 \times 0,00981 \\
&= -0,666 \text{ kN} \\
\text{Beban W5} &= \left(\frac{a}{\cos \alpha}\right) \times C_{is} \times L \times Q_w \\
&= \left(\frac{1,6}{\cos 32^\circ}\right) \times (-0,6) \times 4 \times 30 \times 0,00981 \\
&= -1,332 \text{ kN} \\
\text{Beban W6} &= \frac{\left(\frac{a}{2} + b\right)}{\cos \alpha} \times C_{is} \times L \times Q_w \\
&= \frac{\left(\frac{1,6}{2} + 0,8\right)}{\cos 32^\circ} \times (-0,6) \times 4 \times 30 \times 0,00981 \\
&= -1,332 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Dari bentuk kuda-kuda dan beban-beban yang telah ditentukan, kemudian dibuat model dalam 2 dimensi menggunakan *soft-ware* SAP2000, untuk diketahui defleksi dan gaya-gaya dalamnya.

2.2.7 Rencana Elemen Kuda Kuda

Pada perencanaan elemen kuda-kuda digunakan perencanaan elemen tarik dan perencanaan elemen tekan.

1. Batang Interior Menggunakan 2L 75×75×8a



Gambar 2.7 Design Profil 2L 75×75×8a

Untuk batang interior digunakan Profil L 75×75×8a dengan Mutu

Baja Bj 37 dan data sebagai berikut.

$$F_y = 240 \text{ MPa}$$

$$F_u = 370 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

$$A = 1150 \text{ mm}^2$$

$$I_x = I_y = 589000 \text{ mm}^2$$

$$i_x = i_y = 22,6 \text{ mm}$$

$$C_x = C_y = 21,3 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal Pelat} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Konstanta Torsi (J)} = \frac{(d' + b') \times t^3}{3} \\ = 24234,667 \text{ mm}^3$$

$$t = 8 \text{ mm}$$

$$b = 75 \text{ mm}$$

$$d = 75 \text{ mm}$$

$$b' = b - \frac{t}{2}$$

$$\begin{aligned}
 &= 71 \text{ mm} \\
 d' &= d - \frac{t}{2} \\
 &= 71 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Profil Gabungan 2L 75×75×8a dengan Mutu Baja Bj 37

$$\begin{aligned}
 A_g &= 2 \times 1150 &= 2300 \text{ mm}^2 \\
 I_{xg} &= 2 \times 589000 &= 1178000 \text{ mm}^4 \\
 I_{yg} &= (I_y + A_g (C_y + \frac{tp}{2})^2) \\
 &= (589000 + 2300(21,3 + \frac{10}{2})^2) \\
 &= 2179887 \text{ mm}^4 \\
 r_{xg} &= 22,6 \text{ mm} \\
 r_{yg} &= \sqrt{I_y / A_{profil}} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{2179887}{2300}\right)} \\
 &= 30,786 \text{ mm} \\
 x_0 &= 0 \text{ mm} \\
 y_0 &= C_y - \frac{t}{2} \\
 &= 21,3 - \frac{8}{2} \\
 &= 17,3 \text{ mm} \\
 r_0 &= \frac{(I_x + I_y)}{A_g} + x_0^2 + y_0^2 \\
 &= \frac{(1178000 + 2179887)}{2300} + 0^2 + 17,3^2 \\
 &= 1759,241 \text{ mm}^2 \\
 H &= 1 - \frac{(x_0^2 + y_0^2)}{r_0} \\
 &= 1 - \frac{(0^2 + 17,3^2)}{1759,241} \\
 &= 0,8299
 \end{aligned}$$

Batang Tekan

Syarat yang harus dipenuhi untuk batang tekan adalah $\phi P_n > P_u$.

Pemeriksaan Tekuk Lentur

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{75}{8} = 9,375$$

$$\lambda_r = 0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,45 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 12,990$$

Diperoleh $\lambda < \lambda_r$, maka penampang non langsing

Pemeriksaan Tekuk Lentur (Terhadap Sumbu x-x)

$$\frac{KL}{rx} = 1 \times \frac{1886,8}{22,6} = 83,487$$

$$\begin{aligned} F_e &= \pi^2 \frac{E}{\left(\frac{KL}{rx}\right)^2} \\ &= \pi^2 \times \frac{200000}{(83,487)^2} \\ &= 283,199 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,966$$

Karena $\frac{KL}{rx} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$, maka $F_{cr} = \left(0,658 \frac{f_y}{F_e}\right) \times F_y$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= 0,658 \frac{240}{283,199} \times 240 \\ &= 168,331 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka untuk nilai tekuk lentur adalah 168,331 Mpa

Pemeriksaan Terhadap Tekuk Torsi

$$a = 1886,8 \text{ mm}$$

$$\frac{a}{r} = \frac{1886,8}{22,6}$$

$$= 83,487 > 40, \text{ Maka gunakan } \left(\frac{KL}{r}\right)_m$$

Ki = 0,5 karena profil siku disusun membelakangi

$$\begin{aligned} \left(\frac{KL}{r}\right)_m &= \sqrt{\left(\frac{Kia}{ria}\right)^2 + \left(\frac{KL}{rx}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1 \times 1886,8}{22,6}\right)^2 + 0,5 \times 83,487^2} \\ &= 102,250 \end{aligned}$$

$$\text{Karena } \left(\frac{KL}{r}\right)_m = 102,250 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 135,966$$

$$\text{Maka, } F_{cr} = (0,658 \frac{f_y}{f_e}) \times F_y$$

$$F_{cr} = 0,658 \frac{240}{283,199} \times 240$$

$$= 168,331 \text{ MPa}$$

$$F_{crz} = G \times \frac{J}{A} \times r_0$$

$$= 77200 \times \frac{24234,667}{2300} \times 1759,241$$

$$= 462,382 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \frac{(F_{cry} + F_{crz})}{2H} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{(4 \times F_{cry} \times F_{crz} \times H)}{(F_{cry} + F_{crz})^2}}\right)\right)$$

$$F_{cr} = \frac{(168,331 + 462,382)}{(2 \times 0,8299)} \times \left(1 - \left(\sqrt{1 - \frac{(4 \times 168,331 \times 462,382 \times 0,8299)}{(168,331 + 462,382)^2}}\right)\right)$$

$$F_{cr} = 155,029 \text{ MPa}$$

Maka untuk nilai tekuk torsi adalah 168,331 Mpa

Pemeriksaan Kekuatan Design

$$F_{cr} (\text{Tekuk Lentur}) = 168,331 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} (\text{Tekuk Lentur Torsi}) = 155,029 \text{ MPa}$$

$$\text{Diambil yang minimum} = 155,029 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} \phi P_n &= 0,9 \times F_{cr} \times A_g \\ &= 0,9 \times 155,029 \times 2300 \\ &= 320,910,03 \text{ N} = 320,910 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi P_n = 320,910 \text{ kN} > 251,887 \text{ kN} \quad (\text{AMAN})$$

Desain aman karena $\phi P_n > P_u = 320,910 \text{ kN} > 251,887 \text{ kN}$

Batang Tarik

Syarat yang harus dipenuhi untuk batang tarik adalah $\phi P_n > P_u$

Perhitungan Kelangsingan Batang Tarik

Untuk kelangsingan $\lambda = \frac{L}{r} < 300$, jika tidak terpenuhi maka harus digunakan profil yang ukurannya lebih besar.

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{L}{r} \\ &= \frac{1000}{22,6} \\ &= 44,248 < 300 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

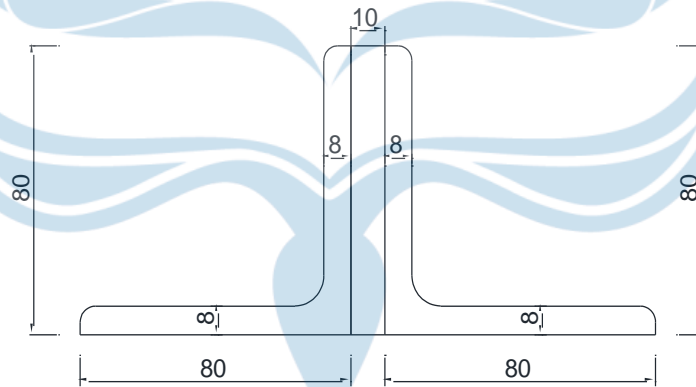
Pemeriksaan Leleh Tarik

$$\begin{aligned}\phi P_n &= A_g \times F_y \\ &= 2300 \times 240 \\ &= 552000 \text{ N} \quad = 552 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\phi P_n = 552 \text{ kN} > 256,769 \text{ (AMAN)}$$

Pemeriksaan leleh tarik aman karena $\phi P_n > P_u = 552 \text{ kN} > 256,769$

2. Batang Eksterior Menggunakan 2L 80×80×8a



Gambar 2. 8 Design Profil 2L 80x80x8a

Untuk batang interior digunakan Profil L 80×80×8a dengan Mutu Baja Bj 37 dan data sebagai berikut:

$$F_y = 240 \text{ MPa}$$

$$F_u = 370 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$G = 77200 \text{ MPa}$$

$$A = 1230 \text{ mm}^2$$

$$I_x = I_y = 723000 \text{ mm}^2$$

$$i_x = i_y = 24,2 \text{ mm}$$

$$C_x = C_y = 22,6 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal Pelat} = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Konstanta Torsi (J)} &= \frac{(d' + b') \times t^3}{3} \\ &= 25941,3333 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$t = 8 \text{ mm}$$

$$b = 80 \text{ mm}$$

$$d = 80 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} b' &= b - t/2 \\ &= 76 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= d - t/2 \\ &= 76 \text{ mm} \end{aligned}$$

Profil Gabungan 2L 80×80×8a dengan Mutu Baja Bj 37

$$A_g = 2 \times 1230 = 2460 \text{ mm}^2$$

$$I_{xg} = 2 \times 723000 = 1446000 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} I_{yg} &= (I_y + A_g (C_y + \frac{tp}{2})^2) \\ &= (723000 + 2460(22,6 + \frac{10}{2})^2) \\ &= 2596929,6 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$r_{xg} = 24,2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} r_{yg} &= \sqrt{I_y / A_{profil}} \\ &= \sqrt{\left(\frac{2179887}{2460}\right)} \\ &= 32,49 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$x_0 = 0 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} y_0 &= C_y - \frac{t}{2} \\ &= 22,6 - \frac{8}{2} \\ &= 18,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$r_0 = (I_x + I_y) / A_g + x_0^2 + y_0^2$$

$$= \frac{(1446000 + 2596929,6)}{2460} + 0^2 + 18,6^2$$

$$= 1989,42732 \text{ mm}^2$$

$$H = 1 - \frac{(X02 + Y02)}{r0}$$

$$= 1 - \frac{(0^2 + 18,6^2)}{1759,241}$$

$$= 0,8261$$

$$\text{Batang Tekan} = 251,887 \text{ kN} \quad (\mathbf{L = 1886,8 \text{ mm}})$$

$$\text{Batang Tarik} = 256,769 \text{ kN} \quad (\mathbf{L = 1000 \text{ mm}})$$

Batang Tekan

Syarat yang harus dipenuhi untuk batang tekan adalah $\emptyset P_n > P_u$

Pemeriksaan Tekuk Lentur

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{80}{8} = 10$$

$$\lambda_r = 0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,45 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 12,990$$

$\lambda < \lambda_r$, maka penampang non langsing

Pemeriksaan Tekuk Lentur (Terhadap Sumbu x-x)

$$KL/r_x = 1 \times \frac{1886,8}{24,6} = 77,97$$

$$\begin{aligned} F_e &= \pi^2 \frac{E}{\left(\frac{KL}{r_x}\right)^2} \\ &= \pi^2 \times \frac{200000}{(77,97)^2} \\ &= 324,7198 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 135,966$$

Karena $\frac{KL}{r_x} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$ maka $F_{cr} = (0,658 \frac{f_y}{f_e}) \times F_y$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= 0,658 \frac{240}{283,199} \times 240 \\ &= 176,141713 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka nilai tekuk lentur adalah 176,141713 Mpa

Pemeriksaan Terhadap Tekuk Torsi

$$a = 1886,8 \text{ mm}$$

$$a/r = \frac{1886,8}{24,2}$$

$$= 77,967 > 40, \text{ Maka gunakan } \left(\frac{KL}{r}\right)_m$$

$$K_i = 0,5 \text{ karena profil siku disusun membelakangi}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{KL}{r}\right)_m &= \left(\frac{KL}{rx}\right)^2 + \sqrt{\left(\frac{K_i a}{r i a}\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1 \times 1886,8}{24,2}\right)^2} + 0,5 \times 77,967^2 \\ &= 95,4896 \end{aligned}$$

$$\text{Karena } \left(\frac{KL}{r}\right)_m = 95,4896 < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 135,966$$

$$\text{Maka, } F_{cr} = \left(0,658 \frac{f_y}{f_e}\right) \times F_y$$

$$\begin{aligned} F_{cr_y} &= 0,658 \frac{240}{283,199} \times 240 \\ &= 176,141713 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{cr_z} &= G \times \frac{J}{A} \times r_0 \\ &= 77200 \times \frac{25941,33333}{2460} \times 1989,42732 \\ &= 409,210162 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$F_{cr} = \frac{(F_{cr_y} + F_{cr_z})}{2H} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(4 \times F_{cr_y} \times F_{cr_z} \times H)}{(F_{cr_y} + F_{cr_z})^2}}\right)$$

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \frac{(176,141713 + 409,210162)}{(2 \times 0,8261)} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{(4 \times 176,141713 \times 409,210162 \times 0,8261)}{(176,141713 + 409,210162)^2}}\right) \end{aligned}$$

$$F_{cr} = 158,667673 \text{ MPa}$$

Maka nilai tekuk lentur torsi adalah 158,667673 Mpa

Pemeriksaan Kekuatan Design

$$F_{cr} \text{ (Tekuk Lentur)} = 176,141713 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} \text{ (Tekuk Lentur Torsi)} = 158,667673 \text{ MPa}$$

$$\text{Diambil yang minimum} = 158,667673 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
\phi P_n &= 0,9 \times F_{cr} \times A_g \\
&= 0,9 \times 158,667673 \times 2460 \\
&= 351290,228 \text{ N} \quad = 351,290228 \text{ kN} \\
\phi P_n &= 351,290228 \text{ kN} > 251,887 \text{ kN} \quad (\text{AMAN}) \\
\text{Desain aman karena } \phi P_n > P_u &= 351,290228 \text{ kN} > 251,887 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Batang Tarik

Syarat yang harus dipenuhi untuk batang tarik adalah $\phi P_n > P_u$

Perhitungan Kelangsingan Batang Tarik

Untuk kelangsingan $\lambda = \frac{L}{r} < 300$, jika tidak terpenuhi maka harus digunakan profil yang ukurannya lebih besar.

$$\begin{aligned}
\lambda &= \frac{L}{r} \\
&= \frac{1000}{24,2} \\
&= 41,32 < 300 \quad (\text{OK})
\end{aligned}$$

Pemeriksaan Leleh Tarik

$$\begin{aligned}
\phi P_n &= A_g \times F_y \\
&= 2460 \times 240 \\
&= 590400 \text{ N} \quad = 590,4 \text{ kN} \\
\phi P_n &= 590,4 \text{ kN} > 256,769 \quad (\text{AMAN})
\end{aligned}$$

Pemeriksaan leleh tarik aman karena $\phi P_n > P_u = 590,4 \text{ kN} > 256,769$

2.2.8 Perhitungan Sambungan Baut

Dalam perencanaan sambungan baut perlu diperhitungkan terhadap kegagalan geser dan kegagalan tumpu. Dari kedua hal tersebut diambil nilai yang menentukan, ialah nilai yang kecil.

Data dari Baja B_j 37 Double Angle 2L 75×75×8a t_p=10 sebagai berikut.

$$F_y = 240 \text{ MPa}$$

$$\phi P_n = 256,769 \text{ kN}$$

Tipe baut yang digunakan adalah Baut A325 M20

$$F_{nv} = 372 \text{ MPa}$$

$$D_b = 20 \text{ mm}$$

$$A_b = 314,1593 \text{ mm}^2$$

Pemeriksaan Leleh Tarik Pada Penampang Bruto

$$A_g = 1500 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_n = 0,9 \cdot F_y \cdot A_g$$

$$= 324000 \text{ N}$$

$$= 324 \text{ kN}$$

$$= 324 \text{ kN} > 256,769 \text{ kN}$$

$$A_n = [150 - 2(20 + 2)] \times 10$$

$$= 1060 \text{ mm}^2$$

$$M_a \times A_n = 0,85 A_g$$

$$= 1275 \text{ mm}^2$$

$$A_e = A_n = 1060 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_n = 0,75 \cdot F_u \cdot A_e$$

$$= 294150 \text{ N}$$

$$= 294,15 \text{ kN} > 256,769 \text{ kN (AMAN)}$$

Kekuatan Tumpu Baut

Jika sambungan gagal karena kuat tumpu maka kerusakan akan terjadi pada pelat buhul.

$$R_n = 2,4 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$= 177,600 \text{ N}$$

$$= 177,6 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot R_n$$

$$= 133,2 \text{ kN}$$

Kekuatan Geser Baut

Jika sambungan sampai mengalami gagal karena geser maka kerusakan akan terjadi pada baut.

$$\begin{aligned}
 R_n &= F_{nv} \cdot A_b \cdot (\text{Jumlah Bidang Geser}) \\
 &= 233734,5 \text{ N} \\
 &= 233,7345 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_n &= 0,75 \cdot R_n \\
 &= 175,3009 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maka dipilih nilai terkecil dari kekuatan tumpu baut dan kekuatan geser baut yaitu $\phi R_n = 133,2 \text{ kN}$

Perhitungan Jumlah baut

Jarak baut ditentukan sesuai bab J3 SNI 1729-2020, yang dijelaskan bahwa Jarak as ke as antara lubang standar, ukuran berlebih, atau slot tidak boleh kurang dari $2 \frac{2}{3}$ kali diameter nominal, d , pengencang. Jarak dari pusat lubang standar ke tepi bagian yang disambung dalam arah manapun tidak boleh kurang dari nilai yang berlaku dari Tabel J3.4 SNI 1729-2020 atau Tabel J3.4M SNI 1729-2020, atau seperti disyaratkan dalam Pasal J3.10 SNI 1729-2020, sedang Jarak maksimum dari pusat setiap baut ke tepi terdekat pada bagian-bagian yang saling kontak harus 12 kali tebal bagian tersambung yang sedang ditinjau, tetapi tidak boleh melebihi 6 in. (150 mm).

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah baut} &= \frac{256,769}{133,2} \\
 &= 1,927695 \text{ baut} \quad \approx \quad \mathbf{2 \text{ Baut}}
 \end{aligned}$$

Untuk setiap sambungan harus dipasang minimal 2 (dua) buah baut. Dari perhitungan diperoleh jumlah baut adalah 2 baut.

Ketentuan Posisi Baut

Jarak Antar Baut

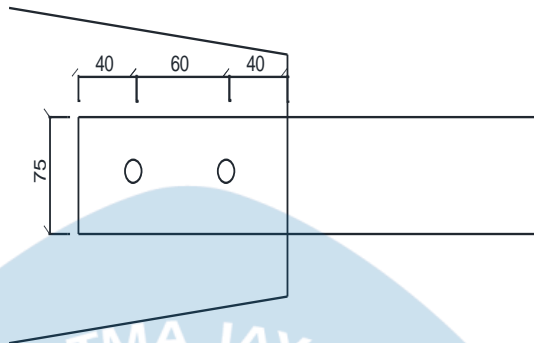
$$S = 3 \cdot d_b = 60 \text{ mm (Minimum)}$$

Maka didapat jarak antar baut adalah 60 mm

Jarak Baut ke Tepi

$$0,5 \cdot S = 30 \text{ mm (Minimum)}$$

Maka didapat jarak baut ke tepi adalah 30 mm.



Gambar 2. 9 Sambungan Baut

2.3 Perencanaan Analisis Gempa

Pada perencanaan gedung Perpustakaan Umum dan Co-Working Space, kami menganalisa kondisi situs tanah dan memperhitungkan beban gempa statik ekuivalen untuk bangunan perpustakaan umum 3 lantai di Yogyakarta menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).

2.3.1 Menentukan Kelas Situs (*Site Class*)

Pada kelas situs bangunan, ditentukan sesuai dengan syarat yang tertera pada SNI 1726:2019 pada Tabel 5 – Klasifikasi Situs. Pada tabel 2 memperlihatkan hasil perhitungan dari nilai N-SPT dalam menentukan kelas situs.

Tabel 2. 2 Perhitungan Nilai N-SPT

Kedalaman	Tebal (d)	N-SPT	$N' = d/N\text{-SPT}$	ΣN	Nrerata = $\Sigma d / \Sigma N'$
0,00 s/d 2,00	2	26	0,076923	1,3367	25,43498
2,00 s/d 4,00	2	30	0,066667		
4,00 s/d 6,00	2	24	0,083333		
6,00 s/d 8,00	2	24	0,083333		
8,00 s/d 10,00	2	20	0,1		
10,00 s/d 12,00	2	20	0,1		
12,00 s/d 14,00	2	24	0,083333		
14,00 s/d 16,00	2	21	0,095238		

16,00 s/d 18,00	2	19	0,105263		
18,00 s/d 20,00	2	37	0,054054		
20,00 s/d 22,00	2	20	0,1		
22,00 s/d 24,00	2	20	0,1		
24,00 s/d 26,00	2	19	0,105263		
26,00 s/d 28,00	2	24	0,083333		
28,00 s/d 30,00	2	60	0,033333		

Setelah dilakukan perhitungan, maka diperoleh hasil nilai Nrerata = 19,74332. Dengan nilai Nrerata yang didapati, maka dapat mengetahui jenis tanah yang ada. Sesuai dari tabel SNI 1726:2019 pada Tabel 5 – Klasifikasi Situs, diperoleh jenis tanah yaitu tanah sedang (SD).

2.3.2 Mencari Nilai S_{DS} dan S_{D1}

Dengan menggunakan *website* Desain Spektra Indonesia, dapat menentukan nilai S_{DS} dan S_{D1} . Gedung yang dirancang merupakan gedung perpustakaan umum 3 lantai yang terletak di Kota Yogyakarta. Dari *website* Desain Spektra Indonesia, diperoleh nilai $S_{DS} = 0,867$ dan $S_{D1} = 0,479$.

2.3.3 Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan

Pada gedung yang direncanakan untuk perpustakaan umum 3 lantai, maka berdasarkan tabel SNI 1726:2019 pada Tabel 3 – Kategori Risiko Bangunan Gedung Dan Nongedung Untuk Beban Gempa, diperoleh Kategori Risiko gedung IV. Maka, berdasarkan tabel SNI 1726:2019 pada Tabel 4 – Faktor Keutamaan Gempa, dengan Kategori Risiko gedung IV diperoleh Faktor Keutamaan Gempa (I_e) 1,5.

2.3.4 Kategori Desain Seismik (KDS)

Dengan data $S_{DS} = 0,867$, $S_{D1} = 0,479$ dan kategori resiko IV, maka dapat menentukan nilai KDS dengan cara:

1. Berdasarkan SNI 1726:2019 pada Tabel 8 – Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek, $0,5 \leq S_{DS}$ dan Kategori Risiko IV, maka didapati nilai KDS D.

2. Berdasarkan SNI 1726:2019 pada Tabel 9 – Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik, $0,2 \leq S_{D1}$ dan Kategori Risiko IV, maka didapatkan nilai KDS D. Dari ketentuan yang di atas, maka nilai KDS yang digunakan yaitu KDS D.

2.3.5 Kombinasi Sistem Perangkai

Pada perencanaan gedung ini, digunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan KDS D. Berdasarkan SNI 1726:2019 pada Tabel 12 – Faktor R, C_d , dan Ω_0 Untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik, didapatkan nilai:

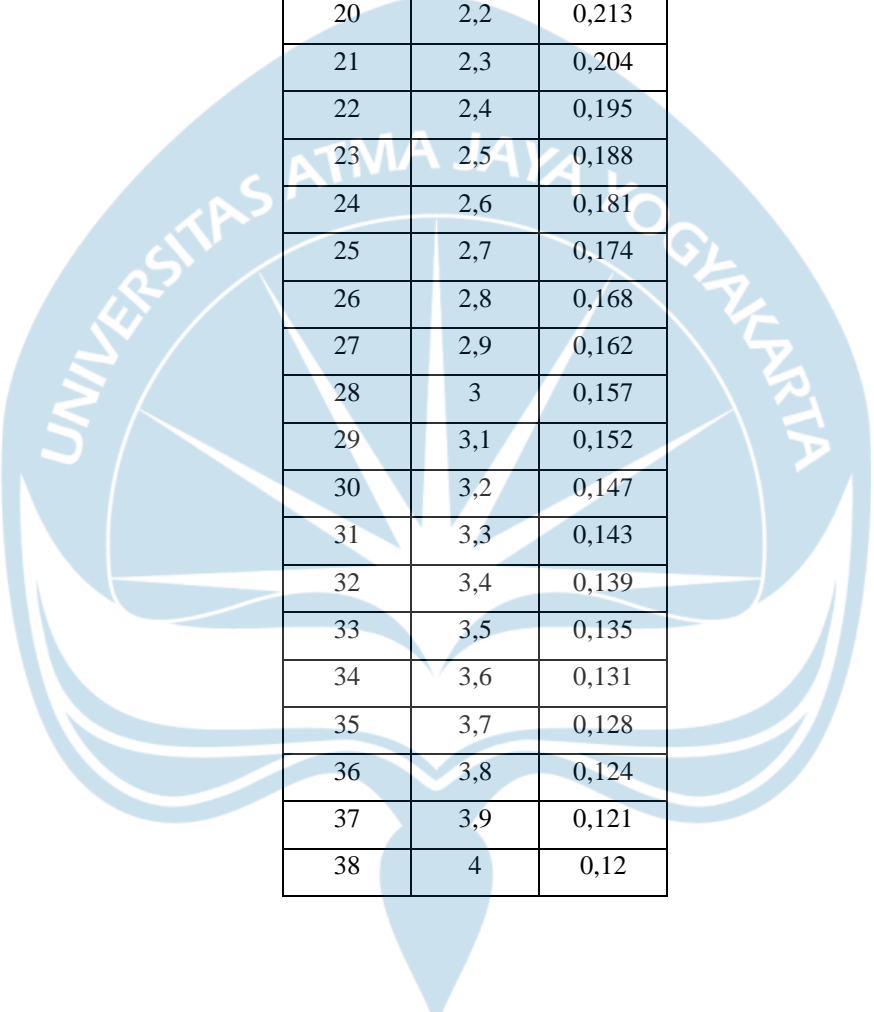
$$\begin{aligned} R &= 8 \\ \Omega_0 &= 3 \\ C_d &= 5,5 \end{aligned}$$

2.3.6 Desain Respon Spektra

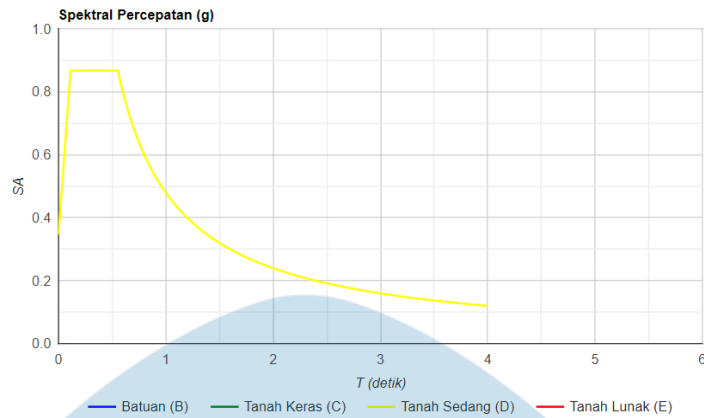
Berdasarkan *website* Desain Respon Spektra, diperoleh lokasi perpustakaan umum 3 lantai di Kota Yogyakarta dengan koordinat - 7.798819438960091 Lintang, 110.39193636560294 Bujur dengan jenis tanah sedang (SD). Maka diperoleh data spektrum sebagai berikut:

Tabel 2. 3 Spektrum Respons Desain

No.	T (detik)	SA (g)
1	0	0,347
2	0,111	0,867
3	0,553	0,867
4	0,6	0,734
5	0,7	0,637
6	0,8	0,562
7	0,9	0,503
8	1	0,455
9	1,1	0,416
10	1,2	0,383
11	1,3	0,354
12	1,4	0,33



13	1,5	0,309
14	1,6	0,29
15	1,7	0,273
16	1,8	0,259
17	1,9	0,245
18	2	0,233
19	2,1	0,223
20	2,2	0,213
21	2,3	0,204
22	2,4	0,195
23	2,5	0,188
24	2,6	0,181
25	2,7	0,174
26	2,8	0,168
27	2,9	0,162
28	3	0,157
29	3,1	0,152
30	3,2	0,147
31	3,3	0,143
32	3,4	0,139
33	3,5	0,135
34	3,6	0,131
35	3,7	0,128
36	3,8	0,124
37	3,9	0,121
38	4	0,12



Gambar 2. 10 Grafik Respons Spektrum

2.3.7 Periode Fundamental Struktur

Pada periode fundamental struktur, mengacu pada tabel SNI 1726:2019 Tabel 17 – Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung dan Tabel 18 – Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x , diperoleh data sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 h &= 12,25 \text{ m} \\
 C_t &= 0,0466 \\
 x &= 0,9 \\
 C_u &= 1,4 \\
 T_a &= C_t \times H^x \\
 &= 0,0466 \times 12,25^{0,9} \\
 &= 0,4443 \text{ detik} \\
 T_{cx} &= 0,8144 \text{ detik} \\
 T_{cy} &= 0,7881 \text{ detik} \\
 C_u T_a &= 1,4 \times T_a \\
 &= 1,4 \times 0,4443 \\
 &= 0,62207 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

2.3.8 Koefisien Respon Seismik

Nilai koefisien respon seismik:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,867}{\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,163$$

Nilai C_s tidak perlu lebih besar dari:

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,479}{0,4443 \left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,202$$

Nilai C_s harus tidak kurang dari:

$$C_{s \min} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

$$C_{s \min} = 0,044 \times 0,867 \times 1,5 = 0,0572 \geq 0,01 \text{ OK}$$

Digunakan nilai $C_s = 0,163$

2.3.9 Perhitungan Berat Seismik Efektif Bangunan

Dalam memperhitungkan berat seismik efektif bangunan, dihitung berdasarkan berat bangunan setiap lantai untuk mengetahui beban mati struktur.

1. Berat Satuan Lantai Atap (t=130 mm)

$$\text{Berat Sendiri Pelat} = 0,13 \times 24 = 3,12 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Waterproofing} = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Plafon, MEP, dll} = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Dead Load} = 4,57 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{DL input software (tanpa berat sendiri)} = 4,57 - 3,12 = 1,45 \text{ kN/m}^2$$

2. Berat Satuan Lantai Tipikal

$$\text{Berat Sendiri Pelat} = 0,13 \times 24 = 3,12 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pasir 4 cm} = 0,04 \times 17 = 0,68 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spesi 2 cm} = 0,02 \times 20 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Penutup Lantai} = 0,01 \times 24 = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Partisi} = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Plafon, MEP, dll} = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Dead Load} = 5,69 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{DL input software (tanpa berat sendiri)} = 5,69 - 3,12 = 2,57 \text{ kN/m}^2$$

3. Berat Satuan Balok dan Kolom

Balok Induk 1 450x700	= 0,45 x (0,70-0,13) x 24 = 6,156 kN/m
Balok Induk 2 300x450	= 0,30 x (0,45-0,13) x 24 = 2,304 kN/m
Balok Lift 400x600	= 0,40 x (0,6-0,13) x 24 = 4,512 kN/m
Balok Anak 1 300x550	= 0,30 x (0,55-0,13) x 24 = 3,024 kN/m
Balok Anak 2 200x350	= 0,20 x (0,35-0,13) x 24 = 1,056 kN/m
Kolom 600x600	= 0,60 x 0,60 x 24 = 8,64 kN/m

Lantai 2: Plat Lantai

Plat Lantai = (56 x 54 - 24 x 8 - 3 x 8 - 32 x 9) x 5,69	= 14338,8 kN
Balok Induk 1 450x700=(49 x 8 + 36 x 8 + 15 + 36) x 6,156	= 4500,04 kN
Balok Induk 2 300x450 = (5 x 8) x 2,304	= 92,16 kN
Balok Lift 400x600 = (4 x 3) x 4,512	= 54,144 kN
Balok Anak 1 300x550 = (62 x 8 + 6 x 9) x 3,024	= 1663,2 kN
Balok Anak 2 200x350 = (5 x 24) x 1,056	= 126,72 kN
<u>Kolom 600x600 = (62 x ((4,25/2) + 2) x 8,64)</u>	<u>= 2209,68 kN</u>
	W1 = 22984,7 kN

Lantai 3: Plat Lantai

Plat Lantai = (56 x 54 - 24 x 8 - 3 x 8 - 32 x 9) x 5,69	= 14338,8 kN
Balok Induk 1 450x700=(49 x 8 + 36 x 8 + 15 + 4 x 9) x 6,156	= 4500,04 kN
Balok Induk 2 300x450 = (5 x 8) x 2,304	= 92,16 kN
Balok Lift 400x600 = (4 x 3) x 4,512	= 54,144 kN
Balok Anak 1 300x550 = (62 x 8 + 6 x 9) x 3,024	= 1663,2 kN
Balok Anak 2 200x350 = (5 x 24) x 1,056	= 126,72 kN
<u>Kolom 600x600 = (45 x (2 + 2) + (17 x 2) x 8,64)</u>	<u>= 1848,96 kN</u>
	W2 = 22624 kN

Lantai Atap

Plat lantai = (32 x 5 + 8 x 40) x 5,69	= 2193,6 kN
Balok Induk 1 450x700=(29 x 8 + 29 x 8 + 15) x 6,156	= 2948,724 kN
Balok Induk 2 300 x 450 = (5 x 5) x 2,304	= 57,6 kN
Balok Lift 400x600 = (4 x 3) x 4,512	= 54,144 kN
Balok Anak 1 300x550 = (40 x 2) x 3,024	= 241,92 kN

$$\begin{aligned} \text{Balok Anak } 2 \text{ } 200 \times 350 &= (5 \times 12) \times 1,056 &&= 63,36 \text{ kN} \\ \text{Kolom } 600 \times 600 &= (45 \times 2) \times 8,64 &&= 777,6 \text{ kN} \\ \text{Berat Atap Baja Sendiri} &= (16 \times 40 \times 2) \times 1,97112 &&= 2523,04 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Wlantai Atap} = 8859,99 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat mati total (W)} &= W1 + W2 + \text{Watap} \\ &= 22984,7 + 22624 + 8859,99 \\ &= 54468,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

2.3.10 Perhitungan Gaya Geser Dasar (V)

Setelah mendapatkan berat mati total bangunan, maka dilakukan perhitungan gaya geser dasar (V).

$$V = C_s \times W$$

$$C_s \text{ yang digunakan} = 0,1626$$

$$W \text{ yang digunakan} = 54468,7 \text{ kN}$$

$$\text{Gaya geser dasar (V)} = 0,1626 \times 54468,7 = 8854,6 \text{ kN}$$

$$\text{Dengan menggunakan } K = 1$$

Tabel 2. 4 Distribusi Beban Gempa Statik Ekuivalen

Lantai	W _x (kN)	H _x (m)	W _x x H _x ^k	F _x (kN)
Atap	8859,98544	12,25	108534,8	2446,197
3	22624,02	8,25	186648,2	4206,743
2	22984,74	4,25	97685,15	2201,663
		24,75	392868,1	8854,603

2.3.11 Perhitungan Gaya Geser Dasar (V) Dengan Membandingkan T_a, T_c, dan C_uT_a

Berdasarkan SNI 1726:2019 terdapat syarat untuk menentukan nilai T, yaitu:

- Jika $T_c > C_u T_a$, digunakan $T = C_u T_a$
- Jika $T_a < T_c < C_u T_a$, digunakan $T = T_c$
- Jika $T_c < T_a$, digunakan $T = T_a$

Untuk periode arah X didapati $T_{cx} = 0,8144$

$$0,8144 > 1,4 \times 0,44433 = 0,6221$$

Maka untuk periode yang digunakan yaitu $T = 0,6221$

Untuk periode arah Y didapati $T_{cy} = 0,7881$

$$0,7881 > 1,4 \times 0,44433 = 0,6221$$

Maka untuk periode yang digunakan yaitu $T = 0,6221$

Dengan $T = 0,6221$, maka untuk mencari nilai $K = 0,5 \times T + 0,75$

$$\text{Maka, } K = 0,5 \times 0,6221 + 0,75 = 1,06105$$

Menggunakan $T_{cx} = 0,6221$

Tabel 2. 5 Distribusi Beban Gempa Statik Ekuivalen Akibat T_{cx}

Lantai	W_x (kN)	H_x (m)	$W_x \times H_x^k$	F_x (kN)
Atap	8859,98544	12,25	126473,6	2850,507
3	22624,02	8,25	212311,4	4785,15
2	22984,74	4,25	106706,7	2404,994
		24,75	445491,6	10040,65

Menggunakan $T_{cy} = 0,6221$

Tabel 2. 6 Distribusi Beban Gempa Statik Ekuivalen Akibat T_{cy}

Lantai	W_x (kN)	H_x (m)	$W_x \times H_x^k$	F_y (kN)
Atap	8859,98544	12,25	126473,6	2850,507
3	22624,02	8,25	212311,4	4785,15
2	22984,74	4,25	106706,7	2404,994
		24,75	445491,6	10040,65

2.3.12 Pengaruh Beban Gempa Vertikal Pada Kombinasi Beban

Faktor redundansi (ρ) akibat KDS D menggunakan nilai $\rho = 1,3$, sehingga kombinasi beban dasar dipengaruhi oleh beban gempa vertikal sebagai berikut:

$$S_{DS} = 0,867$$

$$\rho = 1,3$$

$$1,2 + 0,2 S_{DS} = 1,375$$

$$0,9 - 0,2 S_{DS} = 0,7266$$

$$0,3 \rho = 0,39$$

Tabel 2. 7 Kombinasi Pembebanan Gempa Statik Ekuivalen

No	Kombinasi Beban
1	1,4 D
2	1,2 D + 1,6 L
3	1,375 D + 1,0 L + 1,3 Ex1 + 0,39 Ey1
4	1,375 D + 1,0 L + 1,3 Ex1 - 0,39 Ey1
5	1,375 D + 1,0 L - 1,3 Ex1 + 0,39 Ey1
6	1,375 D + 1,0 L - 1,3 Ex1 - 0,39 Ey1
7	1,375 D + 1,0 L + 0,39 Ex1 + 1,3 Ey1
8	1,375 D + 1,0 L - 0,39 Ex1 + 1,3 Ey1
9	1,375 D + 1,0 L + 0,39 Ex1 - 1,3 Ey1
10	1,375 D + 1,0 L - 0,39 Ex1 - 1,3 Ey1
11	0,7266 D + 1,3 Ex1 + 0,39 Ey1
12	0,7266 D + 1,3 Ex1 - 0,39 Ey1
13	0,7266 D - 1,3 Ex1 + 0,39 Ey1
14	0,7266 D - 1,3 Ex1 - 0,39 Ey1
15	0,7266 D + 0,39Ex1 + 1,3 Ey1
16	0,7266 D - 0,39Ex1 + 1,3 Ey1
17	0,7266 D + 0,39Ex1 - 1,3 Ey1
18	0,7266 D - 0,39Ex1 - 1,3 Ey1
19	1,375 D + 1,0 L + 1,3 Ex2 + 0,39 Ey2
20	1,375 D + 1,0 L + 1,3 Ex2 - 0,39 Ey2
21	1,375 D + 1,0 L - 1,3 Ex2 + 0,39 Ey2
22	1,375 D + 1,0 L - 1,3 Ex2 - 0,39 Ey2
23	1,375 D + 1,0 L + 0,39 Ex2 + 1,3 Ey2
24	1,375 D + 1,0 L - 0,39 Ex2 + 1,3 Ey2
25	1,375 D + 1,0 L + 0,39 Ex2 - 1,3 Ey2
26	1,375 D + 1,0 L - 0,39 Ex2 - 1,3 Ey2
27	0,7266 D + 1,3 Ex2 + 0,39 Ey2
28	0,7266 D + 1,3 Ex2 - 0,39 Ey2
29	0,7266 D - 1,3 Ex2 + 0,39 Ey2
30	0,7266 D - 1,3 Ex2 - 0,39 Ey2
31	0,7266 D + 0,39Ex2 + 1,3 Ey2

32	$0,7266 D - 0,39Ex^2 + 1,3 Ey^2$
33	$0,7266 D + 0,39Ex^2 - 1,3 Ey^2$
34	$0,7266 D - 0,39Ex^2 - 1,3 Ey^2$

2.3.13 Simpangan Antar Lantai

Pada simpangan antar lantai, tidak boleh melebihi $\Delta a / \rho$, karena merupakan simpangan ijin. Berdasarkan tabel SNI 1726:2019 Tabel 20 – Simpangan Antar Tingkat Izin, Δa , dengan Kategori Resiko Bangunan IV, maka $\Delta a = 0,015 h_{sx}$, dengan nilai $\rho = 1,3$. Maka hitungan simpangan sebagai berikut untuk arah X dan arah Y.

Tabel 2. 8 Simpangan Antar Lantai Arah X

Story	hx	h	yx	Δ	Δ_i	Δ_{ijin}	Keterangan
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
Atap	12250	4000	28,736	105,3653	25,47233	46,1538462	OK
Lantai 3	8250	4000	21,789	79,893	42,02733	46,1538462	OK
Lantai 2	4250	4250	10,327	37,86567	37,86567	49,0384615	OK
Lantai 1	0	0	0	0	0	0	OK

Tabel 2. 9 Simpangan Antar Lantai Arah Y

Story	hx	h	yx	Δ	Δ_i	Δ_{ijin}	Keterangan
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
Atap	12250	4000	27,62	101,2733	28,41667	46,1538462	OK
Lantai 3	8250	4000	19,87	72,85667	38,357	46,1538462	OK
Lantai 2	4250	4250	9,409	34,49967	34,49967	49,0384615	OK
Lantai 1	0	0	0	0	0	0	OK

2.4 Perencanaan Plat Lantai

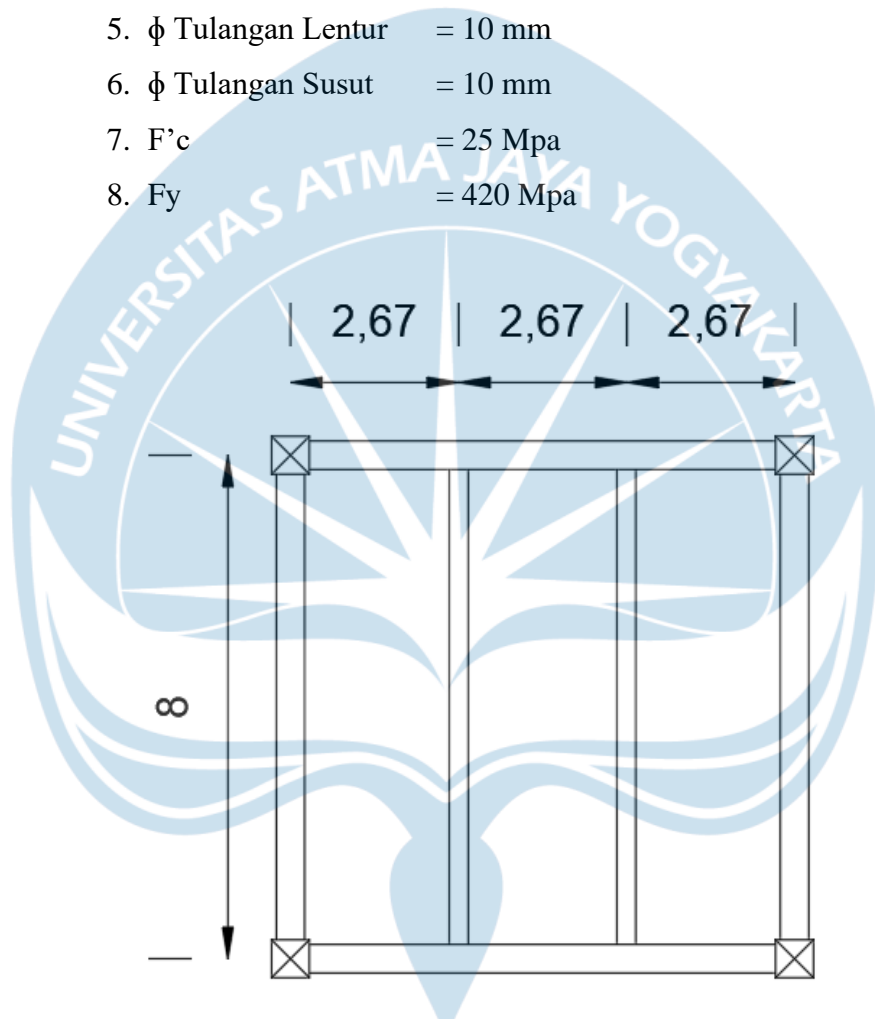
Pada perencanaan gedung Perpustakaan Umum dan Co-Working Space ini akan disajikan contoh perhitungan pelat lantai. Sebuah contoh diberikan untuk pelat satu arah yang dipilih berdasarkan bentang terbesar untuk mewakili bentang terkecil.

2.4.1 Data Perencanaan Penulangan Pelat Lantai 1 Arah

Pelat satu arah yang dirancang dengan fungsinya sebagai perpustakaan. Tebal plat yang digunakan 130 mm dengan selimut beton 20 mm. Penulangan

utama dan susut menggunakan tulangan D10 dan D10 ($F_y = 420 \text{ MPa}$), berikut data-data perencanaan tulangan pelat:

1. Balok Anak 1 = 300 x 550 mm
2. Balok Induk 1 = 450 x 700 mm
3. Tebal Pelat = 130 mm
4. Selimut Beton = 20 mm
5. ϕ Tulangan Lentur = 10 mm
6. ϕ Tulangan Susut = 10 mm
7. F'_c = 25 Mpa
8. F_y = 420 Mpa



Gambar 2. 11 Pelat 1 Arah

Menentukan Tebal Pelat Minimum

$$\frac{L}{24} = \frac{2667}{24} = 111,125 \text{ mm (Diambil Tebal Pelat 130 mm)}$$

2.4.2 Perhitungan Pembebanan Pelat Satu Arah

Beban Mati

$$\text{Berat Sendiri Pelat} = 0,13 \times 24 = 3,12 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat Pasir 4 cm} = 0,04 \times 17 = 0,68 \text{ kN/m}^2$$

Spesi 2 cm	= 0,02 x 20	= 0,40 kN/m ²
Penutup Lantai	= 0,01 x 24	= 0,24 kN/m ²
Partisi		= 1,00 kN/m ²
Plafod, MEP, dll		= 0,25 kN/m ² +
	Q_{DL}	= 5,69 kN/m ²

Beban Hidup

Menurut SNI 1727:2020, Tabel 4-1

Beban Hidup pada Ruang Penyimpanan Perpustakaan = 7,18 kN/m²

$$Q_{LL} = 7,18 \text{ kN/m}^2$$

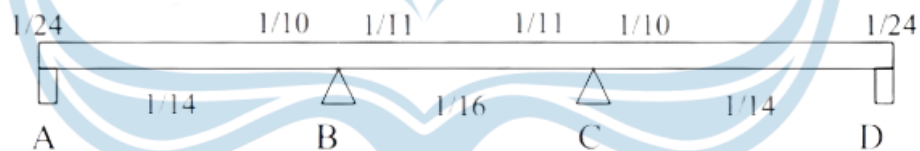
Beban Terfaktor

$$Q_{ult} = 1,2 \times Q_{DL} + 1,6 \times Q_{LL}$$

$$= 1,2 \times 5,69 + 1,6 \times 7,18 = 18,316 \text{ kN/m}^2$$

2.4.3 Koefisien Momen Pelat Satu Arah

Hitung Gaya-Gaya pada Plat Lantai Menurut SNI 2847:2020 dimana nilai momen positif dan negatif pada pelat lantai dapat dihitung dengan menggunakan pendekatan. Koefisien momen pelat satu arah menerus dengan dua bentang atau lebih adalah seperti berikut:



Gambar 2. 12 Koefisien Momen Pelat Satu Arah

2.4.4 Perhitungan Bentang Bersih dan Momen Yang Terjadi

$$L_{n1} = \text{Bentang AB} - 0,5 \text{ Lebar Balok Induk 1} - 0,5 \text{ Lebar Balok Anak 1}$$

$$= 2667 - 0,5 \times 450 - 0,5 \times 300$$

$$= 2292 \text{ mm}$$

$$L_{n2} = \text{Bentang BC} - 0,5 \text{ Lebar Balok Anak 1} - 0,5 \text{ Lebar Balok Anak 1}$$

$$= 2667 - 0,5 \times 300 - 0,5 \times 300$$

$$= 2367 \text{ mm}$$

$$L_{n3} = \text{Bentang CD} - 0,5 \text{ Lebar Balok Induk 1} - 0,5 \text{ Lebar Balok Anak 1}$$

$$= 2667 - 0,5 \times 450 - 0,5 \times 300$$

$$= 2292 \text{ mm}$$

Momen Yang Terjadi

$$M_{\text{Multimit-tumpuan (A-D)}} = \frac{Qu \times Ln1^2}{24} = \frac{18,316 \times 2,292^2}{24} = 4,00912 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Multimit-tumpuan (B-C)}} = \frac{Qu \times Ln2^2}{10} = \frac{18,316 \times 2,367^2}{10} = 10,2619 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Multimit-lapangan (A-B, C-D)}} = \frac{Qu \times Ln1^2}{14} = \frac{18,316 \times 2,292^2}{14} = 6,87277 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Multimit-lapangan (B-C)}} = \frac{Qu \times Ln2^2}{16} = \frac{18,316 \times 2,367^2}{16} = 6,41368 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Multimit-tumpuan maximum}} = 10,2619 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Multimit-lapangan maximum}} = 6,87277 \text{ kNm}$$

Dari perhitungan, dipilih momen terbesar $M_u = 10,2619 \text{ kNm}$ untuk daerah tumpuan dan $M_u = 6,87277 \text{ kNm}$ untuk daerah lapangan.

2.4.5 Perhitungan Tulangan Tumpuan

$$\text{Tulangan} = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} D_s &= 130 - \text{selimut beton} - 0,5 \times \text{Diameter Tulangan} \\ &= 130 - 20 - 0,5 \times 10 \\ &= 105 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{M_{\text{ult tumpuan}}}{\phi \times b \times d^2} = \frac{10,2619 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 105^2} = 1,03420 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,03420}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,002525416 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,002525416 \times 1000 \times 105 = 265,16873 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2019, Tabel 7,6,1,1

Dipilih A_{smin} terbesar dari dua rumus, yaitu $\frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g$ atau $0,0014$

$\times A_g$

$$\begin{aligned} A_{smin} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 130 = 234 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{smin} &= 0,0014 \times A_g \\ &= 0,0014 \times 1000 \times 130 = 182 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka, diambil $A_{smin} = 234 \text{ mm}^2$

Karena $A_s > A_{smin}$, maka digunakan $A_s = 265,16873 \text{ mm}^2$.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.7.2.2 menyatakan bahwa spasi maksimum tidak boleh melebihi $3h$ dan 450 mm

$$\begin{aligned} S &= \frac{b \times A_s \text{ tulangan}}{A_s} \\ &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{265,16873} \\ &= 296,1881 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{max} &= 3h \\ &= 3 \times 130 = 390 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{max} = 450 \text{ mm}$$

Maka, digunakan D10-250

Cek Momen Nominal Pelat

$$\begin{aligned} A_{s\text{-aktual}} &= \frac{b \times A_s \text{ tulangan}}{S} \\ &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{250} \\ &= 314,1593 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times c \times b} \\ &= \frac{314,1593 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\ &= 6,2093 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{b_1} \\ &= \frac{6,2093}{0,85} = 7,30502 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{105-7,30502}{7,30502} \times 0,003 \\ &= 0,04012 \end{aligned}$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang plat merupakan terkendali tarik

dengan $\phi = 0,9$, sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 314,1593 \times 420 \times \left(105 - \frac{6,2093}{2}\right) \\ &= 13444776,96 \text{ Nmm} = 13,44477696 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 13,44477696 \text{ kNm} \\ &= 12,10029927 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$\phi M_n > M_{\text{ultimit-tumpuan maximum}} = 12,10029927 > 10,2619$ (Tulangan Yang Dirancang Aman)

2.4.6 Perhitungan Tulangan Lapangan

$$\begin{aligned} \text{Tulangan} &= 10 \text{ mm} \\ D_s &= 130 - \text{selimut beton} - 0,5 \text{ Diameter Tulangan} \\ &= 130 - 20 - 0,5 \times 10 \\ &= 105 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{\text{Mult lapangan}}{\phi \times b \times d^2} = \frac{6,87277 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 105^2} = 0,69265 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,69265}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,001676945 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,001676945 \times 1000 \times 105 = 176,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2019, Tabel 7,6,1,1

Dipilih Asmin terbesar dari dua rumus, yaitu $\frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g$ atau $0,0014$

$\times A_g$

$$A_{smin} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g$$

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 130 = 234 \text{ mm}^2$$

$$\text{Asmin} = 0,0014 \times A_g$$

$$= 0,0014 \times 1000 \times 130 = 182 \text{ mm}^2$$

Maka, diambil $\text{Asmin} = 234 \text{ mm}^2$

Karena $\text{As} < \text{Asmin}$, maka digunakan $\text{As} = 234 \text{ mm}^2$.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.7.2.2 menyatakan bahwa spasi maksimum tidak boleh melebihi $3h$ dan 450 mm

$$S = \frac{b \times \text{As tulangan}}{\text{As}}$$

$$= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{234}$$

$$= 335,6402 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} = 3h$$

$$= 3 \times 130 = 390 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} = 450 \text{ mm}$$

Maka, digunakan D10-250

Cek Nomen Nominal Pelat

$$\text{As-aktual} = \frac{b \times \text{As tulangan}}{250}$$

$$= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{250}$$

$$= 314,1593 \text{ mm}$$

$$a = \frac{\text{As} \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b}$$

$$= \frac{314,1593 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000}$$

$$= 6,2093 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{6,2093}{0,85} = 7,30502 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{105-7,30502}{7,30502} \times 0,003$$

$$= 0,04012$$

Karena $\varepsilon_t > 0,005$, maka penampang plat merupakan terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$, sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 314,1593 \times 420 \times \left(105 - \frac{6,2093}{2}\right) \\ &= 13444776,96 \text{ Nmm} = 13,44477696 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 13,44477696 \text{ kNm} \\ &= 12,10029927 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$\phi M_n > M_{\text{ultimit-tumpuan maximum}} = 12,10029927 > 6,87277$ (Tulangan Yang Dirancang Aman)

2.4.7 Perhitungan Tulangan Susut

$$\begin{aligned} \text{Tulangan} &= 10 \text{ mm} \\ D_s &= 130 - \text{Selimut Beton} - \text{Diameter Tulangan} - 0,5 \text{ Diameter} \\ &\quad \text{Tulangan Susut} \\ &= 130 - 20 - 10 - 0,5 \times 10 \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847:2019, Tabel 7,6,1,1

Dipilih Asmin terbesar, yaitu $\frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g$ atau $0,0014 \times A_g$

$$\begin{aligned} A_{\text{min}} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 95 = 171 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{min}} &= 0,0014 \times A_g \\ &= 0,0014 \times 1000 \times 95 = 133 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka, diambil $A_{\text{min}} = 171 \text{ mm}^2$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.7.6.2.1 menyatakan bahwa spasi antar tulangan susut dan suhu tidak boleh melebihi yang terkecil dari 5h dan 450 mm

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b \times As \text{ tulangan}}{As} \\
 &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{171} \\
 &= 459,297 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 5h \\
 &= 5 \times 130 = 650 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

Maka, digunakan D10-350

Kontrol

$$\begin{aligned}
 A_{\text{perlu}} &= \frac{b \times As \text{ tulangan}}{350} \\
 &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 8^2}{350} \\
 &= 224,399 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{\text{perlu}} > a_{\text{min}} = 224,399 > 171 \text{ (AMAN)}$$

Kontrol Kuat Geser

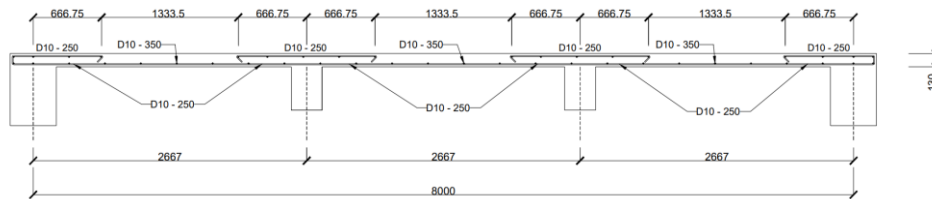
Menurut SNI 2847:2019 Tabel 6.5.4 - Geser pendekatan untuk analisis balok menerus dan pelat satu arah nonprategang

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{1,15 \times W_{\text{ult}} \times L_n}{2} \\
 &= \frac{1,15 \times 18,316 \times 2292}{2} \\
 &= 24138,7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

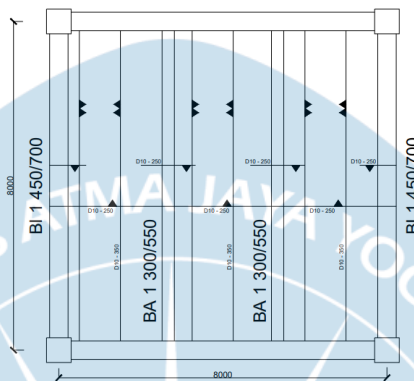
$$\begin{aligned}
 \phi V_c &= \phi \times (0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d) \\
 &= 0,75 \times (0,17 \times \sqrt{25} \times 1000 \times 105) \\
 &= 66937,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_c > V_u = 66937,5 > 24138,7 \text{ (AMAN)}$$

Tidak diperlukan penulangan geser karena penampang beton sudah sanggup mengakomodasi gaya geser yang terjadi. ($\phi V_c > V_u$).



Gambar 2. 13 Tampak Penulangan Pelat Lantai Dari Samping



Gambar 2. 14 Tampak Penulangan Pelat Lantai Dari Atas

2.5 Perencanaan Tangga

Pada perencanaan tangga akan dilakukan perhitungan tangga dalam gedung perpustakaan dimana memiliki tangga untuk lantai 1 dan lantai 2 yang memiliki ketinggian tangga yang berbeda.

2.5.1 Data Perencanaan Perhitungan Tangga Lantai 1

Pada tangga lantai 1 ini akan dirancang dengan $F'c = 25$ Mpa dan $Fy = 240$ Mpa dan dengan data- data perencanaan sebagai berikut:

1. Tebal Pelat Tangga = 150 mm
2. Lebar Lantai (L1) = 3000 mm
3. Lebar Bordes = 1500 mm
4. Optrede (O) = 200 mm
5. Antrade (A) = 280 mm
6. Tinggi Antar Lantai (Het) = 4250 mm

Perhitungan Denah Ruang Tangga

$$\text{Jumlah Anak Tangga (n)} = \frac{\text{Het}}{O} = \frac{4250}{200} = 21,25 \text{ buah}$$

$$L_{tg} = \left(\frac{1}{2} \times \frac{H_{et}}{O} - 1 \right) A = \left(\frac{1}{2} \times \frac{4250}{200} - 1 \right) 300 = 2695 \text{ mm} \approx 2700 \text{ mm}$$

Kemiringan tangga:

$$\alpha = \arctan \left(\frac{O}{A} \right) = 35,5377^\circ$$

2.5.2 Perhitungan Pembebanan Plat Tangga Lantai 1

Beban qtg

Berat Sendiri Tangga	$= \frac{150/1000}{\cos 35,5377} \times 24$	$= 4,424 \text{ kN/m}^2$
Berat Anak Tangga	$= \frac{1}{2} \times \frac{200}{1000} \times 24$	$= 2,400 \text{ kN/m}^2$
Berat Ubin dan Spesi	$= 0,05 \times 21$	$= 1,050 \text{ kN/m}^2$
Berat Railing (diperkirakan)		$= 1 \text{ kN/m}^2$ +
	Beban qtg total	$= 8,87405 \text{ kN/m}^2$

Beban qbd

Berat Sendiri Tangga	$= \frac{150}{1000} \times 24$	$= 3,6 \text{ kN/m}^2$
Berat Ubin dan Spesi	$= 0,05 \times 21$	$= 1,05 \text{ kN/m}^2$
Berat Railing (diperkirakan)		$= 1 \text{ kN/m}^2$ +
	Beban Qbd total	$= 5,65 \text{ kN/m}^2$

Beban Hidup

Menurut SNI 1727:2020 Tabel 4-1

$$\text{Beban Hidup} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

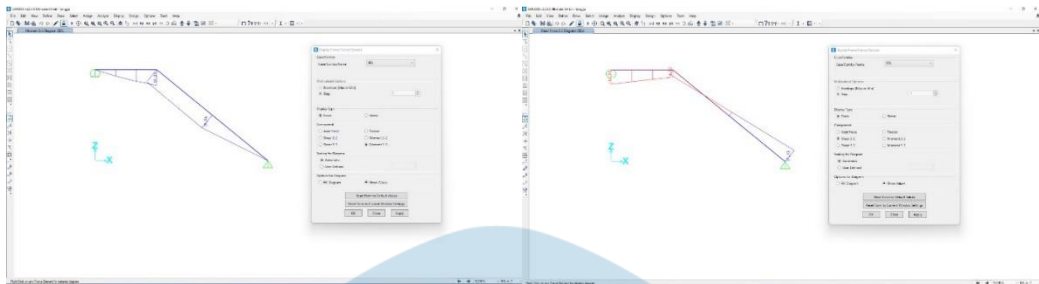
Tangga kemudian dimodelkan dengan *soft-ware* SAP2000. Karena berat sendiri plat telah dihitung dalam pembebanan sebagai beban mati, maka self weight multiplier untuk Dead Load harus sama dengan nol. Hal ini dilakukan agar berat sendiri plat tidak dihitung 2 kali dalam analisis struktur. Dari analisis *soft-ware* SAP2000 diperoleh output gaya yang terjadi:

$$M_{DL} = 19,96 \text{ kNm}$$

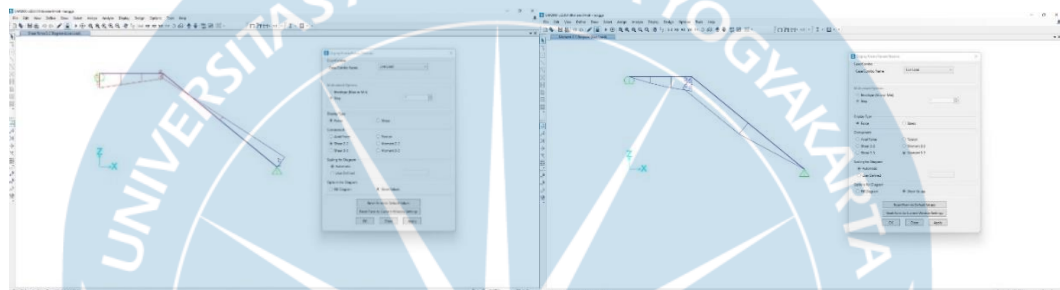
$$V_{DL} = 17,43 \text{ kN}$$

$$M_{LL} = 11,52 \text{ kNm}$$

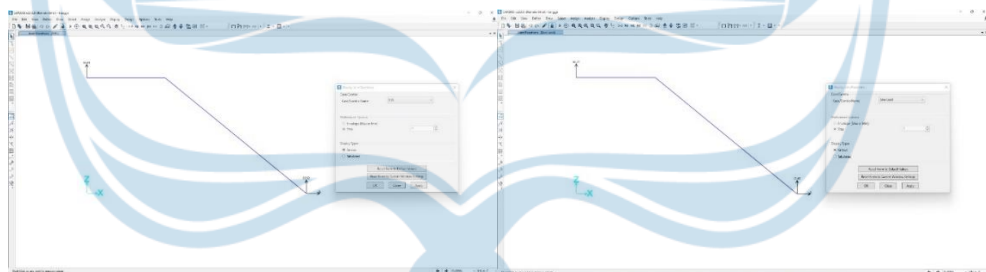
$$V_{LL} = 11,27 \text{ kN}$$



Gambar 2. 15 Gaya Akibat Momen DL dan Gaya Akibat Shear DL



Gambar 2. 16 Gaya Akibat Shear LL dan Gaya Akibat Momen LL



Gambar 2. 17 Reaksi Combo SDL dan Reaksi Combo LL

Kombinasi beban yang digunakan $1,4M_{DL}$ dan $1,2M_{DL} + 1,6M_{LL}$.
 Dari dua kombinasi tersebut, digunakan gaya geser dan momen yang terbesar.

$$Mu_1 = 1,4 \times M_{DL} = 1,4 \times 19,96 = 27,944 \text{ kNm}$$

$$Mu_2 = 1,2 \times M_{DL} + 1,6 \times M_{LL} = 1,2 \times 19,96 + 1,6 \times 11,52 = 42,384 \text{ kNm}$$

$$Vu_1 = 1,4 \times V_{DL} = 1,4 \times 17,43 = 24,402 \text{ kN}$$

$$Vu_2 = 1,2 \times V_{DL} + 1,6 \times V_{LL} = 1,2 \times 17,43 + 1,6 \times 11,27 = 38,948 \text{ kN}$$

$$\text{Maka dipilih: } Mu_{\text{Max}} = 42,384 \text{ kNm}$$

$$Vu_{\text{Max}} = 38,948 \text{ kN}$$

2.5.3 Perhitungan Tulangan Tangga Tumpuan Lantai 1

$$M_{ux} = 0,5 \times 42,384 = 21,192 \text{ kNm}$$

$$\text{Tulangan} = 13 \text{ mm}$$

$$D_s = 150 - 20 - 13/2 = 123,5 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (asumsi terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{M_{ult \text{ tumpuan}}}{\phi \times b \times d^2} = \frac{21,192 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 123,5^2} = 1,544 \text{ MPa}$$

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

$$= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,544}{0,85 \times 25}}\right)$$

$$= 0,003819956$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,003819956 \times 1000 \times 123,5 = 471,7645877 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g$$

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 150 = 270 \text{ mm}^2$$

Karena $A_s > A_{smin}$, maka digunakan $A_s = 471,7645877 \text{ mm}^2$.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.7.2.2 menyatakan bahwa spasi maksimum tidak boleh melebihi $3h$ dan 450 mm

$$S = \frac{b \times A_s \text{ tulangan}}{A_s}$$

$$= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{471,7645877}$$

$$= 281,3528041 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 3h$$

$$= 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

$$S_{max} = 450 \text{ mm}$$

Maka, digunakan D13-250

Cek Momen Nominal Pelat

$$A_s\text{-aktual} = \frac{b \times A_s \text{ tulangan}}{S}$$

$$= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{250}$$

$$= 530,9291585 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As \times Fy}{0,85 \times F'c \times b}$$

$$= \frac{530,9291585 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000}$$

$$= 10,49365866 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{10,49365866}{0,85} = 12,34548078 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{123,5 - 12,34548078}{12,34548078} \times 0,003$$

$$= 0,027010982$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang plat merupakan terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$, sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$Mn = As \times Fy \times (d - \frac{a}{2})$$

$$= 530,9291585 \times 420 \times (123,5 - \frac{10,49365866}{2})$$

$$= 26369303,68 \text{ Nmm} = 26,36930368 \text{ kNm}$$

$$\phi Mn = 0,9 \times Mn$$

$$= 0,9 \times 26,36930368 \text{ kNm}$$

$$= 23,73237331 \text{ kNm}$$

$\phi Mn > Mux = 23,73237331 > 21,192$ (Tulangan Yang Dirancangan Aman)

2.5.4 Perhitungan Tulangan Tangga Lapangan Lantai 1

$$Mux = 0,8 \times 42,384 = 33,9072 \text{ kNm}$$

$$\text{Tulangan} = 13 \text{ mm}$$

$$Ds = 150 - 20 - 13/2 = 123,5 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (asumsi terkendali tarik)}$$

$$Rn = \frac{\text{Mult tumpuan}}{\phi \times b \times d^2} = \frac{33,9072 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 123,5^2} = 2,4701 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85 \times f'c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,4701}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,00626967\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00626967 \times 1000 \times 123,5 = 774,303771 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{smin} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 150 = 270 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Karena $A_s > A_{smin}$, maka digunakan $A_s = 774,303771 \text{ mm}^2$.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.7.2.2 menyatakan bahwa spasi maksimum tidak boleh melebihi 3h dan 450 mm

$$\begin{aligned}S &= \frac{b \times A_s \text{ tulangan}}{A_s} \\ &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{774,303771} \\ &= 171,421469 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_{max} &= 3h \\ &= 3 \times 150 = 450 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$S_{max} = 450 \text{ mm}$$

Maka, digunakan D13-150

Cek Momen Nominal Pelat

$$\begin{aligned}A_s\text{-aktual} &= \frac{b \times A_s \text{ tulangan}}{s} \\ &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{150} \\ &= 884,881931 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'c \times b} \\ &= \frac{884,881931 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\ &= 17,4894311 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{17,4894311}{0,85} = 20,5758013 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{123,5-20,5758013}{20,5758013} \times 0,003$$

$$= 0,01500659$$

Karena $\varepsilon_t > 0,005$, maka penampang plat merupakan terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$, sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

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

$$= 884,881931 \times 420 \times \left(123,5 - \frac{17,4894311}{2}\right)$$

$$= 42648848,6 \text{ Nmm} = 42,6488486 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 42,6488486 \text{ kNm}$$

$$= 38,3839638 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n > M_{ux} = 38,3839638 > 33,9072 \text{ (Tulangan Yang Dirancang Aman)}$$

2.5.5 Perhitungan Tulangan Susut Tangga Lantai 1

$$\text{Tulangan} = 10 \text{ mm}$$

$$A_{smin} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g$$

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 150 = 270 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{b \times A_s \text{ tulangan}}{A_s}$$

$$= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{270}$$

$$= 290,888 \text{ mm}$$

Maka, digunakan D10-250

Kontrol Terhadap Kuat Geser

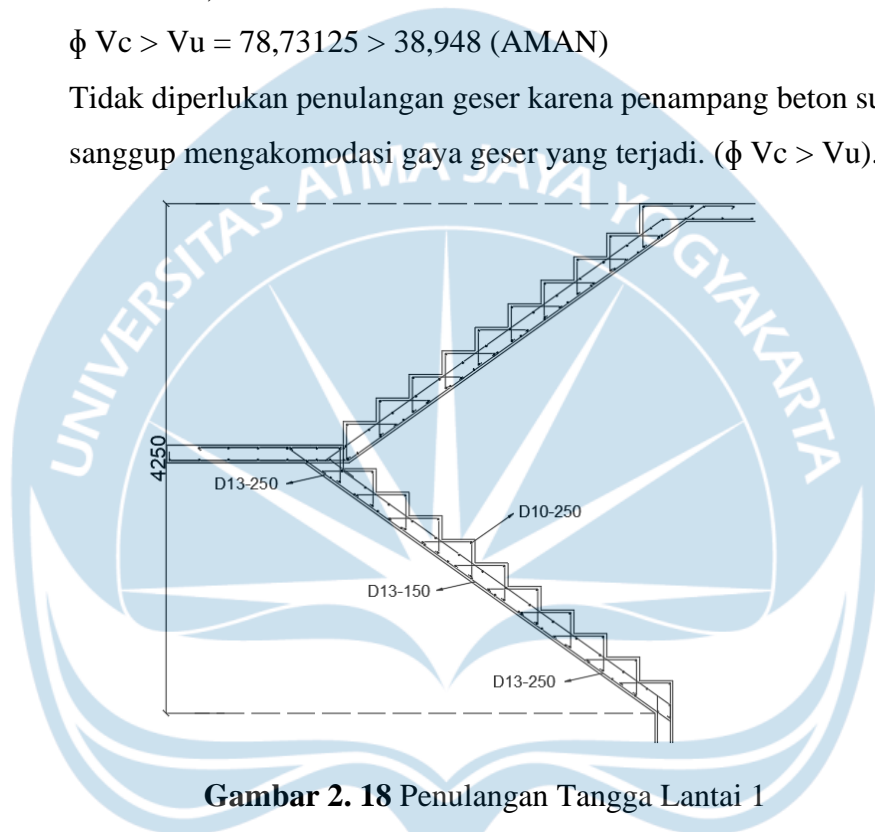
Menurut SNI 2847:2019, Tabel 6,5,4

$$V_u = 38,948 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\phi V_c &= \phi \times (0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d) \\ &= 0,75 \times (0,17 \times \sqrt{25} \times 1000 \times 123,5) \\ &= 78,73125 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\phi V_c > V_u = 78,73125 > 38,948 \text{ (AMAN)}$$

Tidak diperlukan penulangan geser karena penampang beton sudah sanggup mengakomodasi gaya geser yang terjadi. ($\phi V_c > V_u$).



Gambar 2. 18 Penulangan Tangga Lantai 1

2.5.6 Data Perencanaan Perhitungan Tangga Lantai 2

Pada tangga lantai 2 ini akan dirancang dengan $F'_c = 25 \text{ Mpa}$ dan $F_y = 240 \text{ Mpa}$ dan dengan data- data perencanaan sebagai berikut:

1. Tebal Pelat Tangga = 150 mm
2. Lebar Lantai (L1) = 3000 mm
3. Lebar Bordes = 1500 mm
4. Optrede (O) = 200 mm
5. Antrade (A) = 300 mm
6. Tinggi Antar Lantai (Het) = 4000 mm

Perhitungan Denah Ruang Tangga

$$\text{Jumlah Anak Tangga (n)} = \frac{\text{Het}}{O} = \frac{4000}{200} = 20 \text{ buah}$$

$$\text{Ltg} = \left(\frac{1}{2} \times \frac{\text{Het}}{O} - 1 \right) A = \left(\frac{1}{2} \times \frac{4000}{200} - 1 \right) 300 = 2700 \text{ mm}$$

Kemiringan tangga:

$$\alpha = \text{arc tan} \left(\frac{O}{A} \right) = 33,6900^\circ$$

2.5.7 Perhitungan Pembebanan Plat Tangga Lantai 2

Beban qtg

Berat Sendiri Tangga	$= \frac{150/1000}{\cos 33,69} \times 24$	$= 4,32666 \text{ kN/m}^2$	
Berat Anak Tangga	$= \frac{1}{2} \times \frac{200}{1000} \times 24$	$= 2,4 \text{ kN/m}^2$	
Berat Ubin dan Spesi	$= 0,05 \times 21$	$= 1,05 \text{ kN/m}^2$	
Berat Railing (diperkirakan)		$= 1 \text{ kN/m}^2$	+
Beban Qtg total		$= 8,77666 \text{ kN/m}^2$	

Beban qbd

Berat Sendiri Tangga	$= \frac{150}{1000} \times 24$	$= 3,6 \text{ kN/m}^2$	
Berat Ubin dan Spesi	$= 0,05 \times 21$	$= 1,05 \text{ kN/m}^2$	
Berat Railing (diperkirakan)		$= 1 \text{ kN/m}^2$	+
Beban Qbd total		$= 5,65 \text{ kN/m}^2$	

Beban Hidup

Menurut SNI 1727:2013, Tabel 4-1

$$\text{Beban Hidup} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

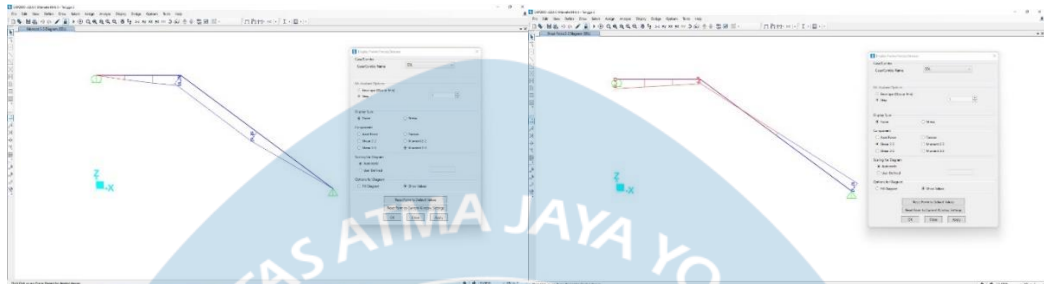
Tangga kemudian dimodelkan dengan *soft-ware* SAP2000. Karena berat sendiri plat telah dihitung dalam pembebanan sebagai beban mati, maka self weight multiplier untuk Dead Load harus sama dengan nol. Hal ini dilakukan agar berat sendiri plat tidak dihitung 2 kali dalam analisis struktur. Dari analisis *soft-ware* SAP2000 diperoleh output gaya yang terjadi:

$$M_{DL} = 19,09 \text{ kNm}$$

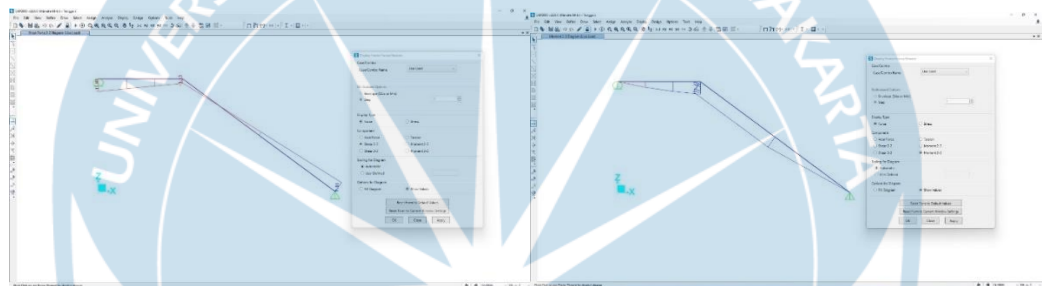
$$V_{DL} = 17,28 \text{ kN}$$

$$M_{LL} = 11,22 \text{ kNm}$$

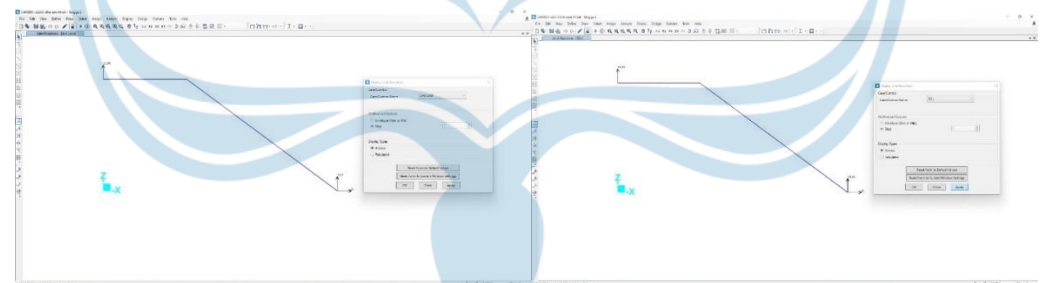
$$V_{LL} = 11,08 \text{ kN}$$



Gambar 2. 19 Gaya Akibat Momen DL dan Gaya Akibat Shear DL



Gambar 2. 20 Gaya Akibat Shear LL dan Gaya Akibat Momen LL



Gambar 2. 21 Reaksi Combo LL dan Reaksi Combo SDL

Kombinasi beban yang digunakan $1,4M_{DL}$ dan $1,2M_{DL} + 1,6M_{LL}$.
 Dari dua kombinasi tersebut, digunakan gaya geser dan momen yang terbesar.

$$Mu_1 = 1,4 \times M_{DL} = 1,4 \times 19,09 = 26,726 \text{ kNm}$$

$$Mu_2 = 1,2 \times M_{DL} + 1,6 \times M_{LL} = 1,2 \times 19,09 + 1,6 \times 11,22 = 40,860 \text{ kNm}$$

$$Vu_1 = 1,4 \times V_{DL} = 1,4 \times 17,28 = 24,192 \text{ kN}$$

$$Vu_2 = 1,2 \times V_{DL} + 1,6 \times V_{LL} = 1,2 \times 17,28 + 1,6 \times 11,08 = 41,920 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka dipilih: } \mu_{\max} &= 40,860 \text{ kNm} \\ V_{\max} &= 41,920 \text{ kN} \end{aligned}$$

2.5.8 Perhitungan Tulangan Tangga Tumpuan Lantai 2

$$\mu_{\max} = 0,5 \times 40,860 = 20,43 \text{ kNm}$$

$$\text{Tulangan} = 13 \text{ mm}$$

$$D_s = 150 - 20 - 13/2 = 123,5 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (asumsi terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{\text{Momen tumpuan}}{\phi \times b \times d^2} = \frac{20,43 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 123,5^2} = 1,4888 \text{ MPa}$$

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

$$= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,4888}{0,85 \times 25}}\right)$$

$$= 0,003677211$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,003677211 \times 1000 \times 123,5 = 454,1356039 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\min} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g$$

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 150 = 270 \text{ mm}^2$$

Karena $A_s > A_{s\min}$, maka digunakan $A_s = 454,1356039 \text{ mm}^2$.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.7.2.2 menyatakan bahwa spasi maksimum tidak boleh melebihi 3h dan 450 mm

$$S = \frac{b \times A_s \text{ tulangan}}{A_s}$$

$$= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{454,1356039}$$

$$= 292,2745728 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 3h$$

$$= 3 \times 150 = 450 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 450 \text{ mm}$$

Maka, digunakan D13-250

Cek Momen Nominal Pelat

$$\begin{aligned} \text{As-aktual} &= \frac{b \times \text{As tulangan}}{s} \\ &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{250} \\ &= 530,9291585 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times Fy}{0,85 \times F'c \times b} \\ &= \frac{530,9291585 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\ &= 10,49365866 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{10,49365866}{0,85} = 12,34548078 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{123,5-12,34548078}{12,34548078} \times 0,003 \\ &= 0,027010982 \end{aligned}$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang plat merupakan terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$, sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$\begin{aligned} M_n &= As \times Fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 530,9291585 \times 420 \times \left(123,5 - \frac{10,49365866}{2}\right) \\ &= 26369303,68 \text{ Nmm} = 26,36930368 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 26,36930368 \text{ kNm} \\ &= 23,73237331 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_{ux} = 23,73237331 > 20,43 \text{ (Tulangan Yang Dirancang Aman)}$$

2.5.9 Perencanaan Tulangan Tangga Lapangan Lantai 2

$$M_{ux} = 0,8 \times 40,860 = 32,688 \text{ kNm}$$

$$\text{Tulangan} = 13 \text{ mm}$$

$$D_s = 150 - 20 - 13/2 = 123,5 \text{ mm}$$

$$\phi = 0,9 \text{ (asumsi terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{\text{Mult tumpuan}}{\phi \times b \times d^2} = \frac{32,688 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 123,5^2} = 2,3813 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,3813}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,006028938 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,006028938 \times 1000 \times 123,5 = 744,5738482 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{smin} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 150 = 270 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena $A_s > A_{smin}$, maka digunakan $A_s = 744,5738482 \text{ mm}^2$.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.7.2.2 menyatakan bahwa spasi maksimum tidak boleh melebihi 3h dan 450 mm

$$\begin{aligned} S &= \frac{b \times A_s \text{ tulangan}}{A_s} \\ &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{744,5738482} \\ &= 178,2661182 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{max} &= 3h \\ &= 3 \times 150 = 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{max} = 450 \text{ mm}$$

Maka, digunakan D13-150

Cek Momen Nominal Pelat

$$\begin{aligned} A_{s\text{-aktual}} &= \frac{b \times A_s \text{ tulangan}}{s} \\ &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{150} \\ &= 884,8819308 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{884,8819308 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\ &= 17,4894311 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{17,4894311}{0,85} = 20,5658013 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{123,5-20,5658013}{20,5658013} \times 0,003$$

$$= 0,015006589$$

Karena $\varepsilon_t > 0,005$, maka penampang plat merupakan terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$, sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

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

$$= 884,8819308 \times 420 \times \left(123,5 - \frac{17,4894311}{2}\right)$$

$$= 42648848,62 = 42,64884862 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 42,64884862 \text{ kNm}$$

$$= 38,38396376 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n > M_{ux} = 38,38396376 > 32,688 \text{ (Tulangan Yang Dirancang Aman)}$$

2.5.10 Perhitungan Tulangan Susut Tangga Lantai 2

$$\text{Tulangan} = 10 \text{ mm}$$

$$A_{smin} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g$$

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 150 = 270 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{b \times A_s \text{ tulangan}}{A_s}$$

$$= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{270}$$

$$= 290,888 \text{ mm}$$

Maka, digunakan D10-250

Kontrol Kuat Geser

Menurut SNI 2847:2019, Tabel 6,5,4

$$V_u = 41,920 \text{ kN}$$

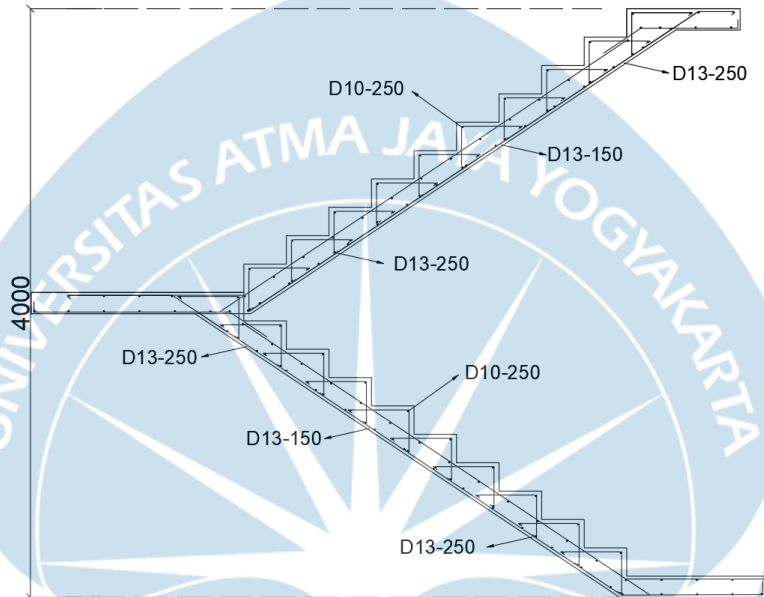
$$\phi V_c = \phi \times (0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d)$$

$$= 0,75 \times (0,17 \times \sqrt{25} \times 1000 \times 123,5)$$

$$= 78,73125 \text{ kN}$$

$$\phi V_c > V_u = 78,73125 > 41,920 \text{ (AMAN)}$$

Tidak diperlukan penulangan geser karena penampang beton sudah sanggup mengakomodasi gaya geser yang terjadi. ($\phi V_c > V_u$).



Gambar 2. 22 Penulangan Tangga Lantai 2

2.6 Perencanaan Balok

Pada perencanaan gedung Perpustakaan Umum dan Co-Working Space ini, akan memperhitungkan satu buah balok dengan momen terbesar (Balok Induk BI1 450x700) di lantai 1.

2.6.1 Data Perencanaan Balok Induk BI1 (450x700mm) Bentang 5M

- | | |
|-----------------------------|-----------|
| 1. Lebar Balok (b) | = 450 mm |
| 2. Tinggi Balok (h) | = 700 mm |
| 3. Bentang Balok (l) | = 5000 mm |
| 4. Bentang Bersih (ln) | = 4400 mm |
| 5. Selimut Beton | = 40 mm |
| 6. Diameter Tulangan Deform | = 22 mm |

- 7. Diameter Tulangan Sengkang = 13 mm
- 8. Mutu Tulangan (Fy) = 420 Mpa
- 9. Mutu Beton (Fc) = 25 Mpa

Berdasarkan analisis dalam ETABS, didapatkan gaya dalam balok seperti tabel 2.10

Tabel 2. 10 Gaya Geser dan Momen Balok B11 450x700 Lantai 2

Gaya	Lokasi	
	Tumpuan	Lapangan
Mu +	448,3759	207,8838
Mu -	448,3759	207,8838
Vu	213,6634	199,5953

1. Pemeriksaan Ketentuan Balok

Sesuai dalam ketentuan dalam SNI 2847:2019 Pasal 9.3.3.1, komponen struktur harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Gaya aksial terfaktor Pu tidak boleh melebihi AgF’c/10.

$$\begin{aligned}
 Ag &= bh \\
 &= 450 \times 700 \\
 &= 315000 \text{ mm}^2 \\
 Agf'c/10 &= 315000 \times 25 / 10 \\
 &= 787500 \text{ N} \\
 &= 787 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, nilai Pu = 0 kN, maka Pu < AgF’c/10

- b. Bentang bersih komponen struktur, ln tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya

$$\begin{aligned}
 ln &\geq 4d \\
 4400 &\geq 4 \times 636 \\
 4400 &\geq 2544
 \end{aligned}$$

c. Lebar komponen, bw tidak boleh kurang dari 0,3h dan 250 mm

$$450 \text{ mm} > 0,3 \times 700$$

$$450 \text{ mm} > 210 \text{ mm dan}$$

$$450 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$$

2. Perhitungan Rasio Penulangan

Sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019, untuk memperhitungkan

p_{max} dan p_{min} diatur sebagai berikut

$$d = 700 - 40 - 13 - 0,5 \times 22$$

$$d = 636 \text{ mm}$$

$$p_{max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019)}$$

$$p_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033333$$

$$p_{min} = \frac{\sqrt{F_c}}{4 \times F_y} = \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} = 0,00298$$

Digunakan $p_{min} = 0,0033$

3. Tulangan Negatif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{448,3759 \times 10^6}{0,9 \times 450 \times 636^2} = 2,73698872 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,73698872}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,00700102 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0033333 < 0,00700102 < 0,025 \text{ (Diambil nilai)}$$

$$\rho)$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00700102 \times 450 \times 636 = 2003,69067 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2}$$

$$= \frac{2003,69067}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 5,27102933 = 6 \text{ buah (As} = 2280,796 \text{ mm}^2)$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{450 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 6 \times 22}{6 - 1} = 42,4 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

4. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times Fy}{0,85 \times F'c \times b} \\ &= \frac{2280,796 \times 420}{0,85 \times 25 \times 450} \\ &= 100,17615 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{100,17615}{0,85} = 117,854294 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{636 - 117,854294}{117,854294} \times 0,003 \\ &= 0,01318948 \end{aligned}$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned} Mn &= As \times Fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 2280,769 \times 420 \times \left(636 - \frac{100,17615}{2}\right) \\ &= 561265207 \text{ Nmm} = 561,265207 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi Mn &= 0,9 \times Mn \\ &= 0,9 \times 561,265207 \text{ kNm} \\ &= 505,138686 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$\phi Mn > Mu = 505,138686 > 448,3759$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 6D22)

5. Tulangan Positif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.2, kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif pada muka joint tersebut.

$$\begin{aligned} Mu^+ &= 0,5 \times Mu^- \\ &= 0,5 \times 448,3759 \\ &= 224,18795 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, $Mu^+ = 448,3759 \text{ kNm}$

Digunakan $Mu^+ = 448,3759 \text{ kNm}$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{448,3759 \times 10^6}{0,9 \times 450 \times 636^2} = 2,736988716 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'c}{fy} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,736988716}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,007001016 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0033333 < 0,007001016 < 0,025 \text{ (Diambil nilai)}$$

ρ)

$$\begin{aligned} As &= \rho \times b \times d \\ &= 0,007001016 \times 450 \times 636 = 2003,69067 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{As}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{2003,69067}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 5,271029331 = 6 \text{ buah (As} = 2280,769 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{450 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 6 \times 22}{6 - 1} = 42,4 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

6. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{2280,796 \times 420}{0,85 \times 25 \times 450} \\ &= 100,1761497 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{100,1761497}{0,85} = 117,8542938 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{636 - 117,8542938}{117,8542938} \times 0,003 \\ &= 0,013189482 \end{aligned}$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 2280,796 \times 420 \times \left(636 - \frac{100,1761497}{2}\right) \\ &= 561265207,2 \text{ Nmm} = 561,2652072 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 561,2652072 \text{ kNm} \\ &= 505,1386864 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$\phi M_n > M_u = 505,1386864 > 448,3759$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 6D22).

7. Tulangan Positif dan Negatif Lapangan

$\phi = 0,9$ (diasumsikan terkendali tarik)

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.2, Kekuatan momen negatif dan positif pada sebarang penampang disepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint.

$$\begin{aligned} \text{Mu lapangan} &= 0,25 \times \text{Mu}^- \\ &= 0,25 \times 207,8838 \\ &= 51,97095 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, $\text{Mu}^- \text{ lapangan} = 207,8838 \text{ kNm}$

$$\text{Mu}^+ \text{ lapangan} = 207,8838 \text{ kNm}$$

Digunakan $\text{Mu}^+ = 207,8838 \text{ kNm}$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{207,8838 \times 10^6}{0,9 \times 450 \times 636^2} = 1,268970109 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,268970109}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,003117396 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} > \rho < \rho_{\max} = 0,003333 > 0,003117396 < 0,025 \text{ (Diambil nilai } \rho_{\min})$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,003333 \times 450 \times 636 = 954 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{954}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 2,509649846 = 3 \text{ buah (} A_s = 1140,398 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{450 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 3 \times 22}{3 - 1} = 139 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

8. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{1140,398 \times 420}{0,85 \times 25 \times 450} \\ &= 50,088 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{50,088}{0,85} = 58,9271 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{636 - 58,9271}{58,9271} \times 0,003$$

$$= 0,029378965$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

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

$$= 1140,398 \times 420 \times \left(636 - \frac{50,088}{2}\right)$$

$$= 292627876,5 \text{ Nmm} = 292,6278765 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 292,6278765 \text{ kNm}$$

$$= 263,365088 \text{ kNm}$$

$\phi M_n > M_u = 263,36508 > 207,8838$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 3D22).

9. Tulangan Transversal

Mengacu pada SNI 2847:2019 R18.7.6.1.1 bahwa Kekuatan momen balok tersebut dihitung menggunakan faktor reduksi kekuatan 1,0 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif yang diambil paling tidak $1,25f_y$

Perhitungan M_{pr}

M_{pr} = Probable Moment

M_{pr} ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 6D22 ($A_s = 2280,8 \text{ mm}^2$)

$$A_{pr} (-) = \frac{1,25 \times A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1,25 \times 2280,8 \times 420}{0,85 \times 25 \times 450} \\
&= 125,220187 \text{ mm} \\
Mpr^- &= 1,25 \times As \times Fy \times \left(d - \frac{apr^-(-)}{2}\right) \\
&= 1,25 \times 2280,8 \times 420 \times \left(636 - \frac{125,220187}{2}\right) \\
&= 686587418 \text{ Nmm} = 686,587418 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Perhitungan Mpr^+

Mpr = Probable Moment

Mpr^+ ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan 6D22

($As = 2280,8 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
Apr^- (-) &= \frac{1,25 \times As \times Fy}{0,85 \times F'c \times b} \\
&= \frac{1,25 \times 2280,8 \times 420}{0,85 \times 25 \times 450} \\
&= 125,220187 \text{ mm} \\
Mpr^+ &= 1,25 \times As \times Fy \times \left(d - \frac{apr^-(-)}{2}\right) \\
&= 1,25 \times 2280,8 \times 420 \times \left(636 - \frac{125,220187}{2}\right) \\
&= 686587418 \text{ Nmm} = 686,587418 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

10. Gaya Geser Akibat Gaya Gravitasi

Berdasarkan analisis ETABS, didapati nilai $Vg = 122,8347 \text{ kN}$

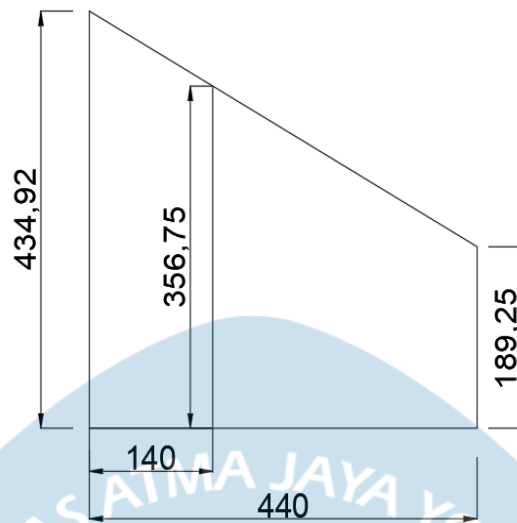
$$Vg = 122,8347 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
Ve &= \frac{Mpr^+ + Mpr^-}{ln} \\
&= \frac{686,587418 + 685,587418}{4,4} = 312,08519 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Ve1 &= Ve + Vg \\
&= 312,08519 + 122,8347 = 434,91989 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Ve2 &= Ve - Vg \\
&= 312,08519 - 122,8347 = 189,25049 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Untuk menentukan tulangan geser lapangan, ditentukan jarak tulangan geser dari muka kolom sebesar $2h$. Balok dengan tinggi (h) = $0,7 \text{ m}$, maka $2h = 1,4 \text{ m}$



Gambar 2. 23 Gaya Geser Balok Induk B1

11. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned}
 V_u \text{ ETABS} &= 213,6634 \text{ kN} \\
 V_u &= 434,91989 \text{ kN} \\
 d &= 636 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, nilai V_u yang digunakan = 434,91989 kN

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser. $V_c = 0$ jika $0,5 V_u < V_e$.

$$\begin{aligned}
 0,5 \times V_u &= 0,5 \times 434,91989 \\
 &= 217,459945 \text{ kN} < V_e (312,0852 \text{ kN}), \text{ maka } V_c = 0
 \end{aligned}$$

V_c tidak perlu diperhitungkan, maka

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0 \\
 V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{434,91989}{0,75} - 0 \\
 &= 579,893187 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{smax} &= 0,66 \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s \\
 &= 0,66 \times \sqrt{25} \times 450 \times 636 \\
 &= 944460 \text{ N} \qquad = 944,460 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$V_s \text{ max} > V_s = 944,460 > 579,893187$ (OK!)

Direncanakan sengkang 2D13 ($A_s = 265,465 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_s \times F_y \times d_s}{V_s} \\ &= \frac{265,465 \times 420 \times 636}{579,893187 \times 10^3} \\ &= 122,282689 \text{ mm} \end{aligned}$$

Ketentuan SNI 2487:2019 pasal 18.6.4.4 mengenai jarak sengkang pertama dari muka komponen struktur penumpu tidak lebih dari 50 mm, jarak sengkang tidak boleh lebih dari:

$$\begin{aligned} d/4 &= \frac{636}{4} \\ &= 159 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6 \text{ kali diameter tulangan} &= 6 \times 22 \\ &= 132 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan 2D13-100

12. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Daerah Lapangan

$$V_u \text{ ETABS} = 213,6634 \text{ kN}$$

$$V_u = 356,75 \text{ kN}$$

$$d = 636 \text{ mm}$$

Maka, nilai V_u yang digunakan = 356,75 kN

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser. $V_c = 0$ jika $0,5 V_u < V_e$.

$$\begin{aligned} 0,5 \times V_u &= 0,5 \times 356,75 \\ &= 178,375 \text{ kN} < V_e (312,0852 \text{ kN}), \text{ maka } V_c = 0 \end{aligned}$$

V_c tidak perlu diperhitungkan, maka

$$V_c = 0$$

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

$$= \frac{356,75}{0,75} -$$

$$= 475,67 \text{ kN}$$

$$V_{smax} = 0,66 \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s$$

$$= 0,66 \times \sqrt{25} \times 450 \times 636$$

$$= 944460 \text{ N} = 944,460 \text{ kN}$$

$$V_s \text{ max} > V_s = 944,460 > 475,6667 \text{ (OK!)}$$

Direncanakan sengkang 2D13 ($A_s = 265,465 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_s \times F_y \times d_s}{V_s}$$

$$= \frac{265,465 \times 420 \times 636}{475,67 \times 10^3}$$

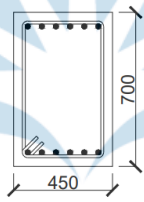
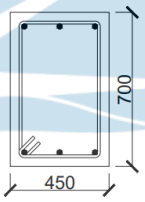
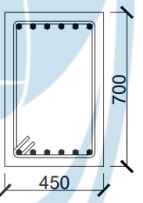
$$= 149,0768712 \text{ mm}$$

Ketentuan SNI 2487:2019 pasal 18.14.2.2 mengenai spasi tidak melebihi $d/2$

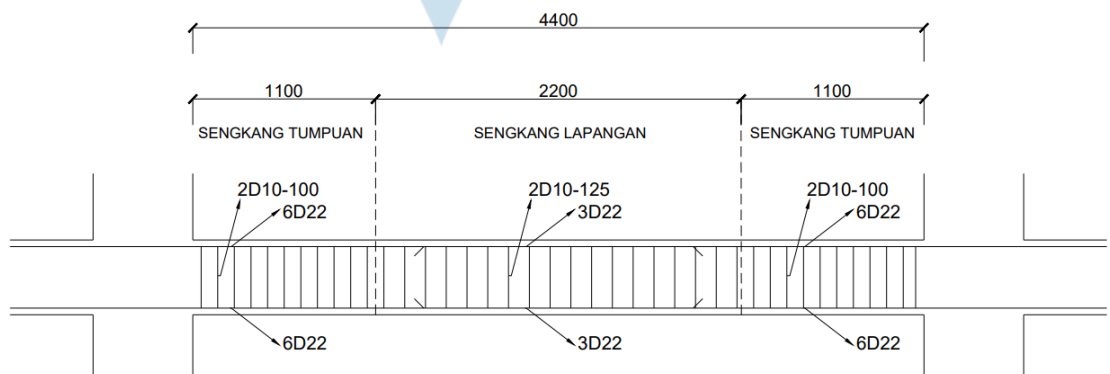
$$d/2 = \frac{636}{2}$$

$$= 318 \text{ mm}$$

Maka, digunakan tulangan 2D13-125

BALOK	TULANGAN		
	KIRI	TENGAH	KANAN
BI 1			
UKURAN BALOK	450 x 700 mm		
BESI ATAS	6D22	3D22	6D22
BESI BAWAH	6D22	3D22	6D22
SENGKANG	2D13-100	2D13-125	2D13-100

Gambar 2. 24 Gambar Potongan Balok Induk B1 450x700 mm



Gambar 2. 25 Potongan Penulangan Balok Induk B1 450x700 mm

2.6.2 Data Perencanaan Balok Induk BI 1 (450x700mm) Bentang 8M

1. Lebar Balok (b) = 450 mm
2. Tinggi Balok (h) = 700 mm
3. Bentang Balok (l) = 8000 mm
4. Bentang Bersih (ln) = 7400 mm
5. Selimut Beton = 40 mm
6. Diameter Tulangan Deform = 22 mm
7. Diameter Tulangan Sengkang = 13 mm
8. Mutu Tulangan (Fy) = 420 Mpa
9. Mutu Beton (Fc) = 25 Mpa

Berdasarkan analisis dalam ETABS, didapatkan gaya dalam balok seperti tabel 2.11

Tabel 2. 11 Gaya Geser dan Momen Balok BI 1 450x700 Lantai 2

Gaya	Lokasi	
	Tumpuan	Lapangan
Mu +	345,1382	200,9197
Mu -	403,322	187,929
Vu	263,246	234,508

1. Pemeriksaan Ketentuan Balok

Sesuai dalam ketentuan dalam SNI 2847:2019 Pasal 9.3.3.1, komponen struktur harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Gaya aksial terfaktor P_u tidak boleh melebihi $A_g F'_c / 10$.

$$\begin{aligned} A_g &= bh \\ &= 450 \times 700 \\ &= 315000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g F'_c / 10 &= 315000 \times 25 / 10 \\ &= 787500 \text{ N} \\ &= 787 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, nilai $P_u = 0 \text{ kN}$, maka $P_u < A_g F'_c / 10$

- b. Bentang bersih komponen struktur, l_n tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya

$$l_n \geq 4d$$

$$7400 \geq 4 \times 636$$

$$7400 \geq 2544$$

- c. Lebar komponen, b_w tidak boleh kurang dari $0,3h$ dan 250 mm

$$450 \text{ mm} > 0,3 \times 700$$

$$450 \text{ mm} > 210 \text{ mm dan}$$

$$450 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$$

2. Perhitungan Rasio Penulangan

Sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019, untuk memperhitungkan p_{max} dan p_{min} diatur sebagai berikut

$$d = 700 - 40 - 13 - 0,5 \times 22$$

$$d = 636 \text{ mm}$$

$$p_{max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019)}$$

$$p_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033333$$

$$p_{min} = \frac{\sqrt{F_c}}{4 \times F_y} = \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} = 0,00298$$

Digunakan $p_{min} = 0,0033$

3. Tulangan Negatif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{403,322 \times 10^6}{0,9 \times 450 \times 636^2} = 2,4619694 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,4619694}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,0062476 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0033333 < 0,0062476 < 0,025 \text{ (Diambil nilai } \rho)$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0062476 \times 450 \times 636 = 1788,0517 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{1788,0517}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 4,7037564 = 5 \text{ buah (} A_s = 1788,0517 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{450 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 5 \times 22}{5 - 1} = 58,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

4. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{1788,0517 \times 420}{0,85 \times 25 \times 450} \\ &= 83,480125 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{83,480125}{0,85} = 98,211912 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{636 - 98,211912}{98,211912} \times 0,003 \\ &= 0,0164274 \end{aligned}$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 1788,0517 \times 420 \times \left(636 - \frac{100,17615}{2}\right) \\ &= 474385046 \text{ Nmm} = 474,385046 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 474,385046 \text{ kNm} \\ &= 426,94654 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$\phi M_n > M_u = 426,94654 > 403,332$ (Rancangan Tulangan Aman,
Digunakan 5D22)

5. Tulangan Positif Tumpuan

$\phi = 0,9$ (diasumsikan terkendali tarik)

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.2, kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif pada muka joint tersebut.

$$\begin{aligned}M_u^+ &= 0,5 \times M_u^- \\ &= 0,5 \times 403,332 \\ &= 201,661 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, $M_u^+ = 345,1382 \text{ kNm}$

Digunakan $M_u^+ = 345,1382 \text{ kNm}$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{345,1382 \times 10^6}{0,9 \times 450 \times 636^2} = 2,10680229 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,10680229}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,005293065\end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0033333 < 0,005293065 < 0,025$ (Diambil nilai

ρ)

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,005293065 \times 450 \times 636 = 1514,875255 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{1514,875255}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 3,985122065 = 4 \text{ buah (} A_s = 1520,531 \text{ mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{450 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 5 \times 22}{4 - 1} = 85,33 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

6. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{1520,531 \times 420}{0,85 \times 25 \times 450} \\ &= 66,78409983 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{66,78409983}{0,85} = 78,56952921 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{636 - 78,56952921}{117,854294} \times 0,003 \\ &= 0,0211284223 \end{aligned}$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 1520,531 \times 420 \times \left(636 - \frac{83,480125}{2}\right) \\ &= 384839269 \text{ Nmm} = 384,839269 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 384,839269 \text{ kNm} \\ &= 346,3553426 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$\phi M_n > M_u = 346,3553426 > 345,1382$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 4D22)

7. Tulangan Positif dan Negatif Lapangan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.2, Kekuatan momen negatif dan positif pada sebarang penampang disepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint.

$$\begin{aligned} \text{Mu lapangan} &= 0,25 \times \text{Mu}^- \\ &= 0,25 \times 187,929 \\ &= 46,98225 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, Mu^- lapangan = 187,929 kNm

$$\text{Mu}^+ \text{ lapangan} = 200,9197 \text{ kNm}$$

Digunakan $\text{Mu}^+ = 200,9197 \text{ kNm}$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{200,9197 \times 10^6}{0,9 \times 450 \times 636^2} = 1,226459655 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,226459655}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,003009657 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} > \rho < \rho_{\max} = 0,003333 > 0,003009657 < 0,025 \text{ (Diambil nilai } \rho \text{ min)}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,003333 \times 450 \times 636 = 954 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{954}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 2,509649846 = 3 \text{ buah (} A_s = 1140,398 \text{ mm}^2 \text{)} \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{450 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 3 \times 22}{3 - 1} = 139 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

8. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times Fy}{0,85 \times F'c \times b} \\ &= \frac{1140,398 \times 420}{0,85 \times 25 \times 450} \\ &= 50,088 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{50,088}{0,85} = 58,9271 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{636 - 58,9271}{58,9271} \times 0,003 \\ &= 0,029378965 \end{aligned}$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned} Mn &= As \times Fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 1140,398 \times 420 \times \left(636 - \frac{50,088}{2}\right) \\ &= 292627876,5 \text{ Nmm} = 292,6278765 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi Mn &= 0,9 \times Mn \\ &= 0,9 \times 292,6278765 \text{ kNm} \\ &= 263,365088 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$\phi Mn > Mu = 263,36508 > 200,9197$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 3D22)

9. Tulangan Transversal

Mengacu pada SNI 2847:2019 R18.7.6.1.1 bahwa Kekuatan momen balok tersebut dihitung menggunakan faktor reduksi kekuatan 1,0 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif yang diambil paling tidak $1,25f_y$

Perhitungan M_{pr}^-

M_{pr} = Probable Moment

M_{pr}^- ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 5D22

($A_s = 1900,66 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} A_{pr}^- (-) &= \frac{1,25 \times A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 1900,66 \times 420}{0,85 \times 25 \times 450} \\ &= 104,35016 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^- &= 1,25 \times A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^- (-)}{2} \right) \\ &= 1,25 \times 1900,66 \times 420 \times \left(636 - \frac{104,35016}{2} \right) \\ &= 582568745 \text{ Nmm} = 582,568745 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Perhitungan M_{pr}^+

M_{pr} = Probable Moment

M_{pr}^+ ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan 4D22

($A_s = 1520,531 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} A_{pr}^- (-) &= \frac{1,25 \times A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 1140,398 \times 420}{0,85 \times 25 \times 450} \\ &= 83,4801248 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^+ &= 1,25 \times A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^- (-)}{2} \right) \\ &= 1,25 \times 1520,531 \times 420 \times \left(636 - \frac{83,4801248}{2} \right) \\ &= 582568745 \text{ Nmm} = 474,385046 \text{ kNm} \end{aligned}$$

10. Gaya Geser Akibat Gaya Gravitasi

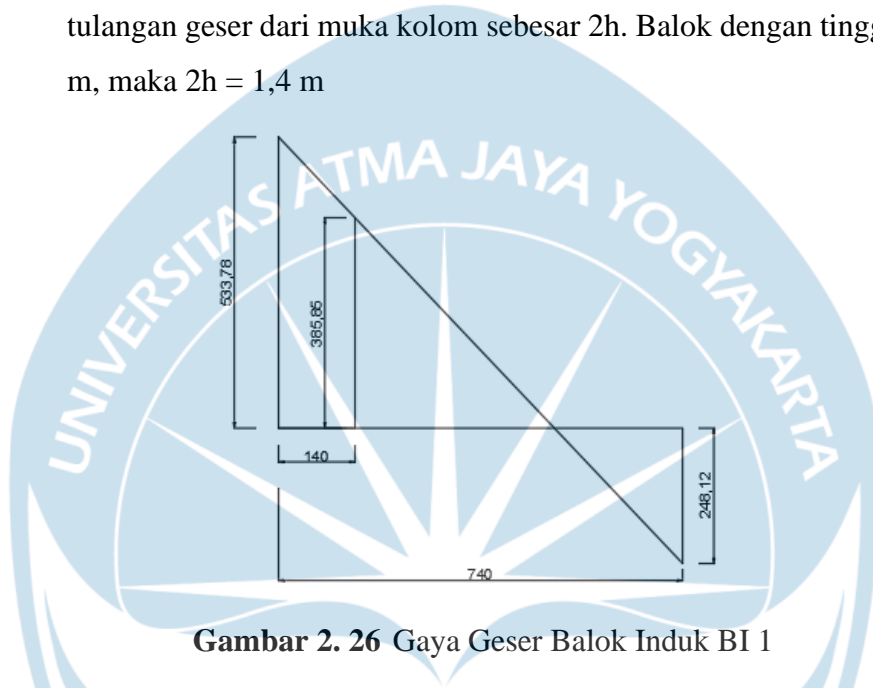
Berdasarkan analisis ETABS, didapati nilai $V_g = 390,944 \text{ kN}$

$$V_g = 390,944 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_n} \\ &= \frac{582,568745 + 474,385046}{7,4} = 142,831593 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{e1} &= V_e + V_g \\
 &= 142,831593 + 390,944 = 533,775593 \text{ kN} \\
 V_{e2} &= V_e - V_g \\
 &= 142,831593 - 390,944 = -248,11241 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan tulangan geser lapangan, ditentukan jarak tulangan geser dari muka kolom sebesar $2h$. Balok dengan tinggi (h) = 0,7 m, maka $2h = 1,4$ m



Gambar 2. 26 Gaya Geser Balok Induk BI 1

11. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Daerah Tumpuan

$$V_u \text{ ETABS} = 263,246 \text{ kN}$$

$$V_u = 533,775593 \text{ kN}$$

$$d = 636 \text{ mm}$$

Maka, nilai V_u yang digunakan = 533,775593 kN

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser. $V_c = 0$ jika $0,5 V_u < V_e$.

$$0,5 \times V_u = 0,5 \times 533,775593$$

$$= 266,887797 \text{ kN} > V_e (142,8316 \text{ kN}), \text{ maka } V_c \neq 0$$

V_c perlu diperhitungkan, maka

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s$$

$$= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 450 \times 636$$

$$= 243270 \text{ N} = 243,270 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{533,5775593}{0,75} - 243,270 \\
 &= 468,430791 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{smax} &= 0,66 \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s \\
 &= 0,66 \times \sqrt{25} \times 450 \times 636 \\
 &= 944460 \text{ N} = 944,460 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_s \text{ max} > V_s = 944,460 > 468,430791 \text{ (OK!)}$$

Direncanakan sengkang 2D13 ($A_s = 265,465 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_s \times F_y \times d_s}{V_s} \\
 &= \frac{265,465 \times 420 \times 636}{468,430791 \times 10^3} \\
 &= 151,37967 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Ketentuan SNI 2487:2019 pasal 18.6.4.4 mengenai jarak sengkang pertama dari muka komponen struktur penumpu tidak lebih dari 50 mm, jarak sengkang tidak boleh lebih dari:

$$\begin{aligned}
 d/4 &= \frac{636}{4} \\
 &= 159 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6 \text{ kali diameter tulangan} &= 6 \times 22 \\
 &= 132 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan 2D13-125

12. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Daerah Lapangan

$$V_u \text{ ETABS} = 234,508 \text{ kN}$$

$$V_u = 385,85 \text{ kN}$$

$$d = 636 \text{ mm}$$

Maka, nilai V_u yang digunakan = 385,85 kN

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser. $V_c = 0$ jika $0,5 V_u < V_e$.

$$\begin{aligned}
 0,5 \times V_u &= 0,5 \times 385,85 \\
 &= 192,925 \text{ kN} > V_e (142,832 \text{ kN}), \text{ maka } V_c \neq 0
 \end{aligned}$$

Vc perlu diperhitungkan, maka

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{F_c} \times b \times ds \\&= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 450 \times 636 \\&= 243270 \text{ N} = 243,270 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\&= \frac{385,85}{0,75} - 243,270 \\&= 271,196667 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{smax} &= 0,66 \times \sqrt{F_c} \times b \times ds \\&= 0,66 \times \sqrt{25} \times 450 \times 636 \\&= 944460 \text{ N} = 944,460 \text{ kN}\end{aligned}$$

$V_{smax} > V_s = 944,460 > 271,196667$ (OK!)

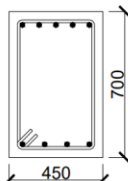
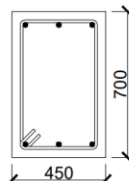
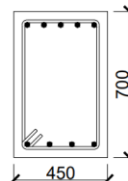
Direncanakan sengkang 2D13 ($A_s = 265,465 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}S &= \frac{A_s \times F_y \times ds}{V_s} \\&= \frac{265,465 \times 420 \times 636}{271,196667 \times 10^3} \\&= 261,474078 \text{ mm}\end{aligned}$$

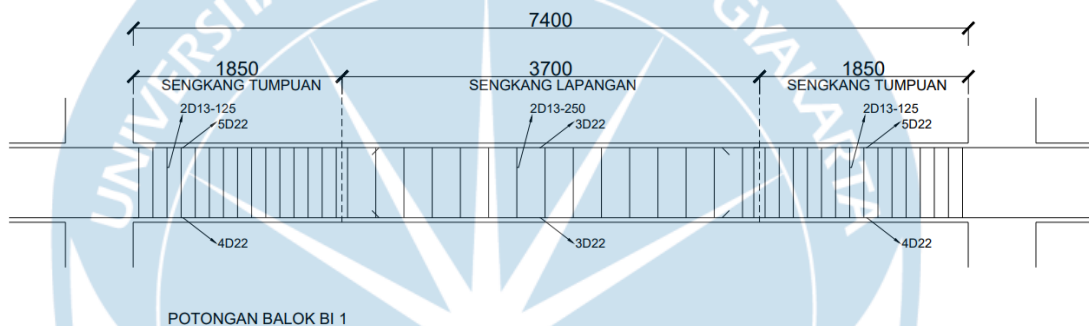
Ketentuan SNI 2487:2019 pasal 18.14.2.2 mengenai spasi tidak melebihi $d/2$

$$\begin{aligned}d/2 &= \frac{636}{2} \\&= 318 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan 2D13-250

BALOK	TULANGAN		
	KIRI	TENGAH	KANAN
BI 1			
UKURAN BALOK	450 x 700 mm		
BESI ATAS	5D22	3D22	5D22
BESI BAWAH	4D22	3D22	4D22
SENGKANG	2D13-125	2D13-250	2D13-125

Gambar 2. 27 Gambar Potongan Balok Induk BI 1 450x700 mm



Gambar 2. 28 Potongan Penulangan Balok Induk BI 1 450x700 mm

2.6.3 Data Perencanaan Balok Induk B1 (450x700mm) Bentang 9M

1. Lebar Balok (b) = 450 mm
2. Tinggi Balok (h) = 700 mm
3. Bentang Balok (l) = 9000 mm
4. Bentang Bersih (ln) = 8400 mm
5. Selimut Beton = 40 mm
6. Diameter Tulangan Deform = 22 mm
7. Diameter Tulangan Sengkang = 13 mm
8. Mutu Tulangan (Fy) = 420 Mpa
9. Mutu Beton (Fc) = 25 Mpa

Berdasarkan analisis dalam ETABS, didapatkan gaya dalam balok seperti tabel 2.12

Tabel 2. 12 Gaya Geser dan Momen Balok B1 450x700 Lantai 2

Gaya	Lokasi	
	Tumpuan	Lapangan
Mu +	231,598	163,8697
Mu -	231,598	110,1903
Vu	151,918	88,7407

1. Pemeriksaan Ketentuan Balok

Sesuai dalam ketentuan dalam SNI 2847:2019 Pasal 9.3.3.1, komponen struktur harus memenuhi syarat sebagai berikut:

a. Gaya aksial terfaktor P_u tidak boleh melebihi $A_g F'_c / 10$.

$$\begin{aligned} A_g &= bh \\ &= 450 \times 700 \\ &= 315000 \text{ mm}^2 \\ A_g F'_c / 10 &= 315000 \times 25 / 10 \\ &= 787500 \text{ N} \\ &= 787 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, nilai $P_u = 0 \text{ kN}$, maka $P_u < A_g F'_c / 10$

b. Bentang bersih komponen struktur, l_n tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya

$$\begin{aligned} l_n &\geq 4d \\ 8400 &\geq 4 \times 639 \\ 8400 &\geq 2556 \end{aligned}$$

c. Lebar komponen, b_w tidak boleh kurang dari $0,3h$ dan 250 mm

$$\begin{aligned} 450 \text{ mm} &> 0,3 \times 700 \\ 450 \text{ mm} &> 210 \text{ mm} \text{ dan} \\ 450 \text{ mm} &> 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Rasio Penulangan

Sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019, untuk memperhitungkan p_{max} dan p_{min} diatur sebagai berikut

$$d = 700 - 40 - 10 - 0,5 \times 22$$

$$d = 639 \text{ mm}$$

$$p_{max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019)}$$

$$p_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033333$$

$$p_{min} = \frac{\sqrt{F_c}}{4 \times F_y} = \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} = 0,00298$$

Digunakan $p_{min} = 0,0033$

3. Tulangan Negatif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{403,322 \times 10^6}{0,9 \times 450 \times 639^2} = 1,400483721 \text{ MPa}$$

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

$$= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,400483721}{0,85 \times 25}} \right)$$

$$= 0,003452264$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0033333 < 0,003452264 < 0,025 \text{ (Diambil nilai)}$$

ρ)

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,003452264 \times 450 \times 639 = 992,6985704 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2}$$

$$= \frac{992,6985704}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 2,611452636 = 3 \text{ buah (} A_s = 1140,398$$

mm^2)

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{450 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 22}{3 - 1} = 142 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

4. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{1140,398 \times 420}{0,85 \times 25 \times 450} \\ &= 50,08807487 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{b_1} \\ &= \frac{50,08807487}{0,85} = 58,92714691 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{639 - 58,92714691}{58,92714691} \times 0,003 \\ &= 0,029531696 \end{aligned}$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 1140,398 \times 420 \times \left(639 - \frac{50,08807487}{2}\right) \\ &= 294064778 \text{ Nmm} = 294,064778 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 294,064778 \text{ kNm} \\ &= 264,6583003 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$\phi M_n > M_u = 264,6583003 > 231,598$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 3D22)

5. Tulangan Positif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.2, kekuatan

momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif pada muka joint tersebut.

$$\begin{aligned} \text{Mu}^+ &= 0,5 \times \text{Mu}^- \\ &= 0,5 \times 231,298 \\ &= 115,799 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, $\text{Mu}^+ = 231,598 \text{ kNm}$

Digunakan $\text{Mu}^+ = 231,598 \text{ kNm}$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{231,598 \times 10^6}{0,9 \times 450 \times 639^2} = 1,400483721 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,400483721}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,003452264 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0033333 < 0,003452264 < 0,025 \text{ (Diambil nilai } \rho)$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,003452264 \times 450 \times 639 = 992,6985704 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{992,6985704}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 2,611452636 = 3 \text{ buah (} A_s = 1140,398 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{450 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 22}{3 - 1} = 142 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

6. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{1140,398 \times 420}{0,85 \times 25 \times 450} \\ &= 50,08807487 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{50,08807487}{0,85} = 58,92714691 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{639 - 58,92714691}{58,92714691} \times 0,003$$

$$= 0,029531696$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

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

$$= 1140,598 \times 420 \times \left(639 - \frac{50,08807487}{2}\right)$$

$$= 294064778,1 \text{ Nmm} = 294,0647781 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 294,0647781 \text{ kNm}$$

$$= 264,6583003 \text{ kNm}$$

$\phi M_n > M_u = 264,6583003 > 231,598$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 3D22)

7. Tulangan Positif dan Negatif Lapangan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.2, Kekuatan momen negatif dan positif pada sebarang penampang disepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint.

$$M_u \text{ lapangan} = 0,25 \times M_u^-$$

$$= 0,25 \times 110,1903$$

$$= 27,547575 \text{ kNm}$$

Berdasarkan analisis ETABS, $M_u^- \text{ lapangan} = 110,1903 \text{ kNm}$

$$M_u^+ \text{ lapangan} = 163,8697 \text{ kNm}$$

Digunakan $Mu^+ = 163,8697 \text{ kNm}$

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{163,8697 \times 10^6}{0,9 \times 450 \times 639^2} = 0,990927587 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'c}{fy} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,990927587}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,002417087 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} > \rho < \rho_{\max} = 0,003333 > 0,002417087 < 0,025$ (Diambil nilai ρ_{\min})

$$\begin{aligned} As &= \rho \times b \times d \\ &= 0,003333 \times 450 \times 639 = 958,5 \text{ mm}^2 \\ n &= \frac{As}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{958,5}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 2,521487817 = 3 \text{ buah (As = 1140,398 mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{450 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 22}{3 - 1} = 142 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

8. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f'c \times b} \\ &= \frac{1140,398 \times 420}{0,85 \times 25 \times 450} \\ &= 50,088 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{50,088}{0,85} = 58,9271 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{636 - 58,9271}{58,9271} \times 0,003 \\ &= 0,029378965 \end{aligned}$$

Karena $\varepsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 1140,398 \times 420 \times \left(639 - \frac{50,088}{2}\right) \\ &= 294064778,1 \text{ Nmm} = 294,0647781 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 294,0647781 \text{ kNm} \\ &= 264,6583003 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$\phi M_n > M_u = 264,6583003 > 163,8697$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 3D22)

9. Tulangan Transversal

Mengacu pada SNI 2847:2019 R18.7.6.1.1 bahwa Kekuatan momen balok tersebut dihitung menggunakan faktor reduksi kekuatan 1,0 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif yang diambil paling tidak $1,25f_y$

Perhitungan M_{pr}

M_{pr} = Probable Moment

M_{pr} ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 3D22 ($A_s = 1140,4 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} A_{pr} (-) &= \frac{1,25 \times A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 1140,4 \times 420}{0,85 \times 25 \times 450} \\ &= 62,61009359 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{pr}^- &= 1,25 \times A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^-}{2}\right) \\
&= 1,25 \times 1140,4 \times 420 \times \left(639 - \frac{62,61009359}{2}\right) \\
&= 363832449,9 \text{ Nmm} = 363,8324499 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Perhitungan M_{pr}^+

M_{pr} = Probable Moment

M_{pr}^+ ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan 3D22

($A_s = 1140,4 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
A_{pr}^- &= \frac{1,25 \times A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\
&= \frac{1,25 \times 1140,4 \times 420}{0,85 \times 25 \times 450} \\
&= 62,61009359 \text{ mm} \\
M_{pr}^+ &= 1,25 \times A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^-}{2}\right) \\
&= 1,25 \times 1140 \times 420 \times \left(639 - \frac{62,61009359}{2}\right) \\
&= 363832449,9 \text{ Nmm} = 363,8324499 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

10. Gaya Geser Akibat Gaya Gravitasi

Berdasarkan analisis ETABS, didapati nilai $V_g = 226,532 \text{ kN}$

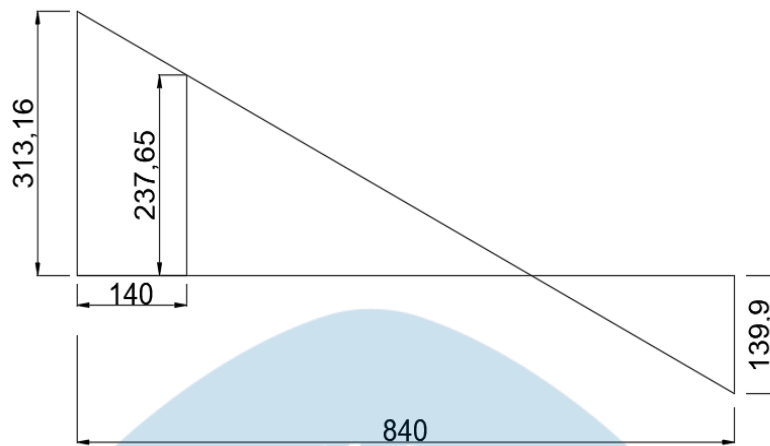
$$V_g = 226,532 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
V_e &= \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_n} \\
&= \frac{363,8324499 + 363,8324499}{8,4} = 86,62677378 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{e1} &= V_e + V_g \\
&= 86,62677378 + 226,532 = 533,775593 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_{e2} &= V_e - V_g \\
&= 86,62677378 - 226,532 = -139,905226 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Untuk menentukan tulangan geser lapangan, ditentukan jarak tulangan geser dari muka kolom sebesar $2h$. Balok dengan tinggi (h) = 0,7 m, maka $2h = 1,4 \text{ m}$



Gambar 2. 29 Gaya Geser Balok Induk BI 1

11. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Daerah Tumpuan

$$V_u \text{ ETABS} = 151,918 \text{ kN}$$

$$V_u = 313,1587738 \text{ kN}$$

$$d = 639 \text{ mm}$$

Maka, nilai V_u yang digunakan = 313,1587738 kN

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser. $V_c = 0$ jika $0,5 V_u < V_e$.

$$0,5 \times V_u = 0,5 \times 313,1587738$$

$$= 156,5793869 \text{ kN} > V_e (86,62677 \text{ kN}), \text{ maka } V_c \neq 0$$

V_c perlu diperhitungkan, maka

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s$$

$$= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 450 \times 639$$

$$= 244417,5 \text{ N} = 242,2175 \text{ kN}$$

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

$$= \frac{313,1587738}{0,75} - 242,2175$$

$$= 173,1275317 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_{smax} &= 0,66 \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s \\
 &= 0,66 \times \sqrt{25} \times 450 \times 639 \\
 &= 948915 \text{ N} \qquad = 948,915 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_s \text{ max} > V_s = 948,915 > 173,1275 \text{ (OK!)}$$

Direncanakan sengkang 2D10 ($A_s = 157,0796 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_s \times F_y \times d_s}{V_s} \\
 &= \frac{157,0796 \times 420 \times 639}{173,1275317 \times 10^3} \\
 &= 243,5027601 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Ketentuan SNI 2487:2019 pasal 18.6.4.4 mengenai jarak sengkang pertama dari muka komponen struktur penumpu tidak lebih dari 50 mm, jarak sengkang tidak boleh lebih dari:

$$\begin{aligned}
 d/4 &= \frac{639}{4} \\
 &= 159,75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6 \text{ kali diameter tulangan} &= 6 \times 22 \\
 &= 132 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan 2D10-100

12. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Daerah Lapangan

$$V_u \text{ ETABS} = 151,918 \text{ kN}$$

$$V_u = 237,65 \text{ kN}$$

$$d = 639 \text{ mm}$$

Maka, nilai V_u yang digunakan = 237,65 kN

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser. $V_c = 0$ jika $0,5 V_u < V_e$.

$$\begin{aligned}
 0,5 \times V_u &= 0,5 \times 237,65 \\
 &= 118,825 \text{ kN} > V_e (86,62677378 \text{ kN}), \text{ maka } V_c \neq 0
 \end{aligned}$$

V_c perlu diperhitungkan, maka

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 450 \times 639 \\
 &= 244417,5 \text{ N} = 244,4175 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{237,65}{0,75} - 244,4175 \\
 &= 72,44916667 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{smax} &= 0,66 \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s \\
 &= 0,66 \times \sqrt{25} \times 450 \times 639 \\
 &= 948915 \text{ N} = 948,915 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_{smax} > V_s = 948,915 > 72,44917 \text{ (OK!)}$$

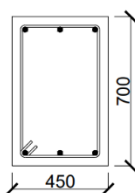
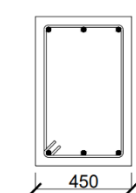
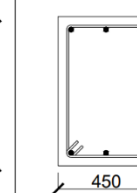
Direncanakan sengkang 2D10 ($A_s = 157,07963 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_s \times F_y \times d_s}{V_s} \\
 &= \frac{157,07963 \times 420 \times 639}{72,44916667 \times 10^3} \\
 &= 581,8842888 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

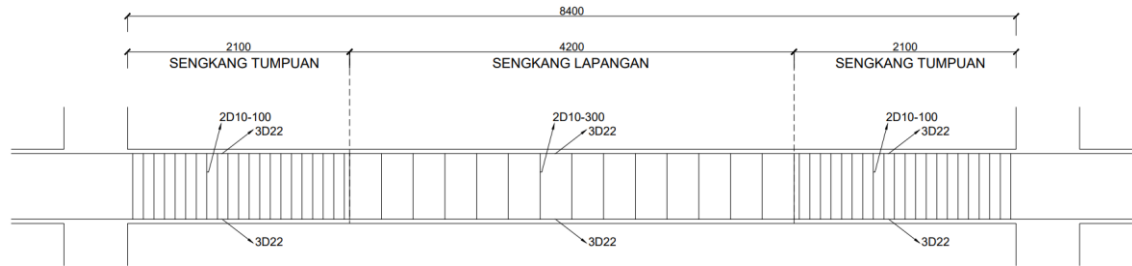
Ketentuan SNI 2487:2019 pasal 18.14.2.2 mengenai spasi tidak melebihi $d/2$

$$\begin{aligned}
 d/2 &= \frac{639}{2} \\
 &= 319,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan 2D10-300

BALOK	TULANGAN		
	KIRI	TENGAH	KANAN
BI 1			
UKURAN BALOK	450 x 700 mm		
BESI ATAS	3D22	3D22	3D22
BESI BAWAH	3D22	3D22	3D22
SENGKANG	2D10-100	2D10-300	2D10-100

Gambar 2. 30 Gambar Potongan Balok Induk BI 1 450x700 mm



Gambar 2. 31 Potongan Penulangan Balok Induk BI 1 450x700 mm

2.6.4 Data Perencanaan Balok Lift (400x600mm) Bentang 3M

1. Lebar Balok (b) = 400 mm
2. Tinggi Balok (h) = 600 mm
3. Bentang Balok (l) = 3000 mm
4. Bentang Bersih (ln) = 2400 mm
5. Selimut Beton = 40 mm
6. Diameter Tulangan Deform = 22 mm
7. Diameter Tulangan Sengkang = 13 mm
8. Mutu Tulangan (Fy) = 420 Mpa
9. Mutu Beton (Fc) = 30 Mpa

Berdasarkan analisis dalam ETABS, didapatkan gaya dalam balok seperti tabel 2.13

Tabel 2. 13 Gaya Geser dan Momen Balok Lift 400x600 Lantai 2

Gaya	Lokasi	
	Tumpuan	Lapangan
Mu +	298,168	166,939
Mu -	298,168	166,939
Vu	274,9032	262,4584

1. Pemeriksaan Ketentuan Balok

Sesuai dalam ketentuan dalam SNI 2847:2019 Pasal 9.3.3.1, komponen struktur harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Gaya aksial terfaktor P_u tidak boleh melebihi $A_g F'_c / 10$.

$$\begin{aligned} A_g &= bh \\ &= 400 \times 600 \\ &= 240000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g F'_c / 10 &= 240000 \times 30 / 10 \\ &= 720000 \text{ N} \\ &= 720 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, nilai $P_u = 0 \text{ kN}$, maka $P_u < A_g F'_c / 10$

- b. Bentang bersih komponen struktur, l_n tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya

$$\begin{aligned} l_n &\geq 4d \\ 2400 &\geq 4 \times 536 \\ 2400 &\geq 2144 \end{aligned}$$

- c. Lebar komponen, b_w tidak boleh kurang dari $0,3h$ dan 250 mm

$$\begin{aligned} 400 \text{ mm} &> 0,3 \times 600 \\ 400 \text{ mm} &> 180 \text{ mm} \text{ dan} \\ 400 \text{ mm} &> 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Rasio Penulangan

Sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019, untuk memperhitungkan p_{max} dan p_{min} diatur sebagai berikut

$$d = 600 - 40 - 13 - 0,5 \times 22$$

$$d = 536 \text{ mm}$$

$$\beta = 0,85 - \left(\frac{0,05}{7} \times (F_c - 28) \right)$$

$$\beta = 0,85 - \left(\frac{0,05}{7} \times (30 - 28) \right)$$

$$\beta = 0,8357143$$

$$p_{max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019)}$$

$$p_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033333$$

$$p_{\min} = \frac{\sqrt{F_c}}{4 \times F_y} = \frac{\sqrt{30}}{4 \times 420} = 0,00326$$

Digunakan $p_{\min} = 0,0033$

3. Tulangan Negatif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{298,168 \times 10^6}{0,9 \times 400 \times 536^2} = 2,88289584 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 30}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,88289584}{0,85 \times 30}}\right) \\ &= 0,00730329 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0033333 < 0,00730329 < 0,025 \text{ (Diambil nilai } \rho)$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00730329 \times 400 \times 536 = 1565,82591 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{1565,82591}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 4,11915594 = 5 \text{ buah (} A_s = 1900,664 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 5 \times 22}{5 - 1} = 46 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

4. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{1900,664 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400} \\ &= 78,262617 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{78,262617}{0,8357143} = 93,647576 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{536 - 93,647576}{93,647576} \times 0,003 \\ &= 0,0141708\end{aligned}$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned}M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 1900,664 \times 420 \times \left(536 - \frac{78,262617}{2}\right) \\ &= 396639690 \text{ Nmm} = 396,639690 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 396,639690 \text{ kNm} \\ &= 356,97572 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$\phi M_n > M_u = 356,97572 > 298,168$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 5D22)

5. Tulangan Positif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.2, kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif pada muka joint tersebut.

$$\begin{aligned}M_u^+ &= 0,5 \times M_u^- \\ &= 0,5 \times 298,168 \\ &= 149,084 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, $M_u^+ = 298,168 \text{ kNm}$

Digunakan $M_u^+ = 298,168 \text{ kNm}$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{298,168 \times 10^6}{0,9 \times 400 \times 536^2} = 2,88289584 \text{ MPa}$$

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

$$= \frac{0,85 \times 30}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,88289584}{0,85 \times 30}} \right)$$

$$= 0,00730329$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0033333 < 0,00730329 < 0,025$ (Diambil nilai ρ)

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00730329 \times 400 \times 536 = 1565,82591 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2}$$

$$= \frac{1565,82591}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 4,11915594 = 5 \text{ buah (} A_s = 1900,664 \text{ mm}^2)$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 5 \times 22}{5 - 1} = 46 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

6. Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b}$$

$$= \frac{1900,664 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400}$$

$$= 78,262617 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{78,262617}{0,8357143} = 93,6475759 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{636 - 93,6475759}{93,6475759} \times 0,003$$

$$= 0,01417076$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 1900,664 \times 420 \times \left(536 - \frac{78,262617}{2}\right) \\
 &= 396639690 \text{ Nmm} = 396,639690 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\
 &= 0,9 \times 396,639690 \text{ kNm} \\
 &= 356,975721 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$\phi M_n > M_u = 356,975721 > 298,168$ (Rancangan Tulangan Aman,
Digunakan 5D22)

7. Tulangan Positif dan Negatif Lapangan

$\phi = 0,9$ (diasumsikan terkendali tarik)

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.2, Kekuatan momen negatif dan positif pada sebarang penampang disepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint.

$$\begin{aligned}
 M_u \text{ lapangan} &= 0,25 \times M_u^- \\
 &= 0,25 \times 166,939 \\
 &= 41,73375 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, $M_u^- \text{ lapangan} = 166,939 \text{ kNm}$

$$M_u^+ \text{ lapangan} = 166,939 \text{ kNm}$$

Digunakan $M_u^+ = 166,939 \text{ kNm}$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{166,939 \times 10^6}{0,9 \times 400 \times 536^2} = 1,614082495 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}}\right) \\
 &= \frac{0,85 \times 30}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,614082495}{0,85 \times 30}}\right) \\
 &= 0,003973049
 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} > \rho < \rho_{\max} = 0,003333 < 0,003973049 < 0,025$ (Diambil nilai

ρ)

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,003973049 \times 400 \times 536 = 851,8216257 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2}$$

$$= \frac{851,8216257}{0,25 \times \pi \times 22^2} = 2,240853262 = 3 \text{ buah (} A_s = 1140,398 \text{ mm}^2)$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{400 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 3 \times 22}{3 - 1} = 114 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

8. Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b}$$

$$= \frac{1140,398 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400}$$

$$= 46,95757019 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{46,95757019}{0,8357143} = 56,18854553 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{536 - 56,18854553}{56,18854553} \times 0,003$$

$$= 0,025617932$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

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

$$= 1140,398 \times 420 \times \left(536 - \frac{46,95757019}{2}\right)$$

$$= 24580859,4 \text{ Nmm} = 245,808594 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 245,808594 \text{ kNm}$$

$$= 220,9327735 \text{ kNm}$$

$\phi M_n > M_u = 220,9327735 > 166,939$ (Rancangan Tulangan Aman, Tetapi Untuk Memudahkan Pekerjaan Dilapangan Digunakan 5D22)

9. Tulangan Transversal

Mengacu pada SNI 2847:2019 R18.7.6.1.1 bahwa Kekuatan momen balok tersebut dihitung menggunakan faktor reduksi kekuatan 1,0 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif yang diambil paling tidak 1,25fy

Perhitungan M_{pr}^-

M_{pr}^- = Probable Moment

M_{pr}^- ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 5D22

($A_s = 1900,66 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} A_{pr}^- (-) &= \frac{1,25 \times A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 1900,66 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400} \\ &= 97,828271 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^- &= 1,25 \times A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^- (-)}{2} \right) \\ &= 1,25 \times 1900,66 \times 420 \times \left(536 - \frac{97,828271}{2} \right) \\ &= 48603783 \text{ Nmm} = 486,03783 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Perhitungan M_{pr}^+

M_{pr}^+ = Probable Moment

M_{pr}^+ ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan 5D22

($A_s = 1900,66 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} A_{pr}^- (-) &= \frac{1,25 \times A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 1900,66 \times 420}{0,85 \times 30 \times 400} \\ &= 97,828271 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mpr^+ &= 1,25 \times As \times Fy \times \left(d - \frac{apr-(-)}{2}\right) \\
 &= 1,25 \times 1900,66 \times 420 \times \left(536 - \frac{97,828271}{2}\right) \\
 &= 48603783 \text{ Nmm} = 486,03783 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

10. Gaya Geser Akibat Gaya Gravitasi

Berdasarkan analisis ETABS, didapati nilai $V_g = 59,7617 \text{ kN}$

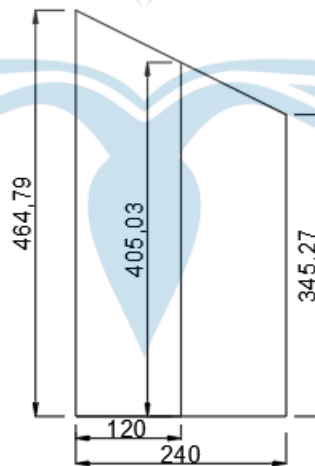
$$V_g = 59,7617 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_e &= \frac{Mpr^+ + Mpr^-}{ln} \\
 &= \frac{486,03783 + 486,03783}{2,4} = 405,03153 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ve1 &= V_e + V_g \\
 &= 405,03153 + 59,7617 = 464,79323 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ve2 &= V_e - V_g \\
 &= 405,03153 - 59,7617 = 345,26983 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan tulangan geser lapangan, ditentukan jarak tulangan geser dari muka kolom sebesar $2h$. Balok dengan tinggi (h) = 0,6 m, maka $2h = 1,2 \text{ m}$



Gambar 2. 32 Gaya Geser Balok Lift

11. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Daerah Tumpuan

$$V_u \text{ ETABS} = 274,9032 \text{ kN}$$

$$V_u = 464,79323 \text{ kN}$$

$$d = 536 \text{ mm}$$

Maka, nilai V_u yang digunakan = 464,79323 kN

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser. $V_c = 0$ jika $0,5 V_u < V_e$.

$$\begin{aligned} 0,5 \times V_u &= 0,5 \times 464,79323 \\ &= 232,39661 \text{ kN} < V_e (405,0315 \text{ kN}), \text{ maka } V_c = 0 \end{aligned}$$

V_c tidak perlu diperhitungkan, maka

$$V_c = 0 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{464,79323}{0,75} - 0 \\ &= 619,7243 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s\max} &= 0,66 \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 400 \times 536 \\ &= 775049,33 \text{ N} = 775,04933 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{s\max} > V_s = 775,04933 > 619,7243 \text{ (OK!)}$$

Direncanakan sengkang 3D13 ($A_s = 398,1969 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_s \times F_y \times d_s}{V_s} \\ &= \frac{398,1969 \times 420 \times 536}{619,724 \times 10^3} \\ &= 144,64832 \text{ mm} \end{aligned}$$

Ketentuan SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4 mengenai jarak sengkang pertama dari muka komponen struktur penumpu tidak lebih dari 50 mm, jarak sengkang tidak boleh lebih dari:

$$\begin{aligned} d/4 &= \frac{536}{4} \\ &= 134 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$6 \text{ kali diameter tulangan} = 6 \times 22 \\ = 132 \text{ mm}$$

Maka, digunakan tulangan 3D13-100

12. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Daerah Lapangan

$$V_u \text{ ETABS} = 274,9032 \text{ kN}$$

$$V_u = 405,03 \text{ kN}$$

$$d = 536 \text{ mm}$$

Maka, nilai V_u yang digunakan = 405,03 kN

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser. $V_c = 0$ jika $0,5 V_u < V_e$.

$$0,5 \times V_u = 0,5 \times 405,04$$

$$= 202,52 \text{ kN} < V_e (405,03153 \text{ kN}), \text{ maka } V_c = 0$$

V_c tidak perlu diperhitungkan, maka

$$V_c = 0 \text{ kN}$$

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

$$= \frac{405,04}{0,75} - 0$$

$$= 540,04 \text{ kN}$$

$$V_{s\max} = 0,66 \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s$$

$$= 0,66 \times \sqrt{30} \times 400 \times 536$$

$$= 775049,328 \text{ N}$$

$$= 775,049 \text{ kN}$$

$$V_{s\max} > V_s = 775,049 > 540,04 \text{ (OK!)}$$

Direncanakan sengkang 3D13 ($A_s = 398,19687 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_s \times F_y \times d_s}{V_s}$$

$$= \frac{398,19687 \times 420 \times 536}{540,04 \times 10^3}$$

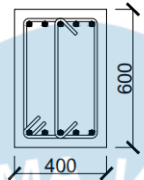
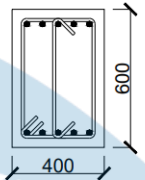
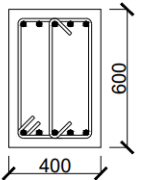
$$= 165,99155 \text{ mm}$$

Ketentuan SNI 2487:2019 pasal 18.14.2.2 mengenai spasi tidak melebihi $d/2$

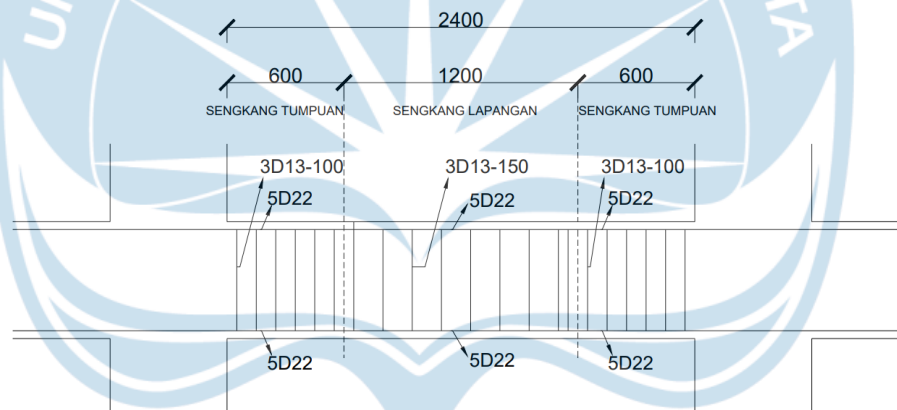
$$d/2 = \frac{536}{2}$$

$$= 268 \text{ mm}$$

Maka, digunakan tulangan 3D13-150

BALOK	TULANGAN		
	KIRI	TENGAH	KANAN
B LIFT			
UKURAN BALOK	400 x 600 mm		
BESI ATAS	5D22	5D22	5D22
BESI BAWAH	5D22	5D22	5D22
SENGKANG	3D13-100	3D13-150	3D13-100

Gambar 2. 33 Gambar Potongan Balok Lift 400x600 mm



Gambar 2. 34 Potongan Penulangan Balok Lift 400x600 mm

2.6.5 Data Perencanaan Balok Induk BI 2 (300x450mm) Bentang 5M

1. Lebar Balok (b) = 300 mm
2. Tinggi Balok (h) = 450 mm
3. Bentang Balok (l) = 5000 mm
4. Bentang Bersih (ln) = 4400 mm
5. Selimut Beton = 40 mm
6. Diameter Tulangan Deform = 19 mm
7. Diameter Tulangan Sengkang = 10 mm
8. Mutu Tulangan (Fy) = 420 Mpa

$$9. \text{ Mutu Beton (} F_c \text{)} = 25 \text{ Mpa}$$

Berdasarkan analisis dalam ETABS, didapatkan gaya dalam balok seperti tabel 2.14

Tabel 2. 14 Gaya Geser dan Momen Balok BI 2 300x450 Lantai 1

Gaya	Lokasi	
	Tumpuan	Lapangan
Mu +	107,361	47,6112
Mu -	107,361	47,6112
Vu	58,525	46,614

1. Pemeriksaan Ketentuan Balok

Sesuai dalam ketentuan dalam SNI 2847:2019 Pasal 9.3.3.1, komponen struktur harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Gaya aksial terfaktor P_u tidak boleh melebihi $A_g F'_c / 10$.

$$\begin{aligned} A_g &= bh \\ &= 300 \times 450 \\ &= 135000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g F'_c / 10 &= 135000 \times 25 / 10 \\ &= 337500 \text{ N} \\ &= 337,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, nilai $P_u = 0 \text{ kN}$, maka $P_u < A_g F'_c / 10$

- b. Bentang bersih komponen struktur, l_n tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya

$$\begin{aligned} l_n &\geq 4d \\ 4400 &\geq 4 \times 390,5 \\ 4400 &\geq 1562 \end{aligned}$$

c. Lebar komponen, bw tidak boleh kurang dari 0,3h dan 250 mm

$$300 \text{ mm} > 0,3 \times 450$$

$$300 \text{ mm} > 135 \text{ mm dan}$$

$$300 \text{ mm} > 250 \text{ mm}$$

2. Perhitungan Rasio Penulangan

Sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019, untuk memperhitungkan pmax dan pmin diatur sebagai berikut

$$d = 450 - 40 - 10 - 0,5 \times 19$$

$$d = 390,5 \text{ mm}$$

$$p_{\max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019)}$$

$$p_{\min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033333$$

$$p_{\min} = \frac{\sqrt{F_c}}{4 \times F_y} = \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} = 0,00298$$

$$\text{Digunakan } p_{\min} = 0,0033$$

3. Tulangan Negatif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{107,361 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 390,5^2} = 2,6075984 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,6075984}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,0066449 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0033333 < 0,0066449 < 0,025 \text{ (Diambil nilai } \rho)$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0066449 \times 300 \times 390,5 = 778,45272 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2}$$

$$= \frac{778,45272}{0,25 \times \pi \times 19^2} = 2,7455867 = 3 \text{ buah (} A_s = 850,586 \text{ mm}^2)$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{300 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 19}{3 - 1} = 71,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

4. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{850,586 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 56,038621 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{56,038621}{0,85} = 65,927789 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{390,5 - 65,927789}{65,927789} \times 0,003 \\ &= 0,0147694 \end{aligned}$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 850,586 \times 420 \times \left(390,5 - \frac{56,038621}{2}\right) \\ &= 129494852 \text{ Nmm} = 129,494852 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 129,494852 \text{ kNm} \\ &= 116,54537 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$\phi M_n > M_u = 116,54537 > 107,361$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 3D19)

5. Tulangan Positif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.2, kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif pada muka joint tersebut.

$$\begin{aligned} Mu^+ &= 0,5 \times Mu^- \\ &= 0,5 \times 107,361 \\ &= 53,6805 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, $Mu^+ = 107,361 \text{ kNm}$

Digunakan $Mu^+ = 107,361 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned} Rn &= \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{107,361 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 390,5^2} = 2,60759841 \text{ MPa} \\ \rho &= \frac{0,85 \times f'c}{fy} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,60759841}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,00664492 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0033333 < 0,00664492 < 0,025 \text{ (Diambil nilai)}$$

ρ)

$$\begin{aligned} As &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00664492 \times 300 \times 390,5 = 778,452723 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{As}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{778,452723}{0,25 \times \pi \times 19^2} = 2,74558668 = 3 \text{ buah (As = 850,586 mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{300 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 3 \times 19}{3 - 1} = 71,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

6. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times Fy}{0,85 \times F'c \times b} \\ &= \frac{850,586 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 56,038621 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{b1} \\ &= \frac{56,038621}{0,85} = 65,9277894 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{390,5 - 65,9277894}{65,9277894} \times 0,003 \\ &= 0,01476944 \end{aligned}$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned} Mn &= As \times Fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 850,586 \times 420 \times \left(390,5 - \frac{56,038621}{2}\right) \\ &= 129494852 \text{ Nmm} = 129,494852 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi Mn &= 0,9 \times Mn \\ &= 0,9 \times 129,494852 \text{ kNm} \\ &= 116,545367 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$\phi Mn > Mu = 116,545367 > 107,361$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 3D19)

7. Tulangan Positif dan Negatif Lapangan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.2, Kekuatan momen negatif dan positif pada sebarang penampang disepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint.

$$\begin{aligned} \text{Mu lapangan} &= 0,25 \times \text{Mu}^- \\ &= 0,25 \times 47,6112 \\ &= 11,9028 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, Mu^- lapangan = 47,6112 kNm

$$\text{Mu}^+ \text{ lapangan} = 47,6112 \text{ kNm}$$

Digunakan $\text{Mu}^+ = 47,6112 \text{ kNm}$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{47,6112 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 390,5^2} = 1,15638723 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,15638723}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,002832595 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} > \rho < \rho_{\max} = 0,003333 > 0,002832595 < 0,025 \text{ (Diambil nilai } \rho_{\min} \text{)}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,003333 \times 300 \times 390,5 = 390,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{390,5}{0,25 \times \pi \times 19^2} = 1,377285436 = 2 \text{ buah (} A_s = 567,057 \text{ mm}^2 \text{)} \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{300 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 2 \times 19}{2 - 1} = 162 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

8. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{567,057 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 37,35908064 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{37,35908064}{0,85} = 43,95185957 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{390,5 - 43,95185957}{43,95185957} \times 0,003$$

$$= 0,023654162$$

Karena $\varepsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

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

$$= 567,057 \times 420 \times \left(390,5 - \frac{37,35908064}{2}\right)$$

$$= 88554299,67 \text{ Nmm} = 88,55429967 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 88,55429967 \text{ kNm}$$

$$= 79,6988697 \text{ kNm}$$

$\phi M_n > M_u = 79,6988697 > 47,6112$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 2D19)

9. Tulangan Transversal

Mengacu pada SNI 2847:2019 R18.7.6.1.1 bahwa Kekuatan momen balok tersebut dihitung menggunakan faktor reduksi kekuatan 1,0 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif yang diambil paling tidak $1,25f_y$

Perhitungan M_{pr}

M_{pr} = Probable Moment

M_{pr} ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 3D19 ($A_s = 850,586 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 Apr^- (-) &= \frac{1,25 \times As \times Fy}{0,85 \times F'c \times b} \\
 &= \frac{1,25 \times 850,586 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\
 &= 70,048276 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mpr^- &= 1,25 \times As \times Fy \times \left(d - \frac{apr^-(-)}{2}\right) \\
 &= 1,25 \times 850,586 \times 420 \times \left(390,5 - \frac{70,048276}{2}\right) \\
 &= 158740505 \text{ Nmm} = 158,7405 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Mpr⁺

Mpr = Probable Moment

Mpr⁺ ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan 3D19

(As = 850,586 mm²)

$$\begin{aligned}
 Apr^- (-) &= \frac{1,25 \times As \times Fy}{0,85 \times F'c \times b} \\
 &= \frac{1,25 \times 850,586 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\
 &= 70,048276 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mpr^+ &= 1,25 \times As \times Fy \times \left(d - \frac{apr^-(-)}{2}\right) \\
 &= 1,25 \times 850,586 \times 420 \times \left(390,5 - \frac{70,048276}{2}\right) \\
 &= 158740505 \text{ Nmm} = 158,7405 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

10. Gaya Geser Akibat Gaya Gravitasi

Berdasarkan analisis ETABS, didapati nilai Vg = 76,4563 kN

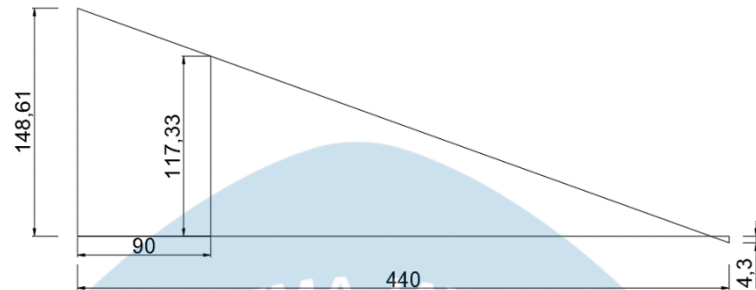
$$Vg = 76,4563 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 Ve &= \frac{Mpr^+ + Mpr^-}{ln} \\
 &= \frac{158,7405 + 158,7405}{4,4} = 72,154775 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ve1 &= Ve + Vg \\
 &= 72,154775 + 76,4563 = 148,61107 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ve2 &= Ve - Vg \\
 &= 72,154775 - 76,4563 = -4,301525 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan tulangan geser lapangan, ditentukan jarak tulangan geser dari muka kolom sebesar $2h$. Balok dengan tinggi (h) = 0,45 m, maka $2h = 0,9$ m



Gambar 2. 35 Gaya Geser Balok Induk BI 2

11. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Daerah Tumpuan

$$V_u \text{ ETABS} = 58,525 \text{ kN}$$

$$V_u = 148,61107 \text{ kN}$$

$$d = 390,5 \text{ mm}$$

Maka, nilai V_u yang digunakan = 148,61107 kN

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser. $V_c = 0$ jika $0,5 V_u < V_e$.

$$0,5 \times V_u = 0,5 \times 148,61107$$

$$= 74,305537 \text{ kN} > V_e (72,1548 \text{ kN}), \text{ maka } V_c \neq 0$$

V_c perlu diperhitungkan, maka

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s$$

$$= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 300 \times 390,5$$

$$= 99577,5 \text{ N} = 99,5775 \text{ kN}$$

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

$$= \frac{148,61107}{0,75} - 99,5775$$

$$= 98,5706 \text{ kN}$$

$$V_{smax} = 0,66 \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s$$

$$= 0,66 \times \sqrt{25} \times 300 \times 390,5$$

$$= 386595 \text{ N} \quad = 386,595 \text{ kN}$$

$$V_s \text{ max} > V_s = 386,595 > 98,5706 \text{ (OK!)}$$

Direncanakan sengkang 2D10 ($A_s = 157,08 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_s \times F_y \times d_s}{V_s} \\ &= \frac{157,08 \times 420 \times 390,5}{98,5706 \times 10^3} \\ &= 261,36222 \text{ mm} \end{aligned}$$

Ketentuan SNI 2487:2019 pasal 18.6.4.4 mengenai jarak sengkang pertama dari muka komponen struktur penumpu tidak lebih dari 50 mm, jarak sengkang tidak boleh lebih dari:

$$\begin{aligned} d/4 &= \frac{390,5}{4} \\ &= 97,625 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6 \text{ kali diameter tulangan} &= 6 \times 19 \\ &= 114 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan 2D10-75

12. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Daerah Lapangan

$$V_u \text{ ETABS} = 58,525 \text{ kN}$$

$$V_u = 117,333 \text{ kN}$$

$$d = 390,5 \text{ mm}$$

Maka, nilai V_u yang digunakan = 117,333 kN

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser. $V_c = 0$ jika $0,5 V_u < V_e$.

$$\begin{aligned} 0,5 \times V_u &= 0,5 \times 117,333 \\ &= 58,6665 \text{ kN} < V_e (72,154775 \text{ kN}), \text{ maka } V_c = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{117,333}{0,75} - 0 \\ &= 156,444 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{smax} &= 0,66 \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s \\
 &= 0,66 \times \sqrt{25} \times 300 \times 390,5 \\
 &= 386595 \text{ N} \qquad = 386,595 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_s \text{ max} > V_s = 386,595 > 156,444 \text{ (OK!)}$$

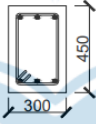
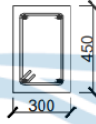
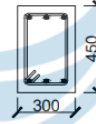
Direncanakan sengkang 2D10 ($A_s = 157,0796 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_s \times F_y \times d_s}{V_s} \\
 &= \frac{157,0796 \times 420 \times 390,5}{156,444 \times 10^3} \\
 &= 164,676373 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

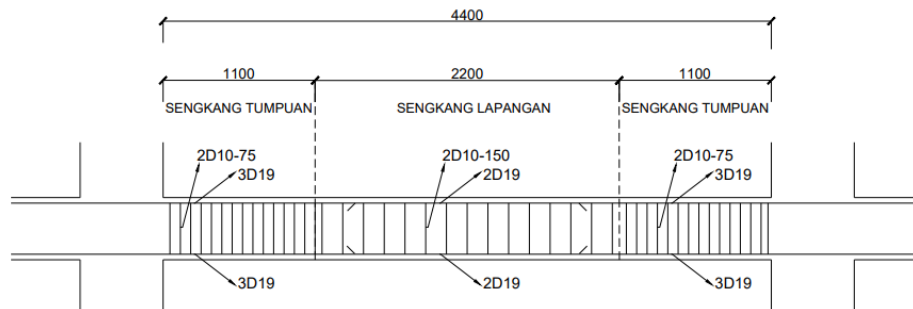
Ketentuan SNI 2487:2019 pasal 18.14.2.2 mengenai spasi tidak melebihi $d/2$

$$\begin{aligned}
 d/2 &= \frac{390,5}{2} \\
 &= 195,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan 2D10-150

BALOK	TULANGAN		
	KIRI	TENGAH	KANAN
BI 2			
UKURAN BALOK	300 x 450 mm		
BESI ATAS	3D19	2D19	3D19
BESI BAWAH	3D19	2D19	3D19
SENGKANG	2D10-75	2D10-150	2D10-75

Gambar 2. 36 Gambar Potongan Balok Induk B1 2 300x450 mm



Gambar 2. 37 Potongan Penulangan Balok Induk B1 2 300x450 mm

2.6.6 Data Perencanaan Balok Anak BA 2 (200x350mm) Bentang 5M

1. Lebar Balok (b) = 200 mm
2. Tinggi Balok (h) = 350 mm
3. Bentang Balok (l) = 5000 mm
4. Bentang Bersih (ln) = 4550 mm
5. Selimut Beton = 40 mm
6. Diameter Tulangan Deform = 13 mm
7. Diameter Tulangan Sengkang = 10 mm
8. Mutu Tulangan (Fy) = 420 Mpa
9. Mutu Beton (Fc) = 25 Mpa

Berdasarkan analisis dalam ETABS, didapatkan gaya dalam balok seperti tabel 2.15

Tabel 2. 15 Gaya Geser dan Momen Balok BA 2 200x350 Lantai 2

Gaya	Lokasi	
	Tumpuan	Lapangan
Mu +	18,9874	17,6294
Mu -	37,8573	8,9656
Vu	31,5851	18,0461

1. Pemeriksaan Ketentuan Balok

Sesuai dalam ketentuan dalam SNI 2847:2019 Pasal 9.3.3.1, komponen struktur harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Gaya aksial terfaktor Pu tidak boleh melebihi $AgF'c/10$.

$$\begin{aligned} Ag &= bh \\ &= 200 \times 350 \\ &= 70000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Agf'c/10 &= 70000 \times 25 / 10 \\ &= 175500 \text{ N} \\ &= 175,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, nilai Pu = 0 kN, maka Pu < AgF'c/10

- b. Bentang bersih komponen struktur, l_n tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya

$$l_n \geq 4d$$

$$74550 \geq 4 \times 293,5$$

$$4550 \geq 1174$$

- c. Lebar komponen, b_w tidak boleh kurang dari $0,3h$

$$200 \text{ mm} > 0,3 \times 350$$

$$200 \text{ mm} > 105 \text{ mm}$$

2. Perhitungan Rasio Penulangan

Sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019, untuk memperhitungkan p_{max} dan p_{min} diatur sebagai berikut

$$d = 350 - 40 - 13 - 0,5 \times 10$$

$$d = 293,5 \text{ mm}$$

$$p_{max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019)}$$

$$p_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033333$$

$$p_{min} = \frac{\sqrt{F_c}}{4 \times F_y} = \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} = 0,00298$$

Digunakan $p_{min} = 0,0033$

3. Tulangan Negatif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{37,8573 \times 10^6}{0,9 \times 200 \times 293,5^2} = 2,441523565 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,441523565}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,006192056 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,0033333 < 0,006192056 < 0,025$ (Diambil nilai ρ)

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,006192056 \times 200 \times 293,5 = 363,4736972 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{363,4736972}{0,25 \times \pi \times 13^2} = 2,728396952 \quad = 3 \text{ buah (As = 398,1969} \end{aligned}$$

mm²)

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{200 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 3 \times 10}{3 - 1} = 30,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

4. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{398,1969 \times 420}{0,85 \times 25 \times 200} \\ &= 39,35121998 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{b_1} \\ &= \frac{39,35121998}{0,85} = 46,29555292 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{293,5 - 46,29555292}{46,29555292} \times 0,003 \\ &= 0,016019105 \end{aligned}$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 398,1969 \times 420 \times \left(293,5 - \frac{39,35121998}{2}\right) \\ &= 45795126,18 \text{ Nmm} = 45,79512618 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 45,79512618 \text{ kNm} \\ &= 41,21561356 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$\phi M_n > M_u = 41,21561356 > 37,8573$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 3D13)

5. Tulangan Positif Tumpuan

$\phi = 0,9$ (diasumsikan terkendali tarik)

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.2, kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif pada muka joint tersebut.

$$\begin{aligned}M_u^+ &= 0,5 \times M_u^- \\ &= 0,5 \times 37,8573 \\ &= 18,92865 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, $M_u^+ = 18,92865 \text{ kNm}$

Digunakan $M_u^+ = 18,92865 \text{ kNm}$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{18,92865 \times 10^6}{0,9 \times 200 \times 293,5^2} = 1,224550735 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,224550735}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,003004824\end{aligned}$$

$\rho_{\min} > \rho < \rho_{\max} = 0,0033333 > 0,003004824 < 0,025$ (Diambil nilai ρ_{\min})

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0033333 \times 200 \times 293,5 = 195,67 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{195,67}{0,25 \times \pi \times 13^2} = 1,474145193 = 2 \text{ buah (} A_s = 265,465 \text{ mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{200 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 2 \times 13}{2 - 1} = 74 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

6. Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b}$$

$$= \frac{265,465 \times 420}{0,85 \times 25 \times 200}$$

$$= 26,23414665 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{26,23414665}{0,85} = 30,86370194 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{293,5 - 30,86370194}{30,86370194} \times 0,003$$

$$= 0,025528658$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

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

$$= 265,465 \times 420 \times \left(293,5 - \frac{26,23414665}{2}\right)$$

$$= 31261328,97 \text{ Nmm} = 31,26132897 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 31,26132897 \text{ kNm}$$

$$= 28,135196608 \text{ kNm}$$

$\phi M_n > M_u = 28,135196608 > 18,9874$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 2D13)

7. Tulangan Positif dan Negatif Lapangan

$\phi = 0,9$ (diasumsikan terkendali tarik)

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.2, Kekuatan momen negatif dan positif pada sebarang penampang disepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint.

$$\begin{aligned} \text{Mu lapangan} &= 0,25 \times \text{Mu}^- \\ &= 0,25 \times 8,9656 \\ &= 2,2414 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, Mu^- lapangan = 8,9656 kNm

$$\text{Mu}^+ \text{ lapangan} = 17,6294 \text{ kNm}$$

Digunakan $\text{Mu}^+ = 17,6294 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{17,6294 \times 10^6}{0,9 \times 200 \times 293,5^2} = 1,136969502 \text{ MPa} \\ \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,136969502}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,002783645 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} > \rho < \rho_{\max} = 0,003333 > 0,002783645 < 0,025$ (Diambil nilai ρ_{\min})

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,003333 \times 200 \times 293,5 = 195,67 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{195,67}{0,25 \times \pi \times 13^2} = 1,474145193 = 2 \text{ buah (} A_s = 265,4646 \text{ mm}^2 \text{)} \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{200 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 2 \times 13}{2 - 1} = 74 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

8. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times Fy}{0,85 \times F'c \times b} \\ &= \frac{265,4646 \times 420}{0,85 \times 25 \times 200} \\ &= 26,23424665 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{26,23424665}{0,85} = 30,86370194 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{293,5 - 30,86370194}{30,86370194} \times 0,003 \\ &= 0,025528658 \end{aligned}$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned} Mn &= As \times Fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 265,4646 \times 420 \times \left(293,5 - \frac{26,23424665}{2}\right) \\ &= 31261328,97 \text{ Nmm} = 31,26132897 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi Mn &= 0,9 \times Mn \\ &= 0,9 \times 31,26132897 \text{ kNm} \\ &= 28,13519608 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$\phi Mn > Mu = 28,13519608 > 17,6294$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 2D13)

9. Tulangan Transversal

Mengacu pada SNI 2847:2019 R18.7.6.1.1 bahwa Kekuatan momen balok tersebut dihitung menggunakan faktor reduksi kekuatan 1,0 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif yang diambil paling tidak $1,25f_y$

Perhitungan M_{pr}^-

M_{pr} = Probable Moment

M_{pr}^- ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 3D13

($A_s = 398,197 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} A_{pr}^- (-) &= \frac{1,25 \times A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 398,1969 \times 420}{0,85 \times 25 \times 200} \\ &= 49,18902497 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^- &= 1,25 \times A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^- (-)}{2} \right) \\ &= 1,25 \times 398,1969 \times 420 \times \left(293,5 - \frac{49,18902497}{2} \right) \\ &= 56215596,65 \text{ Nmm} = 56,21559665 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Perhitungan M_{pr}^+

M_{pr} = Probable Moment

M_{pr}^+ ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan 2D13

($A_s = 265,465 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} A_{pr}^+ (-) &= \frac{1,25 \times A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 265,465 \times 420}{0,85 \times 25 \times 200} \\ &= 32,39368332 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^+ &= 1,25 \times A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^+ (-)}{2} \right) \\ &= 1,25 \times 265,465 \times 420 \times \left(293,5 - \frac{32,39368332}{2} \right) \\ &= 38619633,18 \text{ Nmm} = 38,61963318 \text{ kNm} \end{aligned}$$

10. Gaya Geser Akibat Gaya Gravitasi

Berdasarkan analisis ETABS, didapati nilai $V_g = 42,5465 \text{ kN}$

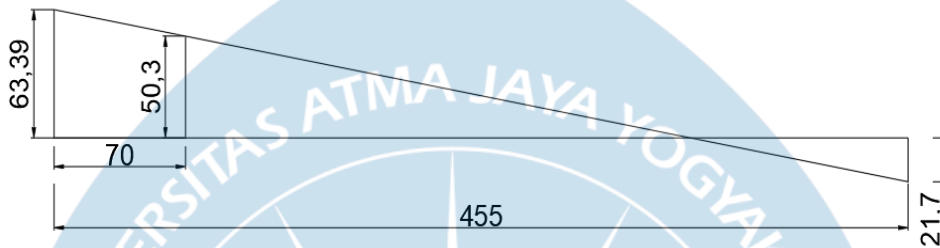
$$V_g = 42,5465 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_n} \\ &= \frac{38,61963318 + 56,21559665}{4,55} = 20,84290722 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{e1} &= V_e + V_g \\
 &= 20,84290722 + 42,5465 = 63,38940772 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{e2} &= V_e - V_g \\
 &= 20,84290722 - 42,5465 = -21,7035928 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan tulangan geser lapangan, ditentukan jarak tulangan geser dari muka kolom sebesar $2h$. Balok dengan tinggi (h) = 0,35 m, maka $2h = 0,7$ m



Gambar 2. 38 Gaya Geser Balok Anak BA 2

11. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Daerah Tumpuan

$$\begin{aligned}
 V_u \text{ ETABS} &= 31,5851 \text{ kN} \\
 V_u &= 63,38940722 \text{ kN} \\
 d &= 293,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, nilai V_u yang digunakan = 63,38940722 kN

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser. $V_c = 0$ jika $0,5 V_u < V_e$.

$$\begin{aligned}
 0,5 \times V_u &= 0,5 \times 63,38940722 \\
 &= 31,69470361 \text{ kN} > V_e (20,84291 \text{ kN}), \text{ maka } V_c \neq 0
 \end{aligned}$$

V_c perlu diperhitungkan, maka

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 200 \times 293,5 \\
 &= 49895 \text{ N} = 49,895 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{63,38940722}{0,75} - 49,895 \\
 &= 34,62420962 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{smax} &= 0,66 \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s \\
 &= 0,66 \times \sqrt{25} \times 200 \times 293,5 \\
 &= 193710 \text{ N} = 193,71 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_s \text{ max} > V_s = 193,71 > 34,62421 \text{ (OK!)}$$

Direncanakan sengkang 2D10 ($A_s = 157,08 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_s \times F_y \times d_s}{V_s} \\
 &= \frac{157,08 \times 420 \times 293,5}{34,62420962 \times 10^3} \\
 &= 340,34918 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Ketentuan SNI 2487:2019 pasal 18.6.4.4 mengenai jarak sengkang pertama dari muka komponen struktur penumpu tidak lebih dari 50 mm, jarak sengkang tidak boleh lebih dari:

$$\begin{aligned}
 d/4 &= \frac{293,5}{4} \\
 &= 73,375 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6 \text{ kali diameter tulangan} &= 6 \times 13 \\
 &= 78 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan 2D10-50

12. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Daerah Lapangan

$$V_u \text{ ETABS} = 31,5851 \text{ kN}$$

$$V_u = 50,3 \text{ kN}$$

$$d = 293,5 \text{ mm}$$

Maka, nilai V_u yang digunakan = 50,3 kN

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser. $V_c = 0$ jika $0,5 V_u < V_e$.

$$0,5 \times V_u = 0,5 \times 50,3$$

$$= 25,15 \text{ kN} > V_e (20,84290772 \text{ kN}), \text{ maka } V_c \neq 0$$

V_c perlu diperhitungkan, maka

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s$$

$$= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 200 \times 293,5$$

$$= 49895 \text{ N} = 49,895 \text{ kN}$$

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

$$= \frac{50,3}{0,75} - 49,895$$

$$= 17,1716667 \text{ kN}$$

$$V_{smax} = 0,66 \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s$$

$$= 0,66 \times \sqrt{25} \times 200 \times 293,5$$

$$= 193710 \text{ N} = 193,71 \text{ kN}$$

$$V_{smax} > V_s = 193,71 > 17,171667 \text{ (OK!)}$$

Direncanakan sengkang 2D10 ($A_s = 157,0796 \text{ mm}^2$)

$$S = \frac{A_s \times F_y \times d_s}{V_s}$$

$$= \frac{157,0796 \times 420 \times 293,5}{17,1716667 \times 10^3}$$

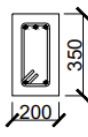
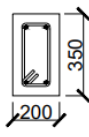
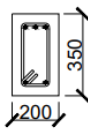
$$= 1127,62533 \text{ mm}$$

Ketentuan SNI 2487:2019 pasal 18.14.2.2 mengenai spasi tidak melebihi $d/2$

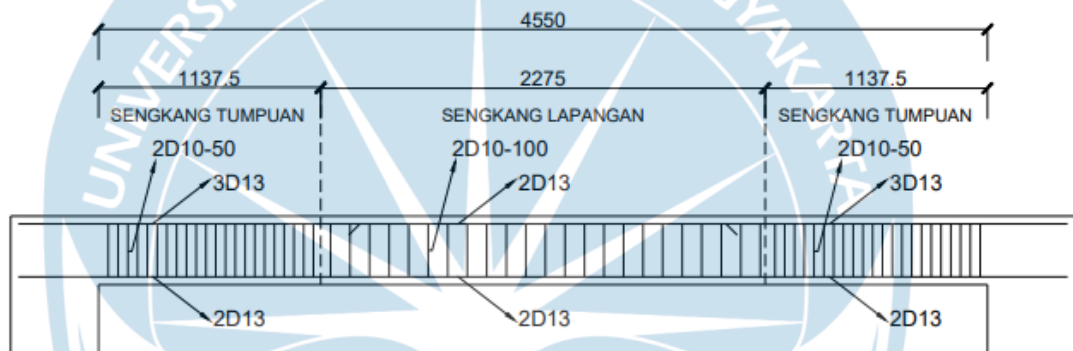
$$d/2 = \frac{293,5}{2}$$

$$= 146,75 \text{ mm}$$

Maka, digunakan tulangan 2D10-100

BALOK	TULANGAN		
	KIRI	TENGAH	KANAN
BA 2			
UKURAN BALOK	200 x 350 mm		
BESI ATAS	3D13	2D13	3D13
BESI BAWAH	2D13	2D13	2D13
SENGKANG	2D10-50	2D10-100	2D10-50

Gambar 2. 39 Gambar Potongan Balok Anak BA 2 200x350 mm



Gambar 2. 40 Potongan Penulangan Balok Anak BA 2 200x350 mm

2.6.7 Data Perencanaan Balok Anak BA 1 (300x550mm) Bentang 8M

- | | |
|-------------------------------|-----------|
| 1. Lebar Balok (b) | = 300 mm |
| 2. Tinggi Balok (h) | = 550 mm |
| 3. Bentang Balok (l) | = 8000 mm |
| 4. Bentang Bersih (ln) | = 7550 mm |
| 5. Selimut Beton | = 40 mm |
| 6. Diameter Tulangan Deform | = 19 mm |
| 7. Diameter Tulangan Sengkang | = 10 mm |
| 8. Mutu Tulangan (Fy) | = 420 Mpa |
| 9. Mutu Beton (Fc) | = 25 Mpa |

Berdasarkan analisis dalam ETABS, didapatkan gaya dalam balok seperti tabel 2.16

Tabel 2. 16 Gaya Geser dan Momen Balok BA 1 300x550 Lantai 2

Gaya	Lokasi	
	Tumpuan	Lapangan
Mu +	60,4854	77,593
Mu -	133,719	33,7797
Vu	85,4087	66,6741

1. Pemeriksaan Ketentuan Balok

Sesuai dalam ketentuan dalam SNI 2847:2019 Pasal 9.3.3.1, komponen struktur harus memenuhi syarat sebagai berikut:

a. Gaya aksial terfaktor P_u tidak boleh melebihi $A_g F'_c / 10$.

$$\begin{aligned}
 A_g &= bh \\
 &= 300 \times 550 \\
 &= 165000 \text{ mm}^2 \\
 A_g F'_c / 10 &= 165000 \times 25 / 10 \\
 &= 412500 \text{ N} \\
 &= 412,5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, nilai $P_u = 0 \text{ kN}$, maka $P_u < A_g F'_c / 10$

b. Bentang bersih komponen struktur, l_n tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya

$$\begin{aligned}
 l_n &\geq 4d \\
 7550 &\geq 4 \times 490,5 \\
 7550 &\geq 1962
 \end{aligned}$$

c. Lebar komponen, b_w tidak boleh kurang dari $0,3h$ dan 250 mm

$$\begin{aligned}
 300 \text{ mm} &> 0,3 \times 550 \\
 300 \text{ mm} &> 165 \text{ mm} \text{ dan} \\
 300 \text{ mm} &> 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Rasio Penulangan

Sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019, untuk memperhitungkan p_{max} dan p_{min} diatur sebagai berikut

$$d = 550 - 40 - 19 - 0,5 \times 10$$

$$d = 490,5 \text{ mm}$$

$$p_{max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019)}$$

$$p_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033333$$

$$p_{min} = \frac{\sqrt{F_c}}{4 \times F_y} = \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} = 0,00298$$

Digunakan $p_{min} = 0,0033$

3. Tulangan Negatif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{133,719 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 490,5^2} = 2,05850219 \text{ MPa}$$

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

$$= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,05850219}{0,85 \times 25}}\right)$$

$$= 0,00516481$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0033333 < 0,00516481 < 0,025 \text{ (Diambil nilai)}$$

ρ)

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,00516481 \times 300 \times 490,5 = 760,001798 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2}$$

$$= \frac{760,001798}{0,25 \times \pi \times 19^2} = 2,68051065 = 3 \text{ buah (} A_s = 850,586 \text{ mm}^2)$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{300 - 2 \times 40 - 2 \times 19 - 3 \times 10}{3 - 1} = 71,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

4. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times Fy}{0,85 \times F'c \times b} \\ &= \frac{850,586 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 56,038621 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{56,038621}{0,85} = 65,9277894 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{490,5 - 65,9277894}{65,9277894} \times 0,003 \\ &= 0,019311987 \end{aligned}$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned} Mn &= As \times Fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 850,586 \times 420 \times \left(490,5 - \frac{56,038621}{2}\right) \\ &= 165219473 \text{ Nmm} = 165,219473 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi Mn &= 0,9 \times Mn \\ &= 0,9 \times 165,219473 \text{ kNm} \\ &= 148,697526 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$\phi Mn > Mu = 148,697526 > 133,719$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 3D19)

5. Tulangan Positif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.2, kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif pada muka joint tersebut.

$$\begin{aligned} \text{Mu}^+ &= 0,5 \times \text{Mu}^- \\ &= 0,5 \times 133,719 \\ &= 66,8595 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, $\text{Mu}^+ = 60,4854 \text{ kNm}$

Digunakan $\text{Mu}^+ = 66,8595 \text{ kNm}$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{66,8595 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 490,5^2} = 1,02925109 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,02925109}{0,85 \times 25}} \right) \\ &= 0,00251301 \end{aligned}$$

$\rho_{\min} > \rho < \rho_{\max} = 0,0033333 > 0,00251301 < 0,025$ (Diambil nilai ρ_{\min})

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0033333 \times 300 \times 490,5 = 490,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{490,5}{0,25 \times \pi \times 19^2} = 1,72998337 = 2 \text{ buah (} A_s = 567,057 \text{ mm}^2 \text{)} \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{300 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 2 \times 19}{2 - 1} = 162 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

6. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{567,057 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 37,3590806 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{37,3590806}{0,85} = 43,9518596 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{409,5 - 43,9518596}{43,9518596} \times 0,003$$

$$= 0,03047981$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

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

$$= 567,057 \times 420 \times \left(490,5 - \frac{37,3590806}{2}\right)$$

$$= 112370714 \text{ Nmm} = 112,370714 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 112,370714 \text{ kNm}$$

$$= 101,133642 \text{ kNm}$$

$\phi M_n > M_u = 101,133642 > 66,8595$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 2D19)

7. Tulangan Positif dan Negatif Lapangan

$\phi = 0,9$ (diasumsikan terkendali tarik)

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.2, Kekuatan momen negatif dan positif pada sebarang penampang disepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint.

$$M_u \text{ lapangan} = 0,25 \times M_u^-$$

$$= 0,25 \times 33,7797$$

$$= 8,444925 \text{ kNm}$$

Berdasarkan analisis ETABS, $M_u^- \text{ lapangan} = 33,7797 \text{ kNm}$

$$M_u^+ \text{ lapangan} = 77,593 \text{ kNm}$$

Digunakan $M_u^+ = 77,593 \text{ kNm}$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{77,593 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 490,5^2} = 1,194486153 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85 \times f'c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,194486153}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,002928781\end{aligned}$$

$\rho_{\min} > \rho < \rho_{\max} = 0,003333 > 0,002928781 < 0,025$ (Diambil nilai ρ_{\min})

$$\begin{aligned}A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,003333 \times 300 \times 490,5 = 490,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n &= \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{490,5}{0,25 \times \pi \times 19^2} = 1,72998337 = 2 \text{ buah (} A_s = 567,057 \text{ mm}^2\text{)}\end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{300 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 2 \times 19}{2 - 1} = 162 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

8. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'c \times b} \\ &= \frac{567,057 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 37,35908064 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{37,35908064}{0,85} = 43,95185957 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{490,5 - 43,95185957}{43,95185957} \times 0,003 \\ &= 0,030479812\end{aligned}$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned}
M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
&= 567,057 \times 420 \times \left(490,5 - \frac{37,35908064}{2}\right) \\
&= 112370713,6 \text{ Nmm} = 112,3707136 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi M_n &= 0,9 \times M_n \\
&= 0,9 \times 112,3707136 \text{ kNm} \\
&= 101,1336422 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$\phi M_n > M_u = 101,1336422 > 77,593$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 2D19)

9. Tulangan Transversal

Mengacu pada SNI 2847:2019 R18.7.6.1.1 bahwa Kekuatan momen balok tersebut dihitung menggunakan faktor reduksi kekuatan 1,0 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif yang diambil paling tidak $1,25f_y$

Perhitungan M_{pr}^-

M_{pr} = Probable Moment

M_{pr}^- ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 3D19 ($A_s = 850,586 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
a_{pr}^- (-) &= \frac{1,25 \times A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\
&= \frac{1,25 \times 850,586 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\
&= 70,0482762 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{pr}^- &= 1,25 \times A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a_{pr}^- (-)}{2}\right) \\
&= 1,25 \times 850,586 \times 420 \times \left(490,5 - \frac{70,0482762}{2}\right) \\
&= 203396281 \text{ Nmm} = 203,396281 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Perhitungan M_{pr}^+

M_{pr} = Probable Moment

M_{pr}^+ ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan 2D19

$$(A_s = 567,057 \text{ mm}^2)$$

$$\begin{aligned} \text{Apr}^- (-) &= \frac{1,25 \times A_s \times F_y}{0,85 \times F'c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 567,057 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 46,6988508 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mpr}^+ &= 1,25 \times A_s \times F_y \times \left(d - \frac{\text{apr}^- (-)}{2}\right) \\ &= 1,25 \times 567,057 \times 420 \times \left(490,5 - \frac{46,6988508}{2}\right) \\ &= 13973143 \text{ Nmm} = 139,73143 \text{ kNm} \end{aligned}$$

10. Gaya Geser Akibat Gaya Gravitasi

Berdasarkan analisis ETABS, didapati nilai $V_g = 119,757 \text{ kN}$

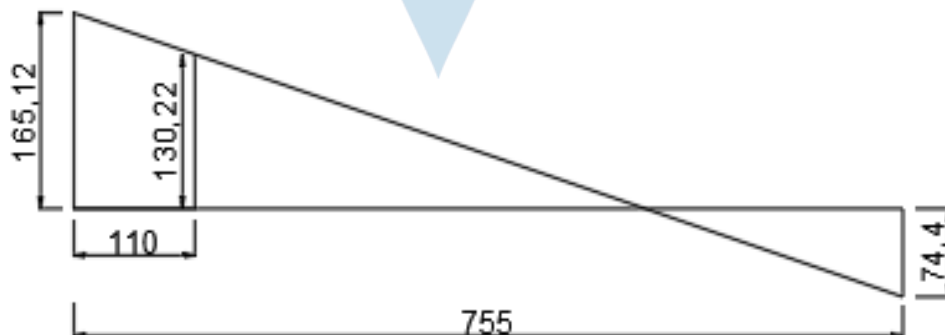
$$V_g = 119,757 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{l_n} \\ &= \frac{139,73143 + 203,396281}{7,55} = 45,3601886 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{e1} &= V_e + V_g \\ &= 45,3601886 + 119,757 = 165,117189 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{e2} &= V_e - V_g \\ &= 45,3601886 - 119,757 = -74,3968114 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk menentukan tulangan geser lapangan, ditentukan jarak tulangan geser dari muka kolom sebesar $2h$. Balok dengan tinggi (h) = 0,55 m, maka $2h = 1,1 \text{ m}$



Gambar 2. 41 Gaya Geser Balok Anak BA 1

11. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Daerah Tumpuan

$$V_u \text{ ETABS} = 85,4087 \text{ kN}$$

$$V_u = 165,117189 \text{ kN}$$

$$d = 490,5 \text{ mm}$$

Maka, nilai V_u yang digunakan = 165,117189 kN

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser. $V_c = 0$ jika $0,5 V_u < V_e$.

$$\begin{aligned} 0,5 \times V_u &= 0,5 \times 165,117189 \\ &= 82,5585943 \text{ kN} > V_e (45,3602 \text{ kN}), \text{ maka } V_c \neq 0 \end{aligned}$$

V_c perlu diperhitungkan, maka

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 300 \times 490,5 \\ &= 125077,5 \text{ N} = 125,0775 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{165,117189}{0,75} - 125,0775 \\ &= 95,0787515 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s\max} &= 0,66 \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s \\ &= 0,66 \times \sqrt{25} \times 300 \times 490,5 \\ &= 485595 \text{ N} = 485,595 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{s\max} > V_s = 485,595 > 95,0788 \text{ (OK!)}$$

Direncanakan sengkang 2D10 ($A_s = 157,08 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_s \times F_y \times d_s}{V_s} \\ &= \frac{157,08 \times 420 \times 490,5}{95,0787515 \times 10^3} \\ &= 340,34918 \text{ mm} \end{aligned}$$

Ketentuan SNI 2487:2019 pasal 18.6.4.4 mengenai jarak sengkang pertama dari muka komponen struktur penumpu tidak lebih dari 50 mm, jarak sengkang tidak boleh lebih dari:

$$\begin{aligned} d/4 &= \frac{490,5}{4} \\ &= 122,625 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6 \text{ kali diameter tulangan} &= 6 \times 19 \\
 &= 114 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan 2D10-100

12. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Daerah Lapangan

$$V_u \text{ ETABS} = 85,4087 \text{ kN}$$

$$V_u = 130,223 \text{ kN}$$

$$d = 490,5 \text{ mm}$$

Maka, nilai V_u yang digunakan = 130,223 kN

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser. $V_c = 0$ jika $0,5 V_u < V_e$.

$$\begin{aligned}
 0,5 \times V_u &= 0,5 \times 130,223 \\
 &= 65,1115 \text{ kN} > V_e (45,3601886 \text{ kN}), \text{ maka } V_c \neq 0
 \end{aligned}$$

V_c perlu diperhitungkan, maka

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 300 \times 490,5 \\
 &= 125077,5 \text{ N} = 125,0775 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\
 &= \frac{130,223}{0,75} - 125,0775 \\
 &= 48,5531667 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{smax} &= 0,66 \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s \\
 &= 0,66 \times \sqrt{25} \times 300 \times 490,5 \\
 &= 485595 \text{ N} = 495,595 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$V_s \text{ max} > V_s = 495,595 > 48,5532$ (OK!)

Direncanakan sengkang 2D10 ($A_s = 157,0796 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_s \times F_y \times d_s}{V_s} \\
 &= \frac{157,0796 \times 420 \times 490,5}{48,5531667 \times 10^3}
 \end{aligned}$$

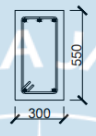
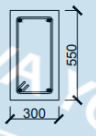
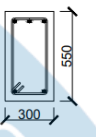
$$= 666,485367 \text{ mm}$$

Ketentuan SNI 2487:2019 pasal 18.14.2.2 mengenai spasi tidak melebihi $d/2$

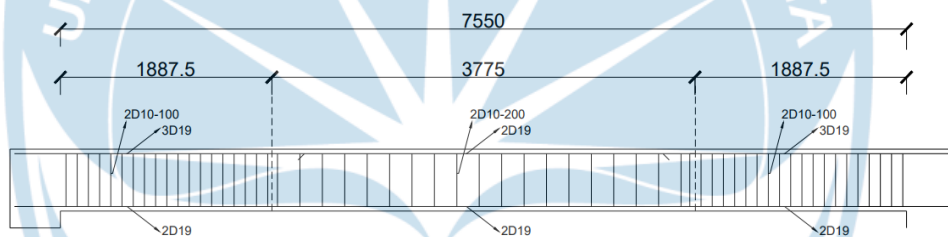
$$d/2 = \frac{490,5}{2}$$

$$= 245,25 \text{ mm}$$

Maka, digunakan tulangan 2D10-200

BALOK	TULANGAN		
	KIRI	TENGAH	KANAN
BA 1			
UKURAN BALOK	300 x 550 mm		
BESI ATAS	3D19	2D19	3D19
BESI BAWAH	2D19	2D19	2D19
SENGKANG	2D10-100	2D10-200	2D10-100

Gambar 2. 42 Gambar Potongan Balok Anak BA 1 300x550 mm



Gambar 2. 43 Potongan Penulangan Balok Anak BA 1 300x550 mm

2.6.8 Data Perencanaan Balok Anak BA1 (300x550mm) Bentang 9M

1. Lebar Balok (b) = 300 mm
2. Tinggi Balok (h) = 550 mm
3. Bentang Balok (l) = 9000 mm
4. Bentang Bersih (ln) = 8550 mm
5. Selimut Beton = 40 mm
6. Diameter Tulangan Deform = 19 mm
7. Diameter Tulangan Sengkang = 10 mm
8. Mutu Tulangan (F_y) = 420 Mpa
9. Mutu Beton (F_c) = 25 Mpa

Berdasarkan analisis dalam ETABS, didapatkan gaya dalam balok seperti tabel 2.17

Tabel 2. 17 Gaya Geser dan Momen Balok BA 300x550 Lantai 2

Gaya	Lokasi	
	Tumpuan	Lapangan
Mu +	48,572	99,1792
Mu -	133,8406	24,4624
Vu	88,1301	46,3936

1. Pemeriksaan Ketentuan Balok

Sesuai dalam ketentuan dalam SNI 2847:2019 Pasal 9.3.3.1, komponen struktur harus memenuhi syarat sebagai berikut:

a. Gaya aksial terfaktor P_u tidak boleh melebihi $A_g F'_c / 10$.

$$\begin{aligned} A_g &= bh \\ &= 300 \times 550 \\ &= 165000 \text{ mm}^2 \\ A_g F'_c / 10 &= 165000 \times 25 / 10 \\ &= 412500 \text{ N} \\ &= 412,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, nilai $P_u = 0 \text{ kN}$, maka $P_u < A_g F'_c / 10$

b. Bentang bersih komponen struktur, l_n tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya

$$\begin{aligned} l_n &\geq 4d \\ 8550 &\geq 4 \times 490,5 \\ 8550 &\geq 1962 \end{aligned}$$

c. Lebar komponen, b_w tidak boleh kurang dari $0,3h$ dan 250 mm

$$\begin{aligned} 300 \text{ mm} &> 0,3 \times 550 \\ 300 \text{ mm} &> 165 \text{ mm} \text{ dan} \\ 300 \text{ mm} &> 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Rasio Penulangan

Sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019, untuk memperhitungkan p_{max} dan p_{min} diatur sebagai berikut

$$d = 550 - 40 - 19 - 0,5 \times 10$$

$$d = 490,5 \text{ mm}$$

$$p_{max} = 0,025 \text{ (SNI 2847:2019)}$$

$$p_{min} = \frac{1,4}{F_y} = \frac{1,4}{420} = 0,0033333$$

$$p_{min} = \frac{\sqrt{F_c}}{4 \times F_y} = \frac{\sqrt{25}}{4 \times 420} = 0,00298$$

$$\text{Digunakan } p_{min} = 0,0033$$

3. Tulangan Negatif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

$$R_n = \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} = \frac{133,8406 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 490,5^2} = 2,060374125 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 2,060374125}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,005169774 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} = 0,0033333 < 0,005169774 < 0,025 \text{ (Diambil nilai}$$

ρ)

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= 0,005169774 \times 300 \times 490,5 = 760,7322458 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2}$$

$$= \frac{760,7322458}{0,25 \times \pi \times 19^2} = 2,68308692 = 3 \text{ buah (} A_s = 850,586 \text{ mm}^2)$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{300 - 2 \times 40 - 2 \times 19 - 3 \times 10}{3 - 1} = 71,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

4. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times Fy}{0,85 \times F'c \times b} \\ &= \frac{850,586 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 56,038621 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{56,038621}{0,85} = 65,9277894 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{490,5 - 65,9277894}{65,9277894} \times 0,003 \\ &= 0,019311987 \end{aligned}$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned} Mn &= As \times Fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 850,586 \times 420 \times \left(490,5 - \frac{56,038621}{2}\right) \\ &= 165219473 \text{ Nmm} = 165,219473 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi Mn &= 0,9 \times Mn \\ &= 0,9 \times 165,219473 \text{ kNm} \\ &= 148,697526 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$\phi Mn > Mu = 148,697526 > 133,8406$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 3D19)

5. Tulangan Positif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.2, kekuatan momen positif pada muka joint harus tidak kurang dari setengah kekuatan momen negatif pada muka joint tersebut.

$$\begin{aligned} \text{Mu}^+ &= 0,5 \times \text{Mu}^- \\ &= 0,5 \times 133,8406 \\ &= 66,9203 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, $\text{Mu}^+ = 48572 \text{ kNm}$

Digunakan $\text{Mu}^+ = 66,9203 \text{ kNm}$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{66,9203 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 490,5^2} = 1,030187063 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,030187063}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,002515352 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} > \rho < \rho_{\max} = 0,0033333 > 0,002515352 < 0,025 \text{ (Diambil nilai } \rho_{\min})$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0033333 \times 300 \times 490,5 = 490,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{490,5}{0,25 \times \pi \times 19^2} = 1,72998337 = 2 \text{ buah (} A_s = 567,057 \text{ mm}^2) \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{300 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 2 \times 19}{2 - 1} = 162 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

6. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{567,057 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 37,3590806 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{37,3590806}{0,85} = 43,9518596 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
&= \frac{409,5 - 43,9518596}{43,9518596} \times 0,003 \\
&= 0,03047981
\end{aligned}$$

Karena $\varepsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned}
M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
&= 567,057 \times 420 \times \left(490,5 - \frac{37,3590806}{2}\right) \\
&= 112370714 \text{ Nmm} = 112,370714 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi M_n &= 0,9 \times M_n \\
&= 0,9 \times 112,370714 \text{ kNm} \\
&= 101,133642 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$\phi M_n > M_u = 101,133642 > 66,9203$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 2D19)

7. Tulangan Positif dan Negatif Lapangan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pada pasal 18.6.3.2, Kekuatan momen negatif dan positif pada sebarang penampang disepanjang bentang komponen struktur tidak boleh kurang dari seperempat kekuatan momen maksimum pada muka kedua joint.

$$\begin{aligned}
M_u \text{ lapangan} &= 0,25 \times M_u^- \\
&= 0,25 \times 24,4624 \\
&= 6,1156 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS, $M_u^- \text{ lapangan} = 24,4624 \text{ kNm}$

$$M_u^+ \text{ lapangan} = 99,1792 \text{ kNm}$$

Digunakan $M_u^+ = 99,1792 \text{ kNm}$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} = \frac{99,1792 \times 10^6}{0,9 \times 300 \times 490,5^2} = 1,526788265 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f'_c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,526788265}{0,85 \times 25}}\right) \\ &= 0,003776124 \end{aligned}$$

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} = 0,003333 < 0,003776124 < 0,025 \text{ (Diambil nilai)}$$

ρ)

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d \\ &= 0,003776124 \times 300 \times 490,5 = 555,6566466 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{555,6566466}{0,25 \times \pi \times 19^2} = 1,95978952 = 2 \text{ buah (} A_s = 567,057 \text{ mm}^2 \text{)} \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$x = \frac{300 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 2 \times 19}{2 - 1} = 162 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK!)}$$

8. Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{567,057 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 37,35908064 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{37,35908064}{0,85} = 43,95185957 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{490,5 - 43,95185957}{43,95185957} \times 0,003 \\ &= 0,030479812 \end{aligned}$$

Karena $\epsilon_t > 0,005$, maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan $\phi = 0,9$ yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan (ϕ) untuk momen,

gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial.

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 567,057 \times 420 \times \left(490,5 - \frac{37,35908064}{2}\right) \\ &= 112370713,6 \text{ Nmm} = 112,3707136 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 112,3707136 \text{ kNm} \\ &= 101,1336422 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$\phi M_n > M_u = 101,1336422 > 99,1792$ (Rancangan Tulangan Aman, Digunakan 2D19)

9. Tulangan Transversal

Mengacu pada SNI 2847:2019 R18.7.6.1.1 bahwa Kekuatan momen balok tersebut dihitung menggunakan faktor reduksi kekuatan 1,0 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif yang diambil paling tidak $1,25f_y$

Perhitungan M_{pr}

M_{pr} = Probable Moment

M_{pr} ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 3D19 ($A_s = 850,586 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} A_{pr} (-) &= \frac{1,25 \times A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 850,586 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 70,0482762 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr} &= 1,25 \times A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a_{pr}(-)}{2}\right) \\ &= 1,25 \times 850,586 \times 420 \times \left(490,5 - \frac{70,0482762}{2}\right) \\ &= 203396281 \text{ Nmm} = 203,396281 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Perhitungan M_{pr}^+

M_{pr} = Probable Moment

M_{pr}^+ ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan 2D19

($A_s = 567,057 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} A_{pr-} (-) &= \frac{1,25 \times A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 567,057 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 46,6988508 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^+ &= 1,25 \times A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a_{pr-}(-)}{2} \right) \\ &= 1,25 \times 567,057 \times 420 \times \left(490,5 - \frac{46,6988508}{2} \right) \\ &= 139,073143 \text{ Nmm} = 139,073143 \text{ kNm} \end{aligned}$$

10. Gaya Geser Akibat Gaya Gravitasi

Berdasarkan analisis ETABS, didapati nilai $V_g = 123,5821 \text{ kN}$

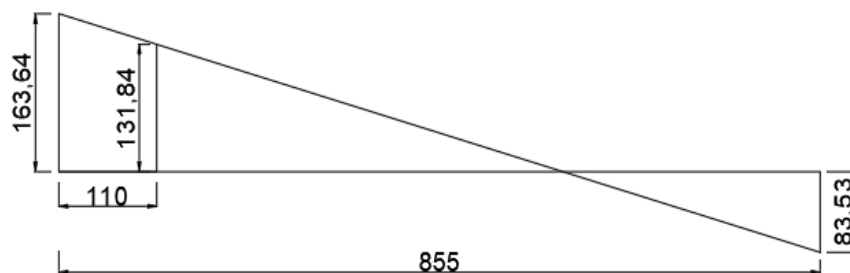
$$V_g = 123,5821 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{pr+} + M_{pr-}}{l_n} \\ &= \frac{139,073143 + 203,396281}{8,55} = 40,05490339 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{e1} &= V_e + V_g \\ &= 40,05490339 + 123,5821 = 163,6370034 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{e2} &= V_e - V_g \\ &= 40,05490339 - 123,5821 = -83,5271966 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk menentukan tulangan geser lapangan, ditentukan jarak tulangan geser dari muka kolom sebesar $2h$. Balok dengan tinggi (h) = 0,55 m, maka $2h = 1,1 \text{ m}$



Gambar 2. 44 Gaya Geser Balok Anak BA1

11. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Daerah Tumpuan

$$V_u \text{ ETABS} = 123,5821 \text{ kN}$$

$$V_u = 163,6370034 \text{ kN}$$

$$d = 490,5 \text{ mm}$$

Maka, nilai V_u yang digunakan = 163,6370034 kN

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser. $V_c = 0$ jika $0,5 V_u < V_e$.

$$\begin{aligned} 0,5 \times V_u &= 0,5 \times 163,6370034 \\ &= 81,8185017 \text{ kN} > V_e (40,0549 \text{ kN}), \text{ maka } V_c \neq 0 \end{aligned}$$

V_c perlu diperhitungkan, maka

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 300 \times 490,5 \\ &= 125077,5 \text{ N} = 125,0775 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{163,6370034}{0,75} - 125,0775 \\ &= 93,10517119 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s\max} &= 0,66 \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s \\ &= 0,66 \times \sqrt{25} \times 300 \times 490,5 \\ &= 485595 \text{ N} = 485,595 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{s\max} > V_s = 485,595 > 93,10517119 \text{ (OK!)}$$

Direncanakan sengkang 2D10 ($A_s = 157,08 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_s \times F_y \times d_s}{V_s} \\ &= \frac{157,08 \times 420 \times 490,5}{93,10517119 \times 10^3} \\ &= 347,5636714 \text{ mm} \end{aligned}$$

Ketentuan SNI 2487:2019 pasal 18.6.4.4 mengenai jarak sengkang pertama dari muka komponen struktur penumpu tidak lebih dari 50 mm, jarak sengkang tidak boleh lebih dari:

$$d/4 = \frac{490,5}{4}$$

$$= 122,625 \text{ mm}$$

$$6 \text{ kali diameter tulangan} = 6 \times 19$$

$$= 114 \text{ mm}$$

Maka, digunakan tulangan 2D10-100

12. Perhitungan Kebutuhan Tulangan Daerah Lapangan

$$V_u \text{ ETABS} = 88,1301 \text{ kN}$$

$$V_u = 131,84 \text{ kN}$$

$$d = 490,5 \text{ mm}$$

Maka, nilai V_u yang digunakan = 131,84 kN

Menurut SNI 2847:2019 pasal 18.6.5.2, gaya geser akibat gempa setidaknya setengah kekuatan geser. $V_c = 0$ jika $0,5 V_u < V_e$.

$$0,5 \times V_u = 0,5 \times 131,84$$

$$= 65,92 \text{ kN} > V_e (45,3601886 \text{ kN}), \text{ maka } V_c \neq 0$$

V_c perlu diperhitungkan, maka

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s$$

$$= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 300 \times 490,5$$

$$= 125077,5 \text{ N} = 125,0775 \text{ kN}$$

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

$$= \frac{131,84}{0,75} - 125,0775$$

$$= 50,70916667 \text{ kN}$$

$$V_{smax} = 0,66 \times \sqrt{F_c} \times b \times d_s$$

$$= 0,66 \times \sqrt{25} \times 300 \times 490,5$$

$$= 485595 \text{ N} = 485,595 \text{ kN}$$

$$V_{s \text{ max}} > V_s = 485,595 > 50,70917 \text{ (OK!)}$$

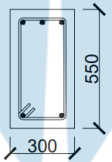
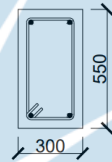

Direncanakan sengkang 2D10 ($A_s = 157,0796 \text{ mm}^2$)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_s \times F_y \times d_s}{V_s} \\
 &= \frac{157,0796 \times 420 \times 490,5}{50.70916667 \times 10^3} \\
 &= 666,485367 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

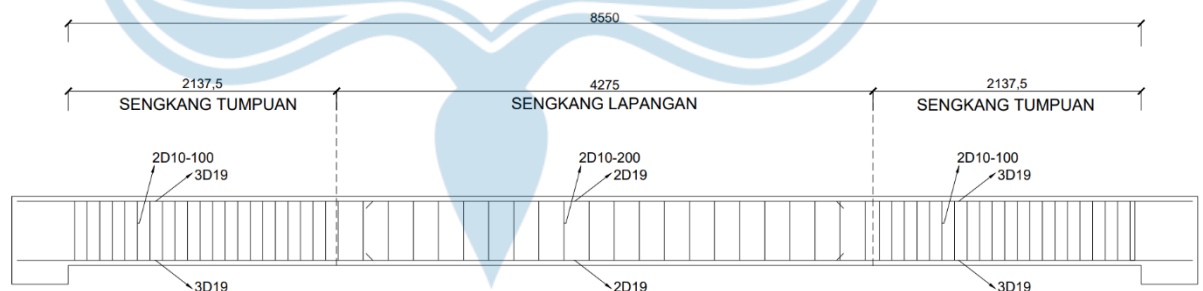
Ketentuan SNI 2487:2019 pasal 18.14.2.2 mengenai spasi tidak melebihi $d/2$

$$\begin{aligned}
 d/2 &= \frac{490,5}{2} \\
 &= 245,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, digunakan tulangan 2D10-200

BALOK	TULANGAN		
	KIRI	TENGAH	KANAN
BA 1			
UKURAN BALOK	300 x 550 mm		
BESI ATAS	3D19	2D19	3D19
BESI BAWAH	2D19	2D19	2D19
SENGKANG	2D10-100	2D10-200	2D10-100

Gambar 2. 45 Gambar Potongan Balok Anak BA 1 300x550 mm



Gambar 2. 46 Potongan Penulangan Balok Anak BA 1 300x550 mm

2.7 Perencanaan Kolom

Pada perencanaan gedung Perpustakaan Umum dan Co-Working Space ini, akan memperhitungkan kebutuhan kolom dengan momen terbesar pada setiap lantai.

2.7.1 Data Perencanaan Kolom K1 Lantai 1

1. Mutu Beton ($f'c$) = 30 MPa
2. β_1 = $0,85 - \frac{f'c-28}{7} \times 0,05$
= $0,85 - \frac{30-28}{7} \times 0,05$
= 0,8357143
3. Mutu Tulangan Deform (f_y) = 400 MPa
4. Tulangan Deform Longitudinal = 25 mm
5. Tulangan Deform Geser = 10 mm

Konfigurasi Kolom

- Panjang Kolom (l) = 4250 mm
- Panjang Bersih Kolom (l_n) = $4250 - \frac{h_{balok}}{2} - \frac{h_{balok}}{2}$
= 3550 mm
- Lebar Kolom (b) = 600 mm
- Tinggi Kolom (h) = 600 mm
- Selimut Beton = 40 mm

1. Pemeriksaan Kelangsingan Kolom

Pemeriksaan Tipe Portal

Arah – X (Data Dari E-Tabs)

$$P = 1656,9503 \text{ kN}$$

$$V = 244,6767 \text{ kN}$$

$$\Delta = 10,393 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{\Sigma Pu \times \Delta e}{V_u \times l_n}$$
$$= \frac{1656,9503 \times 10,393}{244,6767 \times 3550}$$

$$= 0,01982574 \leq 0,05 \text{ (Struktur Tidak Bergoyang)}$$

Arah – Y (Data Dari E-Tabs)

$$P = 1656,9503 \text{ kN}$$

$$V = 245,2063 \text{ kN}$$

$$\Delta = 9,407 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{\Sigma Pu \times \Delta e}{Vu \times ln} \\
 &= \frac{1656,9503 \times 9,407}{245,2063 \times 3550} \\
 &= 0,01790609 \leq 0,05 \text{ (Struktur Tidak Bergoyang)}
 \end{aligned}$$

Pemeriksaan Kelangsingan Kolom Arah – X

Kekangan Atas

- Kolom Tinjau

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$l_k = 4250 \text{ mm}$$

$$I_{k-tinjau} = 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12}$$

$$= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$EI_{k-tinjau} = 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{k-tinjau}$$

$$= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9$$

$$= 1,94617 \times 10^{14}$$

- Kolom Atas

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

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

$$I_{k-atas} = 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12}$$

$$= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$EI_{k-atas} = 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{k-atas}$$

$$= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9$$

$$= 1,94617 \times 10^{14}$$

- Balok Atas Kolom Tinjau

$$b = 450 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$I_b = 8000 \text{ mm}$$

$$I_{b-atas} = 0,35 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= 0,35 \times \frac{450 \times 700^3}{12}$$

$$= 4,501875 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$EI_{b-atas} = 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{b-atas}$$

$$= 4700 \times \sqrt{30} \times 4,501875 \times 10^9$$

$$= 1,15892 \times 10^{14}$$

Faktor Kekangan Atas Kolom

$$\psi_{atas} = \frac{\frac{EI_{k-tinjau}}{I_{k-tinjau}} + \frac{EI_{k-atas}}{I_{k-atas}}}{\frac{EI_{b-atas}}{I_{b-atas}} + \frac{EI_{b-atas}}{I_{b-atas}}}$$

$$\psi_{atas} = \frac{\frac{1,94617 \times 10^{14}}{4250} + \frac{1,94617 \times 10^{14}}{4000}}{\frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000} + \frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000}}$$

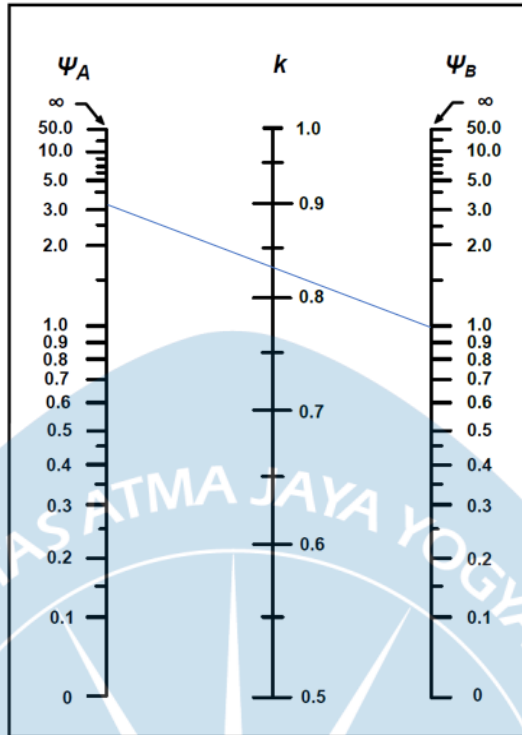
$$\psi_{atas} = 3,259818213$$

Kekangan Bawah

Faktor Kekangan Bawah Kolom

$$\psi_{bawah} = 1 \text{ (Karena tumpuan bawah jepit tidak sempurna)}$$

Setelah nilai faktor kekangan diperoleh, nilai tersebut diplot ke grafik faktor k (SNI 2847:2019 gambar R6.2.5 – Faktor Panjang Efektif, k)



Gambar 2. 47 Nomograma Faktor Kekangan Struktur Tidak Bergoyang

Dari *plotting* didapat nilai $k = 0,84$, selanjutnya dilakukan analisis sesuai SNI 2847:2019 pasal 6.2.5a, dimana kolom yang ditinjau merupakan komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan samping.

$$= \frac{k \times l_n}{r} \leq 22$$

Dengan r diambil sebesar 0,3 dari dimensi arah tinjauan stabilitas (SNI 2847:2019 pasal 6.2.5.1b).

$$= \frac{0,84 \times 3550}{0,3 \times 600} \leq 22$$

$$= 16,56666667 \leq 22 \text{ (kelangsingan kolom diabaikan)}$$

Pemeriksaan Kelangsingan Kolom Arah – y

Kekangan Atas

- Kolom Tinjau

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$l_k = 4250 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 I_{k-tinjau} &= 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12} \\
 &= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12} \\
 &= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EI_{k-tinjau} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{k-tinjau} \\
 &= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9 \\
 &= 1,94617 \times 10^{14}
 \end{aligned}$$

- Kolom Atas

$$\begin{aligned}
 b &= 600 \text{ mm} \\
 h &= 600 \text{ mm} \\
 l_k &= 4000 \text{ mm} \\
 I_{k-atas} &= 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12} \\
 &= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12} \\
 &= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EI_{k-atas} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{k-atas} \\
 &= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9 \\
 &= 1,94617 \times 10^{14}
 \end{aligned}$$

- Balok Atas Kolom Tinjau

$$\begin{aligned}
 b &= 450 \text{ mm} \\
 h &= 700 \text{ mm} \\
 l_b &= 8000 \text{ mm} \\
 I_{b-atas} &= 0,35 \times \frac{b \times h^3}{12} \\
 &= 0,35 \times \frac{450 \times 700^3}{12} \\
 &= 4,501875 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EI_{b-atas} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{b-atas} \\
 &= 4700 \times \sqrt{30} \times 4,501875 \times 10^9 \\
 &= 1,15892 \times 10^{14}
 \end{aligned}$$

Faktor Kekangan Atas Kolom

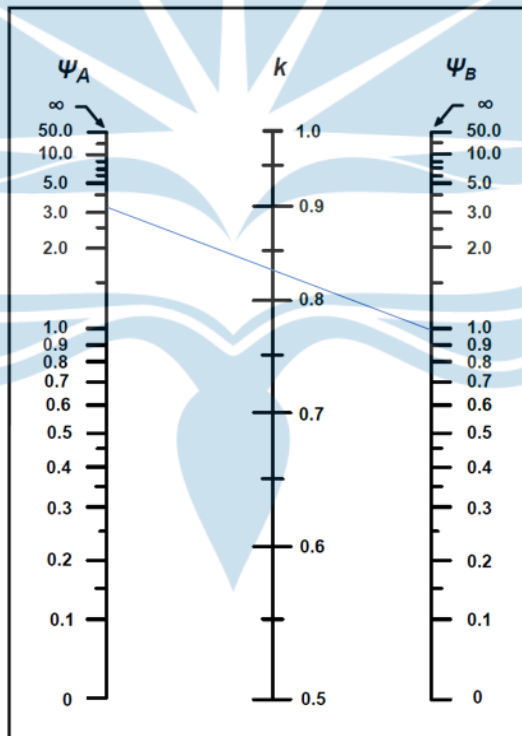
$$\begin{aligned} \psi \text{ atas} &= \frac{\frac{Elk-tinjau}{lk-tinjau} + \frac{Elk-atas}{lk-atas}}{\frac{Elb-atas}{lb-atas} + \frac{Elb-atas}{lb-atas}} \\ \psi \text{ atas} &= \frac{\frac{1,94617 \times 10^{14}}{4250} + \frac{1,94617 \times 10^{14}}{4000}}{\frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000} + \frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000}} \\ \psi \text{ atas} &= 3,259818213 \end{aligned}$$

Kekangan Bawah

Faktor Kekangan Bawah Kolom

$$\psi \text{ bawah} = 1 \text{ (Karena tumpuan bawah jepit tidak sempurna)}$$

Setelah nilai faktor kekangan diperoleh, nilai tersebut diplot ke grafik faktor k (SNI 2847: 2019 gambar R6.2.5 – Faktor Panjang Efektif, k)



Gambar 2. 48 Nomograma Faktor Kekangan Struktur Tidak Bergoyang

Dari *plotting* didapat nilai $k = 0,84$, selanjutnya dilakukan analisis sesuai SNI 2847:2019 pasal 6.2.5a, dimana kolom yang ditinjau merupakan komponen struktur tekan yang tidak di-breising.

$$= \frac{k \times l_n}{r} \leq 22$$

Dengan r diambil sebesar 0,3 dari dimensi arah tinjauan stabilitas (SNI 2847:2019 pasal 6.2.5.1).

$$= \frac{0,84 \times 3550}{0,3 \times 600} \leq 22$$

$$= 16,56666667 \leq 22 \text{ (kelangsingan kolom diabaikan)}$$

2. Penulangan Longitudinal

Perhitungan penulangan longitudinal kolom menggunakan diagram interaksi kolom untuk memudahkan perkiraan nilai rasio penulangan. Dari hasil analisis ETABS diperoleh gaya seperti berikut:

Tabel 2. 18 Gaya dan Momen Kolom K1 600x600 Lantai

Pu-maks (kN)	Pu-min (kN)	Mu (kN)	Vu (kN)
338,5361	1656,9503	603,4988	245,206

$$N_{\text{od-min}} = \frac{Pu-\text{min}}{f'c \times b \times h}$$

$$N_{\text{od-min}} = \frac{1656,9503 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

$$N_{\text{od-min}} = 0,15342132$$

$$M_{\text{od}} = \frac{Mu}{f'c \times b \times h^2}$$

$$M_{\text{od}} = \frac{603,4988 \times 10^6}{30 \times 600 \times 600^2}$$

$$M_{\text{od}} = 0,09313253$$

Diagram Interaksi, $\rho = 0,0128$

$$N_{\text{od-maks}} = \frac{Pu-\text{maks}}{f'c \times b \times h}$$

$$N_{\text{od-maks}} = \frac{338,5361 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

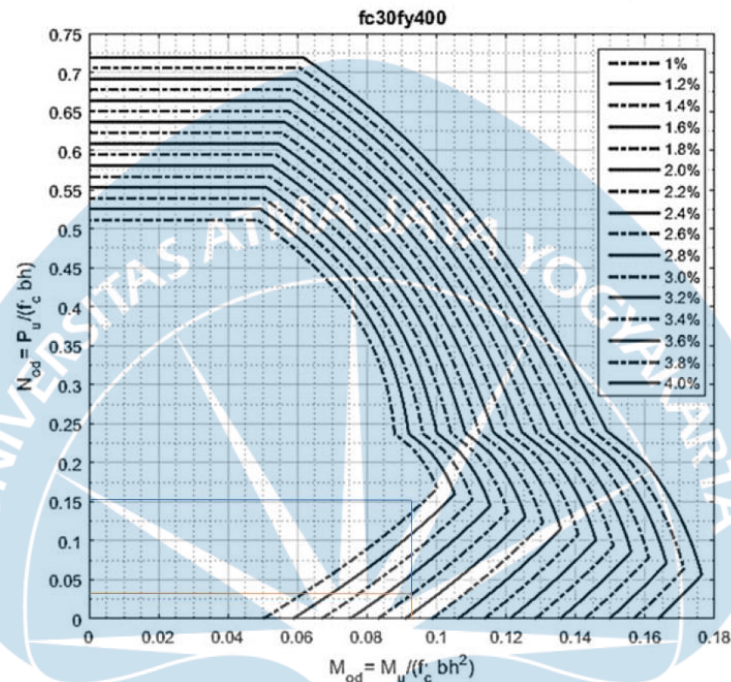
$$N_{\text{od-maks}} = 0,03134594$$

$$M_{od} = \frac{Mu}{f'_c \times b \times h^2}$$

$$M_{od} = \frac{603,4988 \times 10^6}{30 \times 600 \times 600^2}$$

$$M_{od} = 0,09313253$$

Diagram Interaksi, $\rho = 0,0178$



Gambar 2. 49 Diagram $\phi M_n - \phi P_n$

Dari perhitungan di atas, diperoleh rasio tulangan sebesar 0,018, sehingga untuk perhitungan tulangan longitudinal selanjutnya digunakan rasio tulangan $\rho = 0,018$

$$A_s = \rho \times b \times h$$

$$A_s = 0,018 \times 600 \times 600$$

$$A_s = 6480 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{A_s\text{-tulangan}}$$

$$n = \frac{6480}{\frac{1}{4} \times \pi \times 25^2}$$

$$n = 13,2009476$$

$$n \approx 16 \text{ buah}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2.3, jarak bersih pada struktur komponen tekan harus lebih besar dari 40 mm.

$$x = \frac{600 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - \left(\frac{16}{4} + 1\right) \times 25}{\frac{16}{4}}$$

$$x = 92,25 \text{ mm, Jarak Bersih Memenuhi Syarat}$$

$$\rho = \frac{16 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2}{600 \times 600}$$

$$\rho = 2,1805556 \%$$

SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1, menyatakan bahwa luas tulangan memanjang tidak boleh kurang dari 0,01 atau lebih dari 0,06.

$$0,01 < 0,021805556 < 0,06 \text{ (OK!)}$$

Maka, digunakan 16D25

3. Pemeriksaan Kuat Kolom (SCWB)

Agar kolom memenuhi syarat “Strong Column Weak Beams”, diperlukan pemeriksaan kekuatan kolom dan kekuatan balok yang merangkai pada titik pertemuan yang ditinjau. Sehingga momen nominal kolom harus memenuhi $\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$.

Momen nominal balok dari perhitungan sebelumnya:

$$\Sigma M_{nb} = 474,38505 + 384,83927 \text{ (Dari Hitungan Balok)}$$

$$\Sigma M_{nb} = 859,22432 \text{ kNm}$$

Kebutuhan jumlah momen nominal minimum kolom:

$$\Sigma M_{nc} = 1,2 \Sigma M_{nb}$$

$$\Sigma M_{nc} = 1,2 \times 859,22432$$

$$\Sigma M_{nc} = 1031,069184 \text{ kNm}$$

Kebutuhan jumlah momen nominal minimum untuk satu kolom:

$$M_{nc-\min} = \frac{\Sigma M_{nc}}{2}$$

$$M_{nc-\min} = \frac{1031,069184}{2}$$

$$M_{nc-\min} = 515,534592 \text{ kNm}$$

Maka kolom yang dirancang harus mampu memikul M_{nc-min} . Dengan bantuan diagram interaksi hubungan $P_n - M_n$ dan $\rho_{aktual} = 2,18 \%$, dapat diketahui momen nominal kolom yang ditinjau.

$$N_{nd-min} = \frac{Pu-min}{f'c \times b \times h}$$

$$N_{nd-min} = \frac{1656,9503 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

$$N_{nd-min} = 0,153421324$$

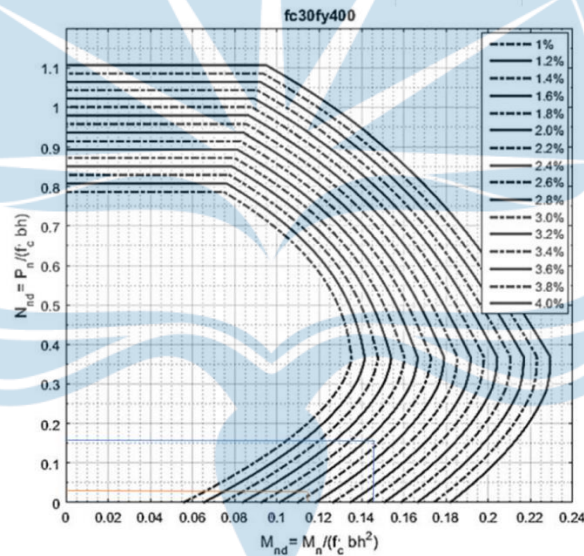
Dari diagram interaksi, $M_{nd-min} = 0,146$

$$N_{nd-maks} = \frac{Pu-maks}{f'c \times b \times h}$$

$$N_{nd-maks} = \frac{338,5361 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

$$N_{nd-maks} = 0,031345935$$

Dari diagram interaksi, $M_{nd-maks} = 0,114$



Gambar 2. 50 Diagram $M_n - P_n$

$$M_{nc1} = 0,146 \times f'c \times b \times h^2$$

$$M_{nc1} = 0,146 \times 30 \times 600 \times 600^2$$

$$M_{nc1} = 946,08 \text{ kNm} > M_{nc-min} = 515,534392 \text{ kNm (OK!)}$$

$$M_{nc2} = 0,114 \times f'c \times b \times h^2$$

$$M_{nc2} = 0,114 \times 30 \times 600 \times 600^2$$

$$M_{nc2} = 738,72 \text{ kNm} > M_{nc-min} = 515,534392 \text{ kNm (OK!)}$$

4. Penulangan Transversal

Penulangan geser pada kolom menurut SNI 2847:2019 pasal R18.7.5.1, terdiri dari dua bagian yaitu di daerah l_0 dan di luar daerah l_0 . Panjang l_0 dapat ditentukan dari persyaratan berikut, diambil yang terbesar.

- Tinggi Elemen Kolom = 600 mm
- $\frac{1}{6} \times l_n = \frac{1}{6} \times 3550 = 591,666667$ mm
- 450 mm

Maka panjang daerah l_0 diambil sebesar 600 mm dari ujung kolom.

Penulangan Geser Daerah l_0

Sesuai SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3, spasi tulangan geser maksimum sepanjang l_0 diambil yang terkecil dari:

- $\frac{1}{4} \times 600 = 150$ mm
- $6 \times D_{longitudinal} = 150$ mm
- S_0 , dimana S_0 tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm

Untuk mempercepat dan mempermudah perhitungan, diambil spasi tulangan geser maksimum sebesar 100 mm

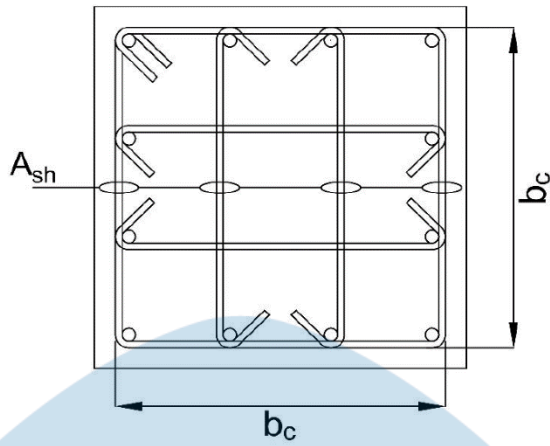
Luas Tulangan Minimum

Sesuai SNI 2847:2019 pasal 18.10.7.4, luas tulangan geser minimum pada daerah l_0 , dihitung dengan persamaan berikut dan diambil nilai terbesar.

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{s \times b_c \times f'c}{f_y} \times \left(\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right)$$

$$A_{sh} = 0,09 \times \frac{s \times b_c \times f'c}{f_y}$$

Dimana nilai b_c ditentukan seperti pada gambar berikut:



Gambar 2. 51 Contoh Penulangan Geser Kolom

$$A_g = 600 \times 600$$

$$A_g = 360000 \text{ mm}^2$$

$$b_c = 600 - 2 \times 40$$

$$b_c = 520 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = 520 \times 520$$

$$A_{ch} = 270400 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{s \times b_c \times f'c}{f_y} \times \left(\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right)$$

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{100 \times 520 \times 30}{400} \times \left(\left(\frac{360000}{270400} \right) - 1 \right)$$

$$A_{sh} = 387,6923077 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = 0,09 \times \frac{s \times b_c \times f'c}{f_y}$$

$$A_{sh} = 0,09 \times \frac{100 \times 520 \times 30}{400}$$

$$A_{sh} = 351 \text{ mm}^2$$

$$\text{Digunakan } A_{sh} = 387,6923077 \text{ mm}^2$$

Jumlah Kaki Senggang

$$n = \frac{387,6923077}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2}$$

$$n = 2,920859038 \approx 3 \text{ kaki}$$

Digunakan 3D13-100

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 3$$

$$(A_v = 398,1968688 \text{ mm}^2)$$

5. Perhitungan Gaya Geser Rencana Kolom V_e

Dalam semua kasus, gaya geser rencana V_e , tidak boleh kurang dari gaya geser terfaktor yang didapat dari analisis struktur. (SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.1.1)

$$N_{ny-\min} = \frac{Pu-\min}{f'c \times b \times h}$$

$$N_{ny-\min} = \frac{1656,9503 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

$$N_{ny-\min} = 0,15342132$$

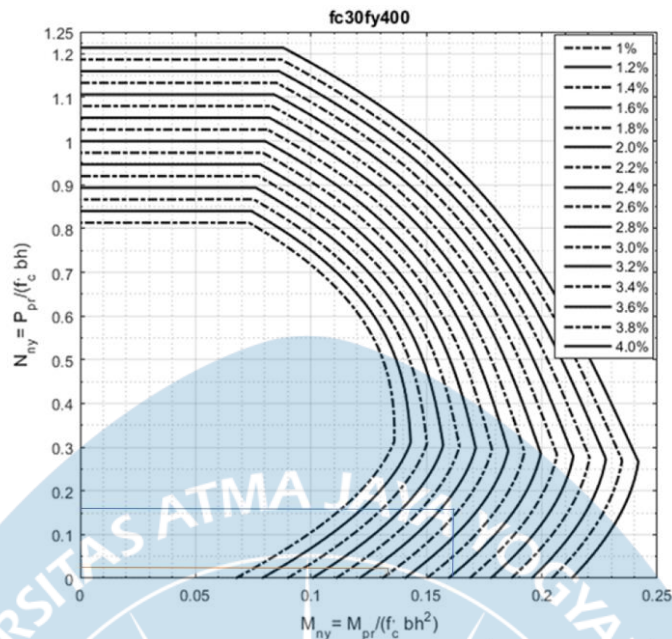
Dari diagram interaksi, $M_{ny-\min} = 0,162$

$$N_{ny-\max} = \frac{Pu-\max}{f'c \times b \times h}$$

$$N_{ny-\max} = \frac{338,5361 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

$$N_{ny-\max} = 0,03134594$$

Dari diagram interaksi, $M_{ny-\max} = 0,148$



Gambar 2. 52 Diagram $M_{pr} - P_{pr}$

Dari hasil diagram interaksi digunakan $M_{ny-min} = 0,162$

$$M_{pr-kolom} = 0,162 \times 25 \times 600 \times 600^2$$

$$M_{pr-kolom} = 1049,76 \text{ kNm}$$

6. Perhitungan Geser Berdasarkan Momen Nominal Balok

$$DF_{atas} = \frac{E_{kolom-tinjau}}{E_{kolom-tinjau} + E_{kolom-atas}}$$

$$DF_{atas} = \frac{1,94617 \times 10^{14}}{1,94617 \times 10^{14} + 1,94617 \times 10^{14}}$$

$$DF_{atas} = 0,5$$

$$DF_{bawah} = \frac{E_{kolom-tinjau}}{E_{kolom-tinjau} + E_{kolom-bawah}}$$

$$DF_{bawah} = \frac{1,94617 \times 10^{14}}{1,94617 \times 10^{14} + 0}$$

$$DF_{bawah} = 1$$

Dari Perhitungan sebelumnya didapat:

$$\Sigma M_{pr-balok} = 582,56874 + 474,38505 \text{ (Dari Hitungan Balok)}$$

$$\Sigma M_{pr-balok} = 1056,95379 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{pr-kolom} = \frac{DFatas}{DFatas+DFbawah} \Sigma M_{pr} - balok$$

$$\Sigma M_{pr-kolom} = \frac{0,5}{0,5+1} 1056,95379$$

$$\Sigma M_{pr-kolom} = 352,31793 \text{ kNm}$$

7. Perbandingan Mpr-Kolom

Tabel 2. 19 Mpr-kolom Dari Diagram Interaksi Dan Momen Nominal Kolom

M _{pr-kolom} (kNm)	
Dari Diagram Interaksi	Dari Momen Nominal Kolom
1049,76	352,31793

Sesuai dengan syarat yang telah disebutkan sebelumnya, diambil nilai $M_{pr-kolom} = 352,31793 \text{ kNm}$ untuk digunakan dalam merencanakan gaya geser pada kolom

$$V_e = \frac{2 \times M_{pr-kolom}}{l}$$

$$V_e = \frac{2 \times 352,31793}{4,250}$$

$$V_e = 165,7966729 \text{ kN}$$

$$V_{u-ETABS} = 245,2063 \text{ kN}$$

8. Pemeriksaan Kemampuan Layan Kolom

$$V_s = \frac{A_v \times f_y \times d}{s}$$

$$V_s = \frac{398,1968688 \times 400 \times (600 - 40 - 13 - 0,5 \times 25)}{100}$$

$$V_s = 851344,9056 \text{ N}$$

$$V_s = 851,3449056 \text{ kN}$$

$$V_{u-terfaktor} = \frac{245,2063}{0,75}$$

$$V_{u-terfaktor} = 326,9417333 \text{ kN} < V_s = 851,3449056 \text{ kN}$$

Dari hasil diatas, dapat disimpulkan bahwa gaya geser yang disediakan sengkang kolom sudah dapat mengakomodasi gaya geser rencana.

9. Penulangan Geser Diluar Daerah l_o

Sesuai SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3, spasi tulangan geser diluar lo, tidak melebihi yang terkecil dari:

- $6 \times D_{longitudinal} = 150 \text{ mm}$
- 150 mm

Maka diambil spasi tulangan geser sebesar 150 mm

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2, nilai V_c harus diabaikan apabila persyaratan berikut terpenuhi:

- $VE \geq 0,5 \times Vu$
 $245,2063 \geq 163,4708667$ (Terpenuhi)
- $Pu < Ag \times \frac{f'c}{20}$
 $Pu_{-min} = 1656,9503 \text{ kN}$
 $Ag \times \frac{f'c}{20} = 540 \text{ kN}$
- $Pu > Ag \times \frac{f'c}{20}$ (Tidak Terpenuhi)

Maka $V_c \neq 0$ dan ikut diperhitungkan dalam menentukan kebutuhan sengkang.

10. Pemeriksaan Kekuatan Geser Beton

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times b \times d$$

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{338,5361}{14 \times 360000}\right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 600 \times (600 - 40 - 13 - 0,5 \times 25)$$

$$V_c = 318,6706455 \text{ kN} < V_{u\text{-terfaktor}} = 326,9417333 \text{ kN}$$

Kuat geser yang disediakan beton belum mencukupi untuk menahan $V_{u\text{-terfaktor}}$. Maka dibutuhkan tulangan geser pada daerah di luar lo. Dengan memperhatikan kemudahan kerja dan syarat minimum tulangan geser, diambil luas tulangan geser yang sama dengan tulangan geser di daerah lo, dengan spasi maksimum sesuai SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3 sebesar 150 mm.

$$V_s = \frac{Av \times fy \times d}{s}$$

$$V_s = \frac{398,1968688 \times 400 \times (600 - 40 - 13 - 0,5 \times 25)}{150}$$

$$V_s = 567,5632704 \text{ kN}$$

$$V_u = V_c + V_s$$

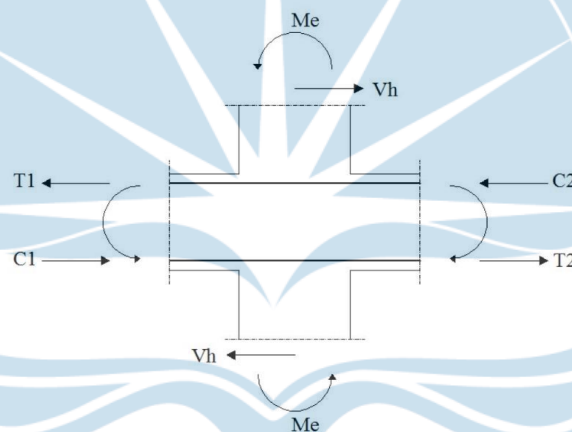
$$V_u = 318,6706455 + 567,5632704$$

$$V_u = 886,2339159 \text{ kN} > V_{u\text{-terfaktor}} = 326,9417333 \text{ kN}$$

Desain Tulangan diluar daerah l_o sudah memenuhi syarat.

11. Hubungan Balok Kolom (HBK)

Pada perhitungan sebelumnya didapat nilai geser maksimum kolom adalah sebesar 245,2063 kN



Gambar 2. 53 Sketsa Hubungan Balok – Kolom

Nilai M_{pr} Balok

Bagian atas balok menggunakan 5D22 ($A_s = 1900,66 \text{ mm}^2$)

Sehingga didapat gaya Tarik sebesar

$$T_1 = 1,25 \times A_s \times fy$$

$$T_1 = 1,25 \times 1900,66 \times 400$$

$$T_1 = 997,8465 \text{ kN}$$

$$T_1 = C_1$$

Bagian bawah balok menggunakan 4D22 ($A_s = 1520,531 \text{ mm}^2$)

Sehingga didapat gaya tarik sebesar

$$\begin{aligned}
T_2 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\
T_2 &= 1,25 \times 1520,531 \times 400 \\
T_2 &= 798,278775 \text{ kN} \\
T_2 &= C_2 \\
V_u &= V_h - T_1 - C_2 \\
V_u &= 245,2063 - 997,8465 - 798,278775 \\
V_u &= -1550,91898 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.1 kuat geser pada joint untuk balok yang terkekang pada empat sisinya memiliki nilai $V_n =$

$$\begin{aligned}
&1,7 \times \sqrt{f'_c} \times A_j \\
A_j &= b_{\text{kolom}} \times h_{\text{kolom}} \\
A_j &= 600 \times 600 \\
A_j &= 360000 \text{ mm}^2 \\
V_n &= 1,7 \times \sqrt{f'_c} \times A_j \\
V_n &= 1,7 \times \sqrt{30} \times 360000 \\
V_n &= 3352,062052 \text{ kN} \\
\phi V_n &= 0,75 \times 3352,062052 \\
\phi V_n &= 2514,046539 > V_u; \text{ Kuat Geser Joint Memenuhi}
\end{aligned}$$

12. Penulangan Geser di Daerah Hubungan Balok-Kolom

SNI 2847:2019 pasal 18.10.7.4 mensyaratkan penulangan geser di daerah HBK.

$$\begin{aligned}
\frac{A_{sh}}{s} &= \frac{1}{2} \times 0,3 \times \frac{bc \times f'_c}{f_y} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right] \\
\frac{A_{sh}}{s} &= \frac{1}{2} \times 0,3 \times \frac{520 \times 30}{400} \left[\left(\frac{360000}{270400} \right) - 1 \right] \\
\frac{A_{sh}}{s} &= 1,938461538 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
\frac{A_{sh}}{s} &= \frac{1}{2} \times 0,09 \times \frac{bc \times f'_c}{f_y}
\end{aligned}$$

$$\frac{Ash}{s} = \frac{1}{2} \times 0,09 \times \frac{520 \times 30}{400}$$

$$\frac{Ash}{s} = 1,755 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Digunakan } \frac{Ash}{s} = 1,938461538 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Pada daerah hubungan balok kolom ini diambil spasi sebesar 150 mm

$$A_{sh} = 290,7692308 \text{ mm}^2$$

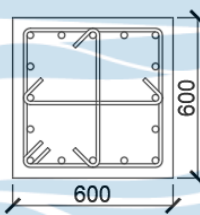
Jumlah Kaki Sengkang:

$$n = \frac{Ash}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2}$$

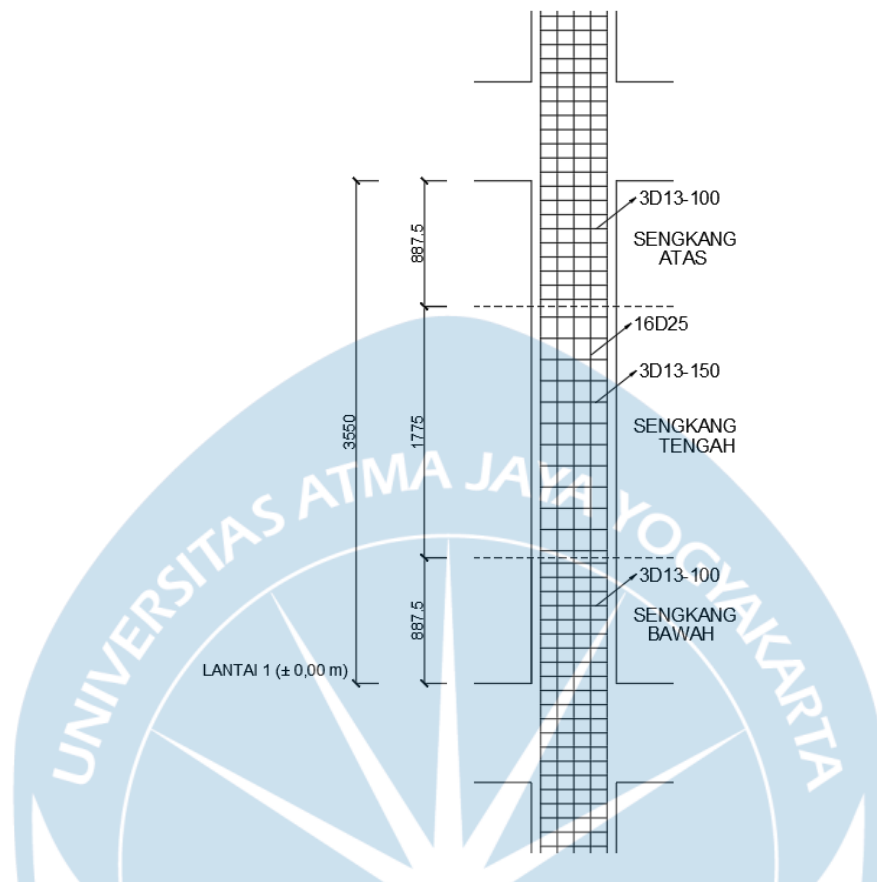
$$n = 2,190655278 \text{ kaki}$$

$$n \approx 3 \text{ kaki}$$

Maka, digunakan 3D13-150

KOLOM	TULANGAN
K 1	
UKURAN KOLOM	600 x 600 mm
TULANGAN LONGITUDINAL	16D25
SENGKANG ATAS	3D13-100
SENGKANG TENGAH	3D13-150
SENGKANG BAWAH	3D13-100

Gambar 2. 54 Kolom K1 600x600 mm



Gambar 2. 55 Potongan Penulangan Kolom K1 600x600 mm

2.7.2 Data Perencanaan Kolom K1 Lantai 2

1. Mutu Beton ($f'c$) = 30 MPa
2. β_1 = $0,85 - \frac{f'c-28}{7} \times 0,05$
 $= 0,85 - \frac{30-28}{7} \times 0,05$
 $= 0,8357143$
3. Mutu Tulangan Deform (f_y) = 400 MPa
4. Tulangan Deform Longitudinal = 25 mm
5. Tulangan Deform Geser = 10 mm

Konfigurasi Kolom

Panjang Kolom (l) = 4000 mm

Panjang Bersih Kolom (l_n) = $4000 - \frac{h_{balok}}{2} - \frac{h_{balok}}{2}$
 $= 3300$ mm

Lebar Kolom (b)	= 600 mm
Tinggi Kolom (h)	= 600 mm
Selimut Beton	= 40 mm

1. Pemeriksaan Kelangsingan Kolom

Pemeriksaan Tipe Portal

Arah – X (Data Dari E-Tabs)

$$P = 1081,1776 \text{ kN}$$

$$V = 212,0424 \text{ kN}$$

$$\Delta = 21,962 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{\Sigma Pu \times \Delta e}{Vu \times ln}$$

$$= \frac{1081,1776 \times 21,962}{212,0424 \times 3300}$$

$$= 0,03393378 \leq 0,05 \text{ (Struktur Tidak Bergoyang)}$$

Arah – Y (Data Dari E-Tabs)

$$P = 1081,1776 \text{ kN}$$

$$V = 237,7078 \text{ kN}$$

$$\Delta = 19,864 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{\Sigma Pu \times \Delta e}{Vu \times ln}$$

$$= \frac{1081,1776 \times 19,864}{237,7078 \times 3300}$$

$$= 0,02737829 \leq 0,05 \text{ (Struktur Tidak Bergoyang)}$$

Pemeriksaan Kelangsingan Kolom Arah – X

Kekangan Atas

- Kolom Tinjau

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

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

$$I_{k-tinjau} = 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12}$$

$$= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} EI_{k - \text{tinjau}} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{k - \text{tinjau}} \\ &= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9 \\ &= 1,94617 \times 10^{14} \end{aligned}$$

- Kolom Atas

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

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

$$I_{k - \text{atas}} = 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12}$$

$$= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} EI_{k - \text{atas}} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{k - \text{atas}} \\ &= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9 \\ &= 1,94617 \times 10^{14} \end{aligned}$$

- Balok Atas Kolom Tinjau

$$b = 450 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$l_b = 8000 \text{ mm}$$

$$I_{b - \text{atas}} = 0,35 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= 0,35 \times \frac{450 \times 700^3}{12}$$

$$= 4,501875 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} EI_{b - \text{atas}} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{b - \text{atas}} \\ &= 4700 \times \sqrt{30} \times 4,501875 \times 10^9 \\ &= 1,15892 \times 10^{14} \end{aligned}$$

Faktor Kekangan Atas Kolom

$$\psi \text{ atas} = \frac{\frac{EI_k - \text{tinjau}}{lk - \text{tinjau}} + \frac{EI_k - \text{atas}}{lk - \text{atas}}}{\frac{EIb - \text{atas}}{lb - \text{atas}} + \frac{EIb - \text{atas}}{lb - \text{atas}}}$$

$$\psi \text{ atas} = \frac{\frac{1,94617 \times 10^{14}}{4000} + \frac{1,94617 \times 10^{14}}{4000}}{\frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000} + \frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000}}$$

$$\psi \text{ atas} = 3,35860058$$

Kekangan Bawah

- Kolom Tinjau

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

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

$$I_k - \text{tinjau} = 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12}$$

$$= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$EI_k - \text{tinjau} = 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_k - \text{tinjau}$$

$$= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9$$

$$= 1,94617 \times 10^{14}$$

- Kolom Bawah

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$l_k = 4250 \text{ mm}$$

$$I_k - \text{bawah} = 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12}$$

$$= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$EI_k - \text{bawah} = 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_k - \text{bawah}$$

$$= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9$$

$$= 1,94617 \times 10^{14}$$

- Balok Bawah Kolom Tinjau

$$b = 450 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$l_b = 8000 \text{ mm}$$

$$I_{b-bawah} = 0,35 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= 0,35 \times \frac{450 \times 700^3}{12}$$

$$= 4,501875 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$EI_{b-bawah} = 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{b-bawah}$$

$$= 4700 \times \sqrt{30} \times 4,501875 \times 10^9$$

$$= 1,15892 \times 10^{14}$$

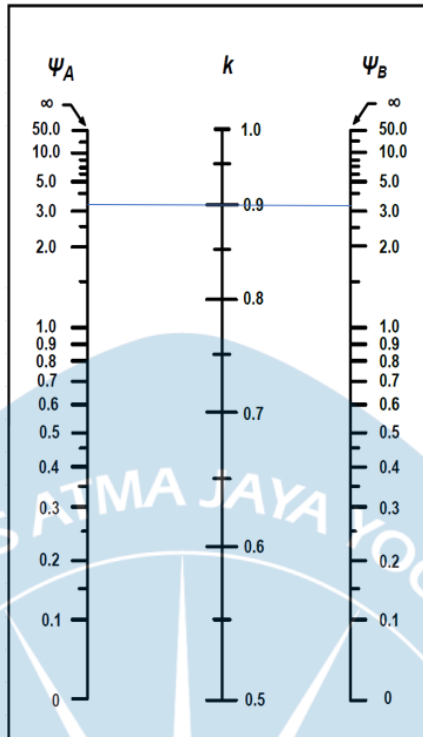
Faktor Kekangan Bawah Kolom

$$\psi_{bawah} = \frac{\frac{EI_{k-tinjau}}{l_{k-tinjau}} + \frac{EI_{k-bawah}}{l_{k-bawah}}}{\frac{EI_{b-bawah}}{l_{b-bawah}} + \frac{EI_{b-bawah}}{l_{b-bawah}}}$$

$$\psi_{bawah} = \frac{\frac{1,94617 \times 10^{14}}{4000} + \frac{1,94617 \times 10^{14}}{4250}}{\frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000} + \frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000}}$$

$$\psi_{bawah} = 3,25981821$$

Setelah nilai faktor kekangan diperoleh, nilai tersebut diplot ke grafik faktor k (SNI 2847:2019 gambar R6.2.5 – Faktor Panjang Efektif, k)



Gambar 2. 56 Nomograma Faktor Kekangan Struktur Tidak Bergoyang

Dari *plotting* didapat nilai $k = 0,90$, selanjutnya dilakukan analisis sesuai SNI 2847:2019 pasal 6.2.5a, dimana kolom yang ditinjau merupakan komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan samping.

$$= \frac{k \times l_n}{r} \leq 22$$

Dengan r diambil sebesar $0,3$ dari dimensi arah tinjauan stabilitas (SNI 2847:2019 pasal 6.2.5.1b).

$$= \frac{0,90 \times 3300}{0,3 \times 600} \leq 22$$

$$= 16,5 \leq 22 \text{ (kelangsingan kolom diabaikan)}$$

Pemeriksaan Kelangsingan Kolom Arah – y Kekangan Atas

- Kolom Tinjau

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} I_{k-tinjau} &= 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12} \\ &= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12} \\ &= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI_{k-tinjau} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{k-tinjau} \\ &= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9 \\ &= 1,94617 \times 10^{14} \end{aligned}$$

- Kolom Atas

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} I_{k-atas} &= 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12} \\ &= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12} \\ &= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI_{k-atas} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{k-atas} \\ &= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9 \\ &= 1,94617 \times 10^{14} \end{aligned}$$

- Balok Atas Kolom Tinjau

$$b = 450 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$lb = 8000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{b-atas} &= 0,35 \times \frac{b \times h^3}{12} \\ &= 0,35 \times \frac{450 \times 700^3}{12} \\ &= 4,501875 \times 10^9 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI_{b-atas} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{b-atas} \\ &= 4700 \times \sqrt{30} \times 4,501875 \times 10^9 \\ &= 1,15892 \times 10^{14} \end{aligned}$$

Faktor Kekangan Atas Kolom

$$\psi \text{ atas} = \frac{\frac{EI_k - tinjau}{lk - tinjau} + \frac{EI_k - atas}{lk - atas}}{\frac{EIb - atas}{lb - atas} + \frac{EIb - atas}{lb - atas}}$$

$$\psi \text{ atas} = \frac{\frac{1,94617 \times 10^{14}}{4000} + \frac{1,94617 \times 10^{14}}{4000}}{\frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000} + \frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000}}$$

$$\psi \text{ atas} = 3,35860058$$

Kekangan Bawah

- Kolom Tinjau

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

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

$$I_k - tinjau = 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12}$$

$$= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$EI_k - tinjau = 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_k - tinjau$$

$$= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9$$

$$= 1,94617 \times 10^{14}$$

- Kolom Bawah

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$l_k = 4250 \text{ mm}$$

$$I_k - bawah = 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12}$$

$$= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$EI_k - bawah = 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_k - bawah$$

$$= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9$$

$$= 1,94617 \times 10^{14}$$

- Balok Bawah Kolom Tinjau

$$b = 450 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$l_b = 8000 \text{ mm}$$

$$I_{b-bawah} = 0,35 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= 0,35 \times \frac{450 \times 700^3}{12}$$

$$= 4,501875 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$EI_{b-bawah} = 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{b-bawah}$$

$$= 4700 \times \sqrt{30} \times 4,501875 \times 10^9$$

$$= 1,15892 \times 10^{14}$$

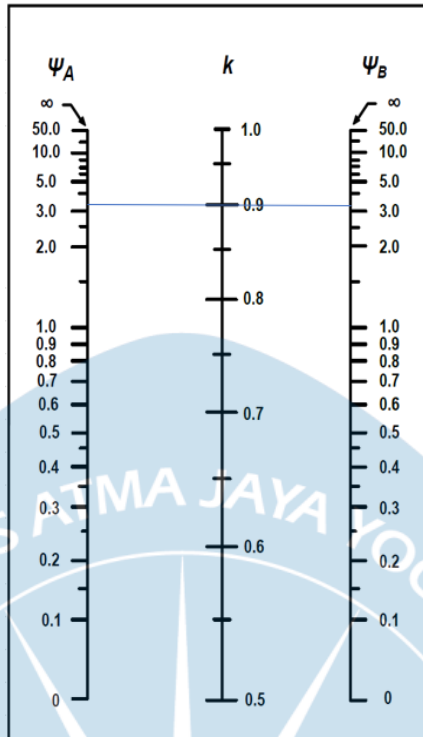
Faktor Kekangan Bawah Kolom

$$\psi_{bawah} = \frac{\frac{EI_{k-tinjau}}{l_{k-tinjau}} + \frac{EI_{k-bawah}}{l_{k-bawah}}}{\frac{EI_{b-bawah}}{l_{b-bawah}} + \frac{EI_{b-bawah}}{l_{b-bawah}}}$$

$$\psi_{bawah} = \frac{\frac{1,94617 \times 10^{14}}{4000} + \frac{1,94617 \times 10^{14}}{4250}}{\frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000} + \frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000}}$$

$$\psi_{bawah} = 3,25981821$$

Setelah nilai faktor kekangan diperoleh, nilai tersebut diplot ke grafik faktor k (SNI 2847: 2019 gambar R6.2.5 – Faktor Panjang Efektif, k)



Gambar 2. 57 Nomograma Faktor Kekangan Struktur Tidak Bergoyang

Dari *plotting* didapat nilai $k = 0,90$, selanjutnya dilakukan analisis sesuai SNI 2847:2019 pasal 6.2.5a, dimana kolom yang ditinjau merupakan komponen struktur tekan yang tidak di-breising.

$$= \frac{k \times l_n}{r} \leq 22$$

Dengan r diambil sebesar 0,3 dari dimensi arah tinjauan stabilitas (SNI 2847:2019 pasal 6.2.5.1).

$$= \frac{0,90 \times 3300}{0,3 \times 600} \leq 22$$

$$= 16,5 \leq 22 \text{ (kelangsingan kolom diabaikan)}$$

2. Penulangan Longitudinal

Perhitungan penulangan logitudinal kolom menggunakan diagram interaksi kolom untuk memudahkan perkiraan nilai rasio penulangan. Dari hasil analisis ETABS diperoleh gaya seperti berikut:

Tabel 2. 20 Gaya dan Momen Kolom K1 600x600 Lantai 2

Pu-maks (kN)	Pu-min (kN)	Mu (kN)	Vu (kN)
192,6478	1081,1776	440,6029	237,7078

$$N_{od-min} = \frac{Pu-min}{f'c \times b \times h}$$

$$N_{od-min} = \frac{1081,1776 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

$$N_{od-min} = 0,100109037$$

$$M_{od} = \frac{Mu}{f'c \times b \times h^2}$$

$$M_{od} = \frac{440,6029 \times 10^6}{30 \times 600 \times 600^2}$$

$$M_{od} = 0,067994275$$

Diagram Interaksi, $\rho = 0,01$

$$N_{od-maks} = \frac{Pu-maks}{f'c \times b \times h}$$

$$N_{od-maks} = \frac{192,6478 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

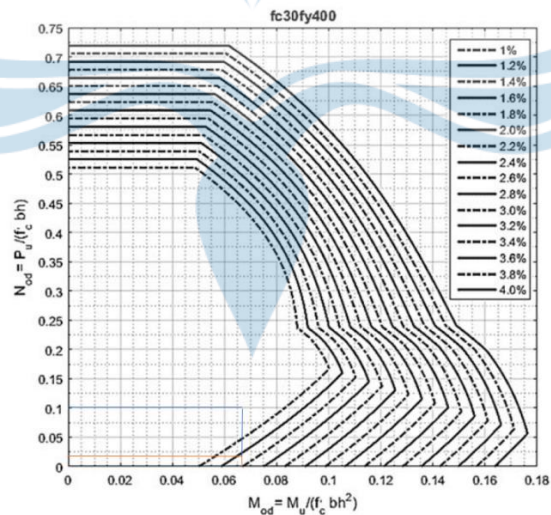
$$N_{od-maks} = 0,017837759$$

$$M_{od} = \frac{Mu}{f'c \times b \times h^2}$$

$$M_{od} = \frac{440,6029 \times 10^6}{30 \times 600 \times 600^2}$$

$$M_{od} = 0,067994275$$

Diagram Interaksi, $\rho = 0,0121$



Gambar 2. 58 Diagram $\phi M_n - \phi P_n$

Dari perhitungan di atas, diperoleh rasio tulangan sebesar 0,0121, sehingga untuk perhitungan tulangan longitudinal selanjutnya digunakan rasio tulangan $\rho = 0,02$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times h \\
 A_s &= 0,02 \times 600 \times 600 \\
 A_s &= 7200 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{A_s}{A_{s-\text{tulangan}}} \\
 n &= \frac{7200}{\frac{1}{4} \times \pi \times 25^2} \\
 n &= 14,66771956 \\
 n &\approx 16 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2.3, jarak bersih pada struktur komponen tekan harus lebih besar dari 40 mm.

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{600 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - \left(\frac{16}{4} + 1\right) \times 25}{\frac{16}{4}} \\
 x &= 92,25 \text{ mm, Jarak Bersih Memenuhi Syarat} \\
 \rho &= \frac{16 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2}{600 \times 600} \\
 \rho &= 2,1805556 \%
 \end{aligned}$$

SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1, menyatakan bahwa luas tulangan memanjang tidak boleh kurang dari 0,01 atau lebih dari 0,06.

$$0,01 < 0,021805556 < 0,06 \text{ (OK!)}$$

Maka, digunakan 16D25

3. Pemeriksaan Kuat Kolom (SCWB)

Agar kolom memenuhi syarat “Strong Column Weak Beams”, diperlukan pemeriksaan kekuatan kolom dan kekuatan balok yang merangkai pada titik pertemuan yang ditinjau. Sehingga momen nominal kolom harus memenuhi $\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$.

Momen nominal balok dari perhitungan sebelumnya:

$$\Sigma M_{nb} = 474,38505 + 384,83927 \text{ (Dari Hitungan Balok)}$$

$$\Sigma M_{nb} = 859,22432 \text{ kNm}$$

Kebutuhan jumlah momen nominal minimum kolom:

$$\Sigma M_{nc} = 1,2 \Sigma M_{nb}$$

$$\Sigma M_{nc} = 1,2 \times 859,22432$$

$$\Sigma M_{nc} = 1031,069184 \text{ kNm}$$

Kebutuhan jumlah momen nominal minimum untuk satu kolom:

$$M_{nc-\min} = \frac{\Sigma M_{nc}}{2}$$

$$M_{nc-\min} = \frac{1031,069184}{2}$$

$$M_{nc-\min} = 515,534592 \text{ kNm}$$

Maka kolom yang dirancang harus mampu memikul $M_{nc-\min}$. Dengan bantuan diagram interaksi hubungan $P_n - M_n$ dan $\rho_{\text{aktual}} = 2,18 \%$, dapat diketahui momen nominal kolom yang ditinjau.

$$N_{nd-\min} = \frac{P_u-\min}{f'_c \times b \times h}$$

$$N_{nd-\min} = \frac{1081,1776 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

$$N_{nd-\min} = 0,100109037$$

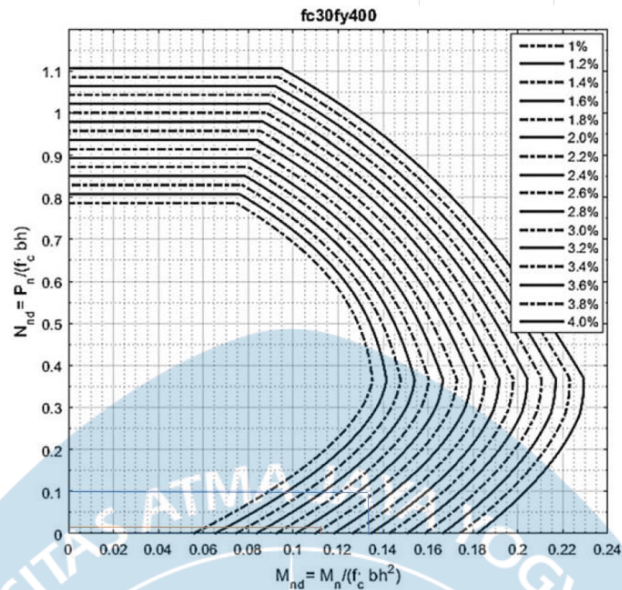
Dari diagram interaksi, $M_{nd-\min} = 0,134$

$$N_{nd-\max} = \frac{P_u-\max}{f'_c \times b \times h}$$

$$N_{nd-\max} = \frac{192,6478 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

$$N_{nd-\max} = 0,017837759$$

Dari diagram interaksi, $M_{nd-\max} = 0,113$



Gambar 2. 59 Diagram $M_n - P_n$

$$M_{nc1} = 0,134 \times f'c \times b \times h^2$$

$$M_{nc1} = 0,134 \times 30 \times 600 \times 600^2$$

$$M_{nc1} = 868,32 \text{ kNm} > M_{nc-\text{min}} = 515,534392 \text{ kNm (OK!)}$$

$$M_{nc2} = 0,113 \times f'c \times b \times h^2$$

$$M_{nc2} = 0,113 \times 30 \times 600 \times 600^2$$

$$M_{nc2} = 732,24 \text{ kNm} > M_{nc-\text{min}} = 515,534392 \text{ kNm (OK!)}$$

4. Penulangan Transversal

Penulangan geser pada kolom menurut SNI 2847:2019 pasal R18.7.5.1, terdiri dari dua bagian yaitu di daerah l_o dan di luar daerah l_o . Panjang l_o dapat ditentukan dari persyaratan berikut, diambil yang terbesar.

- Tinggi Elemen Kolom= 600 mm
- $\frac{1}{6} \times l_n = \frac{1}{6} \times 3300 = 550 \text{ mm}$
- 450 mm

Maka panjang daerah l_o diambil sebesar 600 mm dari ujung kolom.

Penulangan Geser Daerah l_0

Sesuai SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3, spazi tulangan geser maksimum sepanjang l_0 diambil yang terkecil dari:

- $\frac{1}{4} \times 600 = 150 \text{ mm}$
- $6 \times D_{\text{longitudinal}} = 150 \text{ mm}$
- S_0 , dimana S_0 tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm

Untuk mempercepat dan mempermudah perhitungan, diambil spazi tulangan geser maksimum sebesar 100 mm

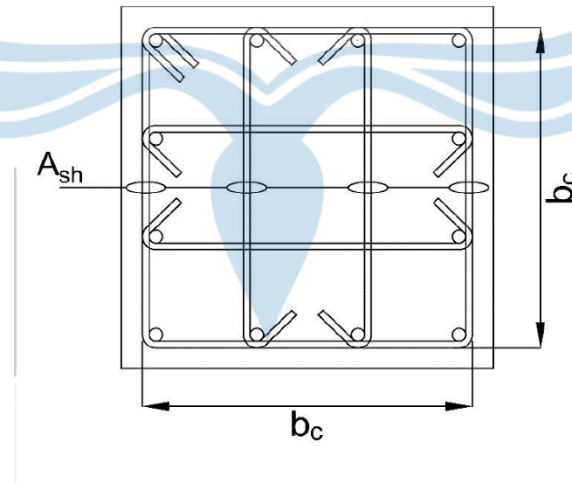
Luas Tulangan Minimum

Sesuai SNI 2847:2019 pasal 18.10.7.4, luas tulangan geser minimum pada daerah l_0 , dihitung dengan persamaan berikut dan diambil nilai terbesar.

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{s \times b_c \times f'c}{f_y} \times \left(\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right)$$

$$A_{sh} = 0,09 \times \frac{s \times b_c \times f'c}{f_y}$$

Dimana nilai b_c ditentukan seperti pada gambar berikut:



Gambar 2. 60 Contoh Penulangan Geser Kolom

$$A_g = 600 \times 600$$

$$A_g = 360000 \text{ mm}^2$$

$$b_c = 600 - 2 \times 40$$

$$b_c = 520 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = 520 \times 520$$

$$A_{ch} = 270400 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{s \times b_c \times f'c}{f_y} \times \left(\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right)$$

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{100 \times 520 \times 30}{400} \times \left(\left(\frac{360000}{270400} \right) - 1 \right)$$

$$A_{sh} = 387,6923077 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = 0,09 \times \frac{s \times b_c \times f'c}{f_y}$$

$$A_{sh} = 0,09 \times \frac{100 \times 520 \times 30}{400}$$

$$A_{sh} = 351 \text{ mm}^2$$

$$\text{Digunakan } A_{sh} = 387,6923077 \text{ mm}^2$$

Jumlah Kaki Sengkang

$$n = \frac{387,6923077}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2}$$

$$n = 2,920859038 \approx 3 \text{ kaki}$$

Digunakan 3D13-100

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 3$$

$$(A_v = 398,1968688 \text{ mm}^2)$$

5. Perhitungan Gaya Geser Rencana Kolom V_e

Dalam semua kasus, gaya geser rencana V_e , tidak boleh kurang dari gaya geser terfaktor yang didapat dari analisis struktur. (SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.1.1)

$$N_{ny-min} = \frac{Pu-min}{f'c \times b \times h}$$

$$N_{ny-min} = \frac{1081,1776 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

$$N_{ny-min} = 0,100109037$$

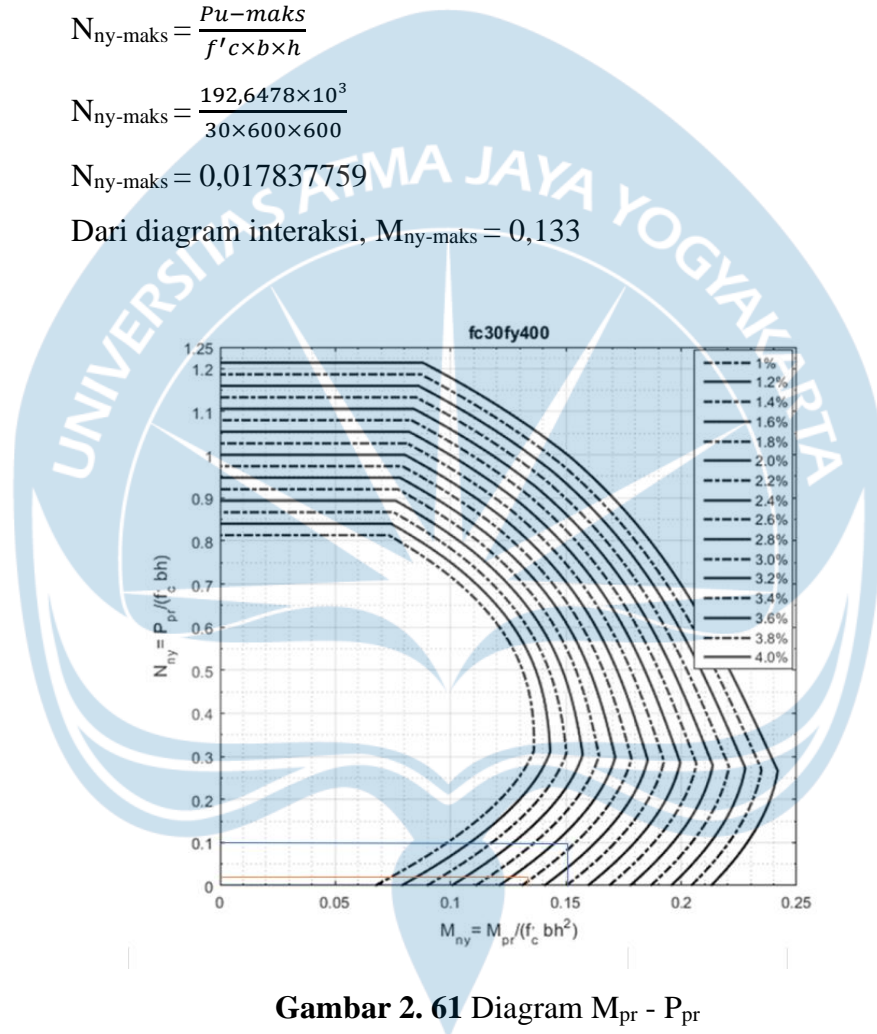
Dari diagram interaksi, $M_{ny-min} = 0,15$

$$N_{ny-maks} = \frac{Pu-maks}{f'c \times b \times h}$$

$$N_{ny-maks} = \frac{192,6478 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

$$N_{ny-maks} = 0,017837759$$

Dari diagram interaksi, $M_{ny-maks} = 0,133$



Gambar 2. 61 Diagram $M_{pr} - P_{pr}$

Dari hasil diagram interaksi digunakan $M_{ny-min} = 0,150$

$$M_{pr-kolom} = 0,150 \times 25 \times 600 \times 600^2$$

$$M_{pr-kolom} = 972 \text{ kNm}$$

6. Perhitungan Geser Berdasarkan Momen Nominal Balok

$$DF_{atas} = \frac{E_{kolom-tinjau}}{E_{kolom-tinjau} + E_{kolom-atas}}$$

$$DF_{atas} = \frac{1,94617 \times 10^{14}}{1,94617 \times 10^{14} + 1,94617 \times 10^{14}}$$

$$DF_{atas} = 0,5$$

$$DF_{bawah} = \frac{EI_{kolom-tinjau}}{EI_{kolom-tinjau} + EI_{kolom-bawah}}$$

$$DF_{bawah} = \frac{1,94617 \times 10^{14}}{1,94617 \times 10^{14} + 1,94617 \times 10^{14}}$$

$$DF_{bawah} = 0,5$$

Dari Perhitungan sebelumnya didapat:

$$\Sigma M_{pr-balok} = 582,56874 + 474,38505 \text{ (Dari Hitungan Balok)}$$

$$\Sigma M_{pr-balok} = 1056,95379 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{pr-kolom} = \frac{DF_{atas}}{DF_{atas} + DF_{bawah}} \Sigma M_{pr-balok}$$

$$\Sigma M_{pr-kolom} = \frac{0,5}{0,5 + 0,5} 1056,95379$$

$$\Sigma M_{pr-kolom} = 528,476895 \text{ kNm}$$

7. Perbandingan Mpr-Kolom

Tabel 2. 21 Mpr-kolom Dari Diagram Interaksi Dan Momen Nominal Kolom

M _{pr-kolom} (kNm)	
Dari Diagram Interaksi	Dari Momen Nominal Kolom
972	528,476895

Sesuai dengan syarat yang telah disebutkan sebelumnya, diambil nilai $M_{pr-kolom} = 528,476895 \text{ kNm}$ untuk digunakan dalam merencanakan gaya geser pada kolom

$$V_e = \frac{2 \times M_{pr-kolom}}{l}$$

$$V_e = \frac{2 \times 528,476895}{4,250}$$

$$V_e = 264,2384475 \text{ kN}$$

$$V_{u-ETABS} = 237,7078 \text{ kN}$$

8. Pemeriksaan Kemampuan Layan Kolom

$$V_s = \frac{Av \times f_y \times d}{s}$$

$$V_s = \frac{398,1968688 \times 400 \times (600 - 40 - 13 - 0,5 \times 25)}{100}$$

$$V_s = 851344,9056 \text{ N}$$

$$V_s = 851,3449056 \text{ kN}$$

$$V_{u\text{-terfaktor}} = \frac{264,2384475}{0,75}$$

$$V_{u\text{-terfaktor}} = 352,31793 \text{ kN} < V_s = 851,3449056 \text{ kN}$$

Dari hasil diatas, dapat disimpulkan bahwa gaya geser yang disediakan sengkang kolom sudah dapat mengakomodasi gaya geser rencana.

9. Penulangan Geser Diluar Daerah l_o

Sesuai SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3, spasi tulangan geser diluar l_o , tidak melebihi yang terkecil dari:

- $6 \times D_{longitudinal} = 150 \text{ mm}$
- 150 mm

Maka diambil spasi tulangan geser sebesar 150 mm

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2, nilai V_c harus diabaikan apabila persyaratan berikut terpenuhi:

- $VE \geq 0,5 \times Vu$
 $264,2384475 \geq 176,158965$ (Terpenuhi)
- $Pu < Ag \times \frac{f'_c}{20}$
Pu-min = 1081,1776 kN
 $Ag \times \frac{f'_c}{20} = 540 \text{ kN}$
- $Pu > Ag \times \frac{f'_c}{20}$ (Tidak Terpenuhi)

Maka $V_c \neq 0$ dan ikut diperhitungkan dalam menentukan kebutuhan sengkang.

10. Pemeriksaan Kekuatan Geser Beton

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times b \times d$$

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{192,6478}{14 \times 360000}\right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 600 \times (600 - 40 - 13 - 0,5 \times 25)$$

$$V_c = 310,0269704 \text{ kN} < V_{u\text{-terfaktor}} = 352,31793 \text{ kN}$$

Kuat geser yang disediakan beton belum mencukupi untuk menahan $V_{u\text{-terfaktor}}$. Maka dibutuhkan tulangan geser pada daerah di luar l_o . Dengan memperhatikan kemudahan kerja dan syarat minimum tulangan geser, diambil luas tulangan geser yang sama dengan tulangan geser di daerah l_o , dengan spasi maksimum sesuai SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3 sebesar 150 mm.

$$V_s = \frac{Av \times fy \times d}{s}$$

$$V_s = \frac{398,1968688 \times 400 \times (600 - 40 - 13 - 0,5 \times 25)}{150}$$

$$V_s = 567,5632704 \text{ kN}$$

$$V_u = V_c + V_s$$

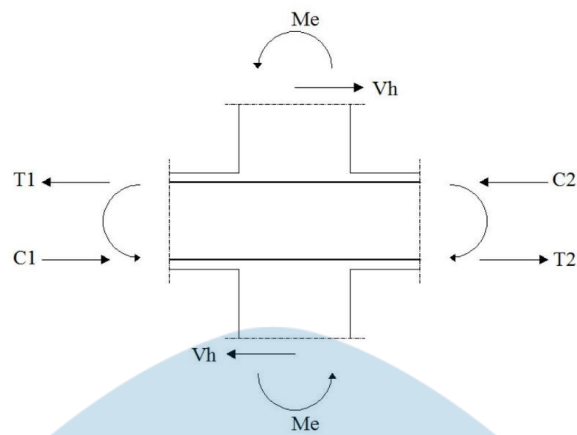
$$V_u = 310,0269704 + 567,5632704$$

$$V_u = 877,5902408 \text{ kN} > V_{u\text{-terfaktor}} = 352,31793 \text{ kN}$$

Desain Tulangan diluar daerah l_o sudah memenuhi syarat.

11. Hubungan Balok Kolom (HBK)

Pada perhitungan sebelumnya didapat nilai geser maksimum kolom adalah sebesar 264,2384475 kN



Gambar 2. 62 Sketsa Hubungan Balok – Kolom

Nilai M_{pr} Balok

Bagian atas balok menggunakan 5D22 ($A_s = 1900,66 \text{ mm}^2$)

Sehingga didapat gaya Tarik sebesar

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\ T_1 &= 1,25 \times 1900,66 \times 400 \\ T_1 &= 997,8465 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$T_1 = C_1$$

Bagian bawah balok menggunakan 4D22 ($A_s = 1520,531 \text{ mm}^2$)

Sehingga didapat gaya tarik sebesar

$$\begin{aligned} T_2 &= 1,25 \times A_s \times f_y \\ T_2 &= 1,25 \times 1520,531 \times 400 \\ T_2 &= 798,278775 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$T_2 = C_2$$

$$V_u = V_h - T_1 - C_2$$

$$V_u = 264,2384475 - 997,8465 - 798,278775$$

$$V_u = -1531,88683 \text{ kN}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.1 kuat geser pada joint untuk balok yang terkekang pada empat sisinya memiliki nilai $V_n =$

$$1,7 \times \sqrt{f'c} \times A_j$$

$$A_j = b_{\text{kolom}} \times h_{\text{kolom}}$$

$$A_j = 600 \times 600$$

$$A_j = 360000 \text{ mm}^2$$

$$V_n = 1,7 \times \sqrt{f'c} \times A_j$$

$$V_n = 1,7 \times \sqrt{30} \times 360000$$

$$V_n = 3352,062052 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,75 \times 3352,062052$$

$$\phi V_n = 2514,046539 > V_u; \text{Kuat Geser Joint Memenuhi}$$

12. Penulangan Geser di Daerah Hubungan Balok-Kolom

SNI 2847:2019 pasal 18.10.7.4 mensyaratkan penulangan geser di daerah HBK.

$$\frac{A_{sh}}{s} = \frac{1}{2} \times 0,3 \times \frac{bc \times f'c}{f_y} \left[\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right]$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = \frac{1}{2} \times 0,3 \times \frac{520 \times 30}{400} \left[\left(\frac{360000}{270400} \right) - 1 \right]$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 1,938461538 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = \frac{1}{2} \times 0,09 \times \frac{bc \times f'c}{f_y}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = \frac{1}{2} \times 0,09 \times \frac{520 \times 30}{400}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 1,755 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Digunakan } \frac{A_{sh}}{s} = 1,938461538 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Pada daerah hubungan balok kolom ini diambil spasi sebesar 150 mm

$$A_{sh} = 290,7692308 \text{ mm}^2$$

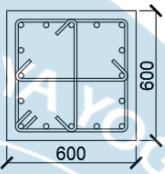
Jumlah Kaki Sengkang:

$$n = \frac{Ash}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2}$$

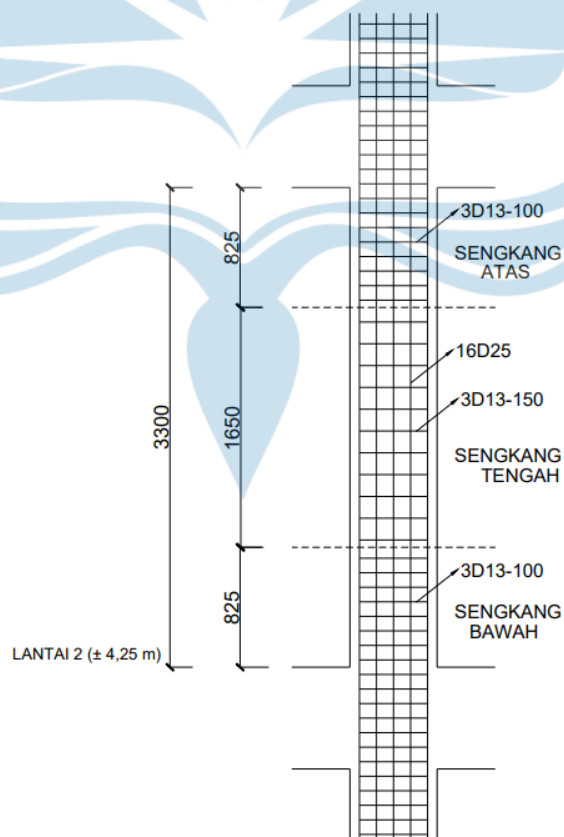
$$n = 2,190655278 \text{ kaki}$$

$$n \approx 3 \text{ kaki}$$

Maka, digunakan 3D13-150

KOLOM	TULANGAN
K 1	
	UKURAN KOLOM
	TULANGAN LONGITUDINAL
	SENGKANG ATAS
	SENGKANG TENGAH
SENGKANG BAWAH	

Gambar 2. 63 Kolom K1 600x600 mm



Gambar 2. 64 Potongan Penulangan Kolom K1 600x600 mm

2.7.3 Data Perencanaan Kolom K1 Lantai 3

1. Mutu Beton ($f'c$) = 30 MPa
2. β_1 = $0,85 - \frac{f'c-28}{7} \times 0,05$
= $0,85 - \frac{30-28}{7} \times 0,05$
= 0,8357143
3. Mutu Tulangan Deform (f_y) = 400 MPa
4. Tulangan Deform Longitudinal = 25 mm
5. Tulangan Deform Geser = 10 mm

Konfigurasi Kolom

- Panjang Kolom (l) = 4000 mm
- Panjang Bersih Kolom (l_n) = $4000 - \frac{h_{balok}}{2} - \frac{h_{balok}}{2}$
= 3300 mm
- Lebar Kolom (b) = 600 mm
- Tinggi Kolom (h) = 600 mm
- Selimut Beton = 40 mm

1. Pemeriksaan Kelangsingan Kolom

Pemeriksaan Tipe Portal

Arah – X (Data Dari E-Tabs)

$$P = 570,0441 \text{ kN}$$

$$V = 158,4763 \text{ kN}$$

$$\Delta = 28,969 \text{ mm}$$

$$Q = \frac{\sum Pu \times \Delta e}{V_u \times l_n}$$
$$= \frac{570,0441 \times 28,969}{158,4763 \times 3300}$$

$$= 0,03157648 \leq 0,05 \text{ (Struktur Tidak Bergoyang)}$$

Arah – Y (Data Dari E-Tabs)

$$P = 570,0441 \text{ kN}$$

$$V = 145,8991 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\Delta &= 27,906\text{mm} \\ Q &= \frac{\Sigma Pu \times \Delta e}{Vu \times ln} \\ &= \frac{570,0441 \times 27,906}{145,8991 \times 3300} \\ &= 0,03303996 \leq 0,05 \text{ (Struktur Tidak Bergoyang)}\end{aligned}$$

Pemeriksaan Kelangsingan Kolom Arah – X

Kekangan Atas

- Kolom Tinjau

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

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

$$I_{k-tinjau} = 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12}$$

$$= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$EI_{k-tinjau} = 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{k-tinjau}$$

$$= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9$$

$$= 1,94617 \times 10^{14}$$

- Kolom Atas

$$b = 0 \text{ mm}$$

$$h = 0 \text{ mm}$$

$$l_k = 0 \text{ mm}$$

$$I_{k-atas} = 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= 0,7 \times \frac{0 \times 0^3}{12}$$

$$= 0$$

$$EI_{k-atas} = 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{k-atas}$$

$$= 4700 \times \sqrt{30} \times 0$$

$$= 0$$

- Balok Atas Kolom Tinjau

$$b = 450 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 h &= 700 \text{ mm} \\
 l_b &= 8000 \text{ mm} \\
 I_{b-atas} &= 0,35 \times \frac{b \times h^3}{12} \\
 &= 0,35 \times \frac{450 \times 700^3}{12} \\
 &= 4,501875 \times 10^9 \text{ mm}^4 \\
 EI_{b-atas} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{b-atas} \\
 &= 4700 \times \sqrt{30} \times 4,501875 \times 10^9 \\
 &= 1,15892 \times 10^{14}
 \end{aligned}$$

Faktor Kekangan Atas Kolom

$$\begin{aligned}
 \psi_{\text{atas}} &= \frac{\frac{EI_{k-tinjau}}{l_{k-tinjau}}}{\frac{EI_{b-atas}}{l_{b-atas}} + \frac{EI_{b-atas}}{l_{b-atas}}} \\
 \psi_{\text{atas}} &= \frac{\frac{1,94617 \times 10^{14}}{4000}}{\frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000} + \frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000}} \\
 \psi_{\text{atas}} &= 1,67930029
 \end{aligned}$$

Kekangan Bawah

- Kolom Tinjau

$$\begin{aligned}
 b &= 600 \text{ mm} \\
 h &= 600 \text{ mm} \\
 l_k &= 4000 \text{ mm} \\
 I_{k-tinjau} &= 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12} \\
 &= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12} \\
 &= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EI_{k-tinjau} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{k-tinjau} \\
 &= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9 \\
 &= 1,94617 \times 10^{14}
 \end{aligned}$$

- Kolom Bawah

$$\begin{aligned}
 b &= 600 \text{ mm} \\
 h &= 600 \text{ mm} \\
 l_k &= 4000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{k-bawah} &= 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12} \\
&= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12} \\
&= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4 \\
EI_{k-bawah} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{k-bawah} \\
&= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9 \\
&= 1,94617 \times 10^{14}
\end{aligned}$$

- Balok Bawah Kolom Tinjau

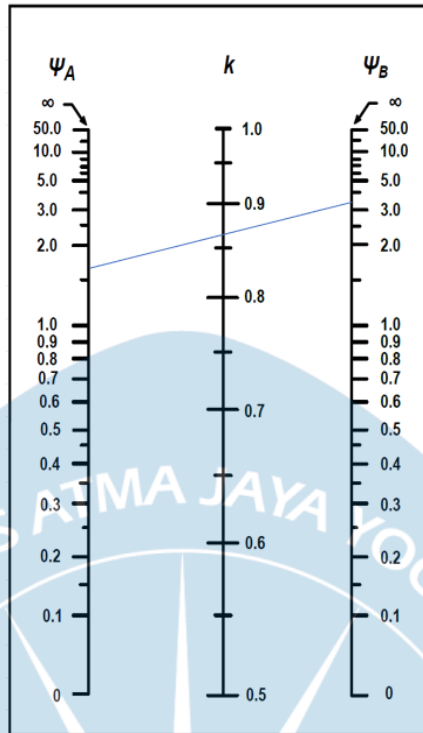
$$\begin{aligned}
b &= 450 \text{ mm} \\
h &= 700 \text{ mm} \\
l_b &= 8000 \text{ mm} \\
I_{b-bawah} &= 0,35 \times \frac{b \times h^3}{12} \\
&= 0,35 \times \frac{450 \times 700^3}{12} \\
&= 4,501875 \times 10^9 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
EI_{b-bawah} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{b-bawah} \\
&= 4700 \times \sqrt{30} \times 4,501875 \times 10^9 \\
&= 1,15892 \times 10^{14}
\end{aligned}$$

Faktor Kekangan Bawah Kolom

$$\begin{aligned}
\psi_{bawah} &= \frac{\frac{EI_{k-tinjau}}{l_{k-tinjau}} + \frac{EI_{k-bawah}}{l_{k-bawah}}}{\frac{EI_{b-bawah}}{l_{b-bawah}} + \frac{EI_{b-bawah}}{l_{b-bawah}}} \\
\psi_{bawah} &= \frac{\frac{1,94617 \times 10^{14}}{4000} + \frac{1,94617 \times 10^{14}}{4000}}{\frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000} + \frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000}} \\
\psi_{bawah} &= 3,35860058
\end{aligned}$$

Setelah nilai faktor kekangan diperoleh, nilai tersebut diplot ke grafik faktor k (SNI 2847:2019 gambar R6.2.5 – Faktor Panjang Efektif, k)



Gambar 2. 65 Nomograma Faktor Kekangan Struktur Tidak Bergoyang

Dari *plotting* didapat nilai $k = 0,86$, selanjutnya dilakukan analisis sesuai SNI 2847:2019 pasal 6.2.5a, dimana kolom yang ditinjau merupakan komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan samping.

$$= \frac{k \times l_n}{r} \leq 22$$

Dengan r diambil sebesar 0,3 dari dimensi arah tinjauan stabilitas (SNI 2847:2019 pasal 6.2.5.1b).

$$= \frac{0,86 \times 3300}{0,3 \times 600} \leq 22$$

$$= 15,76666667 \leq 22 \text{ (kelangsingan kolom diabaikan)}$$

Pemeriksaan Kelangsingan Kolom Arah – y
Kekangan Atas

- Kolom Tinjau

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

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

$$\begin{aligned} I_{k-tinjau} &= 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12} \\ &= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12} \\ &= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI_{k-tinjau} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{k-tinjau} \\ &= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9 \\ &= 1,94617 \times 10^{14} \end{aligned}$$

- Kolom Atas

$$b = 0 \text{ mm}$$

$$h = 0 \text{ mm}$$

$$l_k = 0 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{k-atas} &= 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12} \\ &= 0,7 \times \frac{0 \times 0^3}{12} \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI_{k-atas} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \times I_{k-atas} \\ &= 4700 \times \sqrt{30} \times 0 \\ &= 0 \end{aligned}$$

- Balok Atas Kolom Tinjau

$$b = 450 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$l_b = 8000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{b-atas} &= 0,35 \times \frac{b \times h^3}{12} \\ &= 0,35 \times \frac{450 \times 700^3}{12} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4,501875 \times 10^9 \text{ mm}^4 \\
 EI_{b-atas} &= 4700 \times \sqrt{f'c} \times Ib - atas \\
 &= 4700 \times \sqrt{30} \times 4,501875 \times 10^9 \\
 &= 1,15892 \times 10^{14}
 \end{aligned}$$

Faktor Kekangan Atas Kolom

$$\psi \text{ atas} = \frac{\frac{Elk-tinjau}{lk-tinjau}}{\frac{Elb-atas}{lb-atas} + \frac{Elb-atas}{lb-atas}}$$

$$\psi \text{ atas} = \frac{\frac{1,94617 \times 10^{14}}{4000}}{\frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000} + \frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000}}$$

$$\psi \text{ atas} = 1,67930029$$

Kekangan Bawah

- Kolom Tinjau

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

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

$$I_{k-tinjau} = 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12}$$

$$= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$EI_{k-tinjau} = 4700 \times \sqrt{f'c} \times Ik - tinjau$$

$$= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9$$

$$= 1,94617 \times 10^{14}$$

- Kolom Bawah

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

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

$$I_{k-bawah} = 0,7 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= 0,7 \times \frac{600 \times 600^3}{12}$$

$$= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$EI_{k-bawah} = 4700 \times \sqrt{f'c} \times Ik - bawah$$

$$= 4700 \times \sqrt{30} \times 7,56 \times 10^9$$

$$= 1,94617 \times 10^{14}$$

- Balok Bawah Kolom Tinjau

$$b = 450 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$I_b = 8000 \text{ mm}$$

$$I_{b-bawah} = 0,35 \times \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= 0,35 \times \frac{450 \times 700^3}{12}$$

$$= 4,501875 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$EI_{b-bawah} = 4700 \times \sqrt{f'c} \times Ib - bawah$$

$$= 4700 \times \sqrt{30} \times 4,501875 \times 10^9$$

$$= 1,15892 \times 10^{14}$$

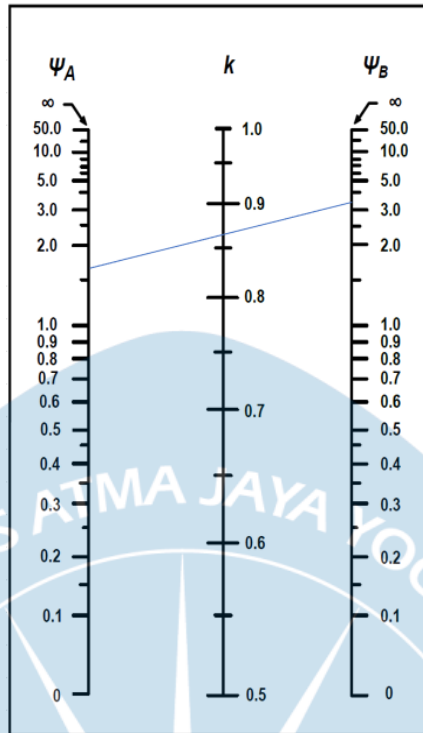
Faktor Kekangan Bawah Kolom

$$\psi \text{ bawah} = \frac{\frac{EI_{k-tinjau}}{lk-tinjau} + \frac{EI_{k-bawah}}{lk-bawah}}{\frac{EI_{b-bawah}}{lb-bawah} + \frac{EI_{b-bawah}}{lb-bawah}}$$

$$\psi \text{ bawah} = \frac{\frac{1,94617 \times 10^{14}}{4000} + \frac{1,94617 \times 10^{14}}{4000}}{\frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000} + \frac{1,15892 \times 10^{14}}{8000}}$$

$$\psi \text{ bawah} = 3,35860058$$

Setelah nilai faktor kekangan diperoleh, nilai tersebut diplot ke grafik faktor k (SNI 2847: 2019 gambar R6.2.5 – Faktor Panjang Efektif, k)



Gambar 2. 66 Nomograma Faktor Kekangan Struktur Tidak Bergoyang

Dari *plotting* didapat nilai $k = 0,86$, selanjutnya dilakukan analisis sesuai SNI 2847:2019 pasal 6.2.5a, dimana kolom yang ditinjau merupakan komponen struktur tekan yang tidak di-breising.

$$= \frac{k \times l_n}{r} \leq 22$$

Dengan r diambil sebesar 0,3 dari dimensi arah tinjauan stabilitas (SNI 2847:2019 pasal 6.2.5.1).

$$= \frac{0,86 \times 3300}{0,3 \times 600} \leq 22$$

$$= 15,76666667 \leq 22 \text{ (kelangsingan kolom diabaikan)}$$

2. Penulangan Longitudinal

Perhitungan penulangan logitudinal kolom menggunakan diagram interaksi kolom untuk memudahkan perkiraan nilai rasio penulangan. Dari hasil analisis ETABS diperoleh gaya seperti berikut:

Tabel 2. 22 Gaya dan Momen Kolom K1 600x600 Lantai 3

Pu-maks (kN)	Pu-min (kN)	Mu (kN)	Vu (kN)
66,8733	570,0441	362,8149	145,8991

$$N_{od-min} = \frac{Pu-min}{f'c \times b \times h}$$

$$N_{od-min} = \frac{570,0441 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

$$N_{od-min} = 0,052781861$$

$$M_{od} = \frac{Mu}{f'c \times b \times h^2}$$

$$M_{od} = \frac{362,8149 \times 10^6}{30 \times 600 \times 600^2}$$

$$M_{od} = 0,055989954$$

Diagram Interaksi, $\rho = 0,01$

$$N_{od-maks} = \frac{Pu-maks}{f'c \times b \times h}$$

$$N_{od-maks} = \frac{66,8733 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

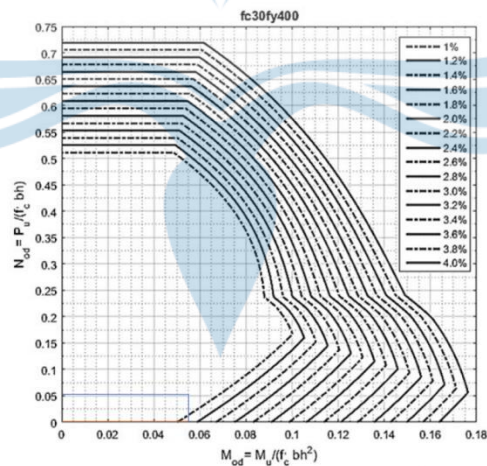
$$N_{od-maks} = 0,006191972$$

$$M_{od} = \frac{Mu}{f'c \times b \times h^2}$$

$$M_{od} = \frac{362,8149 \times 10^6}{30 \times 600 \times 600^2}$$

$$M_{od} = 0,055989954$$

Diagram Interaksi, $\rho = 0,011$



Gambar 2. 67 Diagram $\phi M_n - \phi P_n$

Dari perhitungan di atas, diperoleh rasio tulangan sebesar 0,011, sehingga untuk perhitungan tulangan longitudinal selanjutnya digunakan rasio tulangan $\rho = 0,02$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times h \\
 A_s &= 0,02 \times 600 \times 600 \\
 A_s &= 7200 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{A_s}{A_{s-\text{tulangan}}} \\
 n &= \frac{7200}{\frac{1}{4} \times \pi \times 25^2} \\
 n &= 14,66771956 \\
 n &\approx 16 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2.3, jarak bersih pada struktur komponen tekan harus lebih besar dari 40 mm.

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{600 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - (\frac{16}{4} + 1) \times 25}{\frac{16}{4}} \\
 x &= 92,25 \text{ mm, Jarak Bersih Memenuhi Syarat} \\
 \rho &= \frac{16 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2}{600 \times 600} \\
 \rho &= 2,1805556 \%
 \end{aligned}$$

SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1, menyatakan bahwa luas tulangan memanjang tidak boleh kurang dari 0,01 atau lebih dari 0,06.

$$0,01 < 0,021805556 < 0,06 \text{ (OK!)}$$

Maka, digunakan 16D25

3. Pemeriksaan Kuat Kolom (SCWB)

Agar kolom memenuhi syarat “Strong Column Weak Beams”, diperlukan pemeriksaan kekuatan kolom dan kekuatan balok yang merangkai pada titik pertemuan yang ditinjau. Sehingga momen nominal kolom harus memenuhi $\Sigma M_{nc} \geq 1,2 \Sigma M_{nb}$.

Momen nominal balok dari perhitungan sebelumnya:

$$\Sigma M_{nb} = 474,38505 + 384,83927 \text{ (Dari Hitungan Balok)}$$

$$\Sigma M_{nb} = 859,22432 \text{ kNm}$$

Kebutuhan jumlah momen nominal minimum kolom:

$$\Sigma M_{nc} = 1,2 \Sigma M_{nb}$$

$$\Sigma M_{nc} = 1,2 \times 859,22432$$

$$\Sigma M_{nc} = 1031,069184 \text{ kNm}$$

Kebutuhan jumlah momen nominal minimum untuk satu kolom:

$$M_{nc-\text{min}} = \frac{\Sigma M_{nc}}{2}$$

$$M_{nc-\text{min}} = \frac{1031,069184}{2}$$

$$M_{nc-\text{min}} = 515,534592 \text{ kNm}$$

Maka kolom yang dirancang harus mampu memikul $M_{nc-\text{min}}$. Dengan bantuan diagram interaksi hubungan $P_n - M_n$ dan $\rho_{\text{aktual}} = 2,18 \%$, dapat diketahui momen nominal kolom yang ditinjau.

$$N_{nd-\text{min}} = \frac{P_u-\text{min}}{f'_c \times b \times h}$$

$$N_{nd-\text{min}} = \frac{570,0441 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

$$N_{nd-\text{min}} = 0,052781861$$

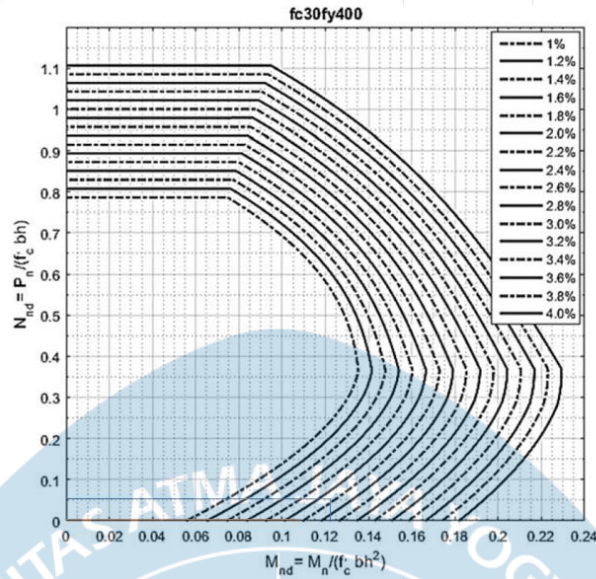
Dari diagram interaksi, $M_{nd-\text{min}} = 0,124$

$$N_{nd-\text{maks}} = \frac{P_u-\text{maks}}{f'_c \times b \times h}$$

$$N_{nd-\text{maks}} = \frac{66,8733 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

$$N_{nd-\text{maks}} = 0,006191972$$

Dari diagram interaksi, $M_{nd-\text{maks}} = 0,108$



Gambar 2. 68 Diagram $M_n - P_n$

$$M_{nc1} = 0,124 \times f'c \times b \times h^2$$

$$M_{nc1} = 0,124 \times 30 \times 600 \times 600^2$$

$$M_{nc1} = 803,52 \text{ kNm} > M_{nc-\text{min}} = 515,534392 \text{ kNm (OK!)}$$

$$M_{nc2} = 0,108 \times f'c \times b \times h^2$$

$$M_{nc2} = 0,108 \times 30 \times 600 \times 600^2$$

$$M_{nc2} = 699,84 \text{ kNm} > M_{nc-\text{min}} = 515,534392 \text{ kNm (OK!)}$$

4. Penulangan Transversal

Penulangan geser pada kolom menurut SNI 2847:2019 pasal R18.7.5.1, terdiri dari dua bagian yaitu di daerah l_o dan di luar daerah l_o . Panjang l_o dapat ditentukan dari persyaratan berikut, diambil yang terbesar.

- Tinggi Elemen Kolom= 600 mm
- $\frac{1}{6} \times l_n = \frac{1}{6} \times 3300 = 550 \text{ mm}$
- 450 mm

Maka panjang daerah l_o diambil sebesar 600 mm dari ujung kolom.

Penulangan Geser Daerah l_o

Sesuai SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3, spasi tulangan geser maksimum sepanjang l_o diambil yang terkecil dari:

- $\frac{1}{4} \times 600 = 150 \text{ mm}$
- $6 \times D_{longitudinal} = 150 \text{ mm}$
- S_o , dimana S_o tidak boleh melebihi 150 mm dan tidak perlu kurang dari 100 mm

Untuk mempercepat dan mempermudah perhitungan, diambil spasi tulangan geser maksimum sebesar 100 mm

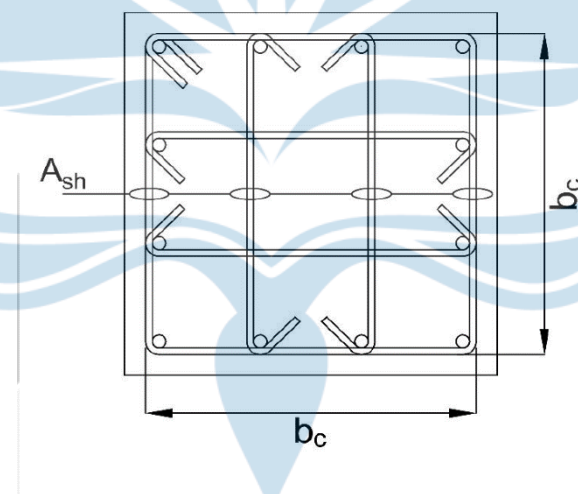
Luas Tulangan Minimum

Sesuai SNI 2847:2019 pasal 18.10.7.4, luas tulangan geser minimum pada daerah l_0 , dihitung dengan persamaan berikut dan diambil nilai terbesar.

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{s \times b_c \times f'c}{f_y} \times \left(\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right)$$

$$A_{sh} = 0,09 \times \frac{s \times b_c \times f'c}{f_y}$$

Dimana nilai b_c ditentukan seperti pada gambar berikut:



Gambar 2. 69 Contoh Penulangan Geser Kolom

$$A_g = 600 \times 600$$

$$A_g = 360000 \text{ mm}^2$$

$$b_c = 600 - 2 \times 40$$

$$b_c = 520 \text{ mm}$$

$$A_{ch} = 520 \times 520$$

$$A_{ch} = 270400 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{s \times bc \times f'c}{f_y} \times \left(\left(\frac{A_g}{A_{ch}} \right) - 1 \right)$$

$$A_{sh} = 0,3 \times \frac{100 \times 520 \times 30}{400} \times \left(\left(\frac{360000}{270400} \right) - 1 \right)$$

$$A_{sh} = 387,6923077 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} = 0,09 \times \frac{s \times bc \times f'c}{f_y}$$

$$A_{sh} = 0,09 \times \frac{100 \times 520 \times 30}{400}$$

$$A_{sh} = 351 \text{ mm}^2$$

$$\text{Digunakan } A_{sh} = 387,6923077 \text{ mm}^2$$

Jumlah Kaki Sengkang

$$n = \frac{387,6923077}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2}$$

$$n = 2,920859038 \approx 3 \text{ kaki}$$

Digunakan 3D13-100

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 3$$

$$(A_v = 398,1968688 \text{ mm}^2)$$

5. Perhitungan Gaya Geser Rencana Kolom V_e

Dalam semua kasus, gaya geser rencana V_e , tidak boleh kurang dari gaya geser terfaktor yang didapat dari analisis struktur. (SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.1.1)

$$N_{ny-\min} = \frac{Pu-\min}{f'c \times b \times h}$$

$$N_{ny-\min} = \frac{570,0441 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

$$N_{ny-\min} = 0,052781861$$

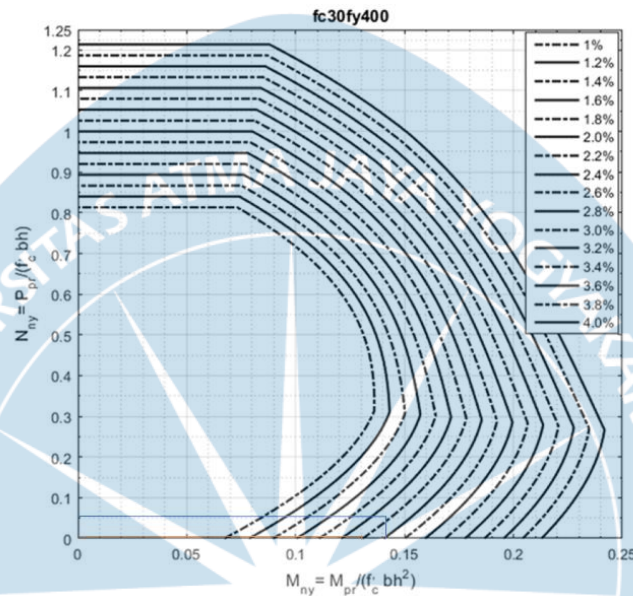
Dari diagram interaksi, $M_{ny-\min} = 0,141$

$$N_{ny-maks} = \frac{Pu-maks}{f'c \times b \times h}$$

$$N_{ny-maks} = \frac{66,8733 \times 10^3}{30 \times 600 \times 600}$$

$$N_{ny-maks} = 0,006191972$$

Dari diagram interaksi, $M_{ny-maks} = 0,13$



Gambar 2. 70 Diagram $M_{pr} - P_{pr}$

Dari hasil diagram interaksi digunakan $M_{ny-min} = 0,141$

$$M_{pr-kolom} = 0,141 \times 25 \times 600 \times 600^2$$

$$M_{pr-kolom} = 913,68 \text{ kNm}$$

6. Perhitungan Geser Berdasarkan Momen Nominal Balok

$$DF_{atas} = \frac{E_{kolom-tinjau}}{E_{kolom-tinjau}}$$

$$DF_{atas} = \frac{1,94617 \times 10^{14}}{1,94617 \times 10^{14}}$$

$$DF_{atas} = 1$$

$$DF_{bawah} = \frac{E_{kolom-tinjau}}{E_{kolom-tinjau} + E_{kolom-bawah}}$$

$$DF_{bawah} = \frac{1,94617 \times 10^{14}}{1,94617 \times 10^{14} + 1,94617 \times 10^{14}}$$

$$DF_{bawah} = 0,5$$

Dari Perhitungan sebelumnya didapat:

$$\Sigma M_{pr-balok} = 582,56874 + 474,38505 \text{ (Dari Hitungan Balok)}$$

$$\Sigma M_{pr-balok} = 1056,95379 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{pr-kolom} = \frac{DFatas}{DFatas+DFbawah} \Sigma M_{pr} - balok$$

$$\Sigma M_{pr-kolom} = \frac{1}{1+0,5} 1056,95379$$

$$\Sigma M_{pr-kolom} = 704,63586 \text{ kNm}$$

7. Perbandingan Mpr-Kolom

Tabel 2. 23 Mpr-kolom Dari Diagram Interaksi Dan Momen Nominal Kolom

M _{pr-kolom} (kNm)	
Dari Diagram Interaksi	Dari Momen Nominal Kolom
913,68	704,63586

Sesuai dengan syarat yang telah disebutkan sebelumnya, diambil nilai $M_{pr-kolom} = 704,63586 \text{ kNm}$ untuk digunakan dalam merencanakan gaya geser pada kolom

$$V_e = \frac{2 \times M_{pr-kolom}}{l}$$

$$V_e = \frac{2 \times 704,63586}{4,250}$$

$$V_e = 352,31793 \text{ kN}$$

$$V_{u-ETABS} = 145,8991 \text{ kN}$$

8. Pemeriksaan Kemampuan Layan Kolom

$$V_s = \frac{Av \times fy \times d}{s}$$

$$V_s = \frac{398,1968688 \times 400 \times (600 - 40 - 13 - 0,5 \times 25)}{100}$$

$$V_s = 851344,9056 \text{ N}$$

$$V_s = 851,3449056 \text{ kN}$$

$$V_{u-terfaktor} = \frac{352,31793}{0,75}$$

$$V_{u-terfaktor} = 469,75724 \text{ kN} < V_s = 851,3449056 \text{ kN}$$

Dari hasil diatas, dapat disimpulkan bahwa gaya geser yang disediakan sengkang kolom sudah dapat mengakomodasi gaya geser rencana.

9. Penulangan Geser Diluar Daerah l_o

Sesuai SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3, spasi tulangan geser diluar l_o, tidak melebihi yang terkecil dari:

- $6 \times D_{longitudinal} = 150 \text{ mm}$
- 150 mm

Maka diambil spasi tulangan geser sebesar 150 mm

Menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2, nilai V_c harus diabaikan apabila persyaratan berikut terpenuhi:

- $VE \geq 0,5 \times Vu$
 $145,8991 \geq 234,87862$ (Tidak Terpenuhi)
- $Pu < Ag \times \frac{f'c}{20}$
 $Pu\text{-min} = 570,0441 \text{ kN}$
 $Ag \times \frac{f'c}{20} = 540 \text{ kN}$
- $Pu > Ag \times \frac{f'c}{20}$ (Tidak Terpenuhi)

Maka V_c ≠ 0 dan ikut diperhitungkan dalam menentukan kebutuhan sengkang.

10. Pemeriksaan Kekuatan Geser Beton

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{Nu}{14Ag}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times b \times d$$

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{66,8733}{14 \times 360000}\right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 600 \times (600 - 40 - 13 - 0,5 \times 25)$$

$$V_c = 302,5750094 \text{ kN} < V_{u\text{-terfaktor}} = 469,75724 \text{ kN}$$

Kuat geser yang disediakan beton belum mencukupi untuk menahan V_u -terfaktor. Maka dibutuhkan tulangan geser pada daerah di luar l_o . Dengan memperhatikan kemudahan kerja dan syarat minimum tulangan geser, diambil luas tulangan geser yang sama dengan tulangan geser di daerah l_o , dengan spasi maksimum sesuai SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3 sebesar 150 mm.

$$V_s = \frac{Av \times fy \times d}{s}$$

$$V_s = \frac{398,1968688 \times 400 \times (600 - 40 - 13 - 0,5 \times 25)}{150}$$

$$V_s = 567,5632704 \text{ kN}$$

$$V_u = V_c + V_s$$

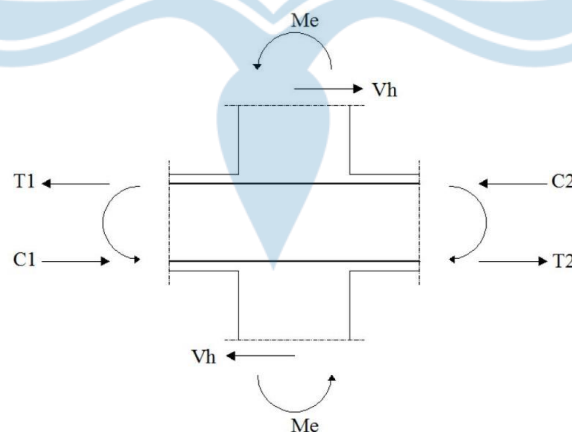
$$V_u = 302,5750094 + 567,5632704$$

$$V_u = 870,1382798 \text{ kN} > V_{u\text{-terfaktor}} = 469,75724 \text{ kN}$$

Desain Tulangan diluar daerah l_o sudah memenuhi syarat.

11. Hubungan Balok Kolom (HBK)

Pada perhitungan sebelumnya didapat nilai geser maksimum kolom adalah sebesar 352,31793 kN



Gambar 2. 71 Sketsa Hubungan Balok – Kolom

Nilai M_{pr} Balok

Bagian atas balok menggunakan 5D22 ($A_s = 1900,66 \text{ mm}^2$)

Sehingga didapat gaya Tarik sebesar

$$T_1 = 1,25 \times A_s \times f_y$$

$$T_1 = 1,25 \times 1900,66 \times 400$$

$$T_1 = 997,8465 \text{ kN}$$

$$T_1 = C_1$$

Bagian bawah balok menggunakan 4D22 ($A_s = 1520,531 \text{ mm}^2$)

Sehingga didapat gaya tarik sebesar

$$T_2 = 1,25 \times A_s \times f_y$$

$$T_2 = 1,25 \times 1520,531 \times 400$$

$$T_2 = 798,278775 \text{ kN}$$

$$T_2 = C_2$$

$$V_u = V_h - T_1 - C_2$$

$$V_u = 352,31793 - 997,8465 - 798,278775$$

$$V_u = -1443,807345 \text{ kN}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 Pasal 18.8.4.1 kuat geser pada joint untuk balok yang terkekang pada empat sisinya memiliki nilai $V_n =$

$$1,7 \times \sqrt{f'_c} \times A_j$$

$$A_j = b_{\text{kolom}} \times h_{\text{kolom}}$$

$$A_j = 600 \times 600$$

$$A_j = 360000 \text{ mm}^2$$

$$V_n = 1,7 \times \sqrt{f'_c} \times A_j$$

$$V_n = 1,7 \times \sqrt{30} \times 360000$$

$$V_n = 3352,062052 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 0,75 \times 3352,062052$$

$$\phi V_n = 2514,046539 > V_u; \text{Kuat Geser Joint Memenuhi}$$

12. Penulangan Geser di Daerah Hubungan Balok-Kolom

SNI 2847:2019 pasal 18.10.7.4 mensyaratkan penulangan geser di daerah HBK.

$$\frac{Ash}{s} = \frac{1}{2} \times 0,3 \times \frac{bc \times f'c}{f_y} \left[\left(\frac{Ag}{Ach} \right) - 1 \right]$$

$$\frac{Ash}{s} = \frac{1}{2} \times 0,3 \times \frac{520 \times 30}{400} \left[\left(\frac{360000}{270400} \right) - 1 \right]$$

$$\frac{Ash}{s} = 1,938461538 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{Ash}{s} = \frac{1}{2} \times 0,09 \times \frac{bc \times f'c}{f_y}$$

$$\frac{Ash}{s} = \frac{1}{2} \times 0,09 \times \frac{520 \times 30}{400}$$

$$\frac{Ash}{s} = 1,755 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Digunakan $\frac{Ash}{s} = 1,938461538 \text{ mm}^2/\text{mm}$

Pada daerah hubungan balok kolom ini diambil spasi sebesar 150 mm

$$A_{sh} = 290,7692308 \text{ mm}^2$$

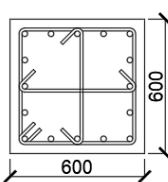
Jumlah Kaki Sengkang:

$$n = \frac{Ash}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2}$$

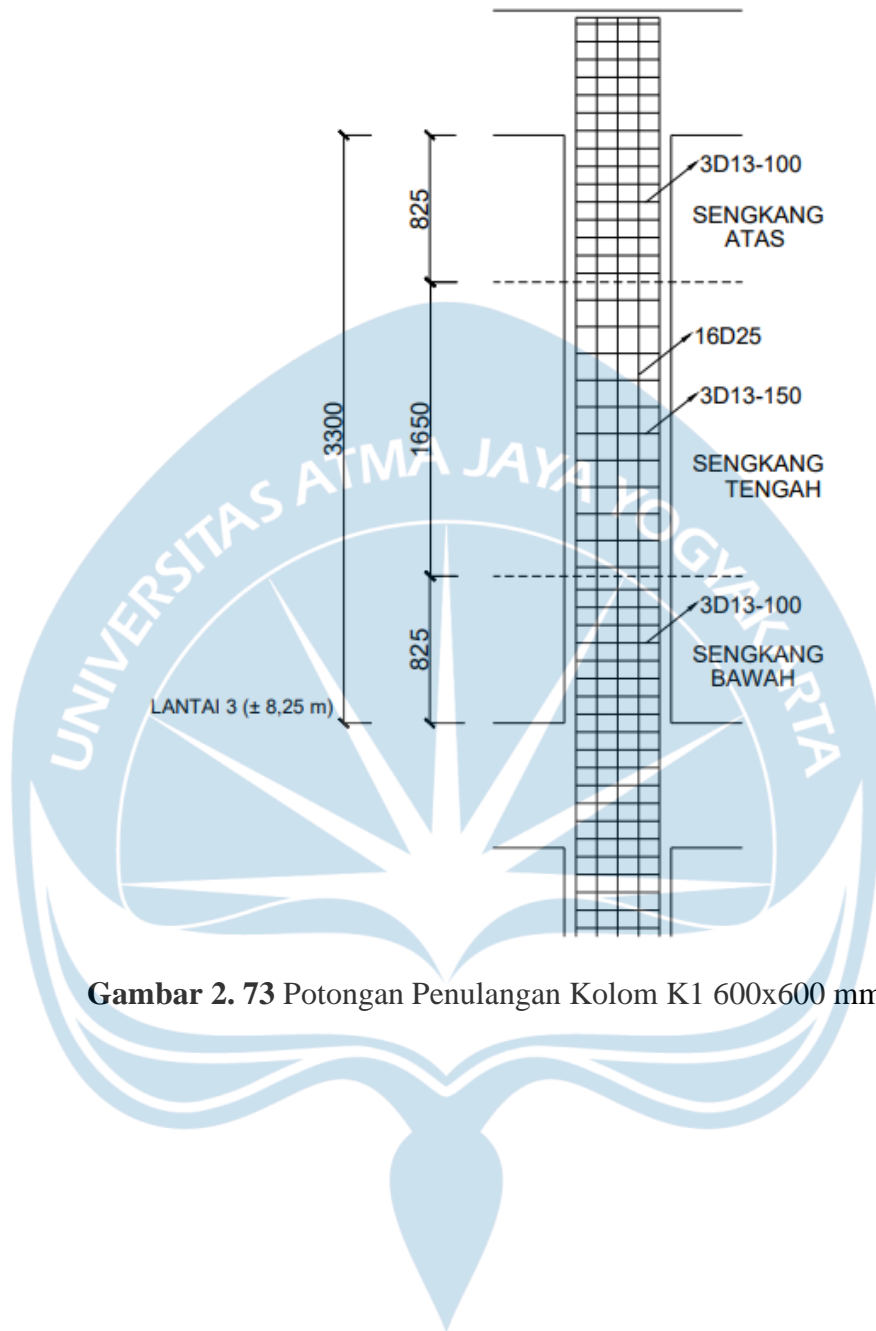
$$n = 2,190655278 \text{ kaki}$$

$$n \approx 3 \text{ kaki}$$

Maka, digunakan 3D13-150

KOLOM	TULANGAN
K 1	
UKURAN KOLOM	600 x 600 mm
TULANGAN LONGITUDINAL	16D25
SENGKANG ATAS	3D13-100
SENGKANG TENGAH	3D13-150
SENGKANG BAWAH	3D13-100

Gambar 2. 72 Kolom K1 600x600 mm



Gambar 2. 73 Potongan Penulangan Kolom K1 600x600 mm