

BAB II

PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

2.1 Preliminary Ukuran Elemen Struktur

Perancangan awal yang harus dilakukan sebelum menghitung dan merancang struktur bangunan adalah menentukan dimensi balok, kolom dan pelat lantai. Pada tahap *preliminary* ukuran elemen struktur dilakukan penentuan dimensi balok, kolom dan pelat sebagai pedoman awal perancangan. Pada penentuan dimensi struktur digunakan pedoman SNI 2847 tahun 2019.

2.1.1 Penentuan Dimensi Balok

Balok adalah elemen struktur horizontal yang berfungsi menahan dan menyalurkan beban dari pelat/lantai menuju kolom atau tumpuan. Balok bekerja terutama terhadap momen lentur dan gaya geser, sehingga harus direncanakan agar mampu menahan beban vertikal tanpa mengalami kegagalan lentur, geser, maupun lendutan berlebihan. Balok juga berperan menjaga kekakuan struktur secara keseluruhan dan memastikan distribusi beban berjalan dengan aman serta efisien.

Persyaratan mengenai dimensi balok diatur pada SNI 2847 tahun 2019. Syarat-syarat yang harus dipenuhi adalah ukuran estimasi balok harus berdasarkan pada momen yang dipunyai. Nilai R_n harus berada pada 2,5 – 3 karena jika nilai R_n yang terlalu kecil mengakibatkan ukuran tampang menjadi boros, jika R_n besar maka akan ada pemborosan dalam penggunaan baja tulangan.

Diketahui:

- Tebal Pelat = 125 mm
- Lebar bentangan Y = 8000 mm
- Lebar bentang X = 6000 mm
- Lebar bentangan balok anak = 6000 mm

- Berat jenis Beton = 24 kN
- Berat jenis pasir = 17 kN
- BJ dinding = 2,7kN/m² (SNI 2847;2019)
- Tinggi antar lantai = 4,6 m
- *Load Live* = 4,79 kN/m²
- Tinggi bersih dinding = 4,6 – 0,55 = 4.05 m
- Φ = 0,9

1. Menghitung Beban Terfaktor

➤ Menghitung beban mati

$$\text{Berat Sendiri Pelat} = 0,125 \times 24 = 3 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pasir 3 cm} = 0,03 \times 17 = 0,51 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spesi 2 cm} = 0,03 \times 17 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Penutup Lantai 1 cm} = 0,03 \times 17 = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

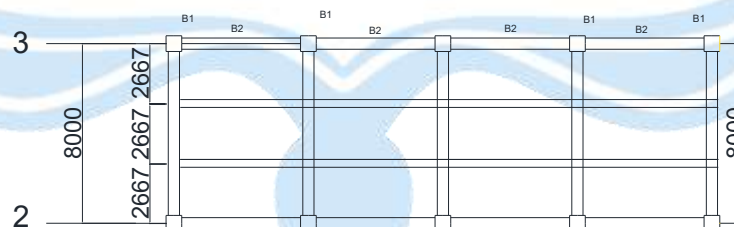
$$\text{Partisi} = 1 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Plafon,ME, Dll} = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{DL} = 5,4 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LL} = 4,79 \text{ kN/m}^2 (\text{SNI 1727:2020 Tabel 4.3.1})$$

2. Preliminary Balok 6 m



Gambar 2. 1 Titik Tinjauan Prelim Balok 6m

- *Tributary area X-* (arah x ½ pelat lantai dibawah) = 1,3 m
- *Tributary area X+* (arah x ½ pelat lantai di atas) = 1,3 m
- Beban mati pelat

$$= \text{DL} \times \text{total tributary area}$$

$$= 5,4 \times (1,3 + 1,3) = \underline{14,04} \text{ kNm}$$

- Beban mati balok

$$= b \times h \times b_j \text{ balok} \times (b_j \text{ dinding} \times \text{tinggi bersih dinding})$$

$$= 0,55 \times 0,35 \times 24 \times (2,7 \times 4,05)$$

$$= 15,56 \text{ kNm}$$

- Beban Hidup

$$= \text{Total } tributary \text{ area} \times \text{beban hidup}$$

$$= (1,3 + 1,3) \times 4,79 = \underline{12,454} \text{ kNm}$$

- Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada SNI 1727:2020 yaitu:

$$= 1,4 \text{ DL}$$

$$= 1,4 \times (14,04 + 15,56) = 41,433 \text{ kN/m}^2$$

$$= 1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$$

$$= 1,2 \times (14,04 + 15,56) + 1,6 \times 12,45 = 55,44 \text{ kN/m}^2$$

Hasil perhitungan digunakan nilai kombinasi terbesar yaitu 55,44 kN/m²

- Menghitung Momen Maksimum

$$M_u \text{ balok} = \frac{1}{10} \times q_u \times L^2 = \frac{1}{10} \times 55,44 \times 6^2$$

$$= \underline{199,59} \text{ kNm}$$

Menghitung tahanan momen pada kondisi normal dengan membagi faktor reduksi kekuatan yaitu 0,9.

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{199,59}{0,9} = 221,76 \text{ kNm}$$

Dari perhitungan *preliminary design* yang sudah dilakukan, didapatkan estimasi ukuran balok sebagai berikut:

1. Balok induk arah 6m

Tabel 2. 1 Estimasi Ukuran Balok 6 m

PRELIM BALOK 6 Meter		
Bentang	6	m
Tributary X+	1,3	m
Tributary X-	1,3	m
Beban mati pelat	14,1804	kN/m
Beban mati balok	15,555	kN/m
Beban Hidup	12,454	kN/m
h balok	0,55	m
b balok	0,35	m
qu	55,60888	
Mu	200,192	kNm
Mn	222,4355	kNm
Rn	2,593736	
Rn ideal	2,5-3	(ketentuan)

2. Balok Induk arah y (8m)

Tabel 2. 2 Estimasi Ukuran Balok 8 m

PRELIM BALOK 8 Meter		
Bentang	8	m
Tributary X+	1,3	m
Tributary X-	1,3	m
Beban mati pelat	14,1804	kN/m
Beban mati balok	18,135	kN/m
Beban Hidup	12,454	kN/m
h balok	0,6	m

PRELIM BALOK 8 Meter		
b balok	0,45	m
qu	58,70488	
Mu	380,0223	kNm
Mn	422,247	kNm
Rn	2,89607	
Rn ideal	2,5-3	(ketentuan)

3. Balok Anak

Tabel 2. 3 Estimasi Ukuran Balok Anak

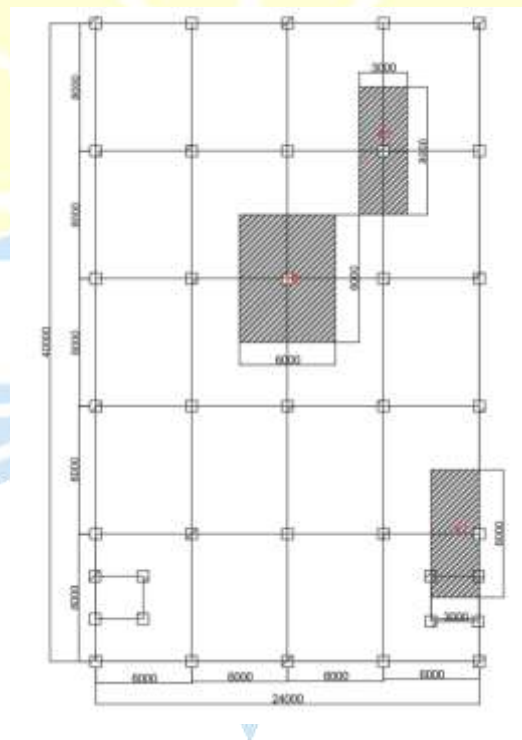
PRELIM BALOK ANAK 6 Meter		
Bentang	6	m
Tributary X+	1,33	m
Tributary X-	1,33	m
Beban mati pelat	14,50764	kN/m
Beban mati balok	3,6	kN/m
Beban Hidup	12,7414	kN/m
h balok	0,5	m
b balok	0,3	m
qu	42,11541	
Mu	151,6155	kNm
Mn	168,4616	kNm
Rn	2,773031	
Rn ideal	2,5-3	(ketentuan)

Tabel 2. 4 Rekapitulasi Ukuran Balok

Keterangan	h(m)	b(m)
B1	0,6	0,45
B2	0,55	0,35
BA	0,5	0,3

2.1.2 Preliminary Kolom

Pada perhitungan penentuan ukuran dimensi kolom, titik tinjauan *priliminary design* kolom diambil pada bagian interior, eksterior bangunan seperti pada gambar 2.2 dibawah.



Gambar 2. 2 Titik Tinjauan Prelim Kolom

Dalam menentukan dimensi kolom dilakukan dengan *Preliminary Design* dengan cara berikut:

Diketahui:

- Berat jenis beton = 24 kN/m^3
- F'_c = 45 MPa
- Bj dinding = $2,7 \text{ kN/m}$
- Ln dinding = $4,05 \text{ kN/m}$
- SIDL = $2,7 \times 4,05 = 10,94 \text{ kN/m}$

a. Menghitung beban mati kolom 1 (K1)

B ₁	= Volume × bj beton	= $0,5 \times 0,6 \times 8 \times 24$	= $57,6 \text{ kN}$	
B ₂	= Volume × bj beton	= $0,55 \times 0,35 \times 6 \times 24$	= $27,72 \text{ kN}$	
Ba	= Volume × bj beton	= $0,2 \times 0,15 \times 6 \times 24$	= $21,6 \text{ kN}$	
Pelat	= Volume × bj beton	= $0,125 \times 6 \times 8 \times 24$	= 144 kN	
Beban akibat SIDL		= SIDL × luas <i>tributary area</i>		
		= $11,34 \times 8 \times 6$	= $524,88 \text{ kN}$	+
Total Dead Load		= <u>$775,8 \text{ kN}$</u>		

b. Menghitung momen yang terjadi di kolom

Perhitungan menggunakan kombinasi: $1,2 \text{ DL} + 1,6 \text{ LL}$ (SNI 2847:2019)

$$= 1,2 \times 775,8 + 1,2 \times 10,935 + 1,6 \times 4,79 = 930,96 \text{ kN}$$

c. Menghitung luas rencana (A_g)

$$A_g = \frac{P_u}{0,25 \times f'_c} = \frac{930,96}{0,25 \times 45} = 124,13 \text{ m}^2$$

$$s = \sqrt{124,13} = 11,14 \text{ mm} = 950 \text{ mm}$$

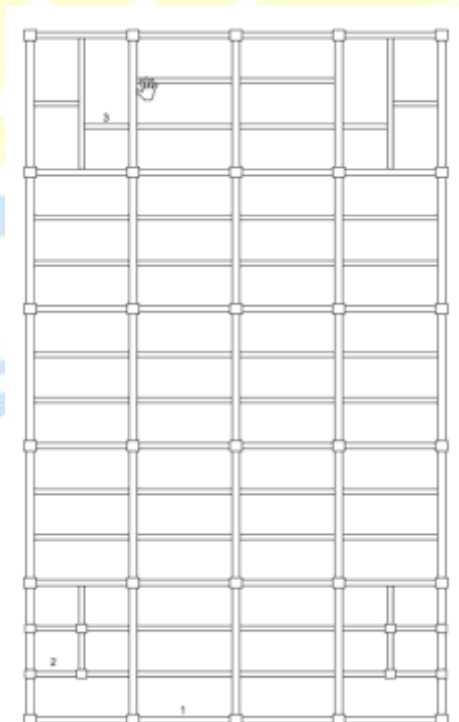
Perhitungan untuk kolom K2 dan K3 memiliki langkah-langkah yang sama tetapi yang berbeda adalah perhitungan beban akibat SIDL yang menyesuaikan luas penampang *preliminary* pada kolom. Hasil dari perhitungan kolom direkap pada Tabel 2.5

Tabel 2. 5 Rekapitulasi Dimensi Kolom

Keterangan	b(m)	h(m)
K1	0,95	0,95
K3	0,7	0,7
K2	0,85	0,85

2.1.3 Preliminary Design Pelat Lantai

Penentuan pelat satu arah dan dua arah di atur dalam SNI 2847 Tahun 2019 pasal 7 dan pasal 8 dimana pelat dikatakan satu arah apabila memenuhi syarat $\frac{L}{B} \geq 2$, dan dua arah apabila memenuhi syarat $\frac{L}{B} < 2$. Penentuan dalam menentukan arah pelat sesuai urutan pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Penentuan Jenis dan Letak Pelat Lantai

a. Pelat 1

$$L = 6000 \text{ mm}, B = 2666 \text{ mm}$$

$$L/B = \frac{6000}{2666} = 2,25 \text{ merupakan pelat satu arah}$$

b. Pelat 2

$$L = 3000 \text{ mm}, b = 2666 \text{ mm}$$

$$L/B = \frac{3000}{2666} = 1,12 \text{ merupakan pelat dua arah}$$

c. Pelat 3

$$L = 5200 \text{ mm}, b = 3000 \text{ m}$$

$$L/B = \frac{5200}{3000} = 1,73 \text{ merupakan plat dua arah}$$

2.2 Perancangan Atap

Data perancangan atap:

- Bentang atap = 12 m
- Jarak antar kuda-kuda = 4 m
- Jarak antar gording = 1,39 m
- Kemiringan = 30°
- Profil baja = Profil C
- Berat plafon = 20 Kg
- Berat gording = 6 kg/m
- Beban angin minimum = $0,38 \text{ kN/m}^2$
- Profil gording = C 200 × 75 × 20 dengan t 2 mm

2.2.1 Perancangan Gording

Perencanaan gording bertujuan untuk menghitung besar beban yang diterima oleh gording. perhitungan pembebanan gording dilakukan dengan menghitung berat sendiri, berat atap, dan berat plafon. Pada pembangunan asrama pesantren kemiringan yang digunakan adalah 30° .

a. Pembebanan Gording

Menghitung berat sendiri gording

- Berat sendiri gording = 0,058 = 0,056 kN/m
- Berat atap = $\frac{1,39}{\cos 30} \times 0,5 = 1,29$ kN/m
- Berat plafon = $1,9 \times 0,2 = 0,37$ kN/m

 Dead load rencana gording = 1,72 kN/m

Beban hidup = 1 kN/m

(SNI 1727 tahun 2020)

- Kecepatan angin = 20 m/s
- Faktor efek embusan angin (G) = 0,850
- Nilai C_p = arah angin datang = 0,3
Arah angin keluar = -0,6
- Tekanan hembusan angin (G_{cp})
 - a. G_{cp} arah angin datang = $0,85 \times 0,3 = 0,255$
 - b. G_{cp} arah angin keluar = $0,85 \times (-0,6) = -0,51$
- Kategori kekerasan permukaan = B (karena berada didaerah perkotaan)
- Kefisien eksposur tekanan (K_z) = 0,57
- Faktor arah angin (k_d) = 0,85
- Faktor topografi (K_{zt}) = 1
- Faktor elevasi permukaan tanah (K_e) =
- Koefisien tekanan internal (G_{cpi}) = -0,51

Mengitung tekanan kecepatan

$$\begin{aligned}
 q_z &= 0,613 \times k_z \times k_{zt} \times k_d \times v^2 \\
 &= 0,613 \times 0,57 \times 1 \times 0,85 \times 20^2 \\
 &= 118,80 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

Gaya tekan angin

$$\begin{aligned}
 p &= q_z \times G_{cp} - q_z \times G_{cpi} \\
 &= 118,80 \times 0,2 - 118,80 \times (-0,51) \\
 &= 95,63 \text{ N/mm}^2 = 0,095 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Beban angin terjadi

$$\begin{aligned}
 P &= 0,095 \frac{1}{\cos 30} \times 4,8 \times 4 \\
 &= 4,03 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Beban angin minimum

$$\begin{aligned}
 P &= \text{beban angin} \times \frac{1}{\cos \theta} \times \text{tinggi atap} \times \text{jarak} \\
 &= 0,38 \times \frac{1}{\cos 30} \times 4,8 \times 4 \\
 &= 6,51 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan beban angin maksimum yaitu sebesar 6,51 kN/m²

b. Momen Rencana Gording

- Berat sendiri Gording dengan arah sumbu 2

$$\begin{aligned}
 M_{3,D} 30^\circ &= \frac{1}{8} \times q \times \cos \alpha \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times 1,7224 \times \cos 30 \times 4^2 \\
 &= 2,98 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{3,L} 30^\circ &= \frac{1}{4} \times P \times \cos \alpha \times L \\
 &= \frac{1}{4} \times 1 \times \cos 30 \times 4 \\
 &= 0,86 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Digunakan kombinasi pembebanan sesuai SNI 1727:2020 yaitu 1,4 D dan 1,2 D+ 1,6 L, maka momen ultimit adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_{3,U} &= 1,4 \times M_{3,D} \\ &= 1,4 \times 2,98 \\ &= 4,17 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3,U} &= 1,2 \times M_{3,D} + 1,6 \times M_{3,L} \\ &= 1,2 \times 2,98 + 1,6 \times 0,86 \\ &= 4,952 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Digunakan $M_{3,U}$ yang terbesar yaitu 9,71 kN/m²

- Berat sendiri gording dengan arah sumbu 3

$$\begin{aligned} M_{2,D} 30^\circ &= \frac{1}{8} \times q \times \sin \alpha \times \left(\frac{L}{3}\right)^2 \\ &= \frac{1}{8} \times 1,7224 \times \sin 30 \times \left(\frac{4}{3}\right)^2 \\ &= 0,19 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{2,L} 30^\circ &= \frac{1}{4} \times P \times \sin \alpha \times \left(\frac{L}{3}\right) \\ &= \frac{1}{4} \times 1 \times \sin 30 \times \left(\frac{4}{3}\right) \\ &= 0,16 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Digunakan kombinasi (BSN, 2020) SNI 1727:2020 yaitu 1,4 D dan 1,2 D+ 1,6 L, maka momen ultimit adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_{3,U} &= 1,4 \times M_{3,D} \\ &= 1,4 \times 0,19 \\ &= 0,27 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{3,U} &= 1,2 \times M_{3,D} + 1,6 \times M_{3,L} \\ &= 1,2 \times 0,19 + 1,6 \times 0,16 \\ &= 0,484 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Digunakan $M_{3,U}$ yang terbesar yaitu $4,952 \text{ kN/m}^2$

c. Pengecekan tegangan sesuai profil yang digunakan

Profil yang digunakan dinyatakan aman apabila memenuhi persyaratan berikut:

$$F_b = \frac{M_{3,U}}{\phi W_3} + \frac{M_{2,U}}{\phi W_2} \leq f_y, \text{ dengan nilai } \phi = 0,9$$

Dipilih profil C 200 x 75 x 20 dengan tebal 2 mm dengan data - data Berdasarkan tabel konstruksi baja yang diperoleh dari majalah Gunung Garuda adalah sebagai berikut

$$I_3 = I_y = 4.670.000 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = I_x = 280.000 \text{ mm}^4$$

$$W_3 = Z_x = 46.700 \text{ mm}^3$$

$$W_2 = Z_y = 10.600 \text{ mm}^3$$

$$F_b = \frac{4,955 \times 10^6}{0,9 \times 46700} + \frac{0,484 \times 10^6}{0,9 \times 10600} \leq 240 \text{ MPa}$$

$$= 168,554 \text{ MPa} \leq 240 \text{ MPa}$$

d. Defleksi Gording

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \times \frac{1,7224 \cos 30^\circ \times 4280^2}{200000 \times 2800000} + \frac{1}{48} \times \frac{1 \cos 30^\circ \times 4280^3}{200000 \times 2800000}$$

$$= 11,654$$

$$\delta_3 = \frac{5}{384} \times \frac{1,7224 \sin 30^\circ}{200000 \times 2800000} \times \frac{4280^4}{3} + \frac{1}{48} \times \frac{1 \sin 30^\circ}{200000 \times 2800000} \times \frac{4280^3}{3}$$

$$= 0,0831$$

$$\delta = \sqrt{11,654^2 + 0,0831^2} \leq \frac{1}{280} \times 4280$$

$$= 11,654 \leq 15,2857 \text{ (AMAN)}$$

2.2.2 Perancangan Sagrod

Sagrod adalah bagian atap yang berperan sebagai penghubung antara gording dan berfungsi untuk mencegah agar gording tidak melengkung. Langkah-langkah perhitungan dimensi sagrod adalah sebagai berikut:

Diketahui:

n gording dibawah nok = 6 buah

Jarak antar kuda-kuda = 4 m

Beban hidup gording = 1 kN (SNI 1727:2020 Pasal 4.8.2 dengan beban $0,58 \text{ kN/m}^2 \leq q \leq 0,96 \text{ kN/m}^2$; dimana $0,96 \text{ kN/m}^2 \approx 1 \text{ kN/m}^2$)

Beban mati gording = 1,72 kN

Sudut = 30°

Fy = 240 Mpa

$$\begin{aligned} F_{t,D} &= n \left(\frac{l}{3} \times q \times \sin \theta \right) \\ &= 6 \times \left(\frac{3}{3} \times 1,722 \times \sin 30 \right) \\ &= 5,166 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{t,D} &= n \left(\frac{l}{3} \times q \times \sin \theta \right) \\ &= 6 \times \left(\frac{4}{3} \times 1,722 \times \sin 30 \right) \\ &= 6,88 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{t,L} &= \frac{n}{2} \times p \times \sin \theta \\ &= \frac{6}{2} \times 1 \times \sin 30 \end{aligned}$$

$$= 1,5 \text{ kN}$$

Maka, digunakan $F_{t,D}$ sebesar 6,88 kN dan $F_{t,L}$ sebesar 1,5 kN

Digunakan kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 1727: 2020 yaitu 1,4 D dan 1,2 D + 1,6 LL

$$\begin{aligned} F_{t,u} &= 1,4 F_{t,D} \\ &= 1,4 \times 6,88 \\ &= 9,632 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{t,u} &= 1,2 F_{t,D} + 1,6 F_{t,L} \\ &= 1,2 \times 6,88 + 1,6 \times 1,5 \\ &= 10,656 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari kedua kombinasi dipilih $F_{t,u}$ terbesar yaitu sebesar 10,656 kN

Luas batang sagrod yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} A_{sr} &= \frac{F_{t,u} \times 10^3}{\Phi F_y} \\ &= \frac{10,656 \times 10^3}{0,9 \times 240} \\ &= 49,33 \text{ kN} \end{aligned}$$

Menentukan diameter sagrod

$$\begin{aligned} D &= \left(\frac{A_{sr}}{\frac{1}{4}\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= \left(\frac{49,33}{\frac{1}{4}\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \\ &= 7,93 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga, digunakan diameter sagrod sebesar 10 mm

2.2.3 Perancangan Kuda-Kuda

a. Pembebanan Kuda-Kuda

Diketahui :

profil yang digunakan ialah profil IWF 200 x 100 x 5,5 x 8 diperoleh data dari Majala Gunung Garuda.

$$A_g = 18400000 \text{ mm}^4$$

$$I_x = 1340000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 82,4 \text{ mm}$$

$$i_x = 22,2 \text{ mm}$$

$$i_y = 184000 \text{ mm}$$

$$Z_y = 26800 \text{ mm}^3$$

$$Z_x = 21,3 \text{ mm}^3$$

$$\text{Berat kuda – kuda} = 0,208 \text{ kN/m}$$

- Beban p1

$$\text{Berat kuda-kuda} = \frac{a}{2} \times W \text{ kuda – kuda}$$

$$= \frac{1,39}{2} \times 0,288$$

$$= 0,125 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Gording} = L \times \text{Berat gording}$$

$$= 4 \times 0,0665$$

$$= 0,267 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Atap} = \left(\frac{a+b}{\cos \theta}\right) \times L \times \text{Watap}$$

$$= \left(\frac{\frac{1,39}{2} + 1}{\cos 30}\right) \times 4 \times 0,58$$

$$= 0,45 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Plafon} = \left(\frac{a}{2} + b\right) \times L \times W \text{ plafon}$$

$$= \left(\frac{1,39}{2} + 1\right) \times 4 \times 0,2$$

$$= 1,356 \text{ kN}$$

$$\text{Beban pada P1} = 0,125 + 0,267 + 0,45 + 1,356$$

$$= 2,222 \text{ kN}$$

- Beban P2

$$\text{Berat kuda-kuda} = a \times W \text{ kuda-kuda}$$

$$= 1,39 \times 0,288$$

$$= 0,290 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Gording} = L \times \text{Berat gording}$$

$$= 4 \times 0,0665$$

$$= 0,267 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Atap} = \left(\frac{a}{\cos \theta}\right) \times L \times \text{Watap}$$

$$= \left(\frac{1,39}{\cos 30}\right) \times 4 \times 0,58$$

$$= 0,372 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Plafon} = a \times L \times W \text{ plafon}$$

$$= 1,39 \times 4 \times 0,2$$

$$= 0,111 \text{ kN}$$

$$\text{Beban pada P2} = 0,290 + 0,267 + 0,372 + 0,111$$

$$= 1,040 \text{ kN}$$

- Beban p3

Berat Kuda-kuda

$$\text{Berat kuda-kuda} = a \times W_{\text{kuda-kuda}}$$

$$= 1,39 \times 0,288$$

$$= 0,290 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Gording} = 2L \times \text{Berat gording}$$

$$= 2 \times 4 \times 0,0665$$

$$= 0,533 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Atap} = \left(\frac{a}{\cos \theta} \right) \times L \times W_{\text{atap}}$$

$$= \left(\frac{1,39}{\cos 30} \right) \times 4 \times 0,58$$

$$= 0,372 \text{ kN}$$

$$\text{Berat Plafon} = a \times L \times W_{\text{plafon}}$$

$$= 1,39 \times 4 \times 0,2$$

$$= 0,111 \text{ kN}$$

$$\text{Beban pada P1} = 0,290 + 0,533 + 0,372 + 0,111$$

$$= 2,307 \text{ kN}$$

Beban Angin Kuda-kuda

Beban angin yang akan dimasukkan adalah beban titik dari letak gording, dan beban angin ditentukan oleh koefisien angin tiup (C_{ti}) dan angin isap (C_{is}) sesuai dengan SNI 1727:2020. Maka pembagian beban titik kuda-kuda atap

Diketahui :

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

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

$$\begin{aligned} \text{Beban } W1 &= \left(\frac{\frac{a}{2} + b}{\cos \theta} \right) \times c_{ti} \times L \times q_w \\ &= \left(\frac{\frac{1,39}{2} + 1}{\cos 30} \right) \times 0,2 \times 4 \times 0,25 \\ &= 0,391 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban } W2 &= \left(\frac{a}{\cos \theta} \right) \times c_{ti} \times L \times q_w \\ &= \left(\frac{1,39}{\cos 30} \right) \times 0,2 \times 4 \times 0,25 \\ &= 0,321 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban } W3 &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{a}{\cos \theta} \right) \times c_{ti} \times L \times q_w \\ &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{1,39}{\cos 30} \right) \times 0,2 \times 4 \times 0,25 \\ &= 0,16 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban } W4 &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{a}{\cos \theta} \right) \times c_{is} \times L \times q_w \\ &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{1,39}{\cos 30} \right) \times -0,6 \times 4 \times 0,25 \end{aligned}$$

$$= -0,481 \text{ kN}$$

$$\text{Beban W5} = \left(\frac{a}{\cos \theta} \right) \times \text{cis} \times L \times q_w$$

$$= \left(\frac{1,39}{\cos 30} \right) \times -0,6 \times 4 \times 0,25$$

$$= -0,963 \text{ kN}$$

$$\text{Beban W6} = \left(\frac{\frac{a}{2} + b}{\cos \theta} \right) \times \text{cis} \times L \times q_w$$

$$= \left(\frac{\frac{1,39}{2} + 1}{\cos 30} \right) \times -0,6 \times 4 \times 0,25$$

$$= -1,174 \text{ kN}$$

b. Perancangan Elemen Kuda-Kuda

Kuda-kuda yang dirancang merupakan jenis kuda-kuda *monoframe* dengan profil IWF 200 x 100 x 5,5 x 8.

Dari hasil analisis menggunakan Etabs diperoleh:

$$M_{\text{max}} = 15,36 \text{ kN}$$

$$P_{\text{max}} = 24,267 \text{ kN}$$

$$V_{\text{max}} = 8,225 \text{ kN}$$

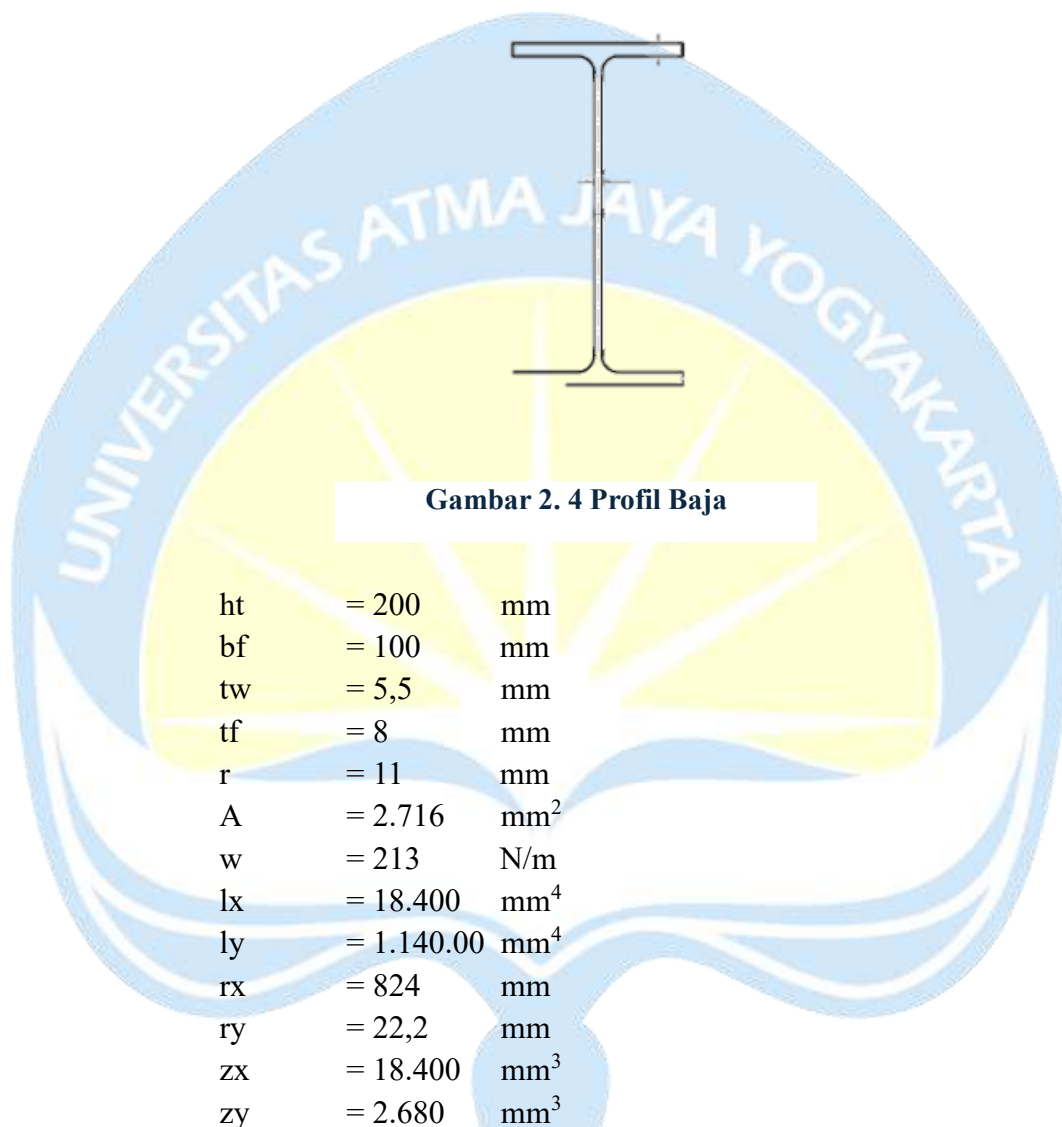
Data Bahan

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

$$\text{Modulus Elastis Baja} = 200.000 \text{ MPa}$$

$$\text{Passion ratio} = 3$$

Data profil baja yang ditunjukkan sesuai pada gambar 2.4 (Majala Gunung Garuda)



Gambar 2. 4 Profil Baja		
ht	= 200	mm
bf	= 100	mm
tw	= 5,5	mm
tf	= 8	mm
r	= 11	mm
A	= 2.716	mm ²
w	= 213	N/m
I _x	= 18.400	mm ⁴
I _y	= 1.140.00	mm ⁴
r _x	= 824	mm
r _y	= 22,2	mm
Z _x	= 18.400	mm ³
Z _y	= 2.680	mm ³

Perhitungan kekuatan

a) Momen nominal pegaruh *Local buckling*

Kelangsingan penampang sayap

$$\lambda = \frac{bf}{2tf} = \frac{100}{2 \times 8} = 6,25$$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 0,38 \times \frac{E}{f_y} \\ &= 0,38 \times \frac{200000}{240} = 10,97\end{aligned}$$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

$$\begin{aligned}\lambda_r &= \left(\frac{E}{f_y}\right)^{1/2} \\ &= \left(\frac{200000}{240}\right)^{1/2} = 28,87\end{aligned}$$

$\lambda \leq \lambda_r$ dan $\lambda \leq \lambda_p$ maka profil kompak

Kelangsingan Penampang Badan

$$\lambda = \frac{h}{tw} = \frac{200}{5,4} = 36,36$$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *compact*

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 3,76 \times \left(\frac{E}{f_y}\right)^{1/2} \\ &= 3,76 \times \left(\frac{200000}{240}\right)^{1/2} = 108,54\end{aligned}$$

Batas kelangsingan maksimum untuk penampang *non-compact*

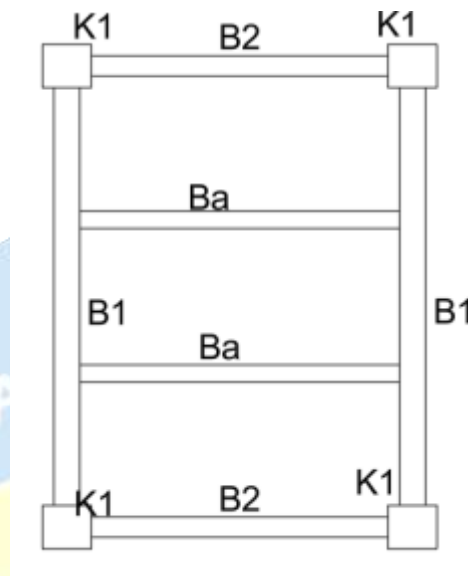
$$\begin{aligned}\lambda_r &= 5,7 \times \left(\frac{E}{f_y}\right)^{1/2} \\ &= 5,7 \times \left(\frac{200000}{240}\right)^{1/2} = 164,54\end{aligned}$$

$\lambda \leq \lambda_r$ dan $\lambda \leq \lambda_p$ maka profil kompak

2.3 Perancangan Pelat Lantai dan Tangga

2.3.1 Perancangan Pelat satu arah

Perancangan pelat satu arah dilakukan pada salah satu pelat yaitu pelat berukuran 2666×6000 mm. Tebal estimasi pelat yang digunakan ialah 125 mm (SNI 2847:2019 Tabel 7.3.1.1). Potongan pelat 2666×6000 mm dapat dilihat pada gambar 2.5 dibawah.



Gambar 2. 5 Potongan Pelat Satu Arah

a. Menentukan Tebal Pelat Minimum

Penentuan ketebalan pelat satu arah mengacu pada pasal 7.3.1.1 yang membahas ketebalan minimum pelat solid satu arah non prategang yang dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Tebal Minimum Pelat Solid Satu Arah Non Prategangan

Kondisi Tumpuan	h minimum
Tumpuan sederhana	1/20
Satu ujung menerus	1/24
Kedua ujung Menerus	1/28
Kantiliver	1/10

Pada gedung Pesantren AL – Nizam direncanakan pelat satu arah dengan kedua ujung menerus. Sehingga, tebal minimum pelat satu arah yaitu:

$$h_{\min} = 1/28 = \frac{2666}{28} = 95,21 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan $h_{\min} = 95,21$ mm. Ketebalan asumsi pelat 125 mm dapat digunakan sebagai h pakai untuk ketebalan pelat satu arah dan digunakan tebal selimut beton 20 mm (SNI 2847:2020 tabel 20.6.1.3.1)

b. Perhitungan Pembebanan Pelat

Adapun data yang diketahui ialah:

F'_c	= 25 MPa
F_y	= 420 MPa
Diameter tul. Longitudinal	= 10 mm
Diameter tul. Sengkang	= 8 mm
B1	= 450×600
B2	= 350×550
Ba	= 300×500
Berat jenis beton	= 24 kN/m^3
Berat jenis pasir	= 18 kN/m^3
Berat jenis Spesi	= 21 kN/m^3
d'	= $125 - 20 - \frac{10}{2} = 62,5 \text{ mm}$
b	= 1000 mm
ϕ_{geser}	= 0,75
ϕ	= 0,9

Beban Mati (*dead load*)

Beban sendiri pelat	= $0,12 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 3 \text{ kN/m}^2$
Pasir 3 cm	= $0,03 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 0,55 \text{ kN/m}^2$
Spesi 2 cm	= $0,02 \times 21 \text{ kN/m}^3 = 0,44 \text{ kN/m}^2$
Penutup lantai 1 cm	= $0,01 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 0,24 \text{ kN/m}^2$
Praktisi	= 1 kN/m^2
Keramik	= $0,15 \text{ kN/m}^2$

Plafon,ME,dll	$= 0,25 \text{ kN/m}^2$	$= 0,25 \text{ kN/m}^2 +$
Total DL		$= 5,63 \text{ kN/m}^2$
Total SIDL		$= 2,63 \text{ kN/m}^2$

Beban Hidup (*Live Load*)

Perancangan gedung pesantren Al - Nizam beban hidup dibagi berdasarkan kategori fungsi ruang. Beban hidup didapatkan dari SNI 1727 tahun 2020 Tabel 4.6. Beban hidup yang digunakan ialah $4,79 \text{ kN/m}^2$, $3,83 \text{ kN/m}^2$, dan $7,18 \text{ kN/m}^2$.

Analisis pelat satu arah harus memenuhi ketentuan $LL \leq 3DL$ (SNI 2847 tahun 2019 pasal 6.5.1) sehingga, dilakukan pengecekan sebagai berikut:

$$3 DL = 3 \times 5,63 = 16,89 \text{ kN/m}^2.$$

$$4,79 \text{ kN/m}^2, 3,83 \text{ kN/m}^2, \text{ dan } 7,18 \text{ kN/m}^2 \leq 16,89 \text{ kN/m}^2 \text{ (AMAN)}$$

Karena Q_{LL} memenuhi syarat maka dilanjutkan dengan menghitung beban terfaktor menggunakan kombinasi $1,4 DL$ dan $1,2 DL + 1,6 LL$ Didapatkan beban terfaktor:

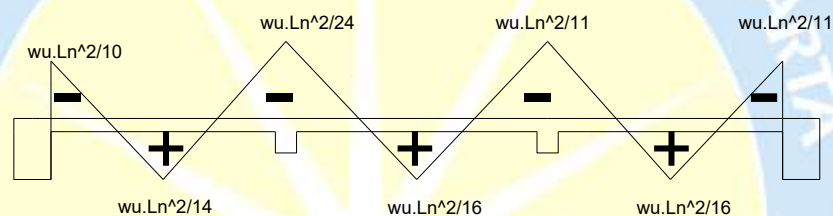
- Untuk $LL = 4,79 \text{ kN/m}$
 - $1,4 DL = 1,4 \times 5,63$
 $= 7,88 \text{ kN/m}^2$
 - $1,2DL + 1,6 LL = 1,2 \times 5,63 + 1,6 \times 4,79$
 $= 14,22 \text{ kN/m}^2$
- Untuk $LL = 3,83 \text{ kN/m}$
 - $1,4 DL = 1,4 \times 5,63$
 $= 7,88 \text{ kN/m}^2$
 - $1,2DL + 1,6 LL = 1,2 \times 5,63 + 1,6 \times 3,83$
 $= 12,88 \text{ kN/m}^2$
- Untuk $LL = 7,18 \text{ kN/m}$

- $1,4 \text{ DL} = 1,4 \times 5,63$
 $= 7,88 \text{ kN/m}^2$
- $1,2\text{DL} + 1,6 \text{ LL} = 1,2 \times 5,63 + 1,6 \times 7,18$
 $= 18,24 \text{ kN/m}^2$

Digunakan beban terfaktor terbesar yaitu $14,22 \text{ kN/m}^2$, $12,88 \text{ kN/m}^2$, $18,24 \text{ kN/m}^2$

c. Perhitungan Momen Pelat

Persebaran momen ultimit pada pelat satu arah diatur pada SNI 2847 tahun 2019 tabel 6.5.2 dan tabel 5.6.4



Gambar 2. 6 Persebaran Momen Ultimit Pelat

- **Menghitung L_n**
 $L_{n1} = 2666 - (0,5 \times 600) - (0,5 \times 300) = 2266 \text{ mm}$
 $L_{n2} = 2666 - 300 = 2366 \text{ mm}$
 $L_{n3} = 2666 - (0,5 \times 300) - (0,5 \times 600) = 2266 \text{ mm}$
- **Perhitungan Momen Ultimit Pelat dengan $\text{LL} = 4,79 \text{ kN/m}^2$**
 perhitungan momen ultimit pelat dengan $\text{LL} = 4,79 \text{ kN/m}^2$ dapat dilihat pada tabel 2.7 sebagai berikut:

Tabel 2. 7 Perhitungan Momen Ultimit LL = 4,79 kN/m²

Momen	Rumus	Rumus	Hasil	Satuan
(-) M1	$W_u \frac{Ln^2}{10}$	$14,22 \times \frac{2266^2}{10}$	7403332	Nmm
(+) M2	$W_u \frac{Ln^2}{14}$	$14,22 \times \frac{2391^2}{14}$	6169444	Nmm
(-) M3	$W_u \frac{Ln^2}{24}$	$14,22 \times \frac{2266^2}{24}$	3084722	Nmm
(-) M3	$W_u \frac{Ln^2}{24}$	$14,22 \times \frac{2366^2}{24}$	3362991	Nmm
(+) M4	$W_u \frac{Ln^2}{16}$	$14,22 \times \frac{2391^2}{16}$	5044486	Nmm
(-) M5	$W_u \frac{Ln^2}{11}$	$14,22 \times \frac{2391^2}{11}$	7337434	Nmm
(-) M6	$W_u \frac{Ln^2}{11}$	$14,22 \times \frac{2266^2}{11}$	6730302	Nmm
(+) M7	$W_u \frac{Ln^2}{16}$	$14,22 \times \frac{2266^2}{16}$	4627083	Nmm
(-) M8	$W_u \frac{Ln^2}{11}$	$14,22 \times \frac{2266^2}{11}$	6730302	Nmm

Dari hasil perhitungan digunakan momen ultimit sebesar $M_u^- = 7403332,28$ Nmm dan $M_u^+ = 6169443,57$ Nmm

- **Perhitungan Momen Ultimit Pelat dengan LL = 3,83 kN/m²**

Perhitungan momen ultimit pelat dengan LL = 3,83 kN/m² dapat dilihat pada tabel 2.8 sebagai berikut:

Tabel 2. 8 Perhitungan Momen Ultimit LL = 3,83 kN/m²

Momen	Rumus	Rumus	Hasil	Satuan
(-) M1	$W_u \frac{Ln^2}{10}$	$12,88 \times \frac{2266^2}{10}$	6614634	Nmm
(+) M2	$W_u \frac{Ln^2}{14}$	$12,88 \times \frac{2391^2}{14}$	5512195	Nmm
(-) M3	$W_u \frac{Ln^2}{24}$	$12,88 \times \frac{2266^2}{24}$	2756097	Nmm
(-) M3	$W_u \frac{Ln^2}{24}$	$12,88 \times \frac{2366^2}{24}$	3004722	Nmm
(+) M4	$W_u \frac{Ln^2}{16}$	$12,88 \times \frac{2391^2}{16}$	4507082	Nmm
(-) M5	$W_u \frac{Ln^2}{11}$	$12,88 \times \frac{2391^2}{11}$	6555756	Nmm
(-) M6	$W_u \frac{Ln^2}{11}$	$12,88 \times \frac{2266^2}{11}$	6013303	Nmm
(+) M7	$W_u \frac{Ln^2}{16}$	$12,88 \times \frac{2266^2}{16}$	4134146	Nmm
(-) M8	$W_u \frac{Ln^2}{11}$	$12,88 \times \frac{2266^2}{11}$	6013303	Nmm

- **Perhitungan Momen Ultimit Pelat dengan LL = 7,18 kN/m²**

Perhitungan momen ultimit pelat dengan LL = 7,18 kN/m² dapat dilihat pada tabel 2.9 sebagai berikut:

Tabel 2. 9 Perhitungan Momen Ultimit Pelat LL = 7,18 kN/m²

Momen	Rumus	Rumus	Hasil	Satuan
(-) M1	$W_u \frac{Ln^2}{10}$	$18,24 \times \frac{2266^2}{10}$	9366863	Nmm
(+) M2	$W_u \frac{Ln^2}{14}$	$18,24 \times \frac{2391^2}{14}$	7805719	Nmm
(-) M3	$W_u \frac{Ln^2}{24}$	$18,24 \times \frac{2266^2}{24}$	3902860	Nmm
(-) M3	$W_u \frac{Ln^2}{24}$	$18,24 \times \frac{2366^2}{24}$	4254932	Nmm
(+) M4	$W_u \frac{Ln^2}{16}$	$18,24 \times \frac{2391^2}{16}$	6382398	Nmm
(-) M5	$W_u \frac{Ln^2}{11}$	$18,24 \times \frac{2391^2}{11}$	9283487	Nmm
(-) M6	$W_u \frac{Ln^2}{11}$	$18,24 \times \frac{2266^2}{11}$	8515330	Nmm
(+) M7	$W_u \frac{Ln^2}{16}$	$18,24 \times \frac{2266^2}{16}$	5854289	Nmm
(-) M8	$W_u \frac{Ln^2}{11}$	$18,24 \times \frac{2266^2}{11}$	8515330	Nmm

d. Perhitungan Gaya Geser

Menghitung gaya geser pada pelat harus dilakukan agar dapat memastikan pelat tidak mengalami keruntuan geser, menentukan kecukupan tebal dan tulangan. Pada SNI 2847 tahun 2019 tabel 6.5.4 diatur geser pendekatan untuk balok menerus dan pelat satusebagai berikut:

$$V_u = \frac{1,15 \times W_u \times ln}{2} = \frac{1,15 \times 14,22 \times 2366}{2} = 23765,81 \text{ N}$$

$$\phi V_u = \phi \times 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times b \times d \text{ (SNI 2847 Tabel 9.6.3.1)}$$

$$= 0,75 \times 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 1000 \times 125$$

$$= 63750 \text{ N}$$

$$\text{Syarat } \phi V_u > V_u$$

$$63750 \text{ N} > 23765,81 \text{ N (OK!)}$$

Karena $\phi V_u > V_u$ dapat disimpulkan bahwa penampang beton dapat mengakomodasi gaya geser yang terjadi sehingga, tidak diperlukan penulangan geser.

e. Perhitungan Tulangan Tumpuan

- Menghitung Nilai a

$$\begin{aligned} a &= d - \sqrt{d^2 - \frac{2|M_u|}{0,85f'_c\phi b}} \\ &= 100 - \sqrt{100^2 - \frac{2|7403332,8|}{0,85 \times 25 \times 0,9 \times 1000}} \\ &= 3,95 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Garis Netral

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{3,95}{0,87} = 4,53 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} c_{\max} &= 0,428 \times d \\ &= 0,428 \times 100 = 42,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$\begin{aligned} c &\leq c_{\max} \\ 4,53 \text{ mm} &\leq 42,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{M_u}{\phi \times f_y \times (d - \frac{a}{2})} \\ &= \frac{7403332,8}{0,9 \times 420 \times (100 - \frac{3,95}{2})} = 349,65 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{\pi \times 0,25 \times d^2} \\ &= \frac{349,65}{\pi \times 0,25 \times 10^2} = 4,4 \text{ buah} \approx 5 \end{aligned}$$

$$s = \frac{\pi \times 0,25 \times b \times d^2}{A_s}$$

$$= \frac{\pi \times 0,25 \times 100 \times 10^2}{349,65} = 224,624 \approx 200 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 0,002A_g = 0,002 \times 1000 \times 125 = 250 \text{ mm}$$

Digunakan **D10 – 200**

f. Perhitungan Tulangan Lapangan

- Menghitung Nilai a

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2|M_u|}{0,85f_c\phi b}}$$

$$= 100 - \sqrt{100^2 - \frac{2|6169443,57|}{0,85 \times 25 \times 0,9 \times 1000}}$$

$$= 3,28 \text{ mm}$$

- Garis Netral

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{3,28}{0,87} = 3,79 \text{ mm}$$

$$c_{\max} = 0,428 \times d$$

$$= 0,428 \times 100 = 42,8 \text{ mm}$$

Syarat:

$$c \leq c_{\max}$$

$$3,79 \text{ mm} \leq 42,8 \text{ mm}$$

- Tulangan Tarik

$$A_s = \frac{M_u}{\phi \times f_y \times (d - \frac{a}{2})}$$

$$= \frac{6169443,57}{0,9 \times 420 \times (100 - \frac{3,28}{2})} = 290,38 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{290,38}{\pi \times 0,25 \times 10^2} = 3,8 \text{ buah} \approx 4$$

$$s = \frac{\pi \times 0,25 \times b \times d^2}{A_s}$$

$$= \frac{\pi \times 0,25 \times 100 \times 10^2}{290,38} = 270,624 \approx 300 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 0,002A_g = 0,002 \times 1000 \times 125 = 250 \text{ mm}$$

Digunakan **D10 – 300**

Perhitungan gaya geser dan penulangan pelat satu arah untuk pelat yang memiliki beban hidup 3,83 dan 7,8 dilakukan dengan cara yang sama dan diperoleh hasil untuk penulangan untuk tiga jenis pelat seperti pada tabel 2.10 dibawah:

Tabel 2. 10 Rekapitulasi Perhitungan dan Penulangan Pelat Satu Arah

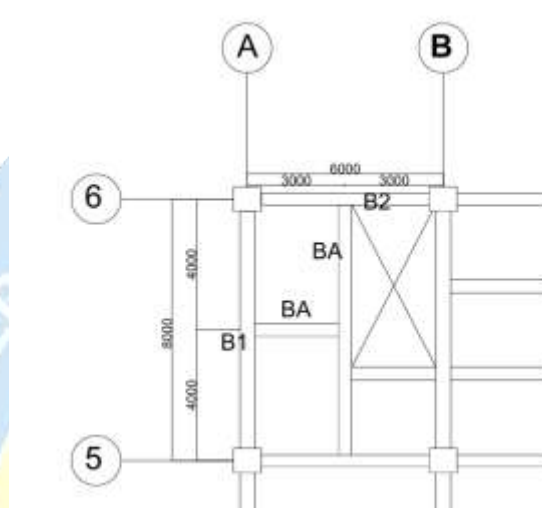
LL	M_u^-	M_u^+	$A_{sTumpuan}$	$A_{slapangan}$	Tul Lentur	
	Nmm	Nmm	mm^2	mm^2	Tumpuan	Lapangan
4,79	7403332,8	6169443,57	349,65	290,38	D10-200	D10-300
3,83	6614633,76	5512194,80	311,72	258,98	D10-300	D10-300
7,18	9366862,97	7805719,14	444,83	369,07	D10-150	D10-200

2.3.2 Perancangan Pelat Dua Arah

Perancangan pelat dua arah dihitung pada bagian eksterior bangunan dengan PL1 dengan bentang 8000 mm x 6000 mm dan PL2 dengan bentang 2600 mm x 3000 mm. Di awal perencanaan, estimasi dari tebal pelat ditentukan dengan ketebalan 130 mm. Perhitungan dihitung sebagai berikut:

1.) Pelat PL1

Potongan dan titik tinjauan pelat dua arah (PL 1) dapat dilihat pada gambar 2.7 dibawah



Gambar 2. 7 Potongan Pelat Dua Arah (PL1)

Diketahui:

$$L_x = L_a = 3000 \text{ mm}$$

$$L_y = L_b = 4000 \text{ mm}$$

$$L_y/L_x = \frac{4000}{3000} = 1,333$$

$$B1 = (450 \times 600) \text{ mm}$$

$$B2 = (350 \times 550) \text{ mm}$$

$$BA = (300 \times 500) \text{ mm}$$

Tebal pelat lantai= 130 mm (estimasi)

$$f'_c = 25 \text{ MPa}$$

$$f_y = 280 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700 \times \sqrt{25} = 23500 \text{ MPa}$$

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

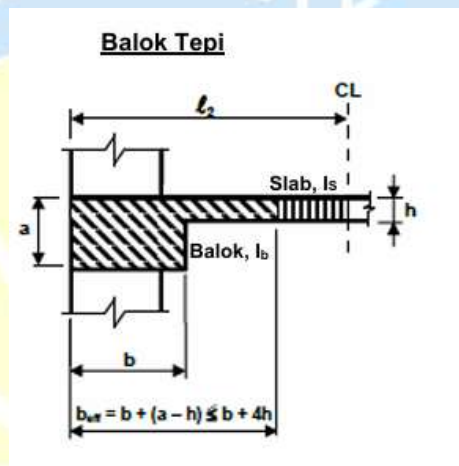
$$\text{Selimut beton} = 20 \text{ mm}$$

Menentukan Tebal Pelat Minimum

Ketebalan minimum pelat diperhitungkan berdasarkan SNI 2847:2019 pada Tabel 8.3.1.2 – Ketebalan Minimum Pelat Dua Arah Nonprategang dengan Balok di Antara Tumpuan pada Semua Sisinya dengan perhitungan sebagai berikut:

1. BALOK B1

a. Analisa Lebar Efektif Balok (B_e)



Gambar 2. 8 Gambar Dimensi Pelat Dua Arah

Syarat Lebar efektif balok (B_e) = $b + (a - h \text{ pelat}) \leq b + 4h$

$$(B_e) = b + (a - h \text{ pelat}) \leq b + 4h$$

$$= 450 + (600 - 130) \leq 450 + (4 \times 130)$$

$$= 920 \leq 970$$

Diambil nilai lebar efektif terkecil, $B_e = 920 \text{ mm}$

b. Inersia Balok (I_b)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{B_e}{b} - 1\right) \left(\frac{h_{\text{plat}}}{a}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{h_{\text{plat}}}{a}\right) + \left(\frac{h_{\text{plat}}}{a}\right)^2 + \left(\frac{B_e}{b} - 1\right) \left(\frac{h_{\text{plat}}}{a}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{B_e}{b} - 1\right) \left(\frac{h_{\text{plat}}}{a}\right)}$$

$$\text{Inersia balok } (I_b) = k \times \frac{bh^3}{12}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{920}{450} - 1\right) \left(\frac{130}{600}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{130}{600}\right) + \left(\frac{130}{600}\right)^2 + \left(\left(\frac{920}{450} - 1\right) \left(\frac{130}{600}\right)^3\right]\right]}{1 + \left(\frac{920}{450} - 1\right) \left(\frac{130}{600}\right)}$$

$$k = 2,8984$$

$$\begin{aligned} \text{Inersia balok (Ib)} &= k \times \frac{bh^3}{12} = 2,8984 \times \frac{450 \times 600^3}{12} \\ &= 23477049167 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

c. Inersia pelat lantai (Is)

$$I_{s \text{ PL1}} = \frac{bh^3}{12} = \frac{4000 \times 130^3}{12} = 732333333,3 \text{ mm}^4$$

d. Rasio Kekakuan Balok (α_f)

$$\alpha_f = \frac{E_c \times I_b}{E_c \times I_s} = \frac{23500 \times 23477049167}{23500 \times 732333333,3} = 32,05787324$$

2. BALOK B2:

a. Analisa Lebar Efektif Balok (Be)

$$\begin{aligned} (Be) &= b + (a - h_{\text{pelat}}) \leq b + 4h \\ &= 350 + (550 - 130) \leq 350 + (4 \times 130) \\ &= 770 \leq 870 \end{aligned}$$

Diambil nilai lebar efektif terkecil, Be = 770 mm

b. Inersia Balok (Ib)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{Be}{b} - 1\right) \left(\frac{h_{\text{plat}}}{a}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{h_{\text{plat}}}{a}\right) + \left(\frac{h_{\text{plat}}}{a}\right)^2 + \left(\left(\frac{Be}{b} - 1\right) \left(\frac{h_{\text{plat}}}{a}\right)^3\right]\right]}{1 + \left(\frac{Be}{b} - 1\right) \left(\frac{h_{\text{plat}}}{a}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{770}{350} - 1\right) \left(\frac{130}{550}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{130}{550}\right) + \left(\frac{130}{550}\right)^2 + \left(\left(\frac{770}{350} - 1\right) \left(\frac{130}{550}\right)^3\right]\right]}{1 + \left(\frac{770}{350} - 1\right) \left(\frac{130}{550}\right)}$$

$$k = 2,8211$$

$$\begin{aligned}\text{Inersia balok (Ib)} &= k \times \frac{bh^3}{12} = 2,8211 \times \frac{350 \times 550^3}{12} \\ &= 13689853333 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

c. Inersia pelat lantai (Is)

$$I_{s \text{ PL1}} = \frac{bh^3}{12} = \frac{3000 \times 130^3}{12} = 549250000 \text{ mm}^4$$

d. Rasio Kekakuan Balok (α_f)

$$\alpha_f = \frac{E_c \times I_b}{E_c \times I_s} = \frac{23500 \times 13689853333}{23500 \times 549250000} = 24,92463056$$

3. BALOK BA1:

a. Analisa Lebar Efektif Balok (Be)

$$\begin{aligned}(\text{Be}) &= b + (a - h_{\text{pelat}}) \leq b + 4h \\ &= 300 + (500 - 130) \leq 300 + (4 \times 130) \\ &= 1040 \leq 13400\end{aligned}$$

Diambil nilai lebar efektif terkecil, $\text{Be} = 1040 \text{ mm}$

b. Inersia Balok (Ib)

$$k = \frac{1 + \left(\frac{\text{Be}}{b} - 1\right) \left(\frac{h_{\text{plat}}}{a}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{h_{\text{plat}}}{a}\right) + \left(\frac{h_{\text{plat}}}{a}\right)^2 + \left(\left(\frac{\text{Be}}{b} - 1\right) \left(\frac{h_{\text{plat}}}{a}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{\text{Be}}{b} - 1\right) \left(\frac{h_{\text{plat}}}{a}\right)}$$

$$k = \frac{1 + \left(\frac{1040}{300} - 1\right) \left(\frac{130}{500}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{130}{500}\right) + \left(\frac{130}{500}\right)^2 + \left(\left(\frac{1040}{300} - 1\right) \left(\frac{130}{500}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{1040}{300} - 1\right) \left(\frac{130}{500}\right)}$$

$$k = 2,7537$$

$$\begin{aligned}\text{Inersia balok (Ib)} &= k \times \frac{bh^3}{12} = 2,8211 \times \frac{300 \times 500^3}{12} \\ &= 8605481667 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

c. Inersia pelat lantai (Is)

$$I_{s \text{ PL1}} = \frac{bh^3}{12} = \frac{3000 \times 130^3}{12} = 549250000 \text{ mm}^4$$

d. Rasio Kekakuan Balok (α_f)

$$\alpha_f = \frac{E_c \times I_b}{E_c \times I_s} = \frac{23500 \times 8605481667}{23500 \times 549250000} = 15,66769534$$

Dari perhitungan rasio kekakuan balok (α_f) pada balok B1, B2 dan BA, didapatkan rerata rasio kekakuan balok (α_f) = 24,21673305 > 2. Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 8.3.1.2 untuk tebal pelat nonprategang dengan balok membentang diantara tumpuan di semua sisi, ketebalan pelat keseluruhan h harus memenuhi batasan pada Tabel 2.11.

Tabel 2. 11 Syarat Ketebalan Pelat Dua Arah

$\alpha_{fm}^{[1]}$	h minimum, mm	
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku (a)	
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari:	$\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)$ $36 + 5(\alpha_{fm} - 0,2)$ (b) ^{[2],[3]}
		125 (c)
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari:	$\ell_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)$ $36 + 9\beta$ (d) ^{[2],[3]}
		90 (e)

$$L_{n1} = 4000 - \frac{600}{2} - \frac{600}{2} = 3400 \text{ mm}$$

$$L_{n2} = 3000 - \frac{550}{2} - \frac{550}{2} = 3450 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{L_{n1}}{L_{n2}} = \frac{3400}{3450} = 0,985507246$$

Maka, diperoleh h_{minimum} sebagai berikut:

$$h_{\min} = \frac{\ln \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta} = \frac{3450 \left(0,8 + \frac{280}{1400} \right)}{36 + (9 \times 0,9855)} = 104,7028986 \text{ mm}$$

Dari tabel 8.3.1.2 SNI 2847:2019, h_{minimum} dengan $\alpha_f > 2$ yaitu tidak boleh kurang dari 104,7 dan 90 mm. Oleh karena itu, tebal estimasi pelat 130 mm dapat digunakan.

A. Pembebanan

Beban mati pelat (DL)

Pelat	$= 0,125 \times 24$	$= 3$
Pasir 3 cm	$= 0,03 \times 18,28$	$= 0,54$
Spesi 2 cm	$= 0,02 \times 22$	$= 0,42$
Penutup lantai 1 cm	$= 0,01 \times 24 \text{ cm}$	$= 0,24$
Praktisi		$= 1$
Keramik		$= 0,15$
Plafon, ME, dll		$= 0,25$

$$= 5,6 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{SIDL} = 2,6 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{LL (kantor)} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

Beban Terfaktor

$$Q_u = 1,2 Q_{DL} + 1,6 Q_{LL}$$

$$Q_u = W_u = 1,2 \times 5,6 + 1,6 \times 4,79 = 14,384 \text{ kN/m}^2$$

Menentukan Momen Terfaktor

Penentuan Koefisien Momen Pelat 2 arah berdasarkan SNI 8900:2020 pada Tabel 7.9.2f dengan Panel Tepi dengan l_b sejajar tepi pelat dua arah yang ditumpu girder, balok, atau dinding beton bertulang dengan menentukan (SNI 8900, 2020) sebagai berikut:

$$L_a = L_x = 3000 \text{ mm}$$

$$L_b = L_y = 4000 \text{ mm}$$

$$= \frac{L_y}{L_x} = \frac{4000}{3000} = 1,3333$$

$$dx = \text{tebal pelat} - C_c - dtul/2 = 130 - 20 - \frac{10}{2} = 105 \text{ mm}$$

$$dy = \text{tebal pelat} - C_c - dtul/2 = 130 - 20 - \frac{10}{2} = 105 \text{ mm}$$

Tabel 2. 12 Syarat Momen Ultimit Pelat Dua Arah

$\beta = l_y/l_x$	Arah pendek, l_x			Arah panjang, l_y		
Rasio bentang panel	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban
1,0	$M_a^- = \frac{q_u l_x^2}{30}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_x^2}{39}$	$\alpha_a = 0,33$	$M_b^- = \frac{q_u l_y^2}{16}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_y^2}{35}$	$\alpha_b = 0,67$
1,1	$M_a^- = \frac{q_u l_x^2}{23}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_x^2}{32}$	$\alpha_a = 0,42$	$M_b^- = \frac{q_u l_y^2}{19}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_y^2}{40}$	$\alpha_b = 0,58$
1,2	$M_a^- = \frac{q_u l_x^2}{19}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_x^2}{26}$	$\alpha_a = 0,51$	$M_b^- = \frac{q_u l_y^2}{22}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_y^2}{50}$	$\alpha_b = 0,49$
1,3	$M_a^- = \frac{q_u l_x^2}{17}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_x^2}{23}$	$\alpha_a = 0,59$	$M_b^- = \frac{q_u l_y^2}{27}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_y^2}{60}$	$\alpha_b = 0,41$
1,4	$M_a^- = \frac{q_u l_x^2}{15}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_x^2}{20}$	$\alpha_a = 0,66$	$M_b^- = \frac{q_u l_y^2}{32}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_y^2}{70}$	$\alpha_b = 0,34$
1,5	$M_a^- = \frac{q_u l_x^2}{13}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_x^2}{19}$	$\alpha_a = 0,72$	$M_b^- = \frac{q_u l_y^2}{40}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_y^2}{85}$	$\alpha_b = 0,28$
1,6	$M_a^- = \frac{q_u l_x^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_x^2}{17}$	$\alpha_a = 0,77$	$M_b^- = \frac{q_u l_y^2}{50}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_y^2}{100}$	$\alpha_b = 0,23$
1,7	$M_a^- = \frac{q_u l_x^2}{12}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_x^2}{16}$	$\alpha_a = 0,81$	$M_b^- = \frac{q_u l_y^2}{60}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_y^2}{125}$	$\alpha_b = 0,19$
1,8	$M_a^- = \frac{q_u l_x^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_x^2}{15}$	$\alpha_a = 0,85$	$M_b^- = \frac{q_u l_y^2}{70}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_y^2}{150}$	$\alpha_b = 0,15$
1,9	$M_a^- = \frac{q_u l_x^2}{11}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_x^2}{15}$	$\alpha_a = 0,88$	$M_b^- = \frac{q_u l_y^2}{85}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_y^2}{175}$	$\alpha_b = 0,12$
2,0	$M_a^- = \frac{q_u l_x^2}{10}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_x^2}{14}$	$\alpha_a = 0,92$	$M_b^- = \frac{q_u l_y^2}{100}$	$M_b^+ = \frac{q_u l_y^2}{200}$	$\alpha_b = 0,08$
> 2,0	$M_a^- = \frac{q_u l_x^2}{9}$	$M_a^+ = \frac{q_u l_x^2}{11}$	$\alpha_a = 1,00$	Tulangan susut dan temperatur		$\alpha_b = 0,00$

Perhitungan momen arah pendek dan arah panjang menggunakan standar pada tabel di atas dengan $\frac{L_y}{L_x} = \frac{4000}{3000} = 1,3333$.

- Perhitungan momen arah pendek (l_a)

$$M_{tx} = \frac{q_u l_x^2}{17} = \frac{14,384 \times 3^2}{17} = 7,615058824 \text{ kNm}$$

$$M_{ty} = \frac{q_u l_x^2}{23} = \frac{14,384 \times 3^2}{23} = 5,628521739 \text{ kNm}$$

- Perhitungan momen arah panjang (l_b)

$$M_{lx} = \frac{q_u l_x^2}{27} = \frac{14,384 \times 4^2}{27} = 8,523851852 \text{ kNm}$$

$$M_{ly} = \frac{q_u l_x^2}{60} = \frac{14,384 \times 4^2}{60} = 3,835733333 \text{ kNm}$$

B. Penulangan Pelat

1. Perhitungan momen arah pendek (l_a)

$$a. M_{tx} = \frac{q_u l_x^2}{17} = \frac{14,384 \times 3^2}{17} = 7,615058824 \text{ kNm}$$

- Faktor momen pikul (R_n):

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{7,615058824}{0,9 \times 1000 \times 105^2} = 0,767453648$$

- Tinggi balok tegangan tekan (a):

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c'}} \right) \times d$$

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,767453648}{0,85 \times 25}} \right) \times 105$$

$$= 3,863191769 \text{ mm}$$

- Luas tulangan perlu sebagai berikut:

$$A_s \text{ perlu} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 25 \times 3,863191769 \times 1000}{280} = 293,188661 \text{ mm}^2$$

Untuk menentukan $A_s \text{ min}$ didasarkan pada SNI 2847:2019 pada tabel 7.6.1.1 dengan f_y yang digunakan sebesar 280 Mpa dengan tipe tulangan batang ulir, maka $A_s \text{ min} = 0,0020 A_g$.
Tabel 2. Menunjukkan syarat luasan minimum pelat lantai.

Tabel 2. 13 Syarat Luasan Minimum Pelat

Tipe Tulangan	F_y , Mpa	$A_s \text{ min}$	
Batang Ulir	< 420	0,0020 A_g	
Batang Ulir atau Kawat Las	≥ 420	Terbesar dari	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g$
			0,0014 A_g

$$A_s \text{ min} = 0,0020 A_g$$

$$= 0,0020 \times 1000 \times 130$$

$$= 260 \text{ mm}^2$$

As perlu > As min, maka digunakan As terbesar dengan nilai 293,188661 mm².

- Spasi (s) tulangan

$$s = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \times d^2 \times b}{A} = \frac{\pi \times 10^2 \times 100}{293,188661}$$

$$= 267,8814933 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{\min 1} = 25 \text{ mm}$$

$$S_{\min 2} = 10 \text{ mm}$$

$$S_{\max 1} = 2h = 2 \times 130 = 260 \text{ mm}$$

$$S_{\max 2} = 450 \text{ mm}$$

Digunakan D10 – 200

- Cek momen nominal pelat

$$As \text{ pakai} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \times d^2 \times b}{s} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \times 10^2 \times 1000}{100} = 392,699 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c \times b} = \frac{392,699 \times 280}{0,85 \times 25 \times 1000} = 5,1743879 \text{ mm}$$

$$\beta = 0,85 - \frac{0,05 \times (f_c' - 28)}{7} = 0,8714$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{5,17438}{0,8714} = 5,93782218$$

$$\epsilon_t = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{105 - 5,93782218}{5,93782218} \times 0,003$$

$$= 0,0500 > 0,005$$

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

$$= 11260876,17 > M_u$$

$$\Phi M_n = 0,9 \times 11260876,17$$

$$= 10134788,55 > M_u$$

$$M_{ty} = \frac{q_u l x^2}{23} = \frac{14,384 \times 3^2}{23} = 5,628521739 \text{ kNm}$$

- Faktor momen pikul (R_n):

$$R_n = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{5,628521739}{0,9 \times 1000 \times 105^2} = 0,567248349$$

- Tinggi balok tegangan tekan (a):

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_{c'}}} \right) \times d$$

$$\begin{aligned} a &= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,567248349}{0,85 \times 25}} \right) \times 105 \\ &= 2,841317454 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas tulangan perlu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= \frac{0,85 \times f_{c'} \times a \times b}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 25 \times 2,841317454 \times 1000}{280} = 215,6356997 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= 0,0020 A_g \\ &= 0,0020 \times 1000 \times 130 \\ &= 260 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ min}}$, maka digunakan A_s terbesar dengan nilai 260 mm^2 .

Spasi (s) tulangan

$$\begin{aligned} s &= \frac{1}{4} \times \frac{n \times d^2 \times b}{A} = \frac{n \times 10^2 \times 100}{260} \\ &= 302,0762167 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{\text{min1}} = 25 \text{ mm}$$

$$S_{\text{min2}} = 10 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max1}} = 2h = 2 \times 130 = 260 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max2}} = 450 \text{ mm}$$

digunakan, D10 – 300

2. Perhitungan momen arah panjang (lb)

$$a. \quad M_{lx} = \frac{qu lx^2}{27} = \frac{14,384 \times 4^2}{27} = 8,523851852 \text{ kNm}$$

- Faktor momen pikul (Rn):

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{8,523851852}{0,9 \times 1000 \times 105^2} = 0,859042767$$

- Tinggi balok tegangan tekan (a):

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c'}} \right) \times dx$$

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,859042767}{0,85 \times 25}} \right) \times 105$$

$$= 4,334132896 \text{ mm}$$

Luas tulangan perlu didapatkan dari perhitungan berikut:

$$A_s \text{ perlu} = \frac{0,85 \times f'c' \times a \times b}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 25 \times 4,334132896 \times 1000}{280} = 328,9297287 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = 0,0020 A_g$$

$$= 0,0020 \times 1000 \times 130$$

$$= 260 \text{ mm}^2$$

$A_s \text{ perlu} > A_s \text{ min}$, maka digunakan A_s terbesar dengan nilai $328,9297287 \text{ mm}^2$.

b. Spasi (s) tulangan

$$s = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \times d^2 \times b}{A} = \frac{\pi \times 10^2 \times 100}{328,9297287}$$

$$= 238,7738459 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{\min 1} = 25 \text{ mm}$$

$$S_{\min 2} = 10 \text{ mm}$$

$$S_{\max 1} = 2h = 2 \times 130 = 260 \text{ mm}$$

$$S_{\max 2} = 450 \text{ mm}$$

digunakan D10 – 200

$$c. \quad M_{ly} = \frac{qu lx^2}{60} = \frac{14,384 \times 4^2}{60} = 3,835733333 \text{ kNm}$$

- Faktor momen pikul (Rn):

$$Rn = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot d^2} = \frac{3,835733333}{0,9 \times 1000 \times 105^2} = 0,386569245$$

- Tinggi balok tegangan tekan (a):

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times Rn}{0,85 \times f'c'}} \right) \times dx$$

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,386569245}{0,85 \times 25}} \right) \times 105 = 1,927804138$$

Luas tulangan perlu perlu sebagai berikut:

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{0,85 \times f'c' \times a \times b}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \times 25 \times 1,927804138 \times 1000}{280} = 146,306564 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = 0,0020 A_g$$

$$= 0,0020 \times 1000 \times 130$$

$$= 260 \text{ mm}^2$$

As perlu < As min, maka digunakan As terbesar dengan nilai 260 mm².

d. Spasi (s) tulangan

$$s = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \times d^2 \times b}{A} = \frac{\pi \times 10^2 \times 100}{260}$$

$$= 302,0762167 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

Syarat:

$$S_{\min 1} = 25 \text{ mm}$$

$$S_{\min 2} = 10 \text{ mm}$$

$$S_{\max 1} = 2h = 2 \times 130 = 260 \text{ mm}$$

$$S_{\max 2} = 450 \text{ mm}$$

digunakan, D10 – 300

Rekapan jarak pelat dua arah(PL 1) dapat dilihat pada tabel

Tabel 2. 14 Rekapan Spasi Pelat Dua Arah (PL 1)

Rekapan	Ly	Lx	Tulangan Tarik	
PL1	4000	3000	Tumpuan x (pendek)	D10 - 200
			Lapangan x (pendek)	D10 - 300
			Tumpuan y (panjang)	D10 - 200
			Lapangan y (panjang)	D10 - 300

C. Menghitung Gaya Geser

$$V_u = \frac{1,15 \times W_u \times L_n}{2} = \frac{1,15 \times 14,384 \times 4}{2} = 33,0832 \text{ kN}$$

$$d_x = \text{tebal pelat} - C_c - \frac{d_{tul}}{2} = 130 - 20 - \frac{10}{2} = 105 \text{ mm}$$

$$d_y = \text{tebal pelat} - C_c - \frac{d_{tul}}{2} = 130 - 20 - \frac{10}{2} = 105 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d_x \\ &= 0,75 \times 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times \frac{1000}{1000} \times \frac{105}{100} \\ &= 66,9375 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Cek } \phi V_c > V_u$$

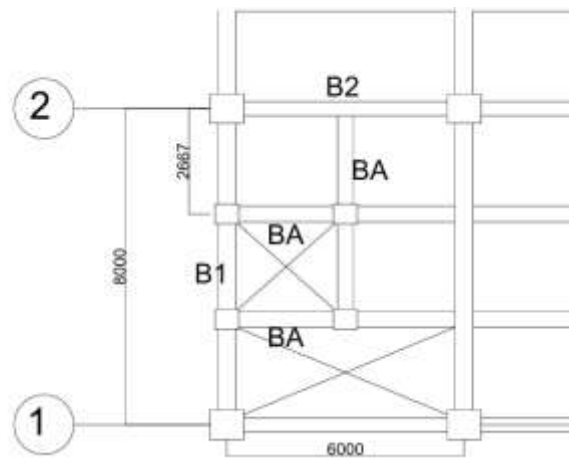
$$= 66,9375 \text{ kN} > 33,0832 \text{ kN (OK)}$$

Maka, pelat aman terhadap gaya geser dan tidak membutuhkan tulangan geser.

2.) Pelat PL2

Pada pelat 2 dengan ukuran 3000 mm x 2667 mm yang ditinjau pada as satu dan as dua dihitung berdasarkan perhitungan Pelat PL1 dengan

potongan dan hasil rekapan tulangan yang dapat dilihat pada gambar 2.9 dan tabel 1.15 berikut:



Gambar 2. 9 Potongan Pelat Dua arah tipe dua (PL 2)

Tabel 2. 15 Rekapan Jarak Tulangan Pelat Dua Arah Tipe Dua (PL 2)

Rekapan	Ly	Lx	Tulangan Tarik	
PL2	4000	3000	Tumpuan x (pendek)	D10 - 300
			Lapangan x (pendek)	D10 - 300
			Tumpuan y (panjang)	D10 - 250
			Lapangan y (panjang)	D10 - 300

2.3.3 Perancangan Tangga

Tangga digunakan sebagai penghubung antara dua elevasi yang berbeda. Tangga terdiri dari bordes dan anak tangga. Pada bangunan ini, terdapat dua jenis tangga dengan ukuran yang berbeda. Pemodelan untuk struktur

tangga menggunakan aplikasi ETABS. Perletakan tumpuan untuk permodelan tangga berupa tumpuan sendi – sendi rol.

Pada pemodelan berupa beban mati tambahan (SIDL), beban mati (DL) dan beban hidup (LL). Kombinasi pembebanan digunakan berdasarkan SNI 2847:2019 yaitu 1,4 DL dan 1,2 DL + 1,6 LL. Perhitungan tangga diketahui sebagai berikut:

Diketahui:

a. Tangga 1 (6 meter $\times$ 2,67 meter)

1. Data Perencanaan Tangga 1

F_c'	= 25 Mpa
F_y	= 420 Mpa
Tinggi antar lantai	= 4600 mm
Optrede (O)	= 170 mm
Antrede (A)	= 300 mm
Jumlah anak tangga(n)	$= \frac{4600}{170} = 27,058 \approx 27$ buah
Tebal pelat tangga	= 200 mm
Lebar bordes	= 2000 mm = 2 m
Panjang tangga	= 4000 mm = 4 m
Sudut kemiringan tangga(α)	$= \arctan \frac{Optrede}{Antrede}$ $= \arctan \frac{170}{300} = 29,538^\circ \approx 30^\circ$

$$\text{Perhitungan Equivalent Tangga} = \frac{BD}{AB} = \frac{BC}{AB}$$

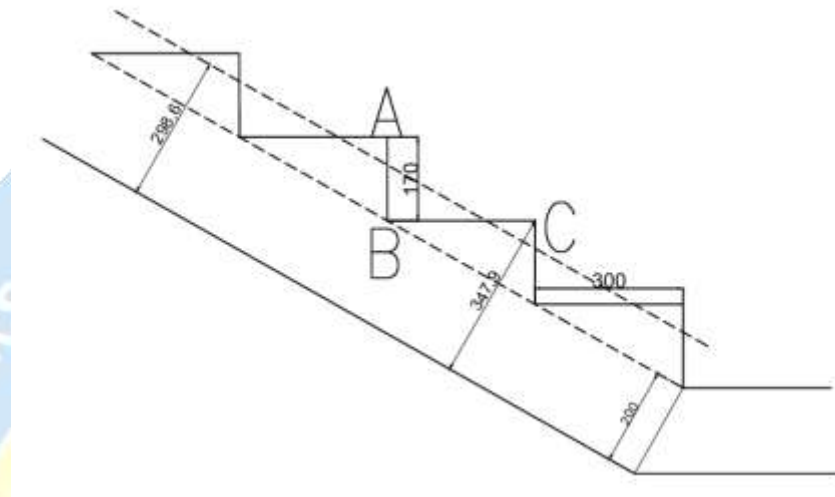
$$BD = \frac{AB \times BC}{AB} = \frac{170 \times 300}{\sqrt{170^2 + 300^2}}$$

$$= 147,903 \text{ mm}$$

$$t \text{ equivalent tangga} = \frac{2}{3} BD$$

$$= \frac{2}{3} \times 147,903 \text{ mm} = 98,6025 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total eq pelat tangga} &= \text{tebal pelat tangga} + 2/3BD \\
 &= 200 \text{ mm} + 98,6025 \text{ mm} \\
 &= 298,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 2. 10 Detail Optrade dan Antrede dan eq Tangga

2. Pembebanan Tangga

$$\text{Berat jenis beton} = 24 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat jenis ubin} = 21 \text{ kN/m}^2$$

a). Beban Mati

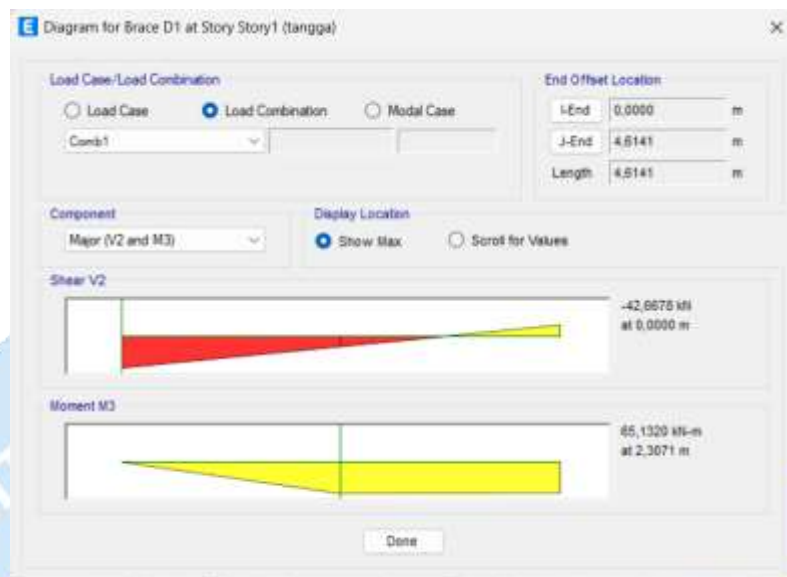
$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri anak tangga} &= \frac{0 \times A}{2} \times \text{BJ beton} \\
 &= \frac{180 \times 300}{2} \times 24 = 0,648 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat ubin dan spesi} &= 0,05 \times \text{BJ ubin} \\
 &= 0,05 \times 21 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 1,05 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat railing} = 1 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total Beban Mati (SIDL)} = 2,698 \text{ kN/m}^2$$

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



Gambar 2. 11 Hasil Analisis Pelat Lantai Tangga Menggunakan ETABS

Dari hasil analisis menggunakan *ETABS* (dapat dilihat pada gambar 2.11) dengan menggunakan kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 2847:2019 diperoleh momen ultimit sebesar 65,132 kNm untuk desain tulangan tangga dan pelat bordes sebagai berikut:

Diameter tulangan	= 13 mm
Diameter tulangan susut	= 10 mm
Fy tulangan	= 420 MPa
Fc'	= 25 MPa
Tebal pelat tangga	= 200 mm
Selimut beton	= 20 mm
Φ	= 0,9

Perhitungan tulangan tangga:

$$d = \text{tebal pelat} - C_c - \frac{dtul}{2}$$

$$= 200 - 20 - \frac{13}{2} = 173,5 \text{ cm}$$

Menghitung nilai a

$$\begin{aligned}
 a &= d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \times Mu}{0,85 \times f'c \times \phi \times b}} \\
 &= 173,5 - \sqrt{173,5^2 - (2 \times (65,132 \times 10^6) / (0,85 \times 25 \times 0,9 \times 1000))} \\
 &= 23,3858 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\beta = 0,85 - \frac{0,05 (f'c' - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05 (25 - 28)}{7} = 0,871$$

Menghitung tinggi garis netral

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{23,3858}{0,871} = 26,836 \text{ mm}$$

Cek $\epsilon_s > 0,005$ = terkendali tarik

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= 0,003 \times \frac{d-c}{c} \\
 &= 0,003 \times \frac{173,5 - 26,8358}{26,8358} = 0,0164 > 0,005 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Kebutuhan Tulangan (Tabel 7.6.1.1 ; SNI 2847:2019)

$$\begin{aligned}
 \text{As perlu} &= \frac{Mu}{\phi \times f_y \times (d - \frac{a}{2})} = \frac{72368888,89}{0,9 \times 420 \times (173,5 - \frac{23,385}{2})} \\
 &= 1183,212044 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{As tulangan} = \frac{\pi \times d^2}{4} = \frac{\pi \times 13^2}{4} = 132,732 \text{ mm}^2$$

Cek spasi perlu

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b \times \text{As tulangan}}{As} = \frac{1000 \times 132,732}{1183,212} \\
 &= 112,1796 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

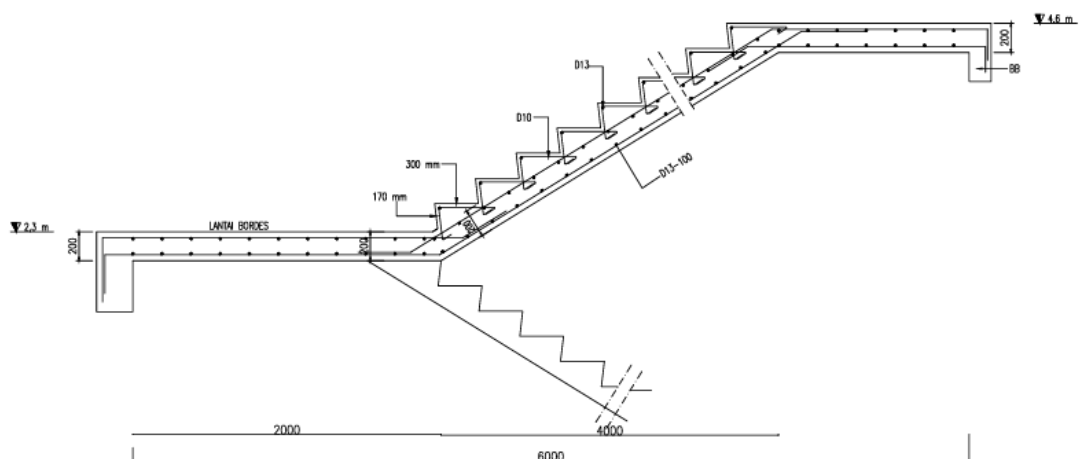
$$s_{\max 1} = 3h = 3 \times 200 = 600 \text{ mm}$$

$$S_{max2} = 450 \text{ mm}$$

Maka, digunakan tulangan dengan **D13 – 100**

Tulangan susut:

$$\begin{aligned} A_{s_{req}} &= A_{s_{min}} \\ &= 0,002 \times b \times h \\ &= 0,002 \times 1000 \times 200 = 2400 \text{ mm}^2 \\ s &= 0,25 \times \pi \times D^2 \times \frac{b}{A_s} \\ &= 0,25 \times \pi \times 10^2 \times \frac{b}{2400} \\ &= 196,3495 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 2. 12 Detail Penulangan Tangga

Pada Tangga 2 dengan dimensi 5200 mm x 3000 mm dengan perhitungan yang sama, didapat hasil rekapan tulangan dengan menggunakan tulangan lentur D13 – 100 dan tulangan susut D8 – 150.

2.4 Beban Gempa dengan Analisis Sprektum Respon

Pada pembangunan Gedung Pesantren Modren Al – Nizam, perlu dilakukan intrepetasi data tanah untuk menerjemahkan data tanah yang sudah duji sebelumnya. Hal ini bertujuan untuk pengadopsian keselamatan hidup berdasarkan SNI 1726:2019 menyatakan saat terjadi gempa dalam skala besar, struktur tidak boleh runtuh. Sehingga, perlu dilakukan penentuan parameter dengan tujuan penambahan data beban gempa dan parameter lain.

2.4.1 Menentukan Kelas Situs

Berdasarkan data tanah SPT yang digunakan untuk menentukan klasifikasi situs, diketahui kedalaman tanah sebesar 30 m. Menurut SNI 1726:2019 tentang perencanaan ketahanan gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non gedung. Berdasarkan data N- SPT (Tabel 2.6) yang tertera didapatkan:

Tabel 2. 16 Data N-SPT

Kedalaman	Tebal (m)	N(SPT)	$N'=T/N$
0 – 2	2	14	0,14
2 – 4	2	16	0,13
4 – 6	2	6	0,33
6 – 8	2	12	0,17
8 – 10	2	18	0,11
10 – 12	2	53	0,04
12 – 14	2	55	0,04
14 – 16	2	55	0,04
16 – 18	2	57	0,04
18 – 20	2	58	0,03
20 – 22	2	59	0,03
22 – 24	2	59	0,03
24 – 26	2	60	0,03
26 – 28	2	60	0,03
28 – 30	2	60	0,03
Σn			24,45

Berdasarkan perhitungan kuat geser rata – rata (S_u):

Diketahui:

$$\text{Kohesi tanah (c)} = 0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Sudut geser tanah } (\phi) = 12,4^\circ$$

$$\text{Kedalaman uji (h)} = 30 \text{ meter} = 3000 \text{ cm}$$

$$\gamma_b = 1,51 \text{ gr/cm}^3 = 0,00151 \text{ kg/cm}^3$$

Berdasarkan perhitungan kuat geser rata – rata (S_u), didapatkan:

$$S = c + \gamma h \tan \phi$$

$$S = 0 + (0,00151) \times (30) \times \tan (12,4^\circ)$$

$$S = 99,5985 \text{ kPa}$$

Berdasarkan SNI 1726:2019, pada Tabel 2.17 didapatkan kelas situs SD (Tanah Sedang) karena memiliki $N' = 24,35$ dan nilai $S = 99,5985 \text{ kPa}$ yaitu berada di antara 15 sampai 50.

Tabel 2. 17 Syarat Penentuan Kelas Situs

Kelas Situs	$V_s(\text{m/detik})$	N atau Nch	$S_u \text{ (kPa)}$
SA (Batuhan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (Batuhan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (Tanah, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 500	≥ 100
SD (Tanah Sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (Tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:		
	1. Indeks Plastisitas, $PI > 20$,		

	2. Kadar air, $w \geq 40 \%$ 3. Kuat geser niralir $su < 25 \text{ KPa}$
SF (Tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 7,5 \text{ m}$ dengan indeks plasitiisitas $PI > 75$ - Lapian lempung lunak dan/ setengah teguh dengan etebalan $H > 35 \text{ m}$ dengan $su < 50 \text{ KPa}$
Catatan N/A = tidak dapat dipakai	

2.4.2 Menentukan Kategori Resiko

Berdasarkan Tabel 3 tentang Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa dari SNI 1726:2019, Bangunan Pesantren Modren Al - Nizam di Banyumas digunakan sebagai rumah tinggal dan tempat belajar. Berdasarkan jenis pemanfaatannya, bangunan tersebut digunakan sebagai gedung apartemen/rumah susun dan masuk ke dalam kategori resiko II.

2.4.3 Kategori Desain Seismik

Dalam menentukan kategori desain sesimik dapat dilihat dari spektrum respon desain melalui website Desain Spektra Indonesia (rsu.ciptakarya.co.id) dengan cara menginputkan nama kota lokasi tanah yang akan ditinjau. Dengan demikian, nilai S_d_s dan S_d_1 akan ditampilkan. Hasil penentuan parameter respon spektra sebagai berikut:

Nama Kota	= Banyumas
Bujur	= 109.283333°
Lintang	= -7.416667°
PGA	= 0,3543 g
Ss	= 0,7813 g
S1	= 0,3837 g
TL	= 20 detik
Fa	= 1,187
Fv	= 1,916
Sms	= 0,927 g

$$S_{m1} = 0,735 \text{ g}$$

$$T_o = 0,159 \text{ detik}$$

$$T_s = 0,798 \text{ detik}$$

2.4.4 Menentukan Faktor Keutamaan Gempa

Faktor keutamaan gempa sesuai dengan ditentukan berdasarkan Tabel 2.18 tergantung pada kategori resiko gedung. Dari kategori resiko II pada bangunan Pesantren Modren A1 – Nizam, didapatkan nilai Faktor Keutamaan Gempa (I_e) = 1.

Tabel 2. 18 Syarat Menentukan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa , I_e
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

2.4.5 Perhitungan Beban Gempa

Perhitungan beban gempa dilakukan berdasarkan SNI 1726:2019 sebagai berikut:

1. Menentukan nilai S_s dan S_1 berdasarkan lokasi bangunan:

$$\text{Kota} = \text{Banyumas}$$

$$S_s = 0,7813 \text{ g}$$

$$S_1 = 0,3837 \text{ g}$$

2. Menentukan Kelas Situs

$$\text{Kelas situs} = \text{SD (tanah sedang)}$$

3. Menentukan nilai F_a dan F_v berdasarkan Tabel 2.19 dan Tabel 7)

$$F_a = 1,187$$

$$F_v = 1,916$$

Tabel 2. 19 Syarat Menentukan Nilai Fa

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE_r) terpetakan pada periode pendek $T =$ 0,2 detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 2,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,91	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,21	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

Tabel 2. 20 Syarat Menentukan Nilai Fv

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan resiko-tertarget (MCE_r) terpetakan pada periode pendek 1 detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_s \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

4. Menghitung S_{MS} , S_{M1} dan S_{DS} , S_{D1}

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,187 \times 0,7813 = 0,927 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 1,916 \times 0,3837 = 0,735 \text{ g}$$

$$S_{DS} = 2/3 \times S_{MS} = 2/3 \times 0,927 = 0,618 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 2/3 \times S_{M1} = 2/3 \times 0,735 = 0,490 \text{ g}$$

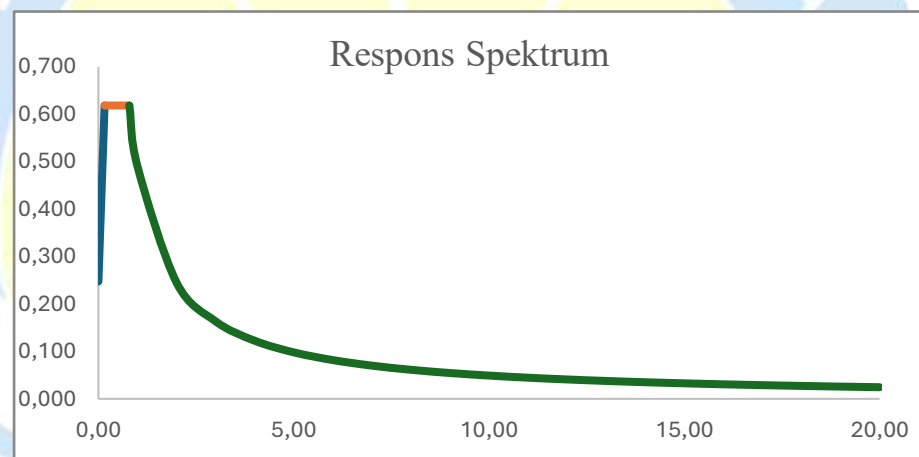
5. Menentukan batasan T_0 dan T_s

$$T_0 = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times \frac{0,490}{0,618} = 0,159 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,490}{0,618} = 0,793 \text{ detik}$$

6. Gambar Respon Spektrum

- Untuk $0 < T < T_s$
- $S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 \times \frac{T}{T_0})$
- **Untuk $T_0 < T < T_s$**
 $S_a = S_{DS}$
- **Untuk $T_s < T < T_L$**
 $S_a = (\frac{SD_1}{T})$
- **Untuk $T > T_L$**
 $S_a = (\frac{SD_1 T_L}{T^2})$
- **$T_L = 20$ detik** (Gambar 20.13 Peta transisi periode panjang, T_L , wilayah Indonesia SNI 1726:2019 hal 238)



Gambar 2. 13 Respon Sprektrum

7. Menentukan Kategori Resiko

Fungsi Bangunn = Asrama
 Kategori Resiko = II
 Faktor Keutamaan (Ie) = 1,00

8. Menentukan Kategori Desain Seismik

Berdasarkan S_{DS} = D
 Berdasarkan S_{D1} = D
 Digunakan KDS = D

Tabel 2. 21 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode Pendek

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

Tabel 2. 22 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respon Percepatan pada Periode Pendek

Nilai s_{d1}	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{d1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{d1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{d1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{d1}$	D	D

9. Menentukan Sistem Struktur dan Parameter Struktur berdasarkan KDS

Penentuan koefisien modifikasi respons dapat dilihat dari Tabel 12 SNI 1726 : 2019. Faktor R , Ω_0 , C_d untuk sistem pemikul momen khusus maka diperoleh diperoleh nilai:

- $R = 8$
- $\Omega_0 = 3$
- $C_d = 5,5$

10. Menentukan Periode Fundamental Gedung (T)

Jenis Struktur = Beton

Tinggi = 32 meter

Tabel 2. 23 Nilai Parameter Kategori Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungi dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangk dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Berdasarkan pada Tabel 2.23 diatas. Nilai parameter C_t dan x yang tertera dengan tipe struktur pada Pesantren Modren Al – Nizam di Kota Banyumas adalah Rangka Beton Pemikul Momen, dengan nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$.

Penentuan parameter ini digunakan untuk menentukan periode fundamental pendekatan (T_a) dalam detik dan ketinggian total struktur (h_n), dicari dengan berdasarkan formula pendekatan:

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

$$T_a = C_t \times h_n^x = 0,0466 \times 32^{0,9} = 1,0544s$$

$$C_u = 1,4 \text{ (Tabel 17 SNI 1726:2019 hal 72)}$$

$$T_{maks} = C_u \cdot T_a$$

$$= 1,4 \times 1,05443 = 1,476 \text{ detik}$$

Digunakan $T = 1,476$ detik

11. Menentukan Faktor Respons Gempa (C_s)

Untuk $T \leq T_s$, nilai C_s :

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,619}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,077$$

Jika $T \leq T_L$, nilai C_s tidak perlu lebih besar dari:

$$C_s = \frac{SD1}{T(\frac{R}{I_e})} = \frac{0,4902}{1,476(\frac{8}{1})} = 0,042$$

$$\text{Diperoleh } C_s = 0,042$$

$$\begin{aligned} C_{s \text{ min}} &= 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \\ &= 0,044 \cdot (0,618) \cdot (1) = 0,027 \end{aligned}$$

$$C_{s \text{ min}} = 0,010$$

12. Menentukan Gaya Dasar Seismik

Pada pasal 7.8.1 SNI 1726:2019 dengan koefisien respon seismik (C_s) dan berat seismik efektif (W) maka digunakan $V_x = V_y = C_s \cdot (w)$.

$$W = 55066,914$$

$$V = C_s \cdot W = 0,042 \times 55066,914 = 2285,682$$

Setelah parameter didapatkan, gaya seismik lateral didapatkan di masing masing tingkatan lantai dengan persamaan SNI 1726:2019 pasal 7.8.3 dengan menentukan faktor distribusi vertikal (C_{vx}) sebagai berikut:

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k}$$

Setelah menemukan hasil nilai faktor distribusi vertikal, kemudian dapat menghitung gaya seismik lateral (F_x) sebagai berikut:

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

13. Distribusi Gaya Gempa Lateral dan Gaya Gempa Vertikal

Jika nilai T berada di antara 0,5 – 2,5 detik, maka:

$$K = 0,75 + 0,5T$$

$$K = 0,75 + 0,5 \times (1,476) = 1,4481$$

Tabel 2. 24 Peritungan Gaya Dasar Seismik

Lantai	w	h	w . h ^k	Cvx	Fx	Vx
LT6	8771,68	27,60	1222667,94	0,33	760,3569	760,36
LT5	8994,46	23,00	955808,79	0,26	594,4016	1354,76
LT4	9199,66	18,40	701383,10	0,19	436,1785	1790,94
LT3	9354,64	13,80	464823,92	0,13	289,0663	2080,00
LT2	9383,86	9,20	255035,19	0,07	158,6021	2238,61
LT1	9625,67	4,60	93257,77	0,03	57,9955	2296,60
	55329,966		3.692.976,71	1,00	2296,6009	2296,600861

Perhitungan per lantai didapat dari hitungan sebagai berikut:

- Berat Satuan Pelat Lantai

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Sendiri pelat lantai} &= 0,125 \times 24 = 3 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Pasir 3 cm} &= 0,03 \times 18,28 = 0,55 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Spesi 2 cm} &= 0,02 \times 22 = 0,44 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Penutup lantai 1 cm} &= 0,01 \times 24 = 0,24 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Praktisi} &= 1 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Keramik} &= 0,15 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Plafon,ME, dll} &= 0,25 \text{ kN/m}^2 + \\
 \hline
 \text{DL} &= 5,65 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

- Berat Satuan Balok

$$\begin{aligned}
 \text{Balok Induk 1 (BI 1)} &= b \times (h - t. \text{Pelat}) \times b_j \text{ beton} \\
 &= 0,45 \times (0,60 - 0,125) \times 24 \\
 &= 5,13 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Balok Induk 2 (BI 2)} &= b \times (h - t. \text{Pelat}) \times b_j \text{ beton} \\
 &= 0,35 \times (0,55 - 0,125) \times 24 \\
 &= 3,57 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Balok Anak (BA)} &= b \times (h - t. \text{Pelat}) \times b_j \text{ beton} \\
 &= 0,3 \times (0,5 - 0,125) \times 24 \\
 &= 2,7 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

- Berat satuan kolom

$$\text{Kolom 1 (K1)} = 0,75 \times 0,85 \times 24$$

$$\begin{aligned}
 &= 15,3 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Kolom 2 (K2)} &= 0,6 \times 0,7 \times 24 \\
 &= 10,08 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Kolom 3 (K3)} &= 0,5 \times 0,6 \times 24 \\
 &= 7,2 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

- Berat Lantai 1

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat lantai} &= 24 \times 40 = 960 \times 5,63 = 5403,26 \text{ kN} \\
 \text{BI 1} &= 25 \times 8 = 200 \times 5,13 = 1026 \text{ kN} \\
 \text{BI 2} &= 24 \times 6 = 144 \times 3,57 = 514,08 \text{ kN} \\
 \text{BA} &= 32 \times 6 = 192 \times 2,70 = 518,40 \text{ kN} \\
 \text{K1} &= 30 \times \left(\frac{1}{2} \times 4,6\right) \times 15,3 = 1055,7 \text{ kN} \\
 \text{K3} &= 10 \times \left(\frac{1}{2} \times 4,6\right) \times 7,2 = 165,6 \text{ kN} \\
 \text{Dinding bata} &= 277,32 \times 2,7 = 748,76 \text{ kN} \\
 \text{Dinding kaca} &= 71,80 \times 2,7 = 197,86 \text{ kN} \\
 \hline
 &W1 = 9625,67 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Berat Lantai 2

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat lantai} &= 24 \times 40 = 960 \times 5,63 = 5403,26 \text{ kN} \\
 \text{BI 1} &= 25 \times 8 = 200 \times 5,13 = 1026 \text{ kN} \\
 \text{BI 2} &= 24 \times 6 = 144 \times 3,57 = 514,08 \text{ kN} \\
 \text{BA} &= 32 \times 6 = 192 \times 2,70 = 518,40 \text{ kN} \\
 \text{K1} &= 30 \times \left(\frac{1}{2} \times 4,6\right) \times 15,3 = 1055,7 \text{ kN} \\
 \text{K3} &= 10 \times \left(\frac{1}{2} \times 4,6\right) \times 7,2 = 165,6 \text{ kN} \\
 \text{Dinding bata} &= 201,36 \times 2,7 = 543,67 \text{ kN} \\
 \text{Dinding kaca} &= 58,2 \times 2,7 = 157,14 \text{ kN} \\
 \hline
 &W2 = 9383,86 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Berat Lantai 3

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat lantai} &= 24 \times 40 = 960 \times 5,63 = 5403,26 \text{ kN} \\
 \text{BI 1} &= 25 \times 8 = 200 \times 5,13 = 1026 \text{ kN} \\
 \text{BI 2} &= 24 \times 6 = 144 \times 3,57 = 514,08 \text{ kN} \\
 \text{BA} &= 32 \times 6 = 192 \times 2,70 = 518,40 \text{ kN} \\
 \text{K1} &= 30 \times \left(\frac{1}{2} \times 4,6\right) \times 15,3 = 1055,7 \text{ kN} \\
 \text{K3} &= 10 \times \left(\frac{1}{2} \times 4,6\right) \times 7,2 = 165,6 \text{ kN} \\
 \text{Dinding bata} &= 167,94 \times 2,7 = 453,44 \text{ kN} \\
 \text{Dinding kaca} &= 80,8 \times 2,7 = 218,16 \text{ kN} \\
 \hline
 &W3 = 9354,64 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Berat Lantai 4

Pelat lantai	$= 24 \times 40$	$= 960 \times 5,63$	$= 5403,26 \text{ kN}$
BI 1	$= 25 \times 8$	$= 200 \times 5,13$	$= 1231 \text{ kN}$
BI 2	$= 24 \times 6$	$= 144 \times 3,57$	$= 514,08 \text{ kN}$
BA	$= 32 \times 6$	$= 192 \times 2,70$	$= 518,40 \text{ kN}$
K2	$= 30 \times (1/2 \times 4,6)$	$\times 15,3$	$= 695,52 \text{ kN}$
K3	$= 10 \times (1/2 \times 4,6)$	$\times 7,2$	$= 165,6 \text{ kN}$
Dinding bata	$= 167,94 \times 2,7$		$= 453,44 \text{ kN}$
Dinding kaca	$= 80,8 \times 2,7$		$= 218,16 \text{ kN}$
			W4 = 9199,66 kN

- Berat Lantai 5

Pelat lantai	$= 24 \times 40$	$= 960 \times 5,63$	$= 5403,26 \text{ kN}$
BI 1	$= 25 \times 8$	$= 200 \times 5,13$	$= 1026 \text{ kN}$
BI 2	$= 24 \times 6$	$= 144 \times 3,57$	$= 514,08 \text{ kN}$
BA	$= 30 \times 6$	$= 192 \times 2,70$	$= 518,40 \text{ kN}$
K2	$= 30 \times (1/2 \times 4,6)$	$\times 15,3$	$= 695,52 \text{ kN}$
K3	$= 10 \times (1/2 \times 4,6)$	$\times 7,2$	$= 165,6 \text{ kN}$
Dinding bata	$= 167,94 \times 2,7$		$= 453,44 \text{ kN}$
Dinding kaca	$= 80,8 \times 2,7$		$= 218,16 \text{ kN}$
			W5 = 8994,46 kN

- Berat Lantai 6

Pelat lantai	$= 24 \times 40$	$= 960 \times 5,63$	$= 5403,26 \text{ kN}$
BI 1	$= 21 \times 8$	$= 168 \times 5,13$	$= 861,84 \text{ kN}$
BI 2	$= 24 \times 6$	$= 144 \times 3,57$	$= 514,08 \text{ kN}$
BA	$= 32 \times 6$	$= 192 \times 2,70$	$= 518,40 \text{ kN}$
K1	$= 28 \times (1/2 \times 4,6)$	$\times 15,3$	$= 649,15 \text{ kN}$
K3	$= 10 \times (1/2 \times 4,6)$	$\times 7,2$	$= 165,6 \text{ kN}$
Dinding bata	$= 150 \times 2,7$		$= 405 \text{ kN}$
Dinding kaca	$= 94,2 \times 2,7$		$= 254,34 \text{ kN}$
			W6 = 8771,68 kN

2.5 Ketidakberaturan Struktur

Pengecekan ketidakberaturan berpedoman pada SNI 1726:2019. Peraturan yang digunakan untuk pengecekan ketidak beraturan horizontal meliputi pasal

7.3.2.1 dan pasal 7.3.2.2 . pengecekan ketidakberaturan harus terpenuhi untuk memastikan sistem struktur dapat diminimalisir resiko kegagalan struktur akibat gempa. Pengecekan ketidakberaturan struktur dilakukan berdasarkan analisis gempa kategori Desain Seismik (KDS) D.

2.5.1 Analisis Bentuk ragam (*Mode shape*) pada struktur awal

Pengecekan bentuk ragam (*mode shape*) bertujuan untuk memastikan respon struktur yang terjadi pada *mode* satu dan *mode* dua mengalami translasi. Patokan pengecekan pada analisis ini adalah mode pertama dan kedua karena pada kedua *mode* tersebut jumlah massa yang dikalkulasikan oleh program Etabs memiliki hasil yang lebih besar dibandingkan mode – mode selanjutnya.

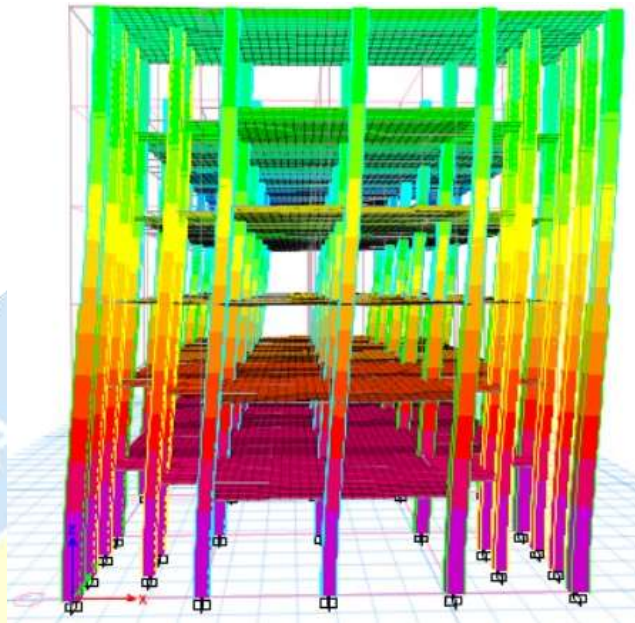
Setelah dilakukan analisis menggunakan dimensi – dimensi yang sudah di *preliminary* didapatkan bahwa *mode* 1 mengalami translasi, *mode* dua mengalami puntir, dan *mode* tiga mengalami translasi. Karena kasus tersebut maka terdapat perubahan dimensi kolom pada struktur menjadi:

$$K1 = 600 \times 850 \text{ mm}$$

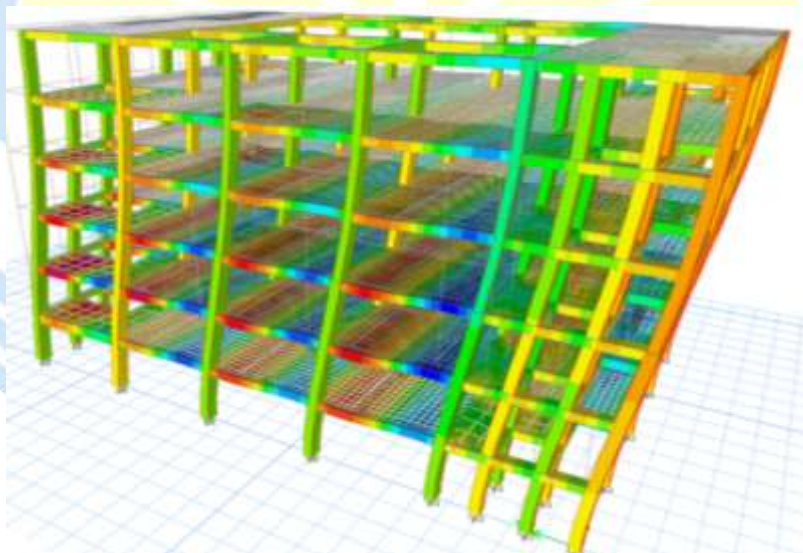
$$K2 = 500 \times 700 \text{ mm}$$

$$K3 = 600 \times 600 \text{ mm}$$

Setelah dilakukan perubahan dimensi dan melakukan analisis pada *ETABS* diperoleh hasil *mode* satu dan *mode* dua berada dalam kondisi translasi dan *mode* 3 torsi. Hasil analisis struktur dapat dilihat pada gambar 2.14 dan 2.15 berikut.



Gambar 2. 14 Mode Satu



Gambar 2. 15 Mode Dua

2.5.2 Analisis Simpangan Antar Lantai (*Story Drift*)

Simpangan antar tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin berdasarkan dari SNI 1726 – 2019 pada tabel 20 dilihat berdasarkan

kategori risiko bangunan. Pada struktur termasuk ke dalam struktur lainnya dengan kategori risiko IV sehingga syarat: $0,010h_{sx}$. (h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat – x).

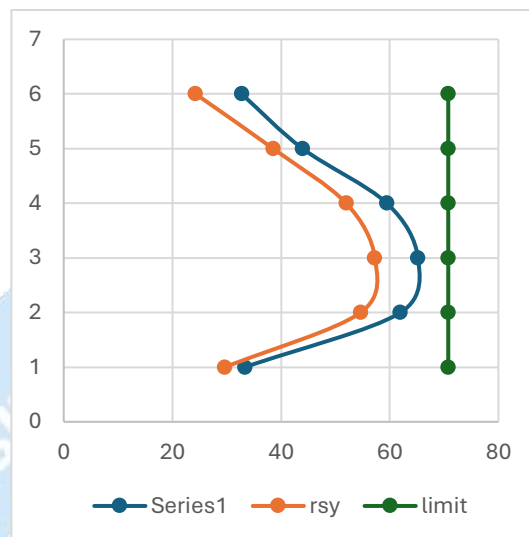
Dari analisis Etabs didapatkan *drift* sebagai berikut, untuk perhitungan diuraikan sebagai berikut. Rekapitan perhitungan simpangan antar lantai dapat dilihat pada tabel 2.25 dan gambar 2.16 berikut:

Diketahui :

- $\delta = 0,02h$
- $\rho = 1,3$
- $\delta_{maks} = \frac{0,02h}{1,3} = 0,015 h$
- $C_d = 5,5$
- $I_e = 1$

Tabel 2. 25 Rekapitan Hitungan Simpangan Antar Lantai

story	<i>Displesment</i>		<i>elastic drift</i>		h	<i>inelastic drif</i>		<i>drift limit</i>	cek
	x	y	x	y		delta x	delta y		
	mm	mm	mm	mm		mm	mm		
6	53,94	46,61	5,95	4,41	4600	32,74	24,27	70,77	OK
5	47,99	42,20	7,99	7,01	4600	43,97	38,53	70,77	OK
4	40	35,19	10,81	9,45	4600	59,47	51,98	70,77	OK
3	29,18	25,74	11,85	10,41	4600	65,19	57,27	70,77	OK
2	17,33	15,33	11,27	9,94	4600	61,99	54,64	70,77	OK
1	6,06	5,39	6,06	5,40	4600	33,35	29,69	70,77	OK



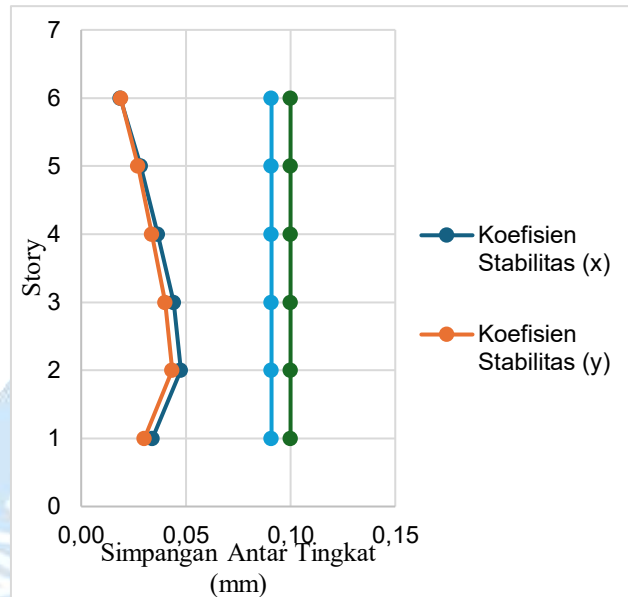
2.5.3 Analisis Pengaruh P- Delta

Gambar 2. 16 Grafik pengecekan Simpangan Antar Lantai

Analisis pengaruh p-delta berpedoman pada SNI 1726 tahun 2019 pasal 7.8.7. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel 2.26 dan gambar 2.17 berdasarkan hasil analisis, struktur pada gedung tidak menunjukkan adanya P-Delta sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur aman.

Tabel 2. 26 Analisis Pengaruh P-Delta

Story	Inelastic Drift		Story Forces			h	Koefisien Stabilitas		Batas Pengaruh P-Delta	Batas Stabilitas Struktur, θ_{max}	Cek
	Δ_X	Δ_Y	P	V_x	V_y	mm					
	(mm)	(mm)	(kN)	(kN)	(kN)		θX	θY			
6	27,05	30,37	8110,08	712,0164	789,7805	3000	0,03	0,02	0,1	0,09	OK
5	28,71	32,43	21607,16	1317,915	1566,01	3000	0,03	0,03	0,1	0,09	OK
4	30,18	34,27	34087,59	1699,761	2098,042	3000	0,04	0,03	0,1	0,09	OK
3	31,13	35,41	47299,29	2017,794	2523,555	3000	0,04	0,04	0,1	0,09	OK
2	30,05	33,94	60919,23	2330,25	2881,411	3000	0,05	0,04	0,1	0,09	OK
1	18,80	20,52	74497,41	2496,559	3060,026	3000	0,03	0,03	0,1	0,0909	OK



Gambar 2. 17 Analisis Pengaruh P-Delta

2.5.4 Ketidakberaturan Horizontal

2.5.4.1 Ketidakberaturan Torsi

Ketidakberaturan torsi dibagi menjadi dua yaitu H_{a1} dan H_{b1} . Gedung mengalami ketidakberaturan H_{1a} apabila $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} < 1,2$ dan ketidakberaturan H_{1b} apabila $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} < 1,4$ (H_{1b}). Rekapitan ketidakberaturan torsi arah x dan y dapat dilihat pada tabel 2. 27 dan tabel 2.28. Adapun perhitungan syarat-syarat ketidakberaturan torsi dijabarkan sebagai berikut.

Tabel 2. 27 Ketidkaberaturan Torsi Arah X

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio
					mm	mm	
Story6	RSx	LinRespSpec	Max	X	3,114	2,609	1,193
Story5	RSx	LinRespSpec	Max	X	4,391	3,835	1,145
Story4	RSx	LinRespSpec	Max	X	5,863	5,133	1,142
Story3	RSx	LinRespSpec	Max	X	6,502	5,727	1,135
Story2	RSx	LinRespSpec	Max	X	6,306	5,535	1,139
Story1	RSx	LinRespSpec	Max	X	3,523	3,069	1,148

Tabel 2. 28 Ketidakberaturan Torsi Arah Y

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Max Drift	Avg Drift	Ratio
					mm	mm	
Story6	RSy	LinRespSpec	Max	Y	2,197	2,142	1,026
Story5	RSy	LinRespSpec	Max	Y	3,701	3,622	1,022
Story4	RSy	LinRespSpec	Max	Y	5,041	4,933	1,022
Story3	RSy	LinRespSpec	Max	Y	5,599	5,485	1,021
Story2	RSy	LinRespSpec	Max	Y	5,62	5,487	1,024
Story1	RSy	LinRespSpec	Max	Y	3,353	3,27	1,025

Syarat : $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} < 1,2$ (H_{1a}) dan $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} < 1,4$ (H_{1b}) Arah X

$$- \text{Story 6} = \frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} = \frac{8,495}{6,751} = 1,258$$

- Story 5 = $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} = \frac{12,548}{10,178} = 1,233$
- Story 4 = $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} = \frac{15,838}{12,94} = 1,224$
- Story 3 = $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} = \frac{16,682}{13,673} = 1,22$
- Story 2 = $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} = \frac{15,529}{12,932} = 1,201$
- Story 1 = $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} = \frac{8,182}{7,001} = 1,169$

Syarat : $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} < 1,2$ (H_{1a}) dan $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} < 1,4$ (H_{1b})

- Story 6 = $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} = \frac{4,643}{4,579} = 1,014$
- Story 5 = $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} = \frac{6,958}{6,896} = 1,009$
- Story 4 = $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} = \frac{8,989}{8,917} = 1,008$
- Story 3 = $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} = \frac{9,84}{9,766} = 1,008$
- Story 2 = $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} = \frac{9,415}{9,348} = 1,007$
- Story 1 = $\frac{\Delta_{max}}{\Delta_{avg}} = \frac{5,171}{5,145} = 1,005$

Tabel 2. 29 Rekapitan Hasil Ketidakberaturan Torsi Arah X dan Y

	Arah X		Arah Y	
	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek
Story6	1,258	H.1a	1,014	OK
Story5	1,233	H.1a	1,009	OK
Story4	1,224	H.1a	1,008	OK
Story3	1,22	H.1a	1,008	OK
Story2	1,201	H.1a	1,007	OK
Story1	1,169	OK	1,005	OK

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa struktur mengalami ketidak beraturan H.1a pada arah X sehingga perlu ditambahkan konsekuensi ketidak beraturan sebagai berikut:

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}} \right)^2$$

$$\text{- Story 6} = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}} \right)^2 = \frac{1,258}{1,2} = 1,099 =$$

$$\text{- Story 5} = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}} \right)^2 = \frac{1,233}{1,2} = 1,056$$

$$\text{- Story 4} = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}} \right)^2 = \frac{1,224}{8,917} = 1,040$$

$$\text{- Story 3} = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}} \right)^2 = \frac{1,220}{1,2} = 1,002$$

$$\text{- Story 2} = \left(\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}} \right)^2 = \frac{1,202}{1,2} = 0,949$$

Tabel 2.30 Menunjukkan rekapan konsekuensi ketidakberaturan torsi yang harus ditambahkan agar struktur aman.

Tabel 2. 30 Rekapan Ketidakberaturan Torsi Arah X

Arah X	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	A_x	%	Ecc. (m)
Story6	1,258	1,099	5,5%	2,198
Story5	1,233	1,056	5,3%	2,112
Story4	1,224	1,040	5,2%	2,081
Story3	1,220	1,034	5,2%	2,067
Story2	1,201	1,002	5,0%	2,003
Story1	1,169	0,949	4,7%	1,898

2.5.5 Ketidakberaturan Vertikal

2.5.5.1 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (1a) dan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan (1b)

Ketidakberaturan tingkat lunak terjadi apabila kekakuan lateral tingkat lebih rendah dari 70% kekakuan tingkat diatasnya, lebih rendah

dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Berdasarkan hasil analisis pada program Etabs tidak terjadi ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b

Ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b terjadi ketika :

Story 1 $= K_x > 0,7 K(x+1)$
 $= 351947 > 0,7 \times 176766$
 $= 351947 > 123736,4.....(\text{Tidak terjadi} = \text{OK})$
 $= K_x > 0,8 [K(X+1) + K(x+2) + K(x+3)]/3$
 $= 351947 < 0,8 \times (176766+146282+125732)/3$
 $= 351947 > 119674,67(\text{Tidak terjadi} = \text{OK})$

Story 2 $= K_x > 0,7 K(x+1)$
 $= 176766 > 0,7 \times 146262$
 $= 176766 > 102397,1 (\text{Tidak terjadi} = \text{OK})$
 $= K_x > 0,8 [K(X+1) + K(x+2) + K(x+3)]/3$
 $= 176766 > 0,8 \times (146282+125732+118323)/3$
 $= 176766 > 104089,79.....(\text{Tidak terjadi} = \text{OK})$

Story 3 $= K_x > 0,7 K(x+1)$
 $= 146282 > 0,7 \times 125732$
 $= 146282 > 88012,5.....(\text{Tidak terjadi} = \text{OK})$
 $= K_x > 0,8 [K(X+1) + K(x+2) + K(x+3)]/3$
 $= 146282 > 0,8 \times (125732+118323+78661,6)/3$
 $= 146282 > 86057,80(\text{Tidak terjadi} = \text{OK})$

Story 4 $= K_x > 0,7 K(x+1)$
 $= 125732 > 0,7 \times 118323$
 $= 325565,9 > 82826,1.....(\text{Tidak terjadi} = \text{OK})$
 $= K_x > 0,6 \times K(X+1)$
 $= 125732 > 0,6 \times 118323$
 $= 125732 > 70993,8.....(\text{Tidak terjadi} = \text{OK})$

Story 5 $= K_x > 0,7 K(x+1)$

$$\begin{aligned}
 &= 118323 > 0,7 \times 78661,6 \\
 &= 118323 > 55063,12 \dots (\text{Tidak terjadi} = \text{OK}) \\
 &= K_x > 0,6 \times [K(X+1)] \\
 &= 118323 > 0,6 \times 78661,6 \\
 &= 118323 > 47196,96 (\text{Tidak terjadi} = \text{OK})
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan dan analisis dapat disimpulkan bahwa struktur Pesantren Modern Al - Nizam tidak mengalami ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (1a dan 1b). Rekapitan hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 2.31 dibawah.

Tabel 2. 31 Ketidakberaturan Tingkat Lunak 1a dan 1b

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
	kN/m		kN/m	
6	78661,6		108669,644	
5	118323	OK	155513,201	OK
4	125732	OK	163324,943	OK
3	146282	OK	179726,303	OK
2	176766	OK	211339,877	OK
1	351947	OK	407144,604	OK

2.5.5.2 Ketidakberaturan Massa (2)

Ketidakberaturan 2 berat (massa) terjadi apabila $M_x > 1,5 M(x+1)$ atau $M_x > 1,5 M(x-1)$

$$\begin{aligned}
 \text{Story 6} &= 496446,2 > 1,5 \times 7878833,2 \\
 &= 496446,2 < 1181750 (\text{Tidak terjadi} = \text{OK}) \\
 \text{Story 5} &= 787833,2 > 1,5 \times 740023,6 \\
 &= 787833,2 < 1,5 \times 740023,6 \\
 &= 787833,2 > 1110035 (\text{Tidak OK})
 \end{aligned}$$

NB: tidak termasuk kedalam ketidakberaturan dikarenakan atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.

$$\begin{aligned}\text{Story 4} &= 740023,6 > 1,5 \times 759571,6 \\ &= 740023,6 < 1,5 \times 759571,6 \\ &= 740023,6 < 1139357 \text{ (Tidak terjadi = OK)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Story 3} &= 759571,6 > 1,5 \times 788994,5 \\ &= 759571,6 < 1,5 \times 788994,5 \\ &= 759571,6 < 1183492 \text{ (Tidak terjadi = OK)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Story 2} &= 788994,5 > 1,5 \times 795310,1 \\ &= 788994,5 > 1,5 \times 795310,1 \\ &= 788994,5 < 1192965 \text{ (Tidak terjadi = OK)}\end{aligned}$$

Rekapan ketidakberaturan massa dapat dilihat pada tabel 2.32 dibawah.

Tabel 2. 32 Rekapan Ketidakberaturan Massa

Lantai	Massa	Cek
	kg	
6	496446,2	OK
5	787833,2	V.2 → OK
4	740023,6	OK
3	759571,6	OK
2	788994,5	OK
1	795310,1	OK

Dari analisis tersebut, untuk bangunan lantai 5 ke lantai 6 tidak termasuk kedalam ketidakberaturan (2) Massa/berat dikarenakan atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.

2.5.5.3 Ketidakberaturan diskontinuitas Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat (5a) dan Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat (5b)

Ketidakberaturan 5a terjadi apabila $V_x < 0,8 V_{(x+1)}$ dan tidak terjadi apabila $V_x > 0,8 V_{(x+1)}$

$$\begin{aligned}
 \text{Story 1} &= 2029,9 > 0,8 \times 1965,41 \\
 &= 2029,9 > 1572,33 \dots (\text{tidak terjadi} = \text{OK}) \\
 \text{Story 2} &= 1965,41 > 0,8 \times 1797,01 \\
 &= 1965,41 > 1437,61 \dots (\text{tidak terjadi} = \text{OK}) \\
 \text{Story 3} &= 1797,01 > 0,8 \times 1511,45 \\
 &= 1797,01 > 982,44 \dots (\text{tidak terjadi} = \text{OK}) \\
 \text{Story 4} &= 1511,45 > 0,8 \times 1095,7 \\
 &= 1511,45 > 712,20 \dots (\text{tidak terjadi} = \text{OK}) \\
 \text{Story 5} &= 1095,7 > 0,8 \times 491,28 \\
 &= 1095,7 > 393,03 \dots (\text{tidak terjadi} = \text{OK})
 \end{aligned}$$

Ketidakberaturan 5b terjadi apabila $V_x < 0,65 V_{(x+1)}$ dan tidak terjadi apabila $V_x > 0,65 V_{(x+1)}$

$$\begin{aligned}
 \text{Story 1} &= 2029,9 > 0,65 \times 1965,41 \\
 &= 2029,9 > 1277,52 \dots (\text{tidak terjadi} = \text{OK}) \\
 \text{Story 2} &= 1965,41 > 0,65 \times 1797,01 \\
 &= 1965,41 > 1168,06 \dots (\text{tidak terjadi} = \text{OK})
 \end{aligned}$$

Story 3 $= 1797,01 > 0,65 \times 1511,45$
 $= 1797,01 > 982,44.....(\text{tidak terjadi} = \text{OK})$

Story 4 $= 1511,45 > 0,65 \times 1095,7$
 $= 1511,45 > 712,20.....(\text{tidak terjadi} = \text{OK})$

Story 5 $= 1095,7 > 0,65 \times 491,28$
 $= 1095,7 > 319,33.....(\text{tidak terjadi} = \text{OK})$

Berdasarkan dari syarat dan hasil perhitungan, ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b tidak terjadi pada struktur. Rekapitan perhitungan ketidakberaturan vertikal 5a dan 5b dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. 33 Rekapitan ketidakberaturan 5a dan 5b

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan	Cek	Kekuatan	Cek
	kN		kN	
6	491,284		491,2835	
5	1095,7	OK	1095,6979	OK
4	1511,45	OK	1511,448	OK
3	1797,01	OK	1797,0134	OK
2	1965,41	OK	1965,4116	OK
1	2029,9	OK	2029,8994	OK

2.6 Perancangan Balok

Pada Perencanaan gedung Pesantren Modren Al – Nizam memperhitungkan balok dengan momen terbesar. Dimana balok merupakan bagian struktur gedung yang terdiri atas dua jenis yaitu balok anak dan balok induk. Fungsinya untuk menyalurkan beban dan momen yang terjadi ke kolom. Perancangan

balok anak dan balok induk ini mengacu pada SNI 2847:2019. Berikut adalah dimensi balok induk dan balok anak :

$$\text{Dimensi B1} = (450 \times 600) \text{ mm}$$

$$\text{Dimensi B2} = (350 \times 550) \text{ mm}$$

$$\text{Dimensi B3} = (300 \times 500) \text{ mm}$$

2.6.1 Pemeriksaan Ketentuan Balok

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

- a. Gaya aksial terfaktor (P_u) tidak lebih dari $A_g \times f_c' / 10$

$$A_g = 450 \times 600 \text{ mm}$$

$$= 270000 \text{ mm}$$

$$A_g \times F_c' / 10 = 270000 \times 25 / 10$$

$$= 675000 \text{ N}$$

$$= 675 \text{ kN}$$

$$P_u (ETABS) = 0 < 675 \text{ kN (memenuhi syarat)}$$

- b. Bentang bersih (L_n) tidak kurang dari empat kali tinggi efektif

$$= L_n \geq 4d$$

$$= 7400 \geq 4 \times 537,5$$

$$= 7400 \geq 2150 \dots (\text{OK})$$

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

$$450 > 0,3 \times 600$$

$$450 > 180 \text{ mm dan } 250 \text{ mm}$$

2.6.2 Perancangan Balok Induk

Data perencanaan Balok Induk B1 (600×400) pada bentang 8 meter

$$\text{Lebar balok}(b) = 450 \text{ mm}$$

Tinggi balok (h)	= 600 mm
Bentang balok (L)	= 8000 mm
Bentang bersih (Ln)	= 7400 mm
Selimut beton	= 40 mm
Ø tulangan utama	= 19 mm
Ø tulangan sengkang	= 13 mm
Ø tulangan torsi	= 10 mm
Mutu beton (Fc')	= 25 MPa
Fy tulangan	= 420 MPa
Tinggi efektif (d)	= $600 - 40 - 13 - (1/2 \times 19) = 537,5$ mm

Berdasarkan analisis dari aplikasi ETABS, diperoleh gaya dalam pada balok B1 lantai 1 – 3 pada tabel 2. berikut

Tabel 2. 34 Gaya Dalam B1 Lantai 1-3

keterangan	Tumpuan	Lapangan
Mu+	7,1621	181,0684
Mu-	-390,4785	-177,6479
Vu	-254,4532	-215,5342
Torsi	-37,1439	
Pu	0	

Berikut perhitungan tulangan pada balok B1 sebagai berikut:

1. Tulangan Longitudinal

a. Perhitungan Tulangan Tumpuan Negatif

$$\begin{aligned}
 \text{Mu (-)} &= |-390,4785| \times 10^6 \\
 &= 390478500
 \end{aligned}$$

$$\Phi = 0,9 \text{ (Terkendali Tarik, SNI 2847 : 2019 Tabel 21.2.2)}$$

$$\begin{aligned} a &= d - \sqrt{d^2 - \frac{2 |Mu|}{0,85 f_c \phi b}} \\ &= 537,5 - \sqrt{537,5^2 - \frac{2 |390478500|}{0,85 \times 25 \times 0,9 \times 450}} \\ &= 92,3446 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= 0,85 - 0,05 \times (f_c - 28)/7 \\ &= 0,85 - 0,05 \times (25 - 28)/7 = 0,8714 \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{92,3446}{0,8714} = 105,9693 \text{ mm}$$

$$C_{\max} = 0,375d = 0,375 \times 537,5 = 201,5625 \text{ mm}$$

Cek regangan tulangan

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{537,5 - 105,9693}{105,9693} \times 0,003 \\ &= 0,122 \geq 0,005 \text{ (direncanakan terkendali Tarik)} \end{aligned}$$

$$\text{Diperoleh } c \leq C_{\max} \rightarrow \text{Aman, sehingga } A_s = \frac{|Mu|}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{sperlu}} &= \frac{390478500}{0,9 \times 420 \times \left(537,5 - \frac{92,3446}{2}\right)} \\ &= 2102,49 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{\text{Luas Penampang}} \\ &= \frac{2102,49 \text{ mm}^2}{\frac{19^2 \pi}{4}} \\ &= 7,4154419 \approx 8 \text{ buah} \end{aligned}$$

Diperoleh **8 D19**

$$\begin{aligned} A_{\text{s tulangan}} &= n \times \frac{d^2 \pi}{4} \\ &= 8 \times \frac{19^2 \pi}{4} \\ &= 2268,2298 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,min1} &= \frac{\sqrt{f_c'} \times b \times d}{4 \times f_y} \\
 &= \frac{\sqrt{25} \times 450 \times 537,5}{4 \times 420} = 719,866 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,min2} &= \frac{1,4 \times b \times d}{420} \\
 &= \frac{1,4 \times 450 \times 537,5}{420} = 806,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s,min} = A_{s,min} \text{ diambil yang terbesar } 806,25 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ tulangan}} \geq A_{s,min} = 2102,49 \text{ mm}^2 \geq 806,25 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,max3} &= 0,025 \times b \times d \\
 &= 0,025 \times 450 \times 537,5 = 6046,875 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ tulangan}} < A_{s,max} = 806,25 \text{ mm}^2 < 6046,875 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Cek jarak antar tulangan

Sesuai SNI 2847:2019 pasal 25:2, jarak bersih antar tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \frac{b - (2 \times C_c) - (2 \times \emptyset \text{sengkang}) - (n \times \emptyset \text{tul.utama})}{n - 1} \\
 &= \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (8 \times 19)}{8 - 1} = 27,4285 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{1min} = 25 \text{ mm}$$

$$S > S_{min} = 27,4285 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

b. Perhitungan Tulangan Tumpuan Positif

$$= Mu^+ > 0,5 Mu^-$$

$$= 7162100 < 0,5 \times (390478500)$$

$$= 7162100 < 195239250$$

→ Maka, digunakan $0,5 \times Mu(-) = 195239250$

$$\Phi = 0,9 \text{ (Terkendali Tarik, SNI 2847 : 2019 Tabel 21.2.2)}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 |Mu|}{0,85 f'c \phi b}}$$

$$= 537,5 - \sqrt{537,5^2 - \frac{2 |195239250|}{0,85 \times 25 \times 0,9 \times 450}} = 44,007 \text{ mm}$$

$$\beta = 0,85 - 0,05 \times (f'c - 28)/7$$

$$= 0,85 - 0,05 \times (25 - 28)/7 = 0,8714$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{44,007}{0,8714} = 50,50 \text{ mm}$$

$$C_{\max} = 0,375d = 0,375 \times 537,5 = 201,5625$$

Cek regangan tulangan

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

$$= \frac{537,5 - 50,50}{50,50} \times 0,003$$

$$= 0,02 \geq 0,005 \text{ (direncanakan terkendali Tarik)}$$

Diperoleh $c \leq C_{\max} \rightarrow$ Aman, sehingga $A_s = \frac{|Mu|}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$

$$A_{\text{perlu}} = \frac{195239250}{0,9 \times 420 \times \left(537,5 - \frac{44,007}{2}\right)}$$

$$= 1001,958 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{\text{Luas Penampang}}$$

$$= \frac{1001,958 \text{ mm}^2}{\frac{19^2 \pi}{4}}$$

$$= 3,5338 \approx 5 \text{ buah}$$

Diperoleh **5 D19**

$$A_s \text{ tulangan} = n \times \frac{d^2 \pi}{4}$$

$$= 5 \times \frac{19^2 \pi}{4}$$

$$= 1417,643 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,min1} &= \frac{\sqrt{f_c'} \times b \times d}{4 \times f_y} \\
 &= \frac{\sqrt{25} \times 450 \times 537,5}{4 \times 420} = 719,866 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,min2} &= \frac{1,4 \times b \times d}{420} \\
 &= \frac{1,4 \times 450 \times 537,5}{420} = 806,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s,min} = A_{s,min} \text{ diambil yang terbesar } 806,25 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ tulangan}} \geq A_{s,min} = 1417,643 \text{ mm}^2 \geq 806,25 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,max3} &= 0,025 \times b \times d \\
 &= 0,025 \times 450 \times 537,5 = 6046,875 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ tulangan}} < A_{s,max} = 1417,643 \text{ mm}^2 < 6046,875 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Cek jarak antar tulangan

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

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \frac{b - (2 \times C_c) - (2 \times \emptyset \text{sengkang}) - (n \times \emptyset \text{tul.utama})}{n-1} \\
 &= \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (5 \times 19)}{5-1} = 62,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{lmin} = 25 \text{ mm}$$

$$S > S_{min} = 89,333 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

c. Perencanaan Tulangan Lapangan Negatif

$$\begin{aligned}
 M_u (-) &= |-177,6479| \times 10^6 \\
 &= 177647900
 \end{aligned}$$

$$\Phi = 0,9 \text{ (Terkendali Tarik, SNI 2847 : 2019 Tabel 21.2.2)}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 |M_u|}{0,85 f_c' \phi b}}$$

$$= 537,5 - \sqrt{537,5^2 - \frac{2 | 177647900 |}{0,85 \times 25 \times 0,9 \times 450}}$$

$$= 39,8828 \text{ mm}$$

$$\beta = 0,85 - 0,05 \times (f_c - 28)/7$$

$$= 0,85 - 0,05 \times (25 - 28)/7 = 0,8714$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{39,8828}{0,8714} = 45,767 \text{ mm}$$

$$C_{\max} = 0,375d = 0,375 \times 537,5 = 201,5625$$

Cek regangan tulangan

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

$$= \frac{537,5 - 105,9693}{105,9693} \times 0,003$$

$$= 1,847 \geq 0,005 \text{ (direncanakan terkendali Tarik)}$$

$$\text{Diperoleh } c \leq C_{\max} \rightarrow \text{Aman, sehingga } A_s = \frac{|Mu|}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_{\text{sperlu}} = \frac{177647900}{0,9 \times 420 \times \left(537,5 - \frac{39,882}{2}\right)}$$

$$= 908,047 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{\text{Luas Penampang}}$$

$$= \frac{908,047 \text{ mm}^2}{\frac{19^2 \pi}{4}}$$

$$= 3,220266 \approx 5 \text{ buah}$$

Diperoleh **5 D19**

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ tulangan} &= n \times \frac{d^2 \pi}{4} \\
 &= 4 \times \frac{19^2 \pi}{4} \\
 &= 1417,643 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,\min 1} &= \frac{\sqrt{f_c'} \times b \times d}{4 \times f_y} \\
 &= \frac{\sqrt{25} \times 450 \times 537,5}{4 \times 420} = 719,866 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,\min 2} &= \frac{1,4 \times b \times d}{420} \\
 &= \frac{1,4 \times 450 \times 537,5}{420} = 806,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s,\min} = A_{s,\min} \text{ diambil yang terbesar } 806,25 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ tulangan} \geq A_{s,\min} = 1417,643 \text{ mm}^2 \geq 806,25 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s,\max 3} &= 0,025 \times b \times d \\
 &= 0,025 \times 450 \times 537,5 = 6046,875 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ tulangan} < A_{s,\max} = 1417,643 \text{ mm}^2 < 6046,875 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Cek jarak antar tulangan

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

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \frac{b - (2 \times C_c) - (2 \times \emptyset \text{sengkang}) - (n \times \emptyset \text{tul.utama})}{n-1} \\
 &= \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (5 \times 19)}{5-1} = 62,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{1\min} = 25 \text{ mm}$$

$$S > S_{\min} = 89,333 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

d. Perencanaan Tulangan Lapangan Positif

$$= Mu^+ > 0,5 Mu^-$$

$$= 181068400 > 0,5 \times (|-177,6479|)$$

$$= 181068400 > 88823950$$

$$\rightarrow \text{Maka, digunakan } 0,5 \times Mu^+ = 181068400$$

$$\Phi = 0,9 \text{ (Terkendali Tarik, SNI 2847 : 2019 Tabel 21.2.2)}$$

$$\begin{aligned} a &= d - \sqrt{d^2 - \frac{2 |Mu|}{0,85 f_c \phi b}} \\ &= 537,5 - \sqrt{537,5^2 - \frac{2 |181068400|}{0,85 \times 25 \times 0,9 \times 450}} \\ &= 40,6822 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= 0,85 - 0,05 \times (f_c - 28)/7 \\ &= 0,85 - 0,05 \times (25 - 28)/7 = 0,8714 \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{40,6822}{0,8714} = 46,684 \text{ mm}$$

$$C_{\max} = 0,375d = 0,375 \times 537,5 = 201,5625 \text{ mm}$$

Cek regangan tulangan

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{537,5 - 46,684}{46,684} \times 0,003 \\ &= 0,0315 \geq 0,005 \text{ (direncanakan terkendali Tarik)} \end{aligned}$$

$$\text{Diperoleh } c \leq C_{\max} \rightarrow \text{Aman, sehingga } A_s = \frac{|Mu|}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$A_{\text{sperlu}} = \frac{181068400}{0,9 \times 420 \times (537,5 - \frac{40,682}{2})}$$

$$= 926,2471 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{\text{Luas Penampang}} = \frac{926,2471 \text{ mm}^2}{\frac{19^2 \pi}{4}}$$

$$= 3,2668 \approx 5 \text{ buah}$$

Diperoleh **5 D19**

$$A_{\text{s tulangan}} = n \times \frac{d^2 \pi}{4} = 4 \times \frac{19^2 \pi}{4}$$

$$= 1417,643 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{s,min1}} = \frac{\sqrt{f'c} \times b \times d}{4 \times f_y} = \frac{\sqrt{25} \times 450 \times 537,5}{4 \times 420}$$

$$= 719,866 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{s,min2}} = \frac{1,4 \times b \times d}{420} = \frac{1,4 \times 450 \times 537,5}{420} = 806,25 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{s,min}} = A_{\text{s,min}} \text{ diambil yang terbesar } 806,25 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{s tulangan}} \geq A_{\text{s,min}} = 1417,643 \text{ mm}^2 \geq 806,25 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

$$A_{\text{s,max3}} = 0,025 \times b \times d$$

$$= 0,025 \times 450 \times 537,5 = 6046,875 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{s tulangan}} < A_{\text{s,max}} = 1417,643 \text{ mm}^2 < 6046,875 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Cek jarak antar tulangan

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

$$S_1 = \frac{b - (2 \times Cc) - (2 \times \emptyset \text{sengkang}) - (n \times \emptyset \text{tul.utama})}{n-1}$$

$$= \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 13) - (5 \times 19)}{5-1} = 62,25 \text{ mm}$$

$$S_{1\min} = 25 \text{ mm}$$

$$S > S_{\min} = 89,333 \text{ mm} > 25 \text{ mm (OK)}$$

2. Tulangan Transversal

Perancangan tulangan transversal tumpuan dihitung sebagai berikut:

Perhitungan Momen Probabilitas (Mpr)

$$Mu^{(-)} \text{ tumpuan} = -390,4785 \text{ kNm}$$

$$As^{(-)} \text{ tumpuan} = 2268,2298 \text{ mm}^2$$

$$Apr^{(-)} = 1,25 a \text{ (tumpuan negatif)}$$

$$= 1,25 \times 92,344$$

$$= 115,43 \text{ mm}$$

$$Mpr^{(-)} = As^{(-)} \times (1,25 f_y) \times \frac{d - apr^{(-)}}{2}$$

$$= 2268,2298 \times (1,25 \times 420) \times \frac{537,5 - 115,45}{2}$$

$$= 251304326,4 \text{ Nmm}$$

$$Mu (+) \text{ tumpuan} = -7,1621 \text{ kNm}$$

$$As (+) \text{ tumpuan} = 2268,2298 \text{ mm}^2$$

$$Apr^{+} = 1,25 a \text{ (tumpuan positif)}$$

$$= 1,25 \times 44,00$$

$$= 55,00 \text{ mm}$$

$$Mpr^{+} = As^{+} \times (1,25 f_y) \times \frac{d - apr^{+}}{2}$$

$$= 1134,1149 \times (1,25 \times 420) \times \frac{537,5 - 55}{2}$$

$$= 143639917,4 \text{ Nmm}$$

Gaya Geser Gempa akibat Sendi Plastis

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sway}} \text{ atau } V_{\text{pr}} &= \frac{M_{\text{pr}+} + M_{\text{pr}-}}{L_n} \\
 &= \frac{143639917,4 + 251304326,4}{7250} \\
 &= 54475,06811 \text{ N} \\
 V_e &= V_g + V_{\text{pr}} \\
 &= (|-201,7781| \times 1000) + 54475,06811 \\
 &= 256253,1681 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Gaya Geser akibat Beban Gravitasi

$$V_g = -201,7781 \text{ kN}$$

Cek Tahanan Geser Beton

Nilai V_c diperhitungkan apabila:

$$V_{\text{pr}} \leq 0,5 V_e$$

$$54475,06811 \text{ N} \leq 128126,5841 \text{ N} \dots\dots (\text{YA})$$

$$P_u < A_g \times F_c' / 20$$

$$0 < (450 \times 600) \times 25 / 20$$

$$0 < 337500 \dots\dots (\text{YA})$$

Cek Kapasitas:

Jumlah kaki (n) rencana = 2

$$\begin{aligned}
 A_v &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\
 &= 265,4645792 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Spasi} &= (\pi \times A_v \times f_{yt} \times d) / V_e \\
 &= \frac{\pi \times 265,464579 \times 420 \times 537,5}{254453,2}
 \end{aligned}$$

$$= 175,398 \approx 100 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Max1} = \frac{d}{4} = \frac{537,5}{4} = 134,375 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Max2} = 150 \text{ mm}$$

Digunakan nilai terkecil Spasi Max = 134,375 mm

Spasi < Spasi Max

$$100 \text{ mm} < 134,375 \text{ mm (OK)}$$

$$\begin{aligned} V_s &= A_v \times f_{yv} \times \frac{d}{s} \\ &= 265,464 \times 420 \times \frac{537,5}{100} \\ &= 599286,2876 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times F_c^{0,5} \times b \times d \\ &= 0,66 \times 25^{0,5} \times 450 \times 537,5 \\ &= 798187,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 205593,75 + 599286,2876 \\ &= 804880,0376 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_u = V_e = 256253,1681 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n / V_u &= (0,75 \times 804880,0376) / 256253,1681 \\ &= 2,355 > 1 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

Maka, kebutuhan tulangan geser tumpuan adalah **2D13 – 100**

Perancangan tulangan transversal lapangan:

Jumlah kaki (n) rencana = 2

$$\begin{aligned} A_v &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d_s^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \\ &= 265,4645792 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Spasi} &= (\pi \times A_v \times f_{yt} \times d) / V_e \\ &= \frac{\pi \times 265,464579 \times 420 \times 537,5}{215534200} \\ &= 208,5352 \approx 100 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Spasi Max1} = \frac{d}{2} = \frac{537,5}{2} = 268,75 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Max2} = 150 \text{ mm}$$

Diambil nilai terkecil Spasi Max = 134,375 mm

Spasi < Spasi Max

$$100 \text{ mm} < 134,375 \text{ mm (OK)}$$

$$\begin{aligned}V_s &= A_v \times f_{yv} \times \frac{d}{s} \\ &= 265,464 \times 420 \times \frac{537,5}{100} \\ &= 599286,2876 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Batas } V_s &= 0,66 \times F_c^{0,5} \times b \times d \\ &= 0,66 \times 25^{0,5} \times 450 \times 537,5 \\ &= 798187,5 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned}V_n &= V_c + V_s \\ &= 205593,75 + 599286,2876 \\ &= 804880,0376 \text{ N}\end{aligned}$$

$$V_u = 215534,2 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\phi V_n / V_u &= (0,75 \times 804880,0376) / 215534,2 \\ &= 2,8 > 1 \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Maka, kebutuhan tulangan geser lapangan adalah **2D13 – 100**

3. Tulangan Torsi

Diketahui:

$$T_u = - 37,1439 \text{ kN} = |- 37143900| \text{ kN}$$

Perhitungan parameter geometri penampang untuk perhitungan torsi:

$$A_{cp} = b \times h = 270000 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b + h) \\ &= 2 \times (450 + 600) = 2100 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_o &= b - 2c_c - d_s \\ &= 450 - (2 \times 40) - 13 \\ &= 357 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_o &= h - 2c_c - d_s \\ &= 600 - (2 \times 40) - 13 \\ &= 507 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= X_o \times Y_o \\ &= 357 \times 507 = 180999 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 180999 \text{ mm}^2 = 153849 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times (X_o + Y_o) \\ &= 2 \times (357 + 507) = 1728 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cek kebutuhan tulangan torsi:

$$\begin{aligned} T_{cr} &= 0.33 \times (f_c')^{0.5} \times A_{cp}^2 / P_{cp} \\ &= 0.33 \times (25)^{0.5} \times 270000^2 / 2100 \\ &= 57278571 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi T_{cr} / 4 &= 0,75 \times \frac{57278571}{4} \\ &= 10739732 \text{ Nmm} > T_u = 37143900 \dots (\text{perlu tulangan torsi}) \end{aligned}$$

Pemeriksaan Kecukupan Dimensi Penampang

Jenis Torsi = Kesetimbangan

$$\begin{aligned} V_c &= 0.17 \times (f_c')^{0.5} \times b \times d \\ &= 0,17 \times (25)^{0.5} \times 450 \times 537,5 \\ &= 205594 \text{ N} \end{aligned}$$

$$T_u = 37143900 \text{ kN}$$

$$V_u = 215534,2 \text{ N}$$

Tegangan Ultimate Geser + Torsi

$$= \left\{ \left[\frac{V_u}{b \times d} \right]^2 + \frac{T_u \times Ph}{(1,7 A_o h^2)^2} \right\}^{0,5}$$

$$= \left\{ \left[\frac{215534,2}{450 \times 537,5} \right]^2 + \left[\frac{37143900 \times 1728}{(1,7 \times 180999^2)} \right]^2 \right\}^{0,5}$$

$$= 1,457 \text{ MPa}$$

Kapasitas Tegangan Beton

$$= \phi \times \left\{ \left[\frac{V_c}{b \times d} \right] + 0,66 \times (f_c')^{0,5} \right\}$$

$$= \phi \times \left\{ \left[\frac{205594}{(450 \times 537,5)} \right] + 0,66 \times (25)^{0,5} \right\}$$

$$= 3,113 \text{ MPa}$$

Cek dimensi penampang

Kapasitas tegangan beton $\leq$ Kapasitas Tegangan Beton

$$1,457 \text{ MPa} \leq 3,113 \text{ MPa} \dots \dots \dots (\text{OK})$$

Kuat Leleh Baja Tulangan Torsi = Kuat Leleh Baja Tulangan Lentur dan

$$\text{Geser} = f_y / f_{yt} = 1$$

$$\theta = 45^\circ$$

Penulangan Transversal Torsi

Cek spasi tumpuan dan lapangan terhadap spasi maksimum:

$$S_{\max 1} = \frac{ph}{8} = \frac{1728}{8} = 216 \text{ mm}$$

$$S_{\max 2} = \frac{d}{2} = \frac{527,5}{2} = 263,75 \text{ mm}$$

Diambil nilai minimum $S_{max} = 216 \text{ mm}$

Tumpuan:

n tumpuan = 4 buah

s tumpuan = $100 \text{ mm} \leq S_{max} = 216 \text{ mm}$ (OK)

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{2 \times \phi \times A_o \times f_{yv}} = \frac{37143900}{2 \times 0,75 \times 153849 \times 420} = 0,3257 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{v+t}}{s \text{ Tumpuan Pasang}} = \frac{n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2}{s \text{ Tumpuan Pasang}} = \frac{4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2}{100} = 5,309 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_v}{s \text{ Tumpuan Perlu}} = \frac{(V_u \text{ Tumpuan} / \phi - V_c)}{(f_{yv} \times d)} = \frac{\left(\frac{256253,168}{0,75 - 201768,75}\right)}{(420 \times 527,3)} = 0,6314 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{v+t}}{s \text{ Tumpuan Perlu}} = 2 \times \frac{A_t}{s} + \frac{A_v}{s} = 2 \times 0,3257 + 0,6314 = 1,282$$

Cek Geser + Torsi Tumpuan

$A_{v+t} / s \text{ Pasang} \geq A_{v+t} / s \text{ Perlu}$

$5,309 \geq 1,282 \dots(\text{OK})$

Lapangan:

n lapangan = 4 buah

s lapangan = $100 \text{ mm} \leq S_{max} = 216 \text{ mm}$ (OK)

$$\frac{A_{v+t}}{s \text{ Lapangan Pasang}} = \frac{n \times \frac{\pi}{4} \times d_s^2}{s \text{ Lapangan Pasang}} = \frac{4 \times \frac{\pi}{4} \times 13^2}{100} = 5,309 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_v}{s \text{ Lapangan Perlu}} = \frac{(V_u \text{ Lapangan} / \phi - V_c)}{(f_{yv} \times d)} = \frac{\left(\frac{215534,2}{0,75 - 201768,75}\right)}{(420 \times 527,3)} = 0,3864 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_{v+t}}{s \text{ Lapangan Perlu}} = 2 \times \frac{A_t}{s} + \frac{A_v}{s} = 2 \times 0,3257 + 0,3864 = 1,0378$$

Cek Geser + Torsi Lapangan

$$A_{v+t} / s \text{ Pasang} \geq A_{v+t} / s \text{ Perlu}$$

$$5,309 \geq 1,0378 \dots (\text{OK})$$

Penulangan Longitudinal Torsi

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

$$d_{b, \min} = 0,042 \times s = 0,042 \times 100 = 4,2 \text{ mm}$$

$$d_b > d_{b, \min} \dots (\text{OK})$$

$$A_l = \frac{A_t}{s} \times Ph = 0,3257 \times 1728 = 562,878 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{l \min} &= 0,42 \times (f_c')^{0.5} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - \left(\frac{A_t}{s}\right) \times Ph \\ &= 0,42 \times (25)^{0.5} \times \frac{388750}{420} - 0,3257 \times 1728 \\ &= 63,107 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_s + A_l$ Perlu Tumpuan, diambil nilai maksimum

$$= 2268,229896 + 562,8783111$$

$$= 3965,223155 \text{ mm}^2$$

$$n \text{ tumpuan atas} = 8 \text{ buah}$$

$$n \text{ tumpuan tengah} = \mathbf{8 \text{ buah}} \text{ (Input kelipatan dua untuk tul. Torsi)}$$

$$n \text{ tumpuan bawah} = 4 \text{ buah}$$

$$n \text{ tumpuan vertikal} = 2 + \frac{n \text{ tengah}}{2} = 2 + \frac{8}{2} = 6$$

Spasi horizontal Tumpuan

$$= \frac{(b - 2c_c - 2d_s - d_b)}{[\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1]} = \frac{(450 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 19)}{[4 - 1]} = 108,333$$

Spasi Vertikal Tumpuan

$$= \frac{(h - 2cc - 2ds - db)}{(n \text{ Vertikal} - 1)} = \frac{(600 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 19)}{(6 - 1)} = 95$$

Cek spasi ≤ 300 mm(OK)

As + Al Perlu Lapangan, diambil nilai maksimum

$$= 1134,114948 + 562,8783111$$

$$= 2831,108207 \text{ mm}^2$$

n lapangan atas = 4 buah

n lapangan tengah = **8 buah** (Input kelipatan dua untuk tul. Torsi)

n lapangan bawah = 4 buah

$$n \text{ lapangan vertikal} = 2 + \frac{n \text{ tengah}}{2} = 2 + \frac{8}{2} = 6$$

Spasi horizontal Lapangan

$$= \frac{(b - 2cc - 2ds - db)}{[\min(n \text{ atas}, n \text{ bawah}) - 1]} = \frac{(450 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 19)}{[4 - 1]} = 108,333$$

Spasi Vertikal Lapangan

$$= \frac{(h - 2cc - 2ds - db)}{(n \text{ Vertikal} - 1)} = \frac{(600 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 19)}{(6 - 1)} = 95$$

Cek spasi ≤ 300 mm(OK)

Rekapan Tulangan pada Balok Induk B1 bentang 8 meter Lt. 1 – 3 dapat dilihat pada tabel 2.35 sampai tabel 2.42 berikut :

Tabel 2. 35 Rekapitan Tulangan Balok Induk B1 bentang 8 m lantai 1-3

BALOK B1a	Tumpuan	Lapangan
Ukuran Balok	450 x 600 mm	
Tulangan Atas	8 D19	5 D19
Tulangan Bawah	5 D19	5 D19
Tulangan Samping	8 D10	8 D10
Sengkang	2D13 – 100	2D13 – 150

Dengan perhitungan yang sama, tulangan B1, B2 dan BA pada lantai 1 – 3 didapat hasilnya sebagai berikut:

Tabel 2. 36 rekapitan penulangan B1b lantai 1-3

BALOK B1b	Tumpuan	Lapangan
Ukuran Balok	450 x 600 mm	
Tulangan Atas	5 D19	5 D19
Tulangan Bawah	5 D19	5 D19
Tulangan Samping	-	-
Sengkang	2 D13 – 100	2 D13 – 100

Tabel 2. 37 Rekapitan Penulangan B2a Lantai 1-3

BALOK B2a	Tumpuan	Lapangan
Ukuran Balok	350 x 550 mm	
Tulangan Atas	6 D19	5 D19
Tulangan Bawah	2 D19	5 D19
Tulangan Samping	8 D10	8 D10
Sengkang	2 D13 – 100	2 D13 – 150

Tabel 2. 38 Rekapan Tulangan B2b Lantai 1-3

BALOK B2b	Tumpuan	Lapangan
Ukuran Balok	350 x 550 mm	
Tulangan Atas	5 D19	4 D19
Tulangan Bawah	4 D19	4 D19
Tulangan Samping	-	-
Sengkang	2 D13 – 100	2 D13 – 100

Tabel 2. 39 Rekapan Tulangan BA1 Lantai 1-3

BALOK BA1	Tumpuan	Lapangan
Ukuran Balok	300 x 500 mm	
Tulangan Atas	3 D16	3 D16
Tulangan Bawah	3 D16	3 D16
Tulangan Samping	8 D10	8 D10
Sengkang	2 D8 – 100	2 D8 – 150

Tabel 2. 40 Rekapan Tulangan BA2 Lantai 1-3

BALOK BA2	Tumpuan	Lapangan
Ukuran Balok	300 x 500 mm	
Tulangan Atas	3 D16	3 D16
Tulangan Bawah	3 D16	3 D16
Tulangan Samping	4 D10	4 D10
Sengkang	2 D8 – 100	2 D8 – 100

Tabel 2. 41 Rekapan Tulangan BA 3 Lantai 1-3

BALOK BA3	Tumpuan	Lapangan
Ukuran Balok	300 x 500 mm	
Tulangan Atas	3 D16	3 D16
Tulangan Bawah	3 D16	3 D16
Tulangan Samping	4 D10	4 D10
Sengkang	2 D8 – 100	2 D8 – 100

Tabel 2. 42 Rekapan Tulangan BA4 Lantai 1-3

BALOK BA4	Tumpuan	Lapangan
Ukuran Balok	300 x 500 mm	
Tulangan Atas	5 D16	4 D16
Tulangan Bawah	4 D16	5 D16
Tulangan Samping	8 D10	8 D10
Sengkang	4 D8 – 100	4 D8 – 150

Rekapan tulangan untuk balok B1, B2 dan BA pada Lantai 4 – 6 didapat hasilnya seperti pada tabel 2.43 sampai tabel 2.50 berikut

Tabel 2. 43 Rekapan Tulangan B1a Lantai 4-6

BALOK B1a	Tumpuan	Lapangan
Ukuran Balok	450 x 600 mm	
Tulangan Atas	8 D19	5 D19
Tulangan Bawah	4 D19	5 D19
Tulangan Samping	8 D10	6 D19
Sengkang	4 D13 - 100	4 D13 - 150

Tabel 2. 44 Rekapan Penulangan B1b Lantai 4-6

BALOK B1b	Tumpuan	Lapangan
Ukuran Balok	450 x 600 mm	
Tulangan Atas	5 D19	5 D19
Tulangan Bawah	4 D19	4 D19
Tulangan Samping	4 D10	4 D19
Sengkang	4 D13 - 100	4 D13 - 150

Tabel 2. 45 Rekapan Penulangan B2a Lantai 4-6

BALOK B2a	Tumpuan	Lapangan
Ukuran Balok	350 x 550 mm	
Tulangan Atas	6 D19	5 D19
Tulangan Bawah	3 D19	5 D19
Tulangan Samping	4 D10	2 D10
Sengkang	3 D13 – 50	2D13 – 100

Tabel 2. 46 Rekapan Penulangan B2b Lantai 4-6

BALOK B2b	Tumpuan	Lapangan
Ukuran Balok	350 x 550 mm	
Tulangan Atas	4 D19	4 D19
Tulangan Bawah	4 D19	4 D19
Tulangan Samping	2 D10	2 D10
Sengkang	3D13 – 100	2D13 – 150

Tabel 2. 47 Rekapitan Penulangan Balok Lantai 4-6

BALOK BA1	Tumpuan	Lapangan
Ukuran Balok	300 x 500 mm	
Tulangan Atas	5 D16	3 D16
Tulangan Bawah	4 D16	3 D16
Tulangan Samping	2 D10	2 D10
Sengkang	3 D8 – 100	3 D8 – 150

Tabel 2. 48 Rekapitan Penulangan Balok Lantai 4-6

BALOK BA2	Tumpuan	Lapangan
Ukuran Balok	300 x 500 mm	
Tulangan Atas	3 D16	3 D16
Tulangan Bawah	3 D16	3 D16
Tulangan Samping	2 D10	2 D10
Sengkang	3D8 – 100	2D8 – 150

Tabel 2. 49 Rekapitan Penulangan Balok Lantai 4-6

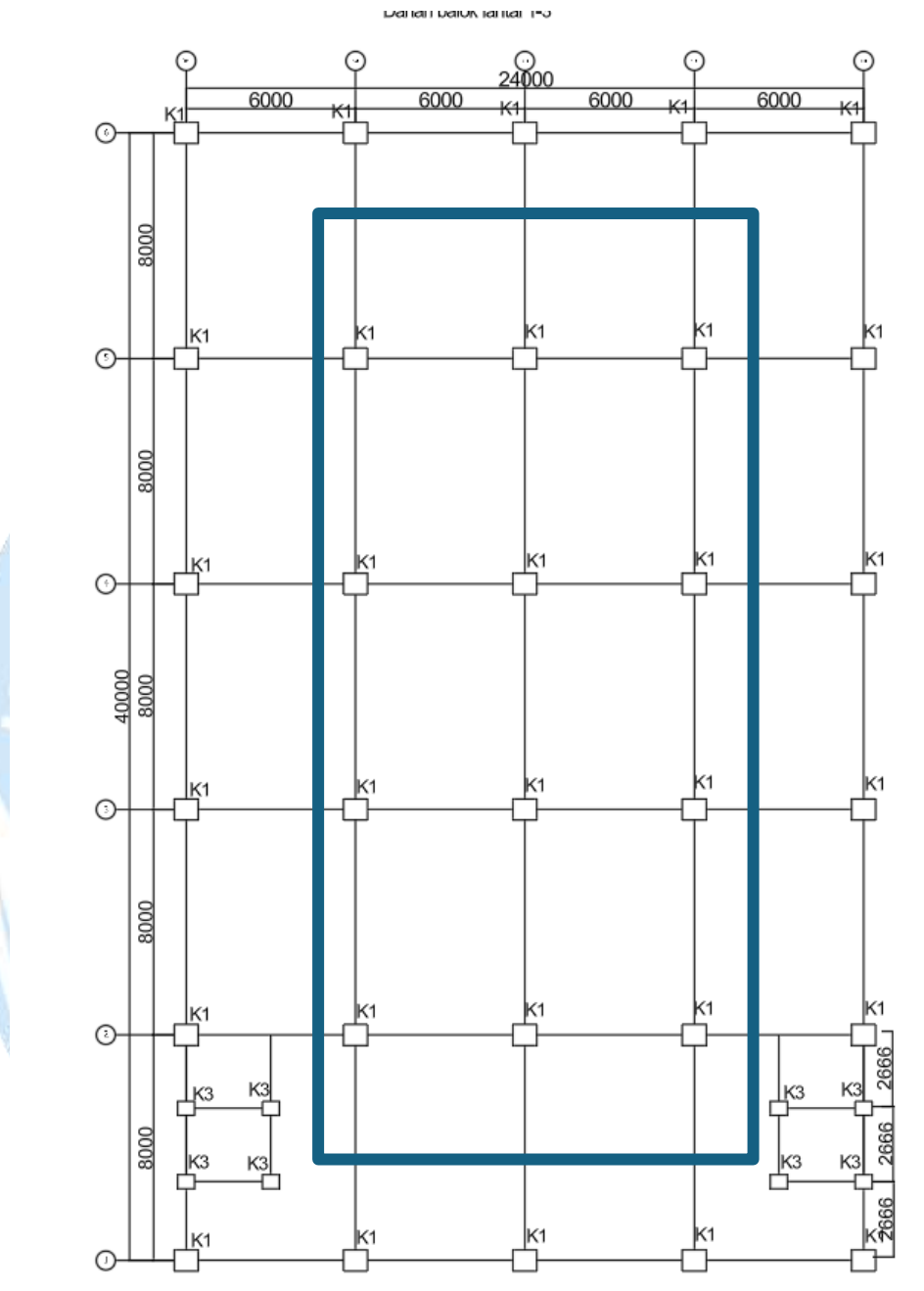
BALOK BA3	Tumpuan	Lapangan
Ukuran Balok	300 x 500 mm	
Tulangan Atas	3 D16	3 D16
Tulangan Bawah	3 D16	3 D16
Tulangan Samping	2 D10	2 D10
Sengkang	3D8 – 100	2D8 – 150

Tabel 2. 50 Rekapitan Penulangan BA3 Lantai 4-6

BALOK BA3	Tumpuan	Lapangan
Ukuran Balok	300 x 500 mm	
Tulangan Atas	3 D16	3 D16
Tulangan Bawah	3 D16	3 D16
Tulangan Samping	2 D10	2 D10
Sengkang	2D8 – 100	2D8 – 150

2.7 Perancangan Kolom

Detail perancangan kolom SPRMK diatur dalam SNI 2847 tahun 2019 pasal 18.7. Proses perancangan yang dimaksud pada subbab ini adalah merancang penulangan longitudinal dan tulangan transversal kolom. Contoh perancangan kolom digunakan hasil analisis dari K1 2-5/(A-D) lantai satu dengan ukuran kolom 850×750 mm. Denah kolom yang akan ditinjau sebagai contoh perancangan dapat dilihat pada gambar 2.18 di bawah.



Gambar 2. 18 Titik Tinjauan Perancangan Tulangan Kolom

Data-data perancangan K1 2-5/A-D lantai 1 sebagai berikut:

- KDS = 4600 mm
- Mutu beton (f'_c) = 30 MPa
- Diameter tul. longitudinal = 25 mm
- Diameter tul. sengkang = 13 mm
- Kuat leleh tul. longitudinal = 420 MPa
- Kuat leleh tul. sengkang = 420 MPa
- Selimut beton = 40 mm
- Panjang bentang kolom = 4600 mm
- Panjang bersih kolom (L_n) = $4600 - 600 = 4000$ mm
- Lebar balok = 450 mm
- Tinggi balok = 600 mm
- Tinggi kolom = 750 mm
- Lebar kolom = 850 mm
- β = 0,84

2.7.1 Batas Dimensi Penampang

Batas-batas penampang kolom disyaratkan pada SNI 2847 tahun 2019 pasal 18.7.2. berikut adalah perhitungannya:

- Dimensi penampang terkecil tidak kurang dari 300

$$700 \geq 300 \text{ (OK!)}$$

- Rasio penampang tidak kurang dari 0,4

$$\frac{750}{750} = 1 > 0,4 \text{ (OK!)}$$

2.7.2 Gaya Dalam dari Kombinasi Pembebanan

Gaya dalam pada perancangan kolom didapatkan dengan bantuan *software* Etabs dengan menggunakan kombinasi pembebanan untuk metode ultimit pada SNI 1726 tahun 2019 pasal 4.2. Tabel 2.51 Menunjukkan gaya dalam yang diperoleh dari Etabs.

Tabel 2. 51 Gaya Dalam Kolom

kondisi	P(kN)	M2(kNm)	M3(kNm)
P _{max}	-2092,98	-67,2939	15,8552
P _{min}	-4488,57	-465,85	-504,569
M _{2max}	-2536,2	484,6323	508,1959
M _{2 min}	-3568,52	-499,739	139,1307
M _{3 max}	-3487,23	-125,224	570,4411
M _{3min}	-3957,28	-499,739	-565
N _u (KN)	-2093		
V ₂ (KN)	121,00		
V ₃ (KN)	-108,92		

2.7.3 Perancangan Tulangan Longitudinal

a. Menghitung Rasio Tulangan

Rasio tulangan yang disyaratkan pada SNI 2847 tahun 2019 pasal 19.7.4.1 ialah luas tulangan longitudinal (A_{st}) tidak kurang dari $0,01A_g$ dan tidak lebih besar dari $0,06A_g$ atau $0,01 < \rho < 0,06$

Diasumsikan jumlah tulangan yang digunakan ialah 16D25

$$\begin{aligned}
 A_s &= n \times 0,25 \times \pi \times d^2 \\
 &= 16 \times 0,25 \times \pi \times 25^2 \\
 &= 7853,98 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_g &= b \times h \\
 &= 850 \times 750 \\
 &= 637.500 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rasio } (\rho) &= \frac{A_s}{A_g} \\
 &= \frac{7853,98}{637.500} = 0,0123
 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat} = 0,01 < 0,0123 < 0,06 \text{ (OK!)}$$

b. Mengecek *Strong Column Weak Beam (SCWB)*

Strong Column Weak Beam (SCWB) disyaratkan pada SNI 2847 tahun 2019 pasal 18.7.3.2 dimana kekuatan lentur kolom harus $2 \times M_{\text{nkolom}} \geq 1,2 \times (M_n^- + M_n^+)$

$$M_n \text{ kolom} = 266,13 \text{ kNm}$$

$$M_n^- \text{ balok} = 390,48 \text{ kNm}$$

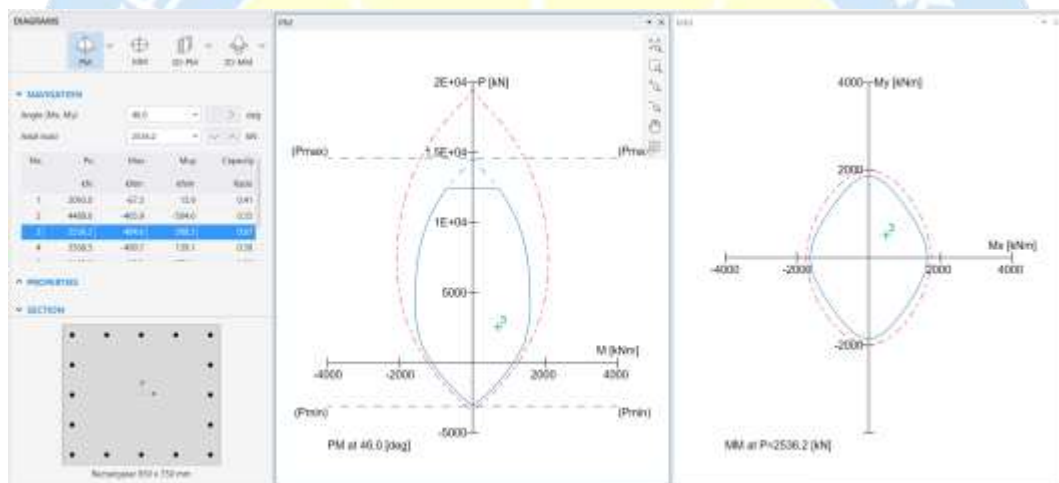
$$M_n^+ \text{ balok} = 7,16 \text{ kNm}$$

$$2 \times M_{\text{nkolom}} \geq 1,2 \times (M_n^- + M_n^+)$$

$$2 \times 266,13 \geq 1,2 \times (390,48 + 7,16)$$

$$532,27 \text{ kNm} \geq 398,84 \text{ kNm (OK!)}$$

Sehingga tulangan longitudinal k1 2-5/a-d lantai 1 adalah 16D25



Gambar 2. 19 Hasil Analisis Penulangan Kolom dengan menggunakan *software SPcolumn*

Hasil analisis dengan menggunakan *software SP Column* pada gambar 2.19 menunjukkan kapasitas P-MM (momen aksial) yang telah direduksi berada diatas kombinasi pembebanan sehingga jumlah tulangan dan dimensi tulangan 16D25 dapat digunakan.

c. Mengecek Syarat Gaya Aksial Kolom

Pengecekan syarat gaya aksial kolom bertujuan untuk mengetahui kebutuhan tulangan transversal kolom. Dimana jika $P_u \geq 0,3A_g$ maka tulangan transversal harus mengikat semua tulangan longitudinal kolom.

$$\begin{aligned} 0,3A_g &= 0,3 \times 30 \times 850 \times 750 \\ &= 5737500 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai $0,3A_g \geq 4488573$ sehingga tulangan transversal tidak harus mengikat semua tulangan longitudinal kolom.

2.7.4 Perancangan Tulangan Transversal Kolom

a. Menghitung Panjang Zona Sendi Plastis Kolom (l_0)

Penentuan panjang zona sendi plastis dihitung dengan berpedoman pada SNI 2847 tahun 2019 pasal 18.7.5.1. panjang l_0 sebagai berikut

$$l_{01} = 750 \text{ mm}$$

$$l_{02} = \frac{l_n}{6} = \frac{4000}{6} = 66,7 \text{ mm}$$

$$l_{01} = 450 \text{ mm}$$

Sehingga, digunakan l_0 terbesar yaitu 750 mm

b. Menghitung Tulangan Transversal Zona Sendi Plastis/Tumpuan

$$\begin{aligned} \text{Lebar penampang inti beton } (b_c) &= b - 2c_c \\ &= 850 - (2 \times 40) \\ &= 770 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang penampang inti beton } (h_c) &= b - 2c_c \\ &= 750 - (2 \times 40) \\ &= 670 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Penampang kolom } (A_g) &= b \times h \\ &= 750 \times 850 \\ &= 637.500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Penampang Inti Beton } (A_{ch}) &= b_c \times h_c \\
 &= 770 \times 670 \\
 &= 515.900 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Mengecek syarat gaya aksial apakah memiliki gaya aksial besar atau tidak sesuai SNI 2847 Tahun 2019 pasal 18.7.5.4 $P_u \leq 0,3 A_g f'_c$ atau $P_u \geq 0,3 A_g f'_c$

$$\begin{aligned}
 0,3 A_g f'_c &= 0,3 \times 637.500 \times 30 \\
 &= 5.737.500 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$P_u = -2.777.228,7 \text{ Nmm} = 2.777.228,7 \text{ Nmm}$$

$$2.777.228,7 \leq 0,3 A_g f'_c$$

Karena P_u lebih kecil dari $0,3 A_g f'_c$ maka tulangan pengekang tidak harus mengekang semua tulangan longitudinal.

Menghitung A_{sh}/s minimum pada sumbu lemah (b_c)

$$\frac{A_{shmin1}}{s} = 0,3 \times (b_c \times \frac{f_c}{f_{yt}}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1)$$

$$\frac{A_{shmin1}}{s} = 0,3 \times (850 \times \frac{30}{420}) \times (\frac{637.500}{515.900} - 1)$$

$$\frac{A_{shmin1}}{s} = 3,39 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{shmin2}}{s} = 0,09 \times (b_c \times \frac{f_c}{f_{yt}})$$

$$\frac{A_{shmin2}}{s} = 0,09 \times (850 \times \frac{30}{420})$$

$$\frac{A_{shmin2}}{s} = 4,31 \text{ mm}^2$$

Menghitung A_{sh}/s minimum pada sumbu kuat (h_c)

$$\frac{A_{shmin1}}{s} = 0,3 \times (h_c \times \frac{f_c}{f_{yt}}) \times (\frac{A_g}{A_{ch}} - 1)$$

$$\frac{A_{shmin1}}{s} = 0,3 \times (750 \times \frac{30}{420}) \times (\frac{637.500}{515.900} - 1)$$

$$\frac{A_{shmin1}}{s} = 3,89 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{shmin2}}{s} = 0,09 \times (b_c \times \frac{f_c}{f_{yt}})$$

$$\frac{A_{shmin2}}{s} = 0,09 \times (850 \times \frac{30}{420})$$

$$\frac{A_{shmin2}}{s} = 4,950 \text{ mm}^2$$

Digunakan $\frac{A_{shmin}}{s}$ yang terbesar yaitu $4,950 \text{ mm}^2$. Dengan demikian luasan tulangan minimum untuk tumpuan harus lebih besar dari $4,950 \text{ mm}^2$. Diasumsikan tulangan transversal yang digunakan ialah D13 dengan jumlah kaki 4 dan spasi sebesar 100 mm maka harus dilakukan pengecekan apakah $\frac{A_{shmin2}}{s} \geq 4,950$

$$\begin{aligned} A_{sh} &= n \times \pi \times 0,25 \times d^2 \\ &= 4 \times \pi \times 0,25 \times 13^2 = 530,929 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{shmin2}}{s} = \frac{530,929}{100} = 5,31 \geq 4,950 \text{ (OK!)}$$

Sehingga digunakan tulangan transversal tumpuan pada kolom ialah 4D13–100.

Pengecekan tulangan transversal maksimum

Pengecekan spasi tulangan transversal diatur pada SNI 2847 tahun 2019 pasal 18.7.5.3 dimana spasi tidak boleh lebih besar dari:

$$\begin{aligned} - \frac{1}{4} \times \text{dimensi terkecil kolom} &= \frac{1}{4} \times 750 \\ &= 187,5 \text{ mm} \\ - 6 \times \text{diameter tul. longitudinal} &= 6 \times 25 \\ &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$- 100 \leq S_o \leq 150$$

$$\begin{aligned} S_o &= 100 + \left(\frac{350 - h_x}{3} \right) \\ &= 100 + \left(\frac{350 - 200}{3} \right) = 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$100 \leq 150 \leq 150$$

Sehingga, digunakan tulangan 4D13 – 100

c. Menghitung Gaya Geser Kolom

Perhitungan gaya geser kolom diatur pada SNI 2847 tahun 2019 dimana momen ujung M_{pr} berdasarkan tegangan tarik baja sebesar $1,25 f_y$ Analisis M_{pr} dibantu dengan menggunakan diagram interaksi dari SP

Column yang diperkuat menjadi $1,25 f_y = 1,25(420) = 525 \text{ MPa}$.

Diperoleh hasil sebagai berikut:

$$M_{pr} \text{ kolom} = 2103,200 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{2 \times M_{pr} \text{ kolom}}{l_n} \\ &= \frac{2 \times (2103,20 \times 10^6)}{4000} \\ &= 1051600 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 A_g}\right) \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times 637500}\right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 684,5 \\ &= 589331 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ perlu}} &= \frac{V_u}{\phi - v_c} \text{ (pasal 22.5.20.1)} \\ &= \frac{1051600}{0,75 - 589331} \\ &= 812803 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{shmin1}}{s} &= 0,062 \times \sqrt{f'_c} \times \frac{b_w s}{f_{yt}} \\ &= 0,062 \times \sqrt{30} \times \frac{850}{420} \\ &= 0,69 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{shmin2}}{s} &= 0,35 \times \frac{b_w}{f_{yt}} \\ &= 0,35 \times \frac{850}{420} \\ &= 0,71 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\text{Syarat SNI 2847 pasal 10.6.2.2.} = A_{vmin} > \frac{A_{shmin1}}{s} \text{ dan } \frac{A_{shmin2}}{s}$$

$$5,31 > 0,71 \text{ dan } 5,31 > 0,69 \text{ (Memenuhi Syarat)}$$

d. Menghitung Tulangan Transversal diluar Zona Sendi Plastis / Lapangan

Misal digunakan tulangan transversal 2D13 dengan jarak 150 mm

Pengecekan spasi maksimum:

$$- \frac{1}{4} \times \text{dimensi terkecil kolom} = \frac{1}{4} \times 750 = 187,5 \text{ mm}$$

$$- 6 \times \text{diameter tul. longitudinal} = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$$

Maka digunakan spasi 150 mm

$$V_u = 126114 \text{ N}$$

$$V_c = 589331 \text{ N}$$

$$V_s = 0 \text{ kN}$$

$$V_c + V_s > V_u$$

$$589331 > 126114 \text{ N (OK!)}$$

Sehingga digunakan tulangan 2D13 – 150 mm



Tabel 2. 52 Rekapitan Penulangan Kolom Lantai 1-6

Dimensi					Tulangan				
Tipe			b(mm)	h(mm)	Longitudinal	Transversal			
						sumbu kuat	sumbu lemah	Sumbu kuat	pendek
K1	K1a	Lantai 1	850	750	16D25	4 D13-100	4 D13-100	4 D13-150	4 D13-150
		Lantai 2	850	750	16D25	4 D13-100	4 D13-100	2 D13-150	2 D13-150
		Lantai 3	850	750	16D25	4 D13-100	4 D13-100	2 D13-150	2 D13-150
	K1b	Lantai 1	850	750	28D29	4 D13-50	4 D13-50	2 D13-100	2 D13-100
		Lantai 2	850	750	24D29	4 D13-100	4 D13-100	2 D13-150	2 D13-150
		Lantai 3	850	750	24D29	4 D13-100	4 D13-100	2 D13-150	2 D13-150
	K1c	Lantai 1	850	750	24D25	4 D13-100	4 D13-100	2 D13-150	2 D13-150
		Lantai 2	850	750	24D25	4 D13-100	4 D13-100	2 D13-150	2 D13-150
		Lantai 3	850	750	20D25	4 D13-100	4 D13-100	2 D13-150	2 D13-150
Lift	LIFT DAN TANGGA	Lantai 1-3	600	500	20D25	4 D13-100	4 D13-100	2 D13-100	2 D13-100
k2	k2a	Lantai 4	700	600	20 D19	4 D13-100	3 D13-100	2 D13-100	2 D13-100
		Lantai 5	700	600	20 D19	4 D13-100	3 D13-100	2 D13-100	2 D13-100
		Lantai 6	700	600	16 D19	4 D13-100	3 D13-100	2 D13-100	2 D13-100
k3	LIFT DAN TANGGA	Lantai 4	600	500	16 D19	4 D13-100	4 D40-100	2 D13-100	2 D13-100
	k2b	Lantai 4	700	600	20 D19	4D 13-100	3 D13-100	2 D13-100	2 D13-100
		Lantai 5	700	600	16 D19	4D 13-100	3 D13-100	2 D13-100	2 D13-100
		Lantai 6	700	600	16 D19	4D 13-100	3 D13-100	2 D13-100	2 D13-100
	lift tangga	lantai 5	600	500	16 D19	4 D13-100	3 D40-100	2 D13-100	2 D13-100
	k3c	Lantai 4	700	600	16 D19	4 D13-100	3 D13-100	2 D13-100	2 D13-100
		Lantai 5	700	600	16 D19	4D 13-100	3 D13-100	2 D13-100	2 D13-100
		Lantai 6	700	600	20 D22	4 D13-100	3 D13-100	2 D13-100	2 D13-100
k3	lift tangga	lantai 6	600	500	16 D19	4 D13-100	3 D40-100	2 D13-100	2 D13-100