

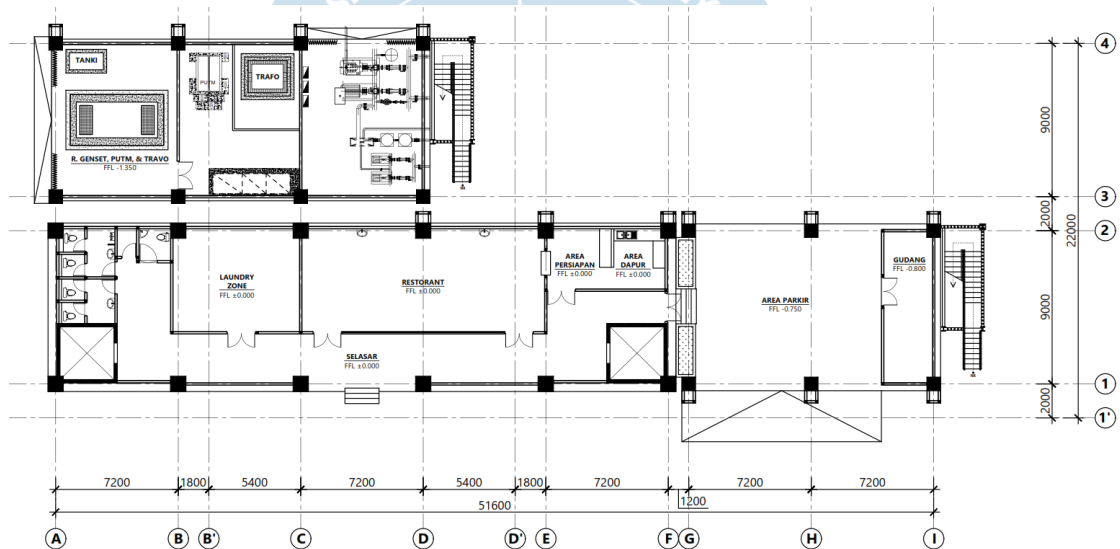
BAB II

PERENCANAAN STRUKTUR

2.1 Data Umum

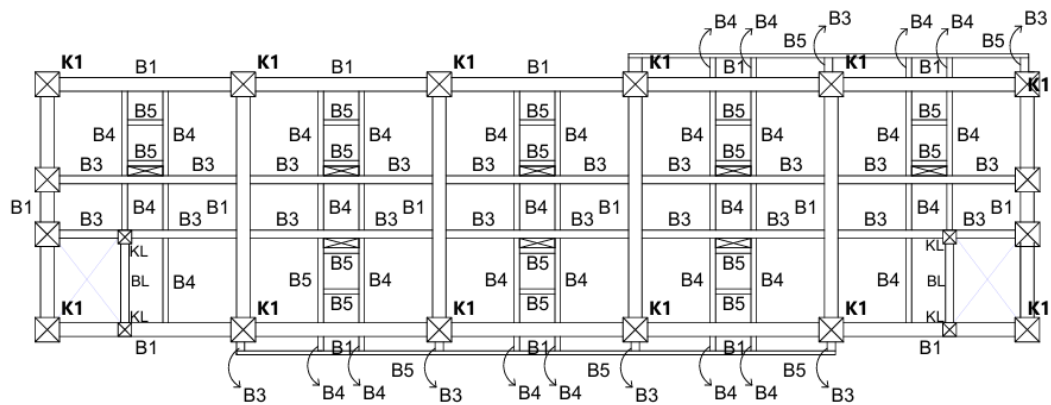
Deskripsi Proyek Pembangunan Gedung Asrama Universitas Negeri Yogyakarta seperti pada gambar 2.1 sebagai berikut:

- a) Nama Proyek : Gedung Asrama Universitas Negeri Yogyakarta
- b) Lokasi Proyek : Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta
- c) Jumlah Bangunan : Tiga Gedung
- d) Jumlah Lantai : 8 Lantai dan 1 Atap
- e) Luas Tanah : 2.359,47 m²
- f) Luas Bangunan : 658,8 m²
- g) Struktur Bangunan : Beton Bertulang



Gambar 2. 1 Denah Arsitektur Lantai 1 Gedung Asrama

Akan tetapi, dikarenakan bangunan menggunakan dilatasi, maka gedung yang ditinjau pada Tugas Akhir ini menjadi 1 bagian gedung saja seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Denah Perancangan TAPI Lantai 2

2.2 Pedoman Perhitungan

Dalam perencanaan gedung ini, pedoman yang digunakan yakni:

1. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020).
2. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019).
3. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI-1726-2019).
4. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung Tahun 1983 (PPIUG 1983).
5. Panduan Desain Sederhana untuk Bangunan Beton Bertulang (SNI 8900:2020).
6. *Building Code Requirements for Structural Concrete* (ACI 318-14).
7. *Building Code Requirements for Structural Concrete* (ACI 318-19).
8. Braja M. Das, *Principles of Foundation Engineering*, Eighth Edition.

2.3 Data Material

Pada tahap perencanaan struktur, penentuan data material merupakan hal yang sangat penting karena akan mempengaruhi hasil perhitungan kekuatan dan kekakuan elemen struktur. Data material digunakan sebagai dasar dalam analisis dan desain, terutama untuk menentukan kapasitas beban, lendutan, serta perilaku struktur secara keseluruhan. Dalam perencanaan ini, material utama yang digunakan terdiri dari beton dan baja tulangan, masing-masing dengan

karakteristik dan mutu tertentu sesuai standar yang berlaku. Data material yang digunakan dalam perencanaan gedung asrama ini sebagai berikut:

2.3.1 Material Beton

Mutu beton (f'_c)	= 30 MPa
Berat unit per volume	= 24 kN/m
E_c	= $4700 \sqrt{f'_c}$ = $25,743 \times 10^3$ Mpa

2.3.2 Material Tulangan

Mutu baja tulangan (f_y)	= 420 MPa (BjTD 420B)
Mutu baja tulangan (f_{ys})	= 280 MPa (BjTP 280)
Modulus elastisitas	= 20000 MPa

2.4 Preliminary Design Balok dan Kolom

Preliminary Design merupakan tahap awal dalam perencanaan struktur yang bertujuan untuk memperkirakan ukuran awal elemen-elemen utama, seperti balok dan kolom. Tahap ini penting dilakukan agar perencana memiliki gambaran awal tentang proporsi dan kekuatan struktur sebelum masuk ke analisis yang lebih rinci. Dengan adanya *preliminary design*, dimensi awal dapat disesuaikan dengan kondisi denah dan sistem struktur yang direncanakan, sehingga diperoleh desain yang efisien, aman, dan ekonomis. Hasil dari tahap ini nantinya menjadi acuan awal dalam proses permodelan dan perhitungan struktur secara menyeluruh. Berikut merupakan *preliminary design* balok dan kolom untuk bangunan asrama yang dirancang.

1. Preliminary Kolom 700 x 700 mm

Satuan	Berat Jenis (kN/m ³)	Bentang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Jumlah Lantai	Beban (kN)
Pelat	24	9	7,2	0,13	4	808,704
Balok arah x-	24	3,6	0,4	0,75	4	103,68
Balok arah x+	24	3,6	0,4	0,75	4	103,68
Balok arah y-	24	4,5	0,4	0,75	4	129,6
Balok arah y+	24	-	-	-	4	-
Tembok arah x	1,8	7,2	0,15	4,2	4	32,6592

Tembok arah y	1,8	4,5	0,15	4,2	4	20,412
Kolom	24	4,2	0,7	0,7	4	197,568
Beban Pelat	5,33	7,2	9	1	4	1381,536
Pu						2.777,8392

$$A_g = 700 \times 700 = 490.000 \text{ mm}^2$$

$$d_x = 0,9 \times 700 = 630 \text{ mm}$$

$$d_y = 0,9 \times 700 = 630 \text{ mm}$$

$$d' = 700 - 630 = 70 \text{ mm}$$

$$\beta = 0,84$$

$$P_n \text{ req} = \frac{P_u}{0,65} = \frac{2.777,839}{0,65} = 4.273,599 \text{ kN}$$

Pada kondisi berimbang

$$c_b = \frac{0,003 \times d_x}{0,003 + 0,0021} = 370,588 \text{ mm}$$

$$a_b = c_b \times \beta = 309,701 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} P_n, b &= 0,85 \cdot f'_c \cdot a_b \cdot x \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 309,701 \cdot 700 \\ &= 5.528,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P_n \text{ req} < P_n, b$$

$$4.273,599 \text{ kN} < 5.528,25 \text{ kN} \text{ (Memenuhi syarat)}$$

2. Menentukan Dimensi Kolom

Diketahui dimensi kolom 700 x 700 mm. Perhitungan berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.2.1 mengenai batasan dimensi kolom harus memenuhi syarat-syarat berikut:

$$1) \quad b \leq h \quad = 700 \text{ mm} \leq 700 \text{ mm} \text{ (Memenuhi syarat)}$$

$$2) \quad b \geq 300 \text{ mm} \quad = 700 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \text{ (Memenuhi syarat)}$$

$$3) \quad \frac{b}{h} \geq 0,4 \quad = \frac{700}{700} \geq 0,4$$

$$= 1 \geq 0,4 \quad \text{(Memenuhi syarat)}$$

Adapula rekapitulasi perhitungan *preliminary* kolom seperti pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Rekapitulasi *Preliminary* Kolom

Tipe	Ukuran Kolom
K1	900 x 900 mm
K2	800 x 800 mm
K3	700 x 700 mm
KL	500 x 500 mm

3. *Preliminary Design* Balok

Berat Satuan Pelat Lantai						
Berat sendiri pelat	=	0,13	x	24	=	3,12 kN/m ²
Spesi 2 cm	=	2	x	0,21	=	0,42 kN/m ²
Keramik 1 cm	=	1	x	0,24	=	0,24 kN/m ²
Mortar 4 cm	=	4	x	0,18	=	0,72 kN/m ²
Plafond + Penggantung	=	0,18			=	0,18 kN/m ²
Plumbing	=	0,25			=	0,25 kN/m ²
MEP	=	0,2			=	0,2 kN/m ²
Sanitasi	=	0,2			=	0,2 kN/m ²
DL					=	5,33 kN/m²
Panjang bentang 7,2 m maka				DL	=	38,376 kN/m
Berat Satuan Balok						
Berat sendiri balok	=	0,3	x	24	=	7,2 kN/m ²
Dinding	=	1,8	x	4,2	=	7,56 kN/m ²
DL					=	14,76 kN/m²
Total Dead Load					53,136	kN/m
Beban Hidup						
Beban hidup pelat lantai					=	4,79 kN/m ²
LL bentang 7,2 m					=	34,488 kN/m
Qu = 1,2 DL + 1,6 LL =					71,7864	kN/m

$$Mu = \frac{1}{10} \times Qu \times L^2 = 1/10 \times 71,7864 \times 5^2 = 209,3 \text{ kNm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{0,9} = \frac{209,3}{0,9} = 232,6 \text{ kNm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \times (0,9 \times h)^2} = \frac{232,6 \times 10^6}{0,4 \times 1000 \times (0,9 \times 0,75 \times 1000)^2} = 2,74\%$$

4. Menentukan Dimensi Balok

Tinggi dan lebar balok tidak boleh kurang dari nilai yang diatur pada tabel 9.3.1.1 SNI 2847:2019 seperti pada tabel 2.2 berikut. Adapula perhitungan dilakukan pada dimensi balok pada bentang balok terpanjang yaitu 7200 mm.

Tabel 2. 2 Tinggi Minimum Balok Nonprategang

Kondisi Perlekatan	Minimum
Perlekatan sederhana	L/16
Menerus satu sisi	L/18,5
Menerus dua sisi	L/21
Kantilever	L/8

a. Menentukan Tinggi Minimum Balok

1) Kondisi Perletakan Menerus Satu Sisi

$$h_{min} = \frac{Ly}{18,5} = \frac{7200}{18,5} = 389,189 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

2) Kondisi Perletakan Menerus Dua Sisi

$$h_{min} = \frac{Ly}{21} = \frac{7200}{21} = 342,857 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

b. Menentukan Lebar Minimum Balok

1) Kondisi Perletakan Menerus Satu Sisi

$$b_{min} = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 400 = 266,667 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

2) Kondisi Perletakan Menerus Satu Sisi

$$b_{min} = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \times 400 = 266,667 \text{ mm} \approx 300 \text{ mm}$$

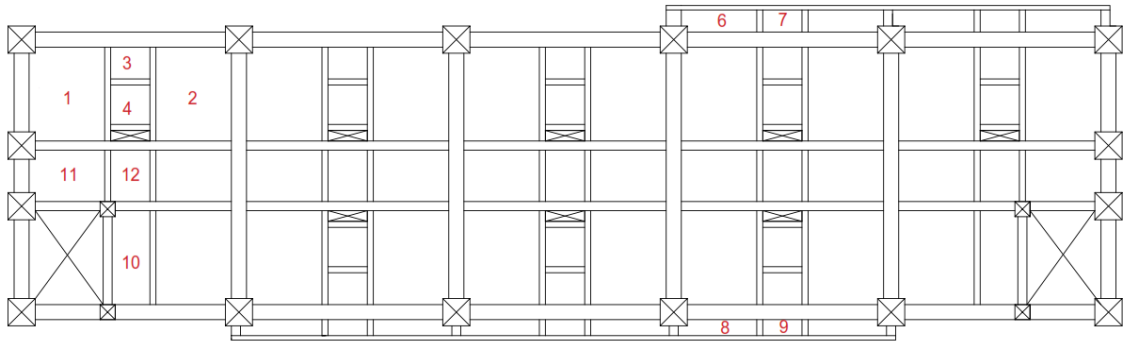
Adapula rekapitulasi perhitungan *preliminary* balok seperti pada tabel 2.3 berikut.

Tabel 2. 3 Rekapitulasi *Preliminary* Balok

Tipe	Ukuran Balok
B1	500 x 800 mm
B2	400 x 750 mm
B3	300 x 600 mm
B4	300 x 500 mm
B5	200 x 250 mm
B6	150 x 250 mm
BL	300 x 500 mm

2.5 Preliminary Design Pelat Lantai

Berdasarkan SNI 2847:2019 sebuah pelat dikatakan pelat satu arah jika $L_y/L_x > 2$ (Pasal 7), sedangkan pelat disebut pelat dua arah jika $L_y/L_x \leq 2$ (Pasal 8). Mengacu dari peraturan tersebut, perhitungan dalam menentukan arah pelat sesuai urutan pada gambar 2.3 sebagai berikut.



Gambar 2.3 Penomoran Pelat Lantai

a) Pelat 1

$$L_y = 3500 \text{ mm}, \quad L_x = 2850 \text{ mm}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{3500}{2850} = 1,228 < 2 \text{ sehingga menggunakan pelat dua arah.}$$

b) Pelat 2

$$L_y = 3500 \text{ mm}, \quad L_x = 2850 \text{ mm}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{3500}{2850} = 1,228 < 2 \text{ sehingga menggunakan pelat dua arah.}$$

c) Pelat 3

$$L_y = 1500 \text{ mm}, \quad L_x = 1400 \text{ mm}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{1500}{1400} = 1,071 < 2 \text{ sehingga menggunakan pelat dua arah.}$$

d) Pelat 4

$$L_y = 1500 \text{ mm}, \quad L_x = 1500 \text{ mm}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{1500}{1500} = 1 < 2 \text{ sehingga menggunakan pelat dua arah.}$$

e) Pelat 5

$$L_y = 2000 \text{ mm}, \quad L_x = 1500 \text{ mm}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{2000}{1500} = 1,333 < 2 \text{ sehingga menggunakan pelat dua arah.}$$

f) Pelat 6

$$L_y = 2850 \text{ mm}, \quad L_x = 1050 \text{ mm}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{2850}{1050} = 2,714 > 2 \text{ sehingga menggunakan pelat satu arah.}$$

g) Pelat 7

$$L_y = 1500 \text{ mm}, \quad L_x = 1050 \text{ mm}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{1500}{1050} = 1,429 < 2 \text{ sehingga menggunakan pelat dua arah.}$$

h) Pelat 8

$$L_y = 2850 \text{ mm}, \quad L_x = 1050 \text{ mm}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{2850}{1050} = 2,714 > 2 \text{ sehingga menggunakan pelat satu arah.}$$

i) Pelat 9

$$L_y = 1500 \text{ mm}, \quad L_x = 1050 \text{ mm}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{1500}{1050} = 1,429 < 2 \text{ sehingga menggunakan pelat dua arah.}$$

j) Pelat 10

$$L_y = 3400 \text{ mm}, \quad L_x = 1500 \text{ mm}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{3400}{1500} = 2,267 > 2 \text{ sehingga menggunakan pelat satu arah.}$$

k) Pelat 11

$$L_y = 2850 \text{ mm}, \quad L_x = 2100 \text{ mm}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{2850}{2100} = 1,357 < 2 \text{ sehingga menggunakan pelat dua arah.}$$

l) Pelat 12

$$L_y = 2100 \text{ mm}, \quad L_x = 1500 \text{ mm}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{2100}{1500} = 1,4 < 2 \text{ sehingga menggunakan pelat dua arah.}$$

Adapula rekapitulasi penentuan arah pelat lantai seperti pada tabel 2.4 berikut.

Tabel 2. 4 Rekapitulasi Arah Pelat

Pelat	L_y (panjang) (mm)	L_x (pendek) (mm)	L_y/L_x	Jenis Pelat
1	3500	2850	1,228	Dua Arah
2	3500	2850	1,228	Dua Arah
3	1500	1400	1,071	Dua Arah
4	1500	1500	1,000	Dua Arah
5	2000	1500	1,333	Dua Arah
6	2850	1050	2,714	Satu Arah
7	1500	1050	1,429	Dua Arah

Pelat	Ly (panjang) (mm)	Lx (pendek) (mm)	Ly/Lx	Jenis Pelat
8	2850	1050	2,714	Satu Arah
9	1500	1050	1,429	Dua Arah
10	3400	1500	2,267	Satu Arah
11	2850	2100	1,357	Dua Arah
12	2100	1500	1,4	Dua Arah

2.6 Perhitungan Pelat

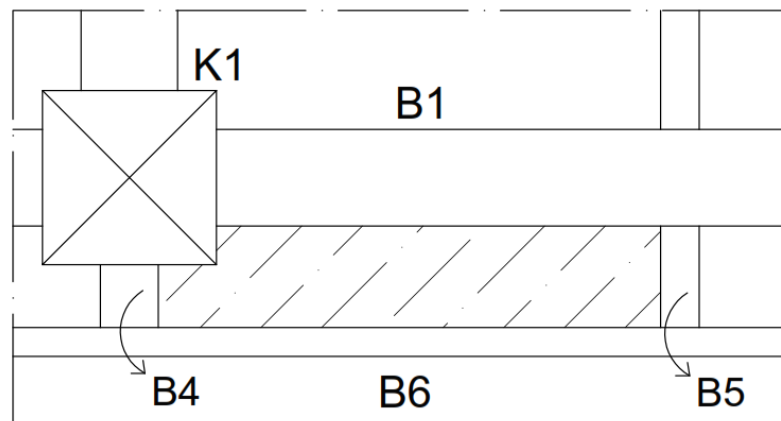
Pelat lantai merupakan elemen struktur horizontal yang berfungsi menyalurkan beban hidup dan beban mati ke elemen penyangga di bawahnya, seperti balok dan kolom. Dalam perencanaan struktur beton bertulang, pelat lantai dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu pelat satu arah (*one-way slab*) dan pelat dua arah (*two-way slab*), yang ditentukan berdasarkan perbandingan antara panjang dan lebar bentangnya. Pelat satu arah bekerja terutama menyalurkan beban ke dua sisi tumpuan sejajar, sedangkan pelat dua arah menyalurkan beban ke empat sisi tumpuan secara merata. Pemilihan sistem pelat ini berpengaruh terhadap perilaku struktur, kebutuhan tulangan, serta efisiensi penggunaan material. Oleh karena itu, analisis dan perencanaan pelat lantai harus dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi tumpuan, rasio bentang, serta pembebanan yang bekerja agar diperoleh desain yang aman dan ekonomis sesuai ketentuan SNI 2847:2019.

2.6.1 Perhitungan Pelat Satu Arah

Pelat satu arah merupakan pelat lantai yang menyalurkan beban utamanya ke dua sisi tumpuan sejajar, dengan arah lentur dominan terjadi pada bentang pendek. Kondisi ini umumnya terjadi apabila perbandingan antara bentang panjang terhadap bentang pendek lebih besar dari dua, sehingga pelat bekerja terutama pada satu arah saja. Tulangan utama dipasang sejajar dengan arah bentang pendek untuk menahan momen lentur, sedangkan tulangan arah tegak lurusnya berfungsi sebagai tulangan susut atau distribusi. Sistem pelat ini banyak digunakan pada bidang lantai yang memanjang atau memiliki penumpu sejajar, karena

perencanaannya relatif sederhana dan efisien baik dari segi penggunaan material maupun pelaksanaan di lapangan.

Pada perencanaan pelat satu arah dilakukan perhitungan pada salah satu bagian yakni pada pelat kantilever nomor 8 dengan bentang 2850 x 1050 mm. Tebal estimasi pelat yang digunakan ada 130 mm seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Potongan Pelat P8

a. Menentukan Tebal Pelat Minimum

Ketebalan minimum pelat satu arah diatur pada SNI 2847:2019 pada pasal 7.3.1.1 mengenai ketebalan minimum pelat solid satu arah nonprategang pada beton berat normal dan $F_y = 420$ MPa seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.5 berikut.

Tabel 2. 5 Ketebalan Minimum Pelat Satu Arah

Kondisi Tumpuan	Minimum
Tumpuan sederhana	$l/20$
Satu ujung menerus	$l/24$
Kedua ujung menerus	$l/28$
Kantilever	$l/10$

Pada gedung yang direncanakan, terdapat dua buah pelat satu arah yang sama-sama berbentuk kantilever. Maka, tebal minimum pelat satu arah tersebut yakni:

$$h_{min} = \frac{l}{10} = \frac{1050}{10} = 105 \text{ mm}$$

Maka digunakan $h_{\min} = 105 \text{ mm}$. Dengan demikian, estimasi ketebalan pelat 130 mm dapat digunakan sebagai ketebalan pelat lantai satu arah serta digunakan selimut beton 20 mm.

$$\begin{aligned} d &= \text{tebal pelat} - \text{selimut beton} - \frac{\text{diameter tulangan}}{2} \\ &= 130 - 20 - \frac{10}{2} \\ &= 105 \text{ mm} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Pembebanan Pelat

Beban Mati (Dead Load)

Beban sendiri pelat	$= 0,13 \times 24 \text{ kN/m}^2$	$= 3,12 \text{ kN/m}^2$
Pasir	$= 0,04 \times 18 \text{ kN/m}^2$	$= 0,72 \text{ kN/m}^2$
Spesi	$= 0,02 \times 21 \text{ kN/m}^2$	$= 0,42 \text{ kN/m}^2$
Plafond + penggantung	$= 0,18 \text{ kN/m}^2$	$= 0,18 \text{ kN/m}^2$
Plumbing	$= 0,25 \text{ kN/m}^2$	$= 0,25 \text{ kN/m}^2$
MEP	$= 0,2 \text{ kN/m}^2$	$= 0,2 \text{ kN/m}^2$
Sanitasi	$= 0,2 \text{ kN/m}^2$	$= 0,2 \text{ kN/m}^2$
Keramik	$= 0,01 \times 24 \text{ kN/m}^2$	$= 0,24 \text{ kN/m}^2$
Total DL (Q_{DL})		$= 5,33 \text{ kN/m}^2$
Total SIDL (Q_{SIDL})		$= 2,21 \text{ kN/m}^2$

Beban Hidup (Live Load)

Berdasarkan SNI 1727 : 2020 tabel 4.1, beban gedung asrama yaitu:

Kamar tidur	$= 1,44 \text{ kN/m}^2$
Kamar mandi	$= 1,44 \text{ kN/m}^2$
Koridor	$= 4,79 \text{ kN/m}^2$
Total LL (Q_{LL})	$= 7,67 \text{ kN/m}^2$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal; 6.5.1, analisis pelat satu arah nonprategang harus memenuhi ketentuan $Q_{LL} \leq 3 Q_{DL}$, maka perlu dilakukan pengecekan sebagai berikut :

$$Q_{LL} \leq 3 Q_{DL}$$

$$7,67 \text{ kN/m}^2 \leq 3 (5,33 \text{ kN/m}^2)$$

$$7,67 \text{ kN/m}^2 \leq 15,99 \text{ kN/m}^2$$

Hasil memenuhi persyaratan maka perhitungan dapat dilanjutkan.

Didapat beban terfaktor:

$$\begin{aligned} Q_{u1} &= 1,4 Q_{DL} \\ &= 1,4 (5,33) \\ &= 7,462 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{u2} &= 1,2 Q_{DL} + 1,6 Q_{LL} \\ &= 1,2 (5,33) + 1,6 (7,67) \\ &= 18,67 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan beban terfaktor terbesar yakni $Q_u = W_u = 18,67 \text{ kN/m}^2$

c. Perhitungan Momen Pelat

Momen pada pelat satu arah ini menggunakan dasar SNI 2847:2019 pada tabel 6.5.2 sebagai berikut:

Momen	Lokasi	Kondisi	M_u
Positif	Bentang ujung	Ujung tak menerus dan monolit dengan perletakan	$W_u L_n^2 / 14$
		Ujung tak menerus dan tidak terkekang	$W_u L_n^2 / 11$
	Bentang tengah	Semua	$W_u L_n^2 / 16$
Negatif	Muka Interior dari pendukung eksterior	Balok menyatu secara monolit dengan balok spandrel pendukung	$W_u L_n^2 / 24$
		Balok monolit dengan kolom pendukung	$W_u L_n^2 / 16$
	Muka eksterior dari pendukung interior pertama	Dua bentang	$W_u L_n^2 / 9$
		Lebih dari dua bentang	$W_u L_n^2 / 10$
	Muka dari pendukung lainnya	Semua	$W_u L_n^2 / 11$
	Muka semua pendukung memenuhi (a) dan (b)	(a) Pelat dengan bentang tidak lebih dari 3m (b) Balok dengan rasio jumlah kekakuan kolom terhadap kekakuan balok melebihi 8 pada setiap ujung bentangnya	$W_u L_n^2 / 12$

Dari tabel tersebut, dapat dihitung momen pelat satu arah sebagai berikut :

$$L_n = 1050 - 250 - 75 = 725 \text{ mm} = 0,725 \text{ m}$$

$$M_u (-) = W_u L_n^2 / 10 = 18,67 \times 0,725^2 / 10 = 0,98134 \text{ kNm} = 981.340 \text{ Nmm}$$

$$M_u (+) = W_u L_n^2 / 14 = 18,67 \times 0,725^2 / 14 = 0,70096 \text{ kNm} = 700.960 \text{ Nmm}$$

d. Perhitungan Gaya Geser

Menurut SNI 2847:2019 Tabel 6.5.3, perlu dilakukan pengecekan pada gaya geser pelat sebagai berikut :

$$V_u = \frac{1,15 W_u L_n x}{2} = \frac{1,15 \times 18,67 \times 0,7}{2} = 7,51468 \text{ kN} = 7.514,68 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d \\ &= 0,75 \times 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 105 \\ &= 73.326,36 \text{ N} \end{aligned}$$

Nilai $\phi = 0,75$ didasarkan dari SNI 2847:2019 Tabel 21.2.1.

Syarat :

$$\phi V_c > V_u$$

$$73.326,36 \text{ N} > 7.514,68 \text{ N} \text{ (Memenuhi syarat)}$$

Tidak diperlukan penulangan geser karena penampang beton dapat mengakomodasi gaya geser yang terjadi.

e. Perhitungan Tulangan Tumpuan

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

Faktor Momen Pikul:

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

$$R_n = \frac{981.340}{0,9 \cdot 1000 \cdot 105^2}$$

$$R_n = 0,0000989 \text{ MPa}$$

Tinggi blok tegangan tekan (a):

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

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,0000989}{0,85 \cdot 30}} \right) \cdot 105$$

$$a = 0,37 \text{ mm}$$

Sehingga dapat dihitung luasan tulangan perlu sebagai berikut :

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b}{f_{ys}}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,37 \cdot 1000}{280}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 34 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 tabel 7.6.1.1, $A_{s \text{ min}}$ untuk pelat satu arah nonprategang sebagai berikut:

Tipe Tulangan	f_y , MPa	$A_{s \text{ min}}$	
Batang ulir	< 420	0,0020 A_g	
Batang ulir atau kawat las	≥ 420	Terbesar dari	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$
			0,0014 A_g

Dikarenakan f_y yang digunakan sebesar 280 MPa, maka berlaku hukum yang pertama dimana :

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

Didapat bahwa $A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ min}}$, maka digunakan $A_s = 260 \text{ mm}^2$.

Ditetapkan D10 untuk tulangan lentur, maka spasi maksimum :

$$s = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{260} = 302,08 \text{ mm}$$

Cek spasi maksimum berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3

$$s_{\text{maks}} = 3h = 3(130) = 390 \text{ mm}$$

$$s_{\text{maks}} = 450 \text{ mm}$$

Digunakan D10-150

Cek momen nominal pelat

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{s} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} = 523,81 \text{ mm}^2$$

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

$$a = \frac{523,81 \cdot 280}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000}$$

$$a = 5,75 \text{ mm}$$

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

$$c = \frac{5,75}{0,85}; c = 7 \text{ mm}$$

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

$$\varepsilon_t = \frac{105-7}{7} 0,003 ; \varepsilon_t = 0,042$$

Sesuai ketentuan SNI 2847 : 2019 tabel 21.2.2 mengenai faktor reduksi kekuatan, nilai $\varepsilon_t > 0,005$ maka digunakan $\phi = 0,9$.

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

$$M_n = 523,81.280 \left(105 - \frac{5,75}{2} \right)$$

$$M_n = 14.978.213,51 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 14.978.213,51$$

$$\phi M_n = 13.480.392,16 \text{ Nmm} > M_u = 981.340 \text{ Nmm}.$$

Maka, tulangan yang dirancang aman karena sudah memenuhi syarat.

f. Perhitungan Tulangan Lapangan

Faktor Momen Pikul:

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

$$R_n = \frac{700.960}{0,9 \cdot 1000 \cdot 105^2}$$

$$R_n = 0,0000706 \text{ MPa}$$

Tinggi blok tegangan tekan (a):

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

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,0000706}{0,85 \cdot 30}} \right) \cdot 105$$

$$a = 0,26 \text{ mm}$$

Sehingga dapat dihitung luasan tulangan perlu sebagai berikut :

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b}{f_{ys}}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,26 \cdot 1000}{280}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 24 \text{ mm}^2$$

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

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

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

Didapat bahwa $A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ min}}$, maka digunakan $A_s = 260 \text{ mm}^2$.

Ditetapkan D10 untuk tulangan lentur, maka spasi maksimum :

$$s = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{260} = 302,08 \text{ mm}$$

Cek spasi maksimum berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.3

$$s_{maks} = 3h = 3(130) = 390 \text{ mm}$$

$$s_{maks} = 450 \text{ mm}$$

Digunakan D10-150

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{s} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} = 523,81 \text{ mm}^2$$

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

$$a = \frac{523,81 \cdot 280}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000}$$

$$a = 5,75 \text{ mm}$$

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

$$c = \frac{5,75}{0,85}; c = 7 \text{ mm}$$

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

$$\varepsilon_t = \frac{105-7}{7} 0,003; \varepsilon_t = 0,042$$

Sesuai ketentuan SNI 2847 : 2019 tabel 21.2.2 mengenai faktor reduksi kekuatan, nilai $\varepsilon_t > 0,005$ maka digunakan $\phi = 0,9$.

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

$$M_n = 14.978.213,51 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 14.978.213,51$$

$$\phi M_n = 13.480.392,16 \text{ Nmm} > M_u = 700.960 \text{ Nmm}.$$

Maka, tulangan yang dirancang aman karena sudah memenuhi syarat.

g. Perhitungan Tulangan Susut

$$A_{s \text{ perlu}} = A_{s \text{ min}} = 0,0020 A_g = 260 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{260} = 302,08 \text{ mm}$$

Cek spasi maksimum berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.4

$$s_{maks} = 3h = 3(130) = 390 \text{ mm}$$

$$s_{maks} = 450 \text{ mm}$$

Digunakan D10-300.

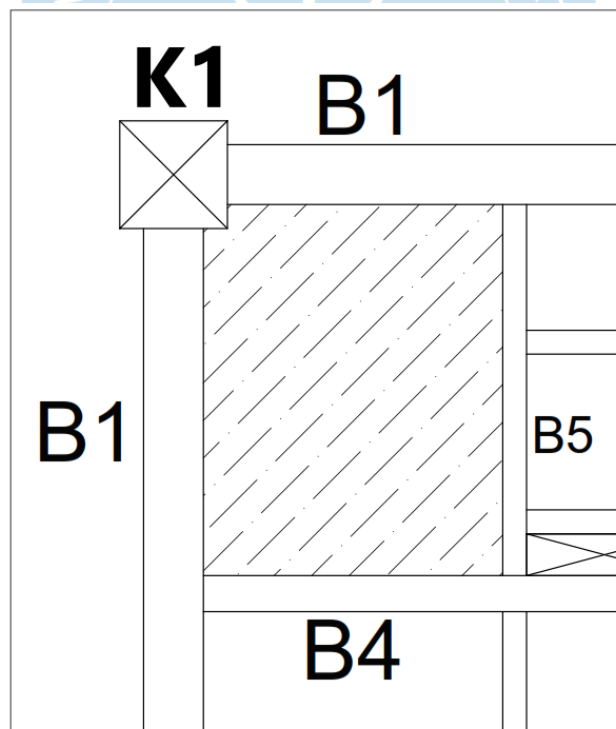
Tabel 2. 6 Rekapitulasi Penulangan Pelat Satu Arah

Kode Pelat	Ly	Lx	Ly/Lx	Jenis Pelat	Momen			Gaya Geser			Tulangan				
P6	2850	1050	2,71	Satu Arah	Mu (-)	1.270.590,75	Nmm	d	105,00	mm	Tumpuan (Pokok)	D	10	-	150
					Mu(-)	529.412,81	Nmm	Vu	8.587,28	N	Tumpuan (Susut)	D	10	-	300
					Mu (+)	907.564,82	Nmm	ϕV_c	73.326,36	N	Lapangan	D	10	-	150
P8	2850	1050	2,71	Satu Arah	Mu (-)	981.236,75	Nmm	d	105,00	mm	Tumpuan (Pokok)	D	10	-	150
					Mu(-)	408.848,65	Nmm	Vu	7.513,87	N	Tumpuan (Susut)	D	10	-	300
					Mu (+)	700.883,39	Nmm	ϕV_c	73.326,36	N	Lapangan	D	10	-	150
P10	3400	1500	2,27	Satu Arah	Mu (-)	2.258.828,00	Nmm	d	105,00	mm	Tumpuan (Pokok)	D	10	-	150
					Mu(-)	931.178,33	Nmm	Vu	13.417,63	N	Tumpuan (Susut)	D	10	-	300
					Mu (+)	1.613.448,57	Nmm	ϕV_c	73.326,36	N	Lapangan	D	10	-	150

2.6.2 Perhitungan Pelat Dua Arah

Pelat dua arah merupakan pelat lantai yang menyalurkan beban ke empat sisi tumpuannya secara bersamaan. Sistem ini terjadi apabila perbandingan antara bentang panjang terhadap bentang pendek kurang dari atau sama dengan dua, sehingga pelat bekerja dalam dua arah yang saling tegak lurus. Pada pelat dua arah, momen lentur timbul di kedua arah tersebut, sehingga tulangan utama harus dipasang pada arah memanjang dan melintang. Jenis pelat ini umumnya digunakan pada bidang lantai berbentuk mendekati persegi dengan penumpu di keempat sisinya, karena mampu mendistribusikan beban lebih merata, menghasilkan lendutan yang lebih kecil, dan memberikan efisiensi struktural pada sistem lantai bangunan bertingkat.

Pada perencanaan pelat dua arah dihitung pada salah satu bagian yakni pada pelat eksterior sudut nomor 1 dengan bentang 3500 x 2850 mm. Tebal estimasi pelat yang digunakan ada 130 mm seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5.

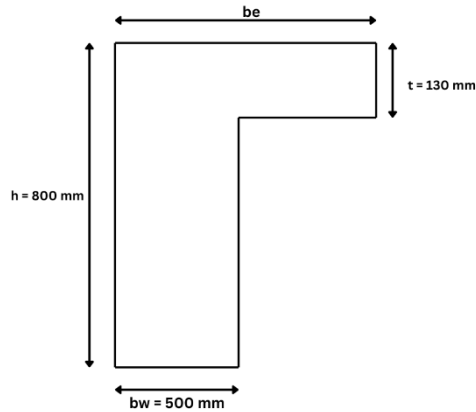


Gambar 2. 5 Potongan Pelat P1

a. Menentukan Tebal Pelat Minimum

Balok B1 :

Analisa lebar efektif (b_e) balok B1



Gambar 2. 6 Penampang Balok B1

$$b_e \leq b_w + (h-t) = 500 + (800-130) = 1170 \text{ mm}$$

atau

$$b_e \leq b_w + 4t = 500 + 4(130) = 1020 \text{ mm}$$

Maka digunakan balok yang memiliki lebar efektif terkecil sehingga, $b_e = 1020$ mm.

- Inersia (I_b) balok B1

$$I_b = k \times \frac{bh^3}{12}$$

Dengan nilai k diperoleh melalui:

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{1020}{500} - 1\right) \left(\frac{130}{800}\right) \left[4 - 6 \left(\frac{130}{800}\right) + 4 \left(\frac{130}{800}\right)^2 + \left(\frac{1020}{500} - 1\right) \left(\frac{130}{800}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{1020}{500} - 1\right) \left(\frac{130}{800}\right)}$$

$$k = 1,309$$

Maka, inersia balok B1 adalah:

$$I_b = 1,309 \times \frac{500 \times 800^3}{12} = 27,92 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

- Inersia (I_s) pelat lantai:

$$I_s = \frac{bh^3}{12} = \frac{1425 \times 130^3}{12} = 0,261 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

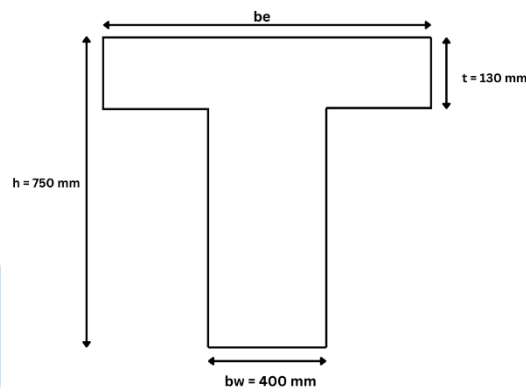
Nilai $b = 1425$ mm diperoleh dari jumlah setengah bentang kanan dari balok B1 sedangkan nilai $h = 130$ mm merupakan tebal estimasi pelat lantai.

- Rasio kekakuan balok B1

$$af1 = \frac{Ec.I_b}{Ec.I_s} = \frac{25,743 \times 10^3 \cdot 27,92 \times 10^9}{25,743 \times 10^3 \cdot 0,261 \times 10^9} = 107,010$$

Balok B2 :

Analisa lebar efektif (b_e) balok B2



Gambar 2. 7 Penampang Balok B2

$$b_e \leq b_w + 2(h-t) = 400 + (750-130) = 1640 \text{ mm}$$

atau

$$b_e \leq b_w + 8t = 400 + 8(130) = 1440 \text{ mm}$$

Maka digunakan balok yang memiliki lebar efektif terkecil sehingga, $b_e = 1440$ mm.

- Inersia (I_b) balok B2

$$I_b = k \times \frac{bh^3}{12}$$

Dengan nilai k diperoleh melalui:

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{1440}{400} - 1\right) \left(\frac{130}{750}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{130}{750}\right) + 4 \left(\frac{130}{750}\right)^2 + \left(\frac{1440}{400} - 1\right) \left(\frac{130}{750}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{1440}{400} - 1\right) \left(\frac{130}{750}\right)}$$

$$k = 1,650$$

Maka, inersia balok B2 adalah:

$$I_b = 1,650 \times \frac{400 \times 750^3}{12} = 23,21 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

- Inersia (I_s) pelat lantai:

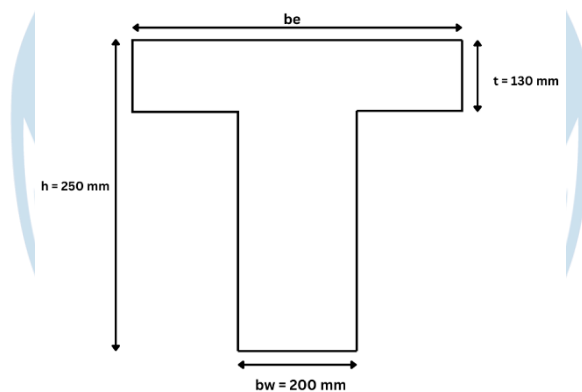
$$I_s = \frac{bh^3}{12} = \frac{3500 \times 130^3}{12} = 0,641 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

- Rasio kekakuan balok B2

$$af2 = \frac{Ec.I_b}{Ec.I_s} = \frac{25,743 \times 10^3 \cdot 23,21 \times 10^9}{25,743 \times 10^3 \cdot 0,641 \times 10^9} = 36,22$$

Balok B5 :

Analisa lebar efektif (b_e) balok B5



Gambar 2. 8 Penampang Balok B5

$$b_e \leq b_w + 2(h-t) = 200 + (250-130) = 440 \text{ mm}$$

atau

$$b_e \leq b_w + 8t = 200 + 8(130) = 1240 \text{ mm}$$

Maka digunakan balok yang memiliki lebar efektif terkecil sehingga, $b_e = 440 \text{ mm}$.

- Inersia (I_b) balok B5

$$I_b = k \times \frac{bh^3}{12}$$

Dengan nilai k diperoleh melalui:

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

$$k = \frac{1 + \left(\frac{440}{200} - 1\right) \left(\frac{130}{250}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{130}{250}\right) + 4 \left(\frac{130}{250}\right)^2 + \left(\frac{440}{200} - 1\right) \left(\frac{130}{250}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{440}{200} - 1\right) \left(\frac{130}{250}\right)}$$

$$k = 1,434$$

Maka, inersia balok B5 adalah:

$$I_b = 1,434 \times \frac{200 \times 250^3}{12} = 3,735 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

- Inersia (I_s) pelat lantai:

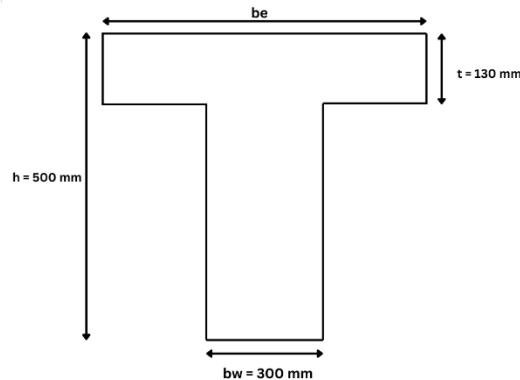
$$I_s = \frac{bh^3}{12} = \frac{2850 \times 120^3}{12} = 5,218 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

- Rasio kekakuan balok B5

$$af3 = \frac{Ec.I_b}{Ec.I_s} = \frac{25,743 \times 10^3 \cdot 3,735 \times 10^8}{25,743 \times 10^3 \cdot 5,218 \times 10^8} = 0,716$$

Balok B4 :

Analisa lebar efektif (b_e) balok B4



Gambar 2. 9 Penampang Balok B4

$$b_e \leq b_w + 2(h-t) = 300 + (500-130) = 1040 \text{ mm}$$

atau

$$b_e \leq b_w + 8t = 300 + 8(130) = 1340 \text{ mm}$$

Maka digunakan balok yang memiliki lebar efektif terkecil sehingga, $b_e = 1040$ mm.

- Inersia (I_b) balok B4

$$I_b = k \times \frac{bh^3}{12}$$

Dengan nilai k diperoleh melalui:

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

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

$$k = 1,685$$

Maka, inersia balok B4 adalah:

$$I_b = 1,685 \times \frac{300 \times 500^3}{12} = 5,266 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

- Inersia (I_s) pelat lantai:

$$I_s = \frac{bh^3}{12} = \frac{3500 \times 130^3}{12} = 0,641 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

- Rasio kekakuan balok B4

$$af4 = \frac{E_c I_b}{E_c I_s} = \frac{25,743 \times 10^3 \cdot 5,266 \times 10^9}{25,743 \times 10^3 \cdot 0,641 \times 10^9} = 8,219$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.3.1.2, untuk tebal pelat dengan balok yang membentang antara tumpuan pada semua sisinya, tebal minimum (h_{min}) harus memenuhi ketentuan seperti pada tabel 2.7 berikut:

Tabel 2. 7 Peraturan Tebal Minimum Pelat Dua Arah

α_{fm}	h minimum, mm		
$\alpha_{fm} \leq 0,2$	8.3.1.1 berlaku		(a)
$0,2 < \alpha_{fm} \leq 2,0$	Terbesar dari	$\frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$	(b)
		125	(c)

α_{fm}	h minimum, mm		
$\alpha_{fm} > 2,0$	Terbesar dari	$\frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$	(d)
		90	(e)

- Maka dari itu, terdapat parameter α_{fm} yakni:

$$\text{Balok B1} = \alpha_{f1} = 107,010$$

$$\text{Balok B2} = \alpha_{f2} = 36,220$$

$$\text{Balok B5} = \alpha_{f3} = 0,716$$

$$\text{Balok B4} = \alpha_{f4} = 8,219$$

Sehingga nilai α_{fm}

$$\alpha_{fm} = \frac{\alpha_{f1} + \alpha_{f2} + \alpha_{f3} + \alpha_{f4}}{4}$$

$$\alpha_{fm} = \frac{107,010 + 36,220 + 0,716 + 8,219}{4} = 38,041 > 2$$

- Perhitungan tebal pelat berdasarkan bentang bersih balok:

$$l_{n1} = 3500 - \frac{500}{2} - \frac{500}{2} = 3150 \text{ mm}$$

$$l_{n2} = 2850 - \frac{400}{2} - \frac{300}{2} = 2500 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{l_{n1}}{l_{n2}} = \frac{3150}{2500} = 1,260$$

Maka dapat diperoleh h_{min} sebagai berikut:

$$h_{min} = \frac{l_n \left(0,8 + \frac{f_y}{1400} \right)}{36 + 9\beta}$$

$$h_{min} = \frac{3150 \left(0,8 + \frac{280}{1400} \right)}{36 + 9(1,260)}$$

$h_{min} = 66,540 \text{ mm}$, karena pada pasal 8.3.1.2 tertera aturan bahwa bila $\alpha_{fm} > 2,0$ tidak boleh kurang dari 90 mm, maka digunakan $h_{min} = 90 \text{ mm}$. Dengan demikian, estimasi ketebalan pelat 130 mm dapat digunakan sebagai h pakai untuk pelat lantai.

b. Perhitungan Pembebanan Pelat

Beban Mati (Dead Load)

$$\text{Beban sendiri pelat} = 0,13 \times 24 \text{ kN/m}^2 = 3,12 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Pasir} = 0,04 \times 18 \text{ kN/m}^2 = 0,72 \text{ kN/m}^2$$

Spesi	$= 0,02 \times 21 \text{ kN/m}^2$	$= 0,42 \text{ kN/m}^2$
Plafond + penggantung	$= 0,18 \text{ kN/m}^2$	$= 0,18 \text{ kN/m}^2$
Plumbing	$= 0,25 \text{ kN/m}^2$	$= 0,25 \text{ kN/m}^2$
MEP	$= 0,2 \text{ kN/m}^2$	$= 0,2 \text{ kN/m}^2$
Sanitasi	$= 0,2 \text{ kN/m}^2$	$= 0,2 \text{ kN/m}^2$
Keramik	$= 0,01 \times 24 \text{ kN/m}^2$	$= 0,24 \text{ kN/m}^2$
Total DL (Q_{DL})		$= 5,33 \text{ kN/m}^2$
Total SIDL (Q_{SIDL})		$= 2,21 \text{ kN/m}^2$

Beban Hidup (*Live Load*)

Berdasarkan SNI 1727 : 2020 tabel 4.1, beban gedung asrama yaitu:

Kamar tidur	$= 1,44 \text{ kN/m}^2$
Kamar mandi	$= 1,44 \text{ kN/m}^2$
Koridor	$= 4,79 \text{ kN/m}^2$
Total LL (Q_{LL})	$= 7,67 \text{ kN/m}^2$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal; 6.5.1, analisis pelat satu arah nonprategang harus memenuhi ketentuan $Q_{LL} \leq 3 Q_{DL}$, maka perlu dilakukan pengecekan sebagai berikut :

$$Q_{LL} \leq 3 Q_{DL}$$

$$7,67 \text{ kN/m}^2 \leq 3 (5,33 \text{ kN/m}^2)$$

$$7,67 \text{ kN/m}^2 \leq 15,99 \text{ kN/m}^2$$

Hasil memenuhi persyaratan maka perhitungan dapat dilanjutkan.

Didapat beban terfaktor:

$$Q_{u1} = 1,4 Q_{DL}$$

$$= 1,4 (5,33)$$

$$= 7,462 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{u2} = 1,2 Q_{DL} + 1,6 Q_{LL}$$

$$= 1,2 (5,33) + 1,6 (7,67)$$

$$= 18,67 \text{ kN/m}^2$$

Maka digunakan beban terfaktor terbesar yakni $Q_u = W_u = 18,67 \text{ kN/m}^2$

c. Perhitungan Momen Pelat Dua Arah

Berdasarkan SNI 8900:2020 pasal 7.9.2d terdapat tabel untuk panel tepi dengan l_a sejajar tepi pelat dua arah yang ditumpu girder, balok, atau dinding beton bertulang seperti pada tabel 2.8 dibawah ini:

Tabel 2. 8 Perhitungan Momen Pelat Dua Arah

$\beta = l_b / l_a$	Arah pendek, l_a			Arah panjang, l_b		
Rasio bentang panel	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban	Momen negatif	Momen positif	Fraksi beban
1,0	$M_{a-} = \frac{q_u l_a^2}{16}$	$M_{a+} = \frac{q_u l_a^2}{35}$	$\alpha_a = 0,67$	$M_{b-} = \frac{q_u l_b^2}{22}$	$M_{b+} = \frac{q_u l_b^2}{42}$	$\alpha_b = 0,33$
1,1	$M_{a-} = \frac{q_u l_a^2}{15}$	$M_{a+} = \frac{q_u l_a^2}{31}$	$\alpha_a = 0,74$	$M_{b-} = \frac{q_u l_b^2}{25}$	$M_{b+} = \frac{q_u l_b^2}{50}$	$\alpha_b = 0,26$
1,2	$M_{a-} = \frac{q_u l_a^2}{14}$	$M_{a+} = \frac{q_u l_a^2}{28}$	$\alpha_a = 0,80$	$M_{b-} = \frac{q_u l_b^2}{35}$	$M_{b+} = \frac{q_u l_b^2}{60}$	$\alpha_b = 0,20$
1,3	$M_{a-} = \frac{q_u l_a^2}{13}$	$M_{a+} = \frac{q_u l_a^2}{25}$	$\alpha_a = 0,85$	$M_{b-} = \frac{q_u l_b^2}{40}$	$M_{b+} = \frac{q_u l_b^2}{75}$	$\alpha_b = 0,15$
1,4	$M_{a-} = \frac{q_u l_a^2}{13}$	$M_{a+} = \frac{q_u l_a^2}{23}$	$\alpha_a = 0,88$	$M_{b-} = \frac{q_u l_b^2}{50}$	$M_{b+} = \frac{q_u l_b^2}{100}$	$\alpha_b = 0,12$
1,5	$M_{a-} = \frac{q_u l_a^2}{12}$	$M_{a+} = \frac{q_u l_a^2}{22}$	$\alpha_a = 0,91$	$M_{b-} = \frac{q_u l_b^2}{65}$	$M_{b+} = \frac{q_u l_b^2}{120}$	$\alpha_b = 0,09$
1,6	$M_{a-} = \frac{q_u l_a^2}{12}$	$M_{a+} = \frac{q_u l_a^2}{21}$	$\alpha_a = 0,93$	$M_{b-} = \frac{q_u l_b^2}{85}$	$M_{b+} = \frac{q_u l_b^2}{145}$	$\alpha_b = 0,07$
1,7	$M_{a-} = \frac{q_u l_a^2}{12}$	$M_{a+} = \frac{q_u l_a^2}{20}$	$\alpha_a = 0,94$	$M_{b-} = \frac{q_u l_b^2}{110}$	$M_{b+} = \frac{q_u l_b^2}{180}$	$\alpha_b = 0,06$
1,8	$M_{a-} = \frac{q_u l_a^2}{12}$	$M_{a+} = \frac{q_u l_a^2}{20}$	$\alpha_a = 0,95$	$M_{b-} = \frac{q_u l_b^2}{135}$	$M_{b+} = \frac{q_u l_b^2}{225}$	$\alpha_b = 0,05$
1,9	$M_{a-} = \frac{q_u l_a^2}{12}$	$M_{a+} = \frac{q_u l_a^2}{19}$	$\alpha_a = 0,96$	$M_{b-} = \frac{q_u l_b^2}{160}$	$M_{b+} = \frac{q_u l_b^2}{275}$	$\alpha_b = 0,04$
2,0	$M_{a-} = \frac{q_u l_a^2}{11}$	$M_{a+} = \frac{q_u l_a^2}{18}$	$\alpha_a = 0,97$	$M_{b-} = \frac{q_u l_b^2}{170}$	$M_{b+} = \frac{q_u l_b^2}{340}$	$\alpha_b = 0,03$
> 2,0	$M_{a-} = \frac{q_u l_a^2}{10}$	$M_{a+} = \frac{q_u l_a^2}{16}$	$\alpha_a = 1,00$	Tulangan susut dan temperatur		$\alpha_b = 0,00$

Sesuai dengan perhitungan sebelumnya, pelat yang ditinjau memiliki $l_x = l_a = 2850$ mm dan $l_y = l_b = 3500$ mm. Maka $l_y / l_x = 1,2$ sehingga digunakan standar sesuai tanda pada tabel 1.4.

- Perhitungan momen arah pendek (l_a)

$$M_{tx} = \frac{q_u l_x^2}{14} = \frac{18,67 \times 2,85^2}{14} = 10,8308 \text{ kNm} = 10.830.772,57 \text{ Nmm}$$

$$M_{lx} = \frac{q_u l_x^2}{24} = \frac{18,67 \times 2,85^2}{24} = 6,3186 \text{ kNm} = 6.318.628,125 \text{ Nmm}$$

- Perhitungan momen arah panjang (l_b)

$$M_{ty} = \frac{q_u l_y^2}{30} = \frac{18,67 \times 3,5^2}{30} = 7,6236 \text{ kNm} = 7.623.583.333 \text{ Nmm}$$

$$M_{ly} = \frac{q_u l_y^2}{60} = \frac{18,67 \times 3,5^2}{60} = 3,8118 \text{ kNm} = 3.811.791.667 \text{ Nmm}$$

d. Menghitung Gaya Geser

$$V_u = \frac{1,15 \times W_u \times l_n}{2} = \frac{1,15 \times 18,67 \times 3,5}{2} = 37,57375 \text{ kN} = 37.573,375 \text{ N}$$

d_x = tebal pelat – selimut beton – d.tul utama/2

$$= 130 - 20 - 10/2$$

$$= 105 \text{ mm}$$

Tulangan pada bentang panjang (l_y) terletak di dalam, maka

d_y = tebal pelat – selimut beton – d.tul utama – d.tul sengkang/2

$$= 130 - 20 - 13 - 10/2$$

$$= 92 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,75 \times 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d_x \\ &= 0,75 \times 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 1000 \times 105 \\ &= 73.326,36 \text{ N} \end{aligned}$$

Nilai $\phi = 0,75$ didasarkan dari SNI 2847:2019 tabel 21.2.1

Syarat :

$$\phi V_c > V_u$$

$$73.326,36 \text{ N} > 37.573,375 \text{ N} \text{ (Memenuhi Syarat)}$$

Tidak diperlukan penulangan geser karena penampang beton dapat mengakomodasi gaya geser yang terjadi.

e. Tulangan Pelat

- 1) Momen tumpuan arah pendek (M_{tx})

$$M_{tx} = 10.830.772,57 \text{ Nmm}$$

$$d_x = 105 \text{ mm}$$

Faktor Momen Pikul:

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

$$R_n = \frac{10.830.772,57}{0,9 \cdot 1000 \cdot 105^2}$$

$$R_n = 1,092 \text{ MPa}$$

Tinggi blok tegangan tekan (a):

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

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.1,092}{0,85.30}}\right).105$$

$$a = 4,38 \text{ mm}$$

Sehingga dapat dihitung luasan tulangan perlu sebagai berikut :

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{0,85.f_c.a.b}{f_{ys}}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{0,85. 30. 4,38. 1000}{280}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 398,56 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 tabel 7.6.1.1, $A_{s \text{ min}}$ untuk pelat dua arah nonprategang sebagai berikut:

Tipe Tulangan	f_y , MPa	$A_{s \text{ min}}$	
Batang ulir	< 420	$0,0020 A_g$	
Batang ulir atau kawat las	≥ 420	Terbesar dari	$\frac{0,0018 \times 420}{f_y} A_g$
			$0,0014 A_g$

Dikarenakan f_y yang digunakan sebesar 280 MPa, maka berlaku hukum yang pertama dimana :

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

Didapat bahwa $A_{s \text{ perlu}} > A_{s \text{ min}}$, maka digunakan $A_s = 398,56 \text{ mm}^2$.

Ditetapkan D10 untuk tulangan lentur, maka spasi maksimum :

$$s = \frac{1}{4} \times \frac{\pi. D^2 .b}{A_s} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi. 10^2 .1000}{398,56} = 197,14 \text{ mm}$$

Cek spasi Minimum berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.2

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

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

$$S_{\text{min}} = 4/3. d_{\text{agg}} = 4/3. 40 = 53,33 \text{ mm}$$

Digunakan nilai S_{min} terbesar yakni 53,33 mm

Cek spasi maksimum berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.7.2.2

$$s_{\text{maks}} = 2h = 2(130) = 260 \text{ mm}$$

$$s_{maks} = 450 \text{ mm}$$

Digunakan D10-150

Cek momen nominal pelat

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{s} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} = 523,81 \text{ mm}^2$$

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

$$a = \frac{523,81 \cdot 280}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000}$$

$$a = 5,75 \text{ mm}$$

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

$$c = \frac{5,75}{0,85}; c = 7 \text{ mm}$$

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

$$\varepsilon_t = \frac{105-7}{7} 0,003; \varepsilon_t = 0,042$$

Sesuai ketentuan SNI 2847 : 2019 tabel 21.2.2 mengenai faktor reduksi kekuatan, nilai $\varepsilon_t > 0,005$ maka digunakan $\phi = 0,9$.

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

$$M_n = 523,81 \cdot 280 \left(105 - \frac{5,75}{2} \right)$$

$$M_n = 14.978.213,51 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 14.978.213,51$$

$$\phi M_n = 13.480.392,16 \text{ Nmm} > M_u.$$

Maka, tulangan D10-150 yang dirancang aman karena telah memenuhi syarat.

2) Momen lapangan arah pendek (M_{lx})

$$M_{lx} = 6.317.951,25 \text{ Nmm}$$

$$d_x = 105 \text{ mm}$$

Faktor Momen Pikul:

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

$$R_n = \frac{6.317.951,25}{0,9 \cdot 1000 \cdot 105^2}$$

$$R_n = 0,637 \text{ MPa}$$

Tinggi blok tegangan tekan (a):

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

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.0,637}{0,85.30}} \right).105$$

$$a = 2,66 \text{ mm}$$

Sehingga dapat dihitung luasan tulangan perlu sebagai berikut :

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{0,85.f_c.a.b}{f_{ys}}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{0,85. 30. 2,66. 1000}{280}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 241,83 \text{ mm}^2$$

Dikarenakan f_y yang digunakan sebesar 280 MPa, maka berlaku hukum yang pertama dimana :

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

Didapat bahwa $A_{s \text{ perlu}} > A_{s \text{ min}}$, maka digunakan $A_s = 260 \text{ mm}^2$.

Ditetapkan D10 untuk tulangan lentur, maka spasi maksimum :

$$s = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{260} = 302,20 \text{ mm}$$

Cek spasi Minimum berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.2

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

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

$$S_{\text{min}} = 4/3 \cdot d_{\text{agg}} = 4/3 \cdot 40 = 53,33 \text{ mm}$$

Digunakan nilai S_{min} terbesar yakni 53,33 mm

Cek spasi maksimum berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.7.2.2

$$S_{\text{maks}} = 2h = 2(130) = 260 \text{ mm}$$

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

Digunakan D10-150

Cek momen nominal pelat

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{s} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} = 523,81 \text{ mm}^2$$

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

$$a = \frac{523,81 \cdot 280}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000}$$

$$a = 5,75 \text{ mm}$$

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

$$c = \frac{5,75}{0,85}; c = 7 \text{ mm}$$

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

$$\varepsilon_t = \frac{105-7}{7} 0,003; \varepsilon_t = 0,042$$

Sesuai ketentuan SNI 2847 : 2019 tabel 21.2.2 mengenai faktor reduksi kekuatan, nilai $\varepsilon_t > 0,005$ maka digunakan $\phi = 0,9$.

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

$$M_n = 523,81.280 \left(105 - \frac{5,75}{2} \right)$$

$$M_n = 14.978.213,51 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 14.978.213,51$$

$$\phi M_n = 13.480.392,16 \text{ Nmm} > M_u.$$

Maka, tulangan D10-150 yang dirancang aman karena telah memenuhi syarat.

3) Momen tumpuan arah panjang (M_{ty})

$$M_{ty} = 7.622.766,667 \text{ Nmm}$$

$$d_y = 92 \text{ mm}$$

Faktor Momen Pikul:

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

$$R_n = \frac{7.622.766,667}{0,9 \cdot 1000 \cdot 92^2}$$

$$R_n = 1,001 \text{ MPa}$$

Tinggi blok tegangan tekan (a):

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

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,001}{0,85 \cdot 30}} \right) \cdot 92$$

$$a = 3,68 \text{ mm}$$

Sehingga dapat dihitung luasan tulangan perlu sebagai berikut :

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b}{f_{ys}}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 3,68 \cdot 1000}{280}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 335,51 \text{ mm}^2$$

Dikarenakan f_y yang digunakan sebesar 280 MPa, maka berlaku hukum yang pertama dimana :

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

Didapat bahwa $A_{s \text{ perlu}} > A_{s \text{ min}}$, maka digunakan $A_s = 358,65 \text{ mm}^2$.

Ditetapkan D10 untuk tulangan lentur, maka spasi maksimum :

$$s = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{335,51} = 234,09 \text{ mm}$$

Cek spasi Minimum berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.2

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

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

$$S_{\text{min}} = 4/3 \cdot d_{\text{agg}} = 4/3 \cdot 40 = 53,33 \text{ mm}$$

Digunakan nilai S_{min} terbesar yakni 53,33 mm

Cek spasi maksimum berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.7.2.2

$$S_{\text{maks}} = 2h = 2(130) = 260 \text{ mm}$$

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

Digunakan D10-150

Cek momen nominal pelat

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{s} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} = 523,81 \text{ mm}^2$$

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

$$a = \frac{523,81 \cdot 280}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000}$$

$$a = 5,75 \text{ mm}$$

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

$$c = \frac{5,75}{0,85}; c = 7 \text{ mm}$$

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

$$\varepsilon_t = \frac{92-7}{7} 0,003; \varepsilon_t = 0,036$$

Sesuai ketentuan SNI 2847 : 2019 tabel 21.2.2 mengenai faktor reduksi kekuatan, nilai $\varepsilon_t > 0,005$ maka digunakan $\phi = 0,9$.

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

$$M_n = 523,81.280 \left(92 - \frac{5,75}{2} \right)$$

$$M_n = 13.066.457,30 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 13.066.457,30$$

$$\phi M_n = 11.759.811,57 \text{ Nmm} > M_u.$$

Maka, tulangan D10-150 yang dirancang aman karena telah memenuhi syarat.

4) Momen lapangan arah panjang (M_{ly})

$$M_{ly} = 3.811.383,33 \text{ Nmm}$$

$$d_y = 92 \text{ mm}$$

Faktor Momen Pikul:

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

$$R_n = \frac{3.811.383,33}{0,9 \cdot 1000 \cdot 92^2}$$

$$R_n = 0,5 \text{ MPa}$$

Tinggi blok tegangan tekan (a):

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

$$a = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,5}{0,85 \cdot 30}} \right) \cdot 92$$

$$a = 1,82 \text{ mm}$$

Sehingga dapat dihitung luasan tulangan perlu sebagai berikut :

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{0,85 \cdot f_c \cdot a \cdot b}{f_{ys}}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 1,82 \cdot 1000}{280}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = 166,04 \text{ mm}^2$$

Dikarenakan f_y yang digunakan sebesar 280 MPa, maka berlaku hukum yang pertama dimana :

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

Didapat bahwa $A_{s \text{ perlu}} > A_{s \text{ min}}$, maka digunakan $A_s = 260 \text{ mm}^2$.

Ditetapkan D10 untuk tulangan lentur, maka spasi maksimum :

$$s = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{260} = 302,20 \text{ mm}$$

Cek spasi Minimum berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.2

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

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

$$S_{\min} = 4/3 \cdot d_{\text{agg}} = 4/3 \cdot 40 = 53,33 \text{ mm}$$

Digunakan nilai $S_{\min}$ terbesar yakni 53,33 mm

Cek spasi maksimum berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.7.2.2

$$S_{\text{maks}} = 2h = 2(130) = 260 \text{ mm}$$

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

Digunakan D10-150

Cek momen nominal pelat

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{s} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{150} = 523,81 \text{ mm}^2$$

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

$$a = \frac{523,81 \cdot 280}{0,85 \cdot 30 \cdot 1000}$$

$$a = 5,75 \text{ mm}$$

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

$$c = \frac{5,75}{0,85}; c = 7 \text{ mm}$$

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

$$\varepsilon_t = \frac{95-7}{7} 0,003; \varepsilon_t = 0,038$$

Sesuai ketentuan SNI 2847 : 2019 tabel 21.2.2 mengenai faktor reduksi kekuatan, nilai $\varepsilon_t > 0,005$ maka digunakan $\phi = 0,9$.

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

$$M_n = 523,81 \cdot 280 \left(95 - \frac{5,75}{2} \right)$$

$$M_n = 13.066.457,30 \text{ Nmm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 13.066.457,30$$

$$\phi M_n = 12.160.392,16 \text{ Nmm} > M_u.$$

Maka, tulangan D10-150 yang dirancang aman karena telah memenuhi syarat.

f. Tulangan Susut

$$A_{s \text{ perlu}} = A_{s \text{ min}} = 0,0020 A_g = 240 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} = \frac{1}{4} \times \frac{\pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{240} = 327,5 \text{ mm}$$

Cek spasi maksimum berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 7.7.2.4

$$s_{\text{maks}} = 3h = 3(120) = 360 \text{ mm}$$

$$s_{\text{maks}} = 450 \text{ mm}$$

Digunakan D10-300.

Adapun perhitungan dilakukan pada setiap bentang pelat yang berbeda hingga didapat penulangan pada tiap pelat seperti pada tabel 2.9 berikut.



Tabel 2. 9 Rekapitulasi Penulangan Pelat Dua Arah

Keterangan	Ly	Lx	Ly / Lx	Arah Pelat	Momen		Gaya Geser		Tulangan Utama		Tulangan Susut
P1	3500	2850	1,23	Dua Arah	M _{tx}	10.830.773,57 kNm	Vu	37.569,25 N	Tumpuan x	D10 – 150	D10 - 300
					M _{ty}	7.622.766,67 kNm	φVc	73.326,36 N	Tumpuan y	D10 – 150	
					M _{lx}	6.317.951,25 kNm	dx	105 mm	Lapangan x	D10 – 150	
					M _{ly}	3.811.383,33 kNm	dy	92 mm	Lapangan y	D10 – 150	
P2	3500	2850	1,23	Dua Arah	M _{tx}	10.830.773,57 kNm	Vu	37.569,25 N	Tumpuan x	D10 – 150	D10 - 300
					M _{ty}	7.622.766,67 kNm	φVc	73.326,36 N	Tumpuan y	D10 – 150	
					M _{lx}	6.317.951,25 kNm	dx	105 mm	Lapangan x	D10 – 150	
					M _{ly}	3.811.383,33 kNm	dy	92 mm	Lapangan y	D10 – 150	
P3	1500	1400	1,07	Dua Arah	M _{tx}	2.612.520,00 kNm	Vu	16.101,15 N	Tumpuan x	D10 – 150	D10 - 300
					M _{ty}	1.400.100,00 kNm	φVc	73.326,36 N	Tumpuan y	D10 – 150	
					M _{lx}	1.524.553,33 kNm	dx	105 mm	Lapangan x	D10 – 150	
					M _{ly}	700.050,00 kNm	dy	92 mm	Lapangan y	D10 – 150	
P4	1500	1500	1,00	Dua Arah	M _{tx}	3.000.214,29 kNm	Vu	16.101,15 N	Tumpuan x	D10 – 150	D10 - 300
					M _{ty}	1.400.100,00 kNm	φVc	73.326,36 N	Tumpuan y	D10 – 150	
					M _{lx}	1.750.125,00 kNm	dx	105 mm	Lapangan x	D10 – 150	
					M _{ly}	700.050,00 kNm	dy	92 mm	Lapangan y	D10 – 150	
P5	2000	1500	1,33	Dua Arah	M _{tx}	2.259.642,86 kNm	Vu	16.101,15 N	Tumpuan x	D10 – 150	D10 - 300
					M _{ty}	1.874.666,67 kNm	φVc	73.326,36 N	Tumpuan y	D10 – 150	
					M _{lx}	1.318.125,00 kNm	dx	105 mm	Lapangan x	D10 – 150	
					M _{ly}	937.333,33 kNm	dy	92 mm	Lapangan y	D10 – 150	
P7	1500	1050	1,43	Dua Arah	M _{tx}	1.470.105,00 kNm	Vu	16.101,15 N	Tumpuan x	D10 – 150	D10 - 300
					M _{ty}	1.400.100,00 kNm	φVc	73.326,36 N	Tumpuan y	D10 – 150	

Keterangan	Ly	Lx	Ly / Lx	Arah Pelat	Momen		Gaya Geser		Tulangan Utama		Tulangan Susut
					M _{lx}	857.561,25 kNm	dx	105 mm	Lapangan x	D10 – 150	
					M _{ly}	700.050,00 kNm	dy	92 mm	Lapangan y	D10 – 150	
P9	1500	1050	1,43	Dua Arah	M _{tx}	1.470.105,00 kNm	Vu	16.101,15 N	Tumpuan x	D10 – 150	D10 - 300
					M _{ty}	1.400.100,00 kNm	φVc	73.326,36 N	Tumpuan y	D10 – 150	
					M _{lx}	857.561,25 kNm	dx	105 mm	Lapangan x	D10 – 150	
					M _{ly}	700.050,00 kNm	dy	92 mm	Lapangan y	D10 – 150	
P11	2850	2100	1,36	Dua Arah	M _{tx}	5.880.420,00 kNm	Vu	30.592,19 N	Tumpuan x	D10 – 150	D10 - 300
					M _{ty}	5.054.361,00 kNm	φVc	73.326,36 N	Tumpuan y	D10 – 150	
					M _{lx}	3.430.245,00 kNm	dx	105 mm	Lapangan x	D10 – 150	
					M _{ly}	2.527.180,50 kNm	dy	92 mm	Lapangan y	D10 – 150	
P12	2100	1500	1,40	Dua Arah	M _{tx}	3.000.214,29 kNm	Vu	22.541,61 N	Tumpuan x	D10 – 150	D10 - 300
					M _{ty}	2.744.196,00 kNm	φVc	73.326,36 N	Tumpuan y	D10 – 150	
					M _{lx}	1.750.125,00 kNm	dx	105 mm	Lapangan x	D10 – 150	
					M _{ly}	1.372.098,00 kNm	dy	92 mm	Lapangan y	D10 – 150	

2.7 Perhitungan Beban Gempa

Beban gempa merupakan salah satu beban dinamis yang harus diperhitungkan dalam perencanaan struktur bangunan, terutama di wilayah dengan tingkat kegempaan tinggi seperti Yogyakarta. Beban ini timbul akibat getaran tanah yang menyebabkan gaya inersia pada massa bangunan, sehingga struktur harus mampu menahan dan meredam gaya tersebut tanpa mengalami keruntuhan. Perencanaan terhadap beban gempa bertujuan untuk menjamin keamanan dan kestabilan bangunan selama terjadi gempa, dengan mempertimbangkan perilaku dinamis struktur, kekakuan elemen-elemen penahan gaya lateral, serta kapasitas daktilitasnya. Oleh karena itu, analisis beban gempa menjadi bagian penting dalam perancangan struktur bangunan tahan gempa agar mampu melindungi jiwa manusia dan meminimalkan kerusakan material.

2.7.1 Penentuan Sistem Struktur

1. Menentukan Kategori Risiko

Kategori risiko bangunan merupakan pengelompokan tingkat pentingnya suatu struktur terhadap dampak yang mungkin ditimbulkan akibat kerusakan atau kegagalannya, terutama saat terjadi gempa bumi atau bencana lainnya. Penentuan kategori risiko bertujuan untuk menentukan tingkat ketahanan yang harus dimiliki bangunan, di mana semakin besar potensi dampak terhadap keselamatan manusia atau fungsi vital masyarakat, maka semakin tinggi pula kategori risikonya. Bangunan dengan fungsi umum seperti rumah tinggal termasuk dalam kategori risiko rendah, sedangkan fasilitas publik, gedung bertingkat, rumah sakit, dan infrastruktur penting seperti jembatan atau pusat komunikasi termasuk dalam kategori risiko tinggi. Dengan demikian, klasifikasi kategori risiko menjadi dasar penting dalam penentuan faktor keutamaan gempa dan tingkat perlindungan yang harus diterapkan pada desain struktur.

Tabel 2. 10 Kategori Risiko Gempa

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan	I

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
- Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk kategori risiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/rumah susun - Pusat perbelanjaan/mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik	II
Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara Gedung dan nongedung, tidak termasuk dalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan masal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas genangan air - Fasilitas penanangan limbah - Pusat telekomunikasi Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV (termasuk, tetapi tidak terbatas pada fasilitas manufaktur, proses,	III

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
penanganan, penyimpanan, penggunaan, atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak, di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disarankan oleh instansi berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.	
Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk: - Bangunan-bangunan monumental - Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan - Rumah ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi keadaan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi, dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.	IV

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 3 mengenai kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa, kategori risiko pada bangunan gedung asrama termasuk dalam kategori risiko II. Hal tersebut ditinjau dari fungsi bangunan yaitu gedung apartemen atau rumah susun.

2. Menentukan Faktor Keutamaan Gempa

Tabel 2. 11 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
III	1,25
IV	1,50

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 4 mengenai faktor keutamaan gempa dan kategori risiko II pada bangunan asrama, diperoleh faktor keutamaan gempa dan bangunan yaitu 1,0.

3. Menentukan Klasifikasi Situs

Tabel 2. 12 Klasifikasi Situs

Kelas situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat, dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 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, $S_u < 25$ 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 dari 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 $H > 3$m) - Lempung berplastisitas sangat tinggi dengan ketebalan $H > 7,5$ m dan $PI > 75$ - Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $S_u < 50$ kPa		

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah dan perhitungan kelas situs, diperoleh data yang selanjutnya dibandingkan dengan SNI 1726:2019 tabel 5 mengenai klasifikasi situs. Dari analisis yang dilakukan, kondisi tanah pada bangunan gedung asrama termasuk dalam klasifikasi kelas situs SD atau tanah sedang.

4. Menentukan Parameter Respons Spektrum

Parameter respons spektrum diperoleh melalui website “Desain Spektra Indonesia” dalam laman <http://rsa.ciptakarya.pu.go.id/2021/>. Berikut nilai-nilai parameter yang didapatkan untuk wilayah Kota Yogyakarta.

- a. S_s : 1,1070 g
- b. S_1 : 0,5070 g
- c. F_a : 1,0572 → Tabel 6 SNI 1726:2019 hal 34
- d. F_v : 1,7930 → Tabel 7 SNI 1726:2019 hal 34-35
- e. S_{MS} : $F_a \cdot S_s$: 1,1703 g → pers (7) SNI 1726:2019
- f. S_{M1} : $F_v \cdot S_1$: 0,9091 g → pers (8) SNI 1726:2019
- g. S_{DS} : $\frac{2}{3} S_{MS}$: 0,7802 g → pers (9) SNI 1726:2019
- h. S_{D1} : $\frac{2}{3} S_{M1}$: 0,6060 g → pers (10) SNI 1726:2019
- i. T_0 : $0,2 S_{D1} / S_{DS}$: 0,1554 detik → ps 6.4 SNI 1726:2019
- j. T_s : S_{D1} / S_{DS} : 0,7768 detik

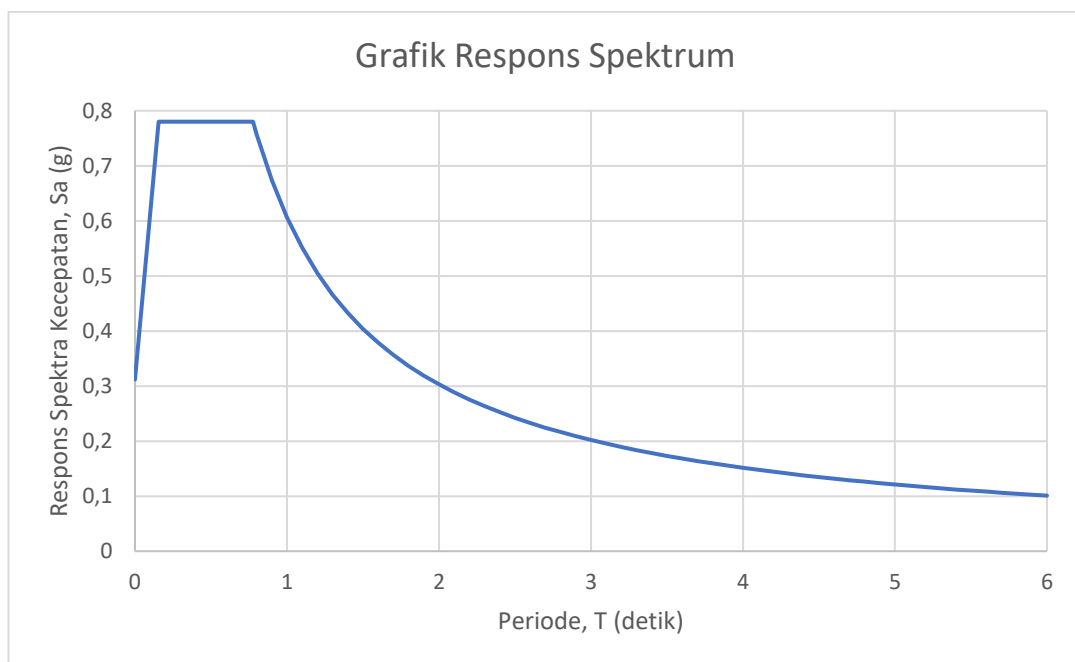
5. Mendesain Respon Spektra

Berdasarkan letak bangunan gedung asrama di kota Yogyakarta dengan jenis tanah sedang, maka diperoleh data spektrum sebagai berikut:

Tabel 2. 13 Desain Respons Spektrum

No	T (detik)	SA (g)
1	0,000	0,312
2	0,155	0,780
3	0,777	0,780
4	0,800	0,758
5	0,900	0,673
6	1,000	0,606
7	1,500	0,404
8	2,000	0,303
9	2,500	0,242

No	T (detik)	SA (g)
10	3,000	0,202
11	3,500	0,173
12	4,000	0,152
13	4,500	0,135
14	5,000	0,121
15	5,500	0,110
16	6,000	0,101



Gambar 2. 10 Respons Spektrum

6. Menghitung Periode Fundamental Gedung (T)

Tabel 2. 14 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100% gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9

Tipe Struktur	C_t	x
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 SNI 1726:2019 tabel 18 mengenai nilai parameter periode pendekatan C_t dan x , struktur gedung asrama dalam perancangan ini merupakan rangka beton pemikul momen dimana diperoleh nilai $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$. Maka, dapat dilakukan perhitungan nilai parameter periode sebagai berikut.

$$T_a = C_t \cdot h_n \cdot x = 0,0466 \cdot (37,4)^{0,9} = 1,213 \text{ s}$$

Dengan nilai $h_n = 37,4$ meter.

$$\begin{aligned} T_{\text{maks}} &= C_u \cdot T_a \\ &= 1,4 \cdot 1,213 \\ &= 1,6982 \text{ s} \end{aligned}$$

7. Menghitung Periode Fundamental Gedung (T)

Tabel 2. 15 Kategori Desain Seismik

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

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	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

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 8 mengenai kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek dan tabel 9 mengenai kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan

pada periode 1 detik, data $S_{DS} = 0,7802$ g dan $S_{D1} = 0,6060$ g pada kategori risiko II, didapat bahwa bangunan termasuk dalam kategori D.

8. Menentukan Koefisien Modifikasi Respons (R)

Tabel 2. 16 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik

No.	Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
					Kategori Desain Seismik				
					B	C	D	E	F
C. SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN									
1.	Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
2.	Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	48	30	TB
3.	Rangka baja pemikul momen menengah	4,5	3	4	TB	TB	10	TI	TI
4.	Rangka baja pemikul momen biasa	3,5	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5.	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
6.	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	$4\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI
7.	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	$2\frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI
8.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	$5\frac{1}{2}$	TB	TB	TB	TB	TB
9.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	$4\frac{1}{2}$	TB	TB	TI	TI	TI
10.	Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	$5\frac{1}{2}$	48	48	30	TI	TI
11.	Rangka baja dan beton	2	3	$2\frac{1}{2}$	TB	TI	TI	TI	TI

No.	Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
					Kategori Desain Seismik				
					B	C	D	E	F
	komposit pemikul momen biasa								
12.	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus dengan pembautan	$3\frac{1}{2}$	3°	$3\frac{1}{2}$	10	10	10	10	10

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 2.10 mengenai faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik sebagai rangka beton bertulang pemikul momen khusus, didapat nilai $R = 8$, $C_d = 5,5$, dan $\Omega_0 = 3$.

2.8 Perencanaan Pembebanan Struktur

Berikut merupakan data-data perancangan yang digunakan pada perencanaan gedung asrama.

Tebal pelat lantai : 130 mm

Bangunan Utama

Balok induk : 500x800 mm, 400x750 mm

Balok anak : 300x600 mm, 300x500 mm, 200x250mm, 150x250mm

Balok lift : 300x500 mm

Kolom : 900x900 mm, 800x800 mm, 700x700 mm

Kolom lift : 500x500 mm

Tinggi lantai 1 : 4,5 meter

Tinggi lantai 2 – 8 : 4,2 meter

Tinggi lantai atap : 3,5 meter

Mutu beton f'_c : 30 MPa

Mutu baja f_y : 420 MPa

Mutu baja f_{ys} : 280 MPa

Parameter respons spektrum :

T_0 = 0,1554 detik

T_s = 0,7768 detik

$$S_{DS} = 0,7802 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 0,6060 \text{ g}$$

$$S_s = 1,1070 \text{ g}$$

$$S_1 = 0,5070 \text{ g}$$

Kategori risiko gedung : D

Faktor keutamaan gempa (I_e) : 1,0

Periode fundamental gedung (T) : 1,355 s

Berdasarkan penggunaan Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus

Koefisien modifikasi respons (R) :

$$R = 8$$

$$C_d = 5,5$$

$$\Omega_0 = 3$$

1. Koefisien Respons Seismik (C_s)

Untuk $T \leq T_s$, nilai C_s :

$$C_s = \frac{S_{ds}}{(R/I_e)} = \frac{0,7802}{(8/1)} = 0,0975$$

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

$$C_s = \frac{S_{d1}}{T \cdot (R/I_e)} = \frac{0,6060}{1,213 \cdot (8/1)} = 0,0624$$

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

$$C_s = \frac{S_{d1} \cdot T_L}{T^2 \cdot (R/I_e)} = \frac{0,6060 \cdot 20}{(1,213)^2 \cdot (8/1)} = 1,0296$$

Nilai C_s tidak boleh kurang dari:

$$\begin{aligned} C_{s \text{ min}} &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \\ &= 0,044 \times 0,7802 \times 1 \\ &= 0,0343 \geq 0,010 \text{ (OK!)} \end{aligned}$$

Nilai C_s yang digunakan adalah 0,0624

2. Berat Seismik Efektif Bangunan

a. Berat Satuan Pelat Atap ($t = 130 \text{ mm}$)

Berat sendiri	$= 0,13 \times 24$	$= 3,12 \text{ kN/m}^2$
Genangan air	$= 0,1 \times 10$	$= 1 \text{ kN/m}^2$
Plafond + penggantung	$= 0,18$	$= 0,18 \text{ kN/m}^2$
Plumbing	$= 0,25$	$= 0,25 \text{ kN/m}^2$
Water proofing	$= 1,2$	$= 1,2 \text{ kN/m}^2$

MEP	= 0,2	= 0,2 kN/m ²
-----	-------	-------------------------

Total DL		= 5,95 kN/m ²
----------	--	--------------------------

Total SIDL		= 2,83 kN/m ²
------------	--	--------------------------

b. Berat Satuan Pelat Lantai (t = 130 mm)

Berat sendiri	= 0,13 x 24	= 3,12 kN/m ²
---------------	-------------	--------------------------

Spesi 2 cm	= 2 x 0,21	= 0,42 kN/m ²
------------	------------	--------------------------

Keramik 1 cm	= 1 x 0,24	= 0,24 kN/m ²
--------------	------------	--------------------------

Mortar 4 cm	= 4 x 0,18	= 0,72 kN/m ²
-------------	------------	--------------------------

<i>Plafond</i> + penggantung	= 0,18	= 0,18 kN/m ²
------------------------------	--------	--------------------------

<i>Plumbing</i>	= 0,25	= 0,25 kN/m ²
-----------------	--------	--------------------------

<i>Water proofing</i>	= 1,2	= 1,2 kN/m ²
-----------------------	-------	-------------------------

MEP	= 0,2	= 0,2 kN/m ²
-----	-------	-------------------------

Sanitasi	= 0,2	= 0,2 kN/m ²
----------	-------	-------------------------

Total DL		= 5,33 kN/m ²
----------	--	--------------------------

Total SIDL		= 2,21 kN/m ²
------------	--	--------------------------

c. Berat Satuan Balok dan Kolom

Balok Induk 1

500 x 800	= 0,5 x (0,8 – 0,13) x 24	= 8,04 kN/m
-----------	---------------------------	-------------

Balok Induk 2

400 x 750	= 0,4 x (0,75 – 0,13) x 24	= 5,952 kN/m
-----------	----------------------------	--------------

Balok Anak 3

300 x 500	= 0,3 x (0,5 – 0,13) x 24	= 2,664 kN/m
-----------	---------------------------	--------------

Balok Anak 4

200 x 250	= 0,2 x (0,25 – 0,13) x 24	= 0,576 kN/m
-----------	----------------------------	--------------

Balok Anak 5

150 x 250	= 0,15 x (0,25 – 0,13) x 24	= 0,432 kN/m
-----------	-----------------------------	--------------

Balok Lift

300 x 500	= 0,3 x (0,5 – 0,13) x 24	= 2,664 kN/m
-----------	---------------------------	--------------

Kolom 1

900 x 900	= 0,9 x 0,9 x 24	= 19,44 kN/m
-----------	------------------	--------------

Kolom 2

800 x 800	= 0,8 x 0,8 x 24	= 15,36 kN/m
-----------	------------------	--------------

Kolom 3

$$700 \times 700 = 0,7 \times 0,7 \times 24 = 11,76 \text{ kN/m}$$

Kolom Lift

$$500 \times 500 = 0,5 \times 0,5 \times 24 = 6 \text{ kN/m}$$

d. Beban Hidup

Berdasarkan SNI 1727:2020 tabel 4.3.1 mengenai beban hidup terdistribusi merata minimum dan beban hidup terpusat minimum, besarnya beban hidup (LL) yang diterima oleh gedung asrama sebagai berikut.

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

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

$$\text{Beban Hidup Balkon} = 0,96 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban Hidup Kamar Tidur} = 1,44 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban Hidup Kamar Mandi} = 1,44 \text{ kN/m}^2$$

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

$$\text{Beban Hidup Lift} = 4,413 \text{ kN/m}^2$$

e. Pembebanan Tiap Lantai

Pembebanan tiap lantai dihitung dari lantai paling atas lalu lantai dibawahnya, dengan menjumlahkan beban tiap lantai dengan beban pada lantai sebelumnya. Perhitungan pembebanan tiap lantai dapat dilihat dalam perhitungan dan tabel berikut :

Lantai 1:

$$\text{Pelat lantai} = (36 \times 9) - ((3,3 \times 3,5) \times 2)) \times 2,21 = 664,989 \text{ kN}$$

$$\text{Balok B1} = (82) \times 8,04 = 659,28 \text{ kN}$$

$$\text{Balok BL} = (6,2) \times 2,664 = 16,52 \text{ kN}$$

$$\text{Kolom KL} = (17,4) \times 6 = 104,4 \text{ kN}$$

$$\text{Kolom K1} = (52,2) \times 19,44 = 1014,77 \text{ kN}$$

$$\text{Dinding} = (92) \times 1,38 \times (4,5 - 0,8) = 469,752 \text{ kN}$$

$$\text{Total W1} = 3.103,151 \text{ kN}$$

Lantai 2:

$$\begin{aligned} \text{Pelat lantai} &= ((36 \times 9) + ((21,6 \times 0,85) \times 2) - (((0,6 \times 1,5) \times 8) + ((3,3 \\ &\times 3,5) \times 2)))) \times 2,21 = 730,228 \text{ kN} \end{aligned}$$

Balok B1	= (126) x 8,04	= 1013,04 kN
Balok B3	= (72) x 2,664	= 191,808 kN
Balok B4	= (79) x 0,576	= 45,504 kN
Balok B5	= (24) x 0,432	= 10,368 kN
Balok BL	= (6,2) x 2,664	= 16,52 kN
Kolom KL	= (16,8) x 6	= 100,08 kN
Kolom K1	= (50,4) x 19,44	= 979,776 kN
Dinding	= (263,6) x 1,38 (4,5 – 0,8)	= 1236,811 kN
Total W2		= 3.792,642 kN

Lantai 3:

Pelat lantai	= ((36 x 9) + ((21,6 x 0,85) x 2) – (((0,6 x 1,5) x 8) + ((3,3 x 3,5) x 2)))) x 2,21	= 730,228 kN
Balok B1	= (126) x 8,04	= 1013,04 kN
Balok B3	= (72) x 2,664	= 191,808 kN
Balok B4	= (79) x 0,576	= 45,504 kN
Balok B5	= (24) x 0,432	= 10,368 kN
Balok BL	= (6,2) x 2,664	= 16,52 kN
Kolom KL	= (16,8) x 6	= 100,08 kN
Kolom K1	= (50,4) x 19,44	= 979,776 kN
Dinding	= (263,6) x 1,38 (4,5 – 0,8)	= 1236,811 kN
Total W3		= 3.691,698 kN

Lantai 4:

Pelat lantai	= ((36 x 9) + ((21,6 x 0,85) x 2) – (((0,6 x 1,5) x 8) + ((3,3 x 3,5) x 2)))) x 2,21	= 730,228 kN
Balok B1	= (126) x 8,04	= 1013,04 kN
Balok B3	= (72) x 2,664	= 191,808 kN
Balok B4	= (79) x 0,576	= 45,504 kN
Balok B5	= (24) x 0,432	= 10,368 kN
Balok BL	= (6,2) x 2,664	= 16,52 kN
Kolom KL	= (16,8) x 6	= 100,08 kN
Kolom K1	= (50,4) x 19,44	= 979,776 kN
Dinding	= (263,6) x 1,38 (4,5 – 0,8)	= 1236,811 kN

$$\text{Total W4} = 3.607,071 \text{ Kn}$$

Lantai 5:

$$\begin{aligned} \text{Pelat lantai} &= ((36 \times 9) + ((21,6 \times 0,85) \times 2) - (((0,6 \times 1,5) \times 8) + ((3,3 \\ &\times 3,5) \times 2))) \times 2,21 = 730,228 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Balok B1} = (126) \times 8,04 = 1013,04 \text{ kN}$$

$$\text{Balok B3} = (72) \times 2,664 = 191,808 \text{ kN}$$

$$\text{Balok B4} = (79) \times 0,576 = 45,504 \text{ kN}$$

$$\text{Balok B5} = (24) \times 0,432 = 10,368 \text{ kN}$$

$$\text{Balok BL} = (6,2) \times 2,664 = 16,52 \text{ kN}$$

$$\text{Kolom KL} = (16,8) \times 6 = 100,08 \text{ kN}$$

$$\text{Kolom K2} = (50,4) \times 15,36 = 774,144 \text{ kN}$$

$$\text{Dinding} = (263,6) \times 1,38 (4,5 - 0,8) = 1236,811 \text{ kN}$$

$$\text{Total W5} = 3.607,071 \text{ kN}$$

Lantai 6:

$$\begin{aligned} \text{Pelat lantai} &= ((36 \times 9) + ((21,6 \times 0,85) \times 2) - (((0,6 \times 1,5) \times 8) + ((3,3 \\ &\times 3,5) \times 2))) \times 2,21 = 730,228 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Balok B1} = (126) \times 8,04 = 1013,04 \text{ kN}$$

$$\text{Balok B3} = (72) \times 2,664 = 191,808 \text{ kN}$$

$$\text{Balok B4} = (79) \times 0,576 = 45,504 \text{ kN}$$

$$\text{Balok B5} = (24) \times 0,432 = 10,368 \text{ kN}$$

$$\text{Kolom KL} = (16,8) \times 6 = 100,08 \text{ kN}$$

$$\text{Kolom K2} = (50,4) \times 15,36 = 774,144 \text{ kN}$$

$$\text{Dinding} = (263,6) \times 1,38 (4,5 - 0,8) = 1236,811 \text{ kN}$$

$$\text{Total W6} = 3.607,071 \text{ kN}$$

Lantai 7:

$$\begin{aligned} \text{Pelat lantai} &= ((36 \times 9) + ((21,6 \times 0,85) \times 2) - (((0,6 \times 1,5) \times 8) + ((3,3 \\ &\times 3,5) \times 2))) \times 2,21 = 730,228 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Balok B1} = (126) \times 8,04 = 1013,04 \text{ kN}$$

$$\text{Balok B3} = (72) \times 2,664 = 191,808 \text{ kN}$$

$$\text{Balok B4} = (79) \times 0,576 = 45,504 \text{ kN}$$

$$\text{Balok B5} = (24) \times 0,432 = 10,368 \text{ kN}$$

$$\text{Kolom KL} = (16,8) \times 6 = 100,08 \text{ kN}$$

Kolom K2	$= (50,4) \times 15,36$	$= 774,144 \text{ kN}$
Dinding	$= (263,6) \times 1,38 (4,5 - 0,8)$	$= 1236,811 \text{ kN}$
Total W7		$= 3.448,313 \text{ kN}$

Lantai 8:

Pelat lantai	$= ((36 \times 9) + ((21,6 \times 0,85) \times 2) - (((0,6 \times 1,5) \times 8) + ((3,3 \times 3,5) \times 2))) \times 2,21$	$= 730,228 \text{ kN}$
Balok B1	$= (126) \times 8,04$	$= 1013,04 \text{ kN}$
Balok B3	$= (72) \times 2,664$	$= 243,648 \text{ kN}$
Balok B4	$= (79) \times 0,576$	$= 45,504 \text{ kN}$
Balok B5	$= (24) \times 0,432$	$= 10,368 \text{ kN}$
Kolom KL	$= (16,8) \times 6$	$= 100,08 \text{ kN}$
Kolom K3	$= (46,2) \times 11,76$	$= 543,312 \text{ kN}$
Dinding	$= (263,6) \times 1,38 (4,5 - 0,8)$	$= 1236,811 \text{ kN}$
Total W8		$= 3.257,552 \text{ kN}$

Lantai Atap:

Pelat lantai	$= ((7,2 \times 9) + (7,2 \times 9)) \times 2,83$	$= 366,768 \text{ kN}$
Balok B2	$= (64,8) \times 5,952$	$= 385,690 \text{ kN}$
Balok B3	$= (28,8) \times 2,664$	$= 76,723 \text{ kN}$
Balok B5	$= (18) \times 0,432$	$= 7,776 \text{ kN}$
Kolom KL	$= (16,8) \times 6$	$= 100,08 \text{ kN}$
Kolom K3	$= (14) \times 11,76$	$= 164,64 \text{ kN}$
Dinding	$= (118,05) \times 1,38 (3,5 - 0,75)$	$= 448,00 \text{ kN}$
Total W Atap		$= 1.249,211 \text{ kN}$

3. Perhitungan Gaya Geser Dasar (V)

W total	$= 29.403,778 \text{ kN}$
Cs yang digunakan	$= 0,0624$
T yang digunakan	$= 1,213 \text{ s}$
Nilai k yang digunakan	$= 0,75 + 0,5 T$ $= 0,75 + 0,5 (1,213)$ $= 1,357$
Maka, nilai V	$= W \times Cs$ $= 29.403,778 \times 0,0624$

$$= 1.834,796 \text{ kN}$$

4. Beban Gempa dengan Metode Statistik Ekivalen

Adapun statistik ekivalen gedung terhadap beban gempa seperti pada tabel 2.17 berikut.

Tabel 2. 17 Statistik Ekivalen Gedung Asrama

Lantai	w	h	w . h ^k	Cvx	Fx	Vx
ATAP	1.249,210598	37,4	170.010,86	0,09	172,38	172,38
LT8	3.257,551913	33,9	388.008,63	0,21	393,42	393,42
LT7	3.488,312684	29,7	347.244,11	0,19	352,09	352,09
LT6	3.607,070725	25,5	291.972,29	0,16	296,05	296,05
LT5	3.607,070725	21,3	228.720,38	0,13	231,91	231,91
LT4	3.607,070725	17,1	169.786,26	0,09	172,16	404,07
LT3	3.691,697702	12,9	118.552,58	0,07	120,21	524,27
LT2	3.792,642159	8,7	71.374,57	0,04	72,37	596,64
LT1	3.103,151014	4,5	23.877,32	0,01	24,21	620,85
	29.403,778		1.809.547,01		1.834,80	

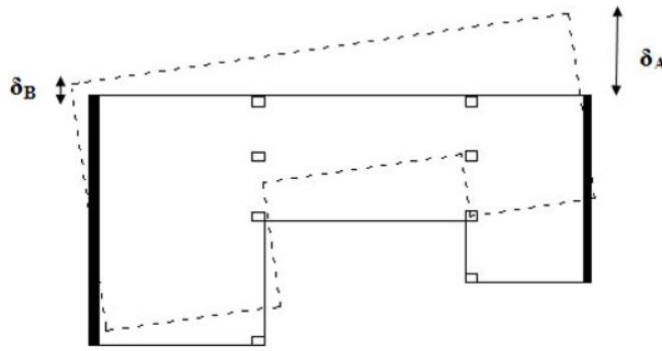
2.9 Pemeriksaan Ketidakberaturan Stuktur

Dalam merancang sebuah gedung, dibutuhkan pemeriksaan ketidakberaturan struktur agar dapat dilakukan evaluasi kelayakan dan keamanan suatu bangunan sesuai dengan standar SNI 1726:2019.

2.9.1 Ketidakberaturan Horizontal

1. Ketidakberaturan Torsi

Dalam ketidakberaturan horizontal terdapat berbagai jenis ketidakberaturan, salah satunya adalah ketidakberaturan torsi. Nilai ketidakberaturan torsi didapat dari *modelling* menggunakan aplikasi yaitu *software* Etabs. Dari hasil perhitungan, didapatkan ketidakberaturan tipe 1b seperti pada gambar 2.11 yaitu ketidakberaturan torsi berlebihan pada beban gempa arah x dan y.



Gambar 2. 11 Ketidakberaturan Torsi Tipe 1b
(Sumber : SNI 1726:2019)

- Ketidakberaturan Torsi Berlebih

Ketidakteraturan torsi berlebih : $\max (\delta_A, \delta_B) > 1,4 \left(\frac{\delta_A + \delta_B}{2} \right) \rightarrow$

$$\left(\frac{\max (O_A, O_B)}{\left(\frac{\delta_A + \delta_B}{2} \right)} \right) > 1,4$$

Ketidakteraturan tipe 1b terjadi jika story drift maksimum lebih besar dari 1,4 kali story drift rata-rata. Berikut adalah contoh perhitungan pemeriksaan ketidakberaturan torsi berlebih pada lantai 1:

$$\begin{aligned} \text{Rasio} &= \frac{\Delta_{\max}}{\Delta_{\text{avg}}} < 1,4 \\ &= \frac{9,633}{9,625} < 1,4 \\ &= 1,002 < 1,4 \end{aligned}$$

Dilakukan peninjauan pada tiap lantai hingga mendapat hasil seperti pada tabel 2.18 berikut.

Tabel 2. 18 Hasil Ketidakberaturan Torsi Berlebih

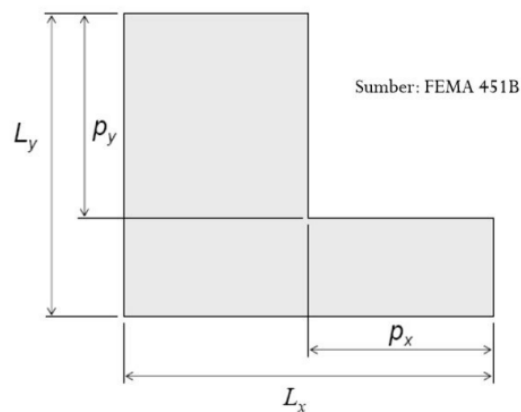
Beban Gempa Arah X				
Lantai	Δ_{avg}	Δ_{max}	Rasio	Status
1	9,633	9,625	1,001	Tidak terjadi
2	11,49	11,483	1,001	Tidak terjadi
3	11,961	11,953	1,001	Tidak terjadi
4	12,025	12,016	1,001	Tidak terjadi
5	10,865	10,859	1,001	Tidak terjadi
6	9,218	9,212	1,001	Tidak terjadi
7	7,272	7,267	1,001	Tidak terjadi

8	5,324	5,319	1,001	Tidak terjadi
9	2,957	2,954	1,001	Tidak terjadi
Beban Gempa Arah Y				
Lantai	Δ avg	Δ max	Rasio	Status
1	8,968	8,846	1,014	Tidak terjadi
2	10,510	10,369	1,014	Tidak terjadi
3	10,865	10,707	1,015	Tidak terjadi
4	10,664	10,442	1,021	Tidak terjadi
5	9,786	9,578	1,022	Tidak terjadi
6	8,705	8,577	1,015	Tidak terjadi
7	7,211	7,118	1,013	Tidak terjadi
8	5,705	5,637	1,012	Tidak terjadi
9	3,434	3,135	1,095	Tidak terjadi

Dikarenakan nilai *story drift* lebih kecil dari *story drift* rata-rata, maka tidak terjadi ketidakberaturan struktur torsi.

2. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Ketidakberaturan sudut dalam perlu dilakukan pemeriksaan seperti pada gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Ketidakberaturan Sudut Dalam
(Sumber : SNI 1726:2019)

Berikut merupakan hasil perhitungan ketidakberaturan sudut dalam.

Tabel 2. 19 Hasil Ketidakberaturan Sudut Dalam

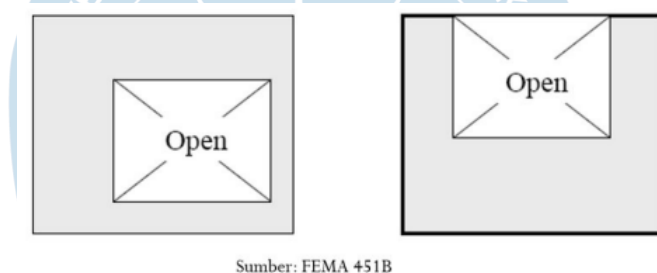
Panjang gedung (L_x)	36	m
P_x	21,6	m

Lebar gedung (Ly)	9	m
Py	1,05	m
Lx / Px	$36 / 21,6 = 0,25$	m
Ly / Py	$9 / 1,05 = 0,05$	m
0,15 Lx	5,4	m
0,15 Ly	1,35	m
Status	Terjadi	

Ketidakteraturan ini terjadi bila $P_y > 0,15 L_y$ dan $P_x > 0,15 L_x$. Dalam kasus gedung ini, dikarenakan $P_x > 0,15 L_x$ maka ketidakteraturan sudut dalam terjadi.

3. Ketidakteraturan Diskontinuitas Diafragma

Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma dilakukan untuk memeriksa ketidakteraturan pada bukaan yang terdapat di gedung seperti pada gambar 2.13 berikut.



Sumber: FEMA 451B

Gambar 2. 13 Ketidakteraturan Diskontinuitas Diafragma
(Sumber : SNI 1726:2019)

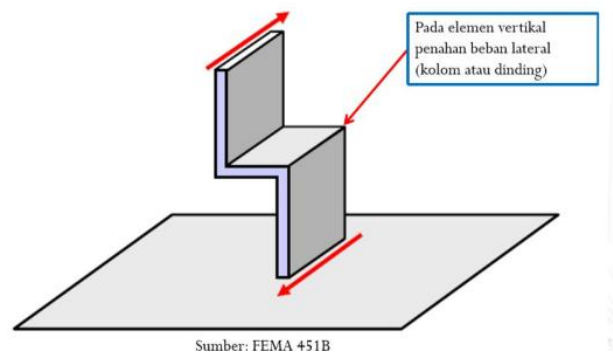
Berikut merupakan hasil perhitungan ketidakteraturan diskontinuitas diafragma.

Tabel 2. 20 Hasil ketidakteraturan diskontinuitas diafragma

Panjang Bangunan	36	m
Lebar Bangunan	10,9	m
Luas Lantai	392.400.000	mm ²
Luas Void	25.025.000	mm ²
50% Luas Lantai (mm ²)	>	Luas Void (mm ²)
196.200.000	>	25.025.000
Status	Tidak Terjadi	

Dari hasil perhitungan, tidak terjadi ketidakberaturan diskontinuitas diafragma dikarenakan luas bukaan tidak lebih dari 50% luas lantai.

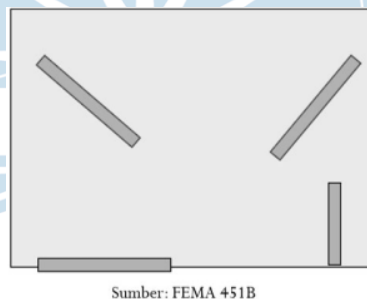
4. Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang



Gambar 2. 14 Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Pada Bidang
(Sumber : SNI 1726:2019)

Pada gedung ini, tidak terjadi ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang seperti pada gambar 2.14 dikarenakan seluruh lintasan elemen vertikal memikul gaya lateral secara kontinuitas.

5. Ketidakberaturan Sistem Non Paralel



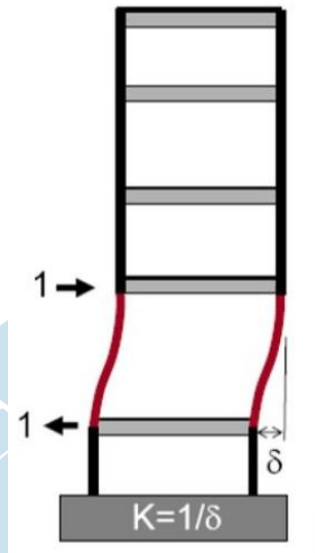
Gambar 2. 15 Ketidakberaturan Sistem Non Paralel
(Sumber : SNI 1726:2019)

Ketidakberaturan sistem non paralel dapat terjadi apabila terdapat elemen vertikal penahan beban lateral yang bersifat tidak paralel atau tidak simetris terhadap sumbu-sumbu utama sistem penahan beban gempa. Pada gedung ini, ketidakberaturan sistem non paralel tidak terjadi.

2.9.2 Ketidakberaturan Vertikal

1. Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebih seperti pada gambar 2.16, terjadi bila kekakuan sebarang tingkat kurang dari 60% kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.



Gambar 2. 16 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak
(Sumber : SNI 1726:2019)

Berikut merupakan hasil perhitungan ketidakberaturan tingkat lunak:

Tabel 2. 21 Hasil Ketidakberaturan Tingkat Lunak

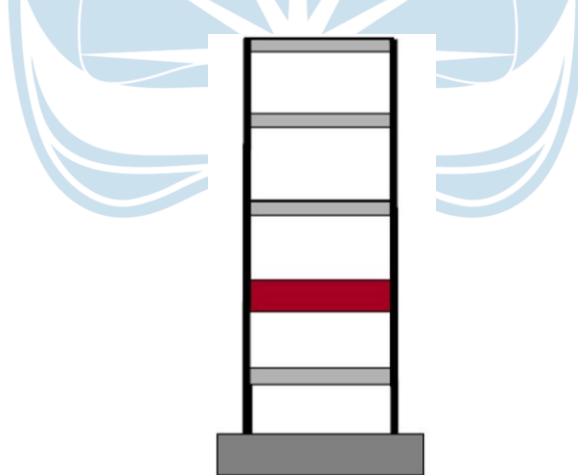
Beban Gempa Arah X				
Lantai	Kekakuan	60% .K(x+1)	70%. ((K(x+1) + K(x+2) + K(x+3)) / 3)	Status
1	1.246.884,134	131.912,06	122.460,67	Tidak terjadi
2	204.101,116	124.271,50	112.608,62	Tidak terjadi
3	187.682,707	120.064,62	104.132,15	Tidak terjadi
4	173.553,589	117.524,87	102.813,50	Tidak terjadi
5	171.355,839	109.461,84	101.791,94	Tidak terjadi
6	169.653,238	87.051,32	97.601,37	Tidak terjadi
7	162.668,942	49.095,23	82.079,99	Tidak terjadi
8	136.799,986	17.175,23	44.164	Tidak terjadi
9	73.6088,138	-	-	Tidak terjadi

Beban Gempa Arah Y				
Lantai	Kekakuan	60% .K(x+1)	70%. ((K(x+1) + K(x+2) + K(x+3)) /3	Status
1	1.486.820,915	161.618,17	148.278.19	Tidak terjadi
2	247.130,321	153.050,32	137.070.11	Tidak terjadi
3	228.450,181	145.625,62	130.241.28	Tidak terjadi
4	217.068,808	136.635,07	126.246.56	Tidak terjadi
5	210.410,934	119.792,92	117.978.02	Tidak terjadi
6	196.630,039	91.166,46	107.122.75	Tidak terjadi
7	178.537,917	49.507,61	82.938.16	Tidak terjadi
8	138.230,259	17.253,88	44.367.13	Tidak terjadi
9	73.945,212	-	-	Tidak terjadi

Dikarenakan kekakuan yang ada tidak melebihi syarat, maka ketidakberaturan tingkat lunak berlebih tidak terjadi.

2. Ketidakberaturan Massa

Ketidakberaturan massa seperti pada gambar 2.17 terjadi apabila massa efektif sebarang tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat yang berdekatan.



Gambar 2. 17 Ketidakberaturan Massa
(Sumber : SNI 1726:2019)

Berikut merupakan hasil perhitungan ketidakberaturan tingkat lunak:

Tabel 2. 22 Hasil Ketidakberaturan Massa

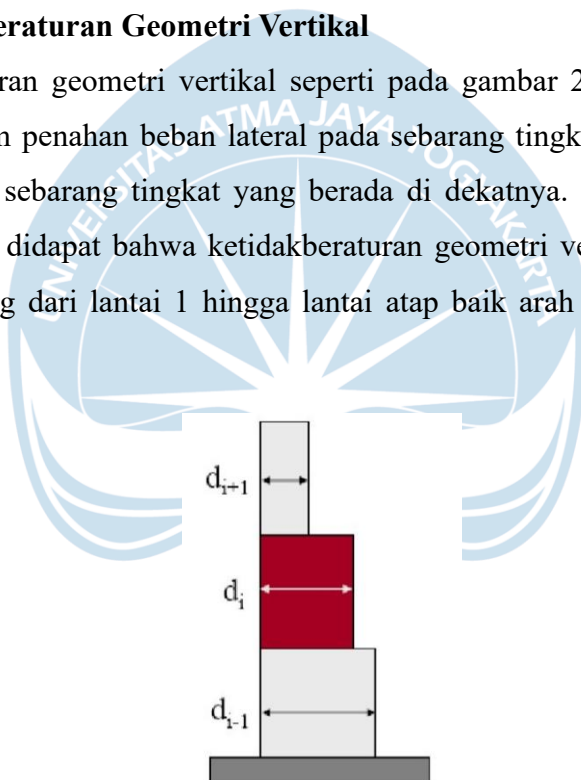
Lantai	Massa (kg)	150% . Massa	Status
1	304.251,60	564,194.60	Tidak terjadi

2	376.129,73	548,754.41	Tidak terjadi
3	365.836,27	538,491.57	Tidak terjadi
4	358,994.38	535,810.08	Tidak terjadi
5	357,206.72	535,810.08	Tidak terjadi
6	357,206.72	517,645.14	Tidak terjadi
7	345,096.76	482,755.85	Tidak terjadi
8	321,837.23	179,065.20	Terjadi
9	119,376.80	-	Tidak Terjadi

Dari hasil perhitungan, didapat bahwa terjadi ketidakberaturan massa pada lantai 8 dan 9 (lantai atap).

3. Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Ketidakberaturan geometri vertikal seperti pada gambar 2.18 terjadi apabila dimensi sistem penahan beban lateral pada sebarang tingkat lebih dari 130% dimensi pada sebarang tingkat yang berada di dekatnya. Pada gedung yang direncanakan, didapat bahwa ketidakberaturan geometri vertikal tidak terjadi karena bentang dari lantai 1 hingga lantai atap baik arah X maupun arah Y adalah sama.



Gambar 2. 18 Ketidakberaturan Geometri Vertikal
(Sumber : SNI 1726:2019)

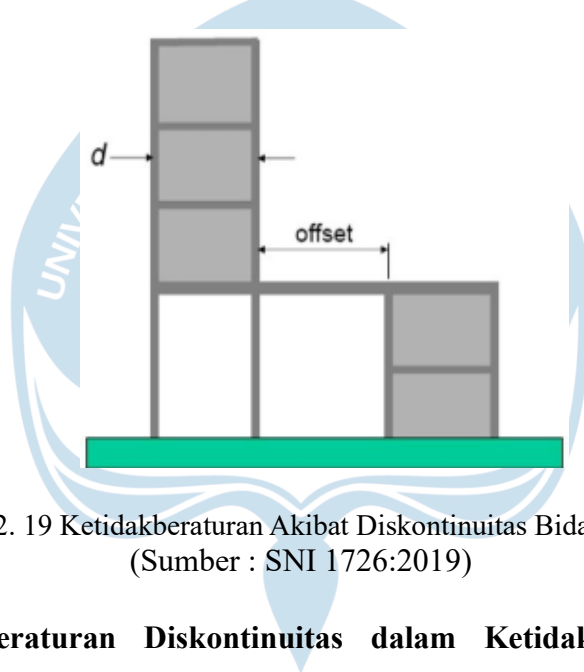
Berikut merupakan contoh hitungan pada lantai 1 arah X :

$$\begin{aligned}
 \text{Ketidakberaturan} &= \frac{\text{Lebar arah X lt 1}}{\text{Lebar arah X lt 2}} &< 1,3 \\
 &= \frac{36 \text{ m}}{36 \text{ m}} &< 1,3 \\
 &= 1 &< 1,3
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa lebar lantai 1 dibanding lebar lantai 2 adalah 1, dimana kurang dari 1,3 (130% dari dimensi). Maka, ketidakberaturan disimpulkan tidak terjadi.

4. Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral

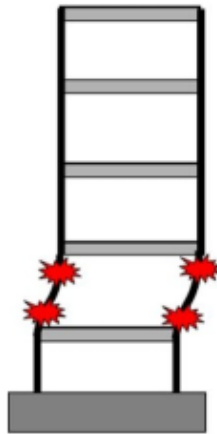
Ketidakberaturan seperti pada gambar 2.19 ini terjadi bila terdapat pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral yang lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat bawahnya. Dalam hal ini, ketidakberaturan tidak terjadi karena hal-hal yang menjadi syarat tidak terjadi pada gedung yang direncanakan.



Gambar 2. 19 Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang Lateral
(Sumber : SNI 1726:2019)

5. Ketidakberaturan Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat

Ketidakberaturan (5a) terjadi bila kuat lateral sebarang tingkat kurang dari 80% kuat tingkat di atasnya. Sedangkan, ketidakberaturan ekstrim (5b) terjadi bila kuat lateral sebarang tingkat kurang dari 65% kuat tingkat di atasnya. Ketidakberaturan ini dapat dilihat seperti pada gambar 2.20.



Gambar 2. 20 Ketidakberaturan Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral
(Sumber : SNI 1726:2019)

Berikut merupakan hasil perhitungan ketidakberaturannya:

Tabel 2. 23 Hasil Ketidakberaturan Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral

Arah X				
Lantai	Kekuatan (kN)	65% . K(x+1)	80%. K(x+1)	Status
1	2.401,6721	1.523,28	1.874,80	Tidak terjadi
2	2.343,5013	1.458,14	1.794,63	Tidak terjadi
3	2.243,2910	1.355,56	1.668,39	Tidak terjadi
4	2.085,4825	1.209,39	1.488,48	Tidak terjadi
5	1.860,6015	1.015,86	1.250,29	Tidak terjadi
6	1.562,8669	768,38	945,70	Tidak terjadi
7	1.182,1279	472,99	582,14	Tidak terjadi
8	727,6716	141,35	173,96	Tidak terjadi
9	217,4548	-	-	Tidak terjadi
Arah Y				
Lantai	Kekuatan (kN)	65% .K(x+1)	80%. K(x+1)	Status
1	2.632,8075	1.665,56	2.049,91	Tidak terjadi
2	2.562,3930	1.589,93	1.956,84	Tidak terjadi
3	2.446,0480	1.473,35	1.813,36	Tidak terjadi
4	2.266,6983	1.309,89	1.612,17	Tidak terjadi
5	2.015,2169	1.096,27	1.349,25	Tidak terjadi
6	1.686,5670	826,05	1.016,68	Tidak terjadi
7	1.270,8451	506,52	623,41	Tidak terjadi

8	779,2571	150,71	185,49	Tidak terjadi
9	231,8674	-	-	Tidak terjadi

Berdasarkan hasil hitungan, ketidakberaturan ini tidak terjadi karena kekuatan lateral setiap tingkat lebih dari 65% ataupun 80% kekuatan lateral tingkat di atasnya.

2.10 Pemeriksaan Simpangan Antar Lantai (*Story Drift*)

Batas simpangan antar lantai ditentukan oleh SNI 1726:2019 pasal 7.12.1 tabel 20 mengenai simpangan antar tingkat izin. Gedung yang direncanakan merupakan struktur lainnya dengan kategori II maka simpangan yang diizinkan sesuai dengan tabel 2.24 berikut.

Tabel 2. 24 Simpangan Antar Tingkat Izin

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eskterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,02h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}^c$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}^c$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}^c$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Adapula parameter dalam pemeriksaan simpangan antar lantai sebagai berikut:

- Simpangan antar tingkat izin $= \Delta_a = 0,020 h_{sx}$
- Faktor redundansi $= \rho = 1,3$ (SNI 1726:2019 pasal 7.3.4.2)
- Story drift inelastik izin $= \Delta_{max} = \frac{\Delta_a}{\rho} = \frac{0,020 h}{1,3} = 0,0154 h$
- $C_d = 5,5$
- $I_e = 1,0$
- KDS $= D$

Sebagai contoh perhitungan, berikut merupakan data simpangan lantai 1 dan 2 arah x maupun y:

δ_{ex} lantai 1 : 1,710 mm

$$\delta e_x \text{ lantai 2} : 9,749 \text{ mm}$$

$$\delta e_y \text{ lantai 1} : 1,502 \text{ mm}$$

$$\delta e_y \text{ lantai 2} : 8,670 \text{ mm}$$

$$h \text{ lantai 1} : 4500 \text{ mm}$$

- Perhitungan Elastic Drift

$$\delta_x \text{ lantai 1} = 1,710 - 0 = 1,710 \text{ mm}$$

$$\delta_x \text{ lantai 2} = 9,749 - 1,710 = 8,039 \text{ mm}$$

$$\delta_y \text{ lantai 1} = 1,502 - 0 = 1,502 \text{ mm}$$

$$\delta_y \text{ lantai 2} = 8,670 - 1,502 = 7,168 \text{ mm}$$

- Perhitungan Inelastic Drift

$$\begin{aligned} \Delta_x \text{ lantai 1} &= \frac{\delta_{x1} \cdot C_d}{I_e} \\ &= \frac{1,710 \cdot 5,5}{1} \\ &= 9,405 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_x \text{ lantai 2} &= \frac{\delta_{x2} \cdot C_d}{I_e} \\ &= \frac{8,039 \cdot 5,5}{1} \\ &= 44,215 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_y \text{ lantai 1} &= \frac{\delta_{y1} \cdot C_d}{I_e} \\ &= \frac{1,502 \cdot 5,5}{1} \\ &= 8,261 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_y \text{ lantai 2} &= \frac{\delta_{y2} \cdot C_d}{I_e} \\ &= \frac{7,168 \cdot 5,5}{1} \\ &= 39,424 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Drift limit lantai 1 = 0,0154 h

$$= 0,0154 \cdot 4500 \text{ mm}$$

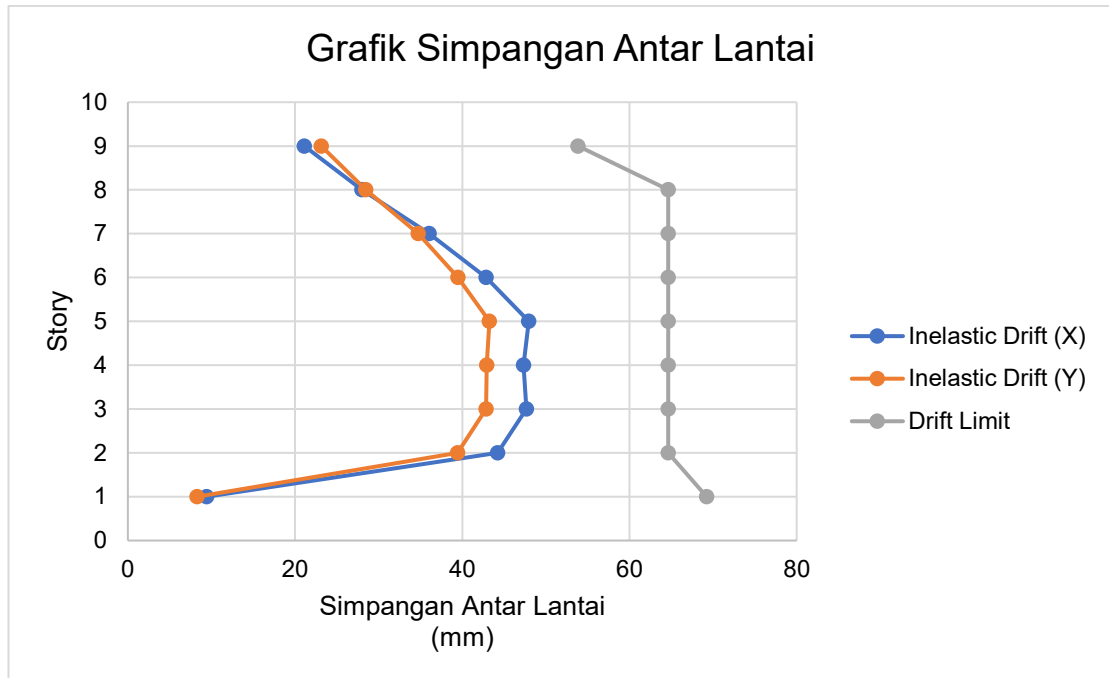
$$= 69,231 \text{ mm}$$

Berikut merupakan hasil perhitungan simpangan antar lantai arah x dan y:

Tabel 2. 25 Hasil Simpangan Antar Lantai

Arah X						
Lantai	Displacement δe_x (mm)	Elastic Drift δ_x (mm)	H (mm)	Inelastic Drift Δ_x (mm)	Drift Limit (mm)	Status
9	59,004	3,836	3500	21,098	53,846	AMAN
8	55,168	5,086	4200	27,973	64,615	AMAN
7	50,082	6,551	4200	36,031	64,615	AMAN
6	43,531	7,790	4200	42,845	64,615	AMAN
5	35,741	8,719	4200	47,955	64,615	AMAN
4	27,022	8,604	4200	47,322	64,615	AMAN
3	18,418	8,669	4200	47,680	64,615	AMAN
2	9,749	8,039	4200	44,215	64,615	AMAN
1	1,710	1,710	4500	9,405	69,231	AMAN
Arah Y						
Lantai	Displacement Δe_y (mm)	Elastic Drift δ_y (mm)	H (mm)	Inelastic Drift Δ_y (mm)	Drift Limit (mm)	Status
9	55,003	4,203	3500	23,117	53,846	AMAN
8	50,800	5,174	4200	28,457	64,615	AMAN
7	45,626	6,315	4200	34,733	64,615	AMAN
6	39,311	7,181	4200	39,496	64,615	AMAN
5	32,130	7,863	4200	43,247	64,615	AMAN
4	24,267	7,804	4200	42,922	64,615	AMAN
3	16,463	7,793	4200	42,862	64,615	AMAN
2	8,670	7,168	4200	39,424	64,615	AMAN
1	1,502	1,502	4500	8,261	69,231	AMAN

Dari hasil perhitungan, didapat grafik simpangan antar tingkat seperti pada gambar 2.21 berikut.



Gambar 2. 21 Grafik Simpangan Antar Lantai

Didapatkan bahwa nilai simpangan antar lantai baik arah x maupun arah y lebih kecil dari simpangan izin. Maka, dapat disimpulkan bahwa simpangan antar lantai pada bangunan ini aman dan memenuhi syarat ($\Delta < \Delta_a/\rho$).

2.11 Pemodelan Struktur

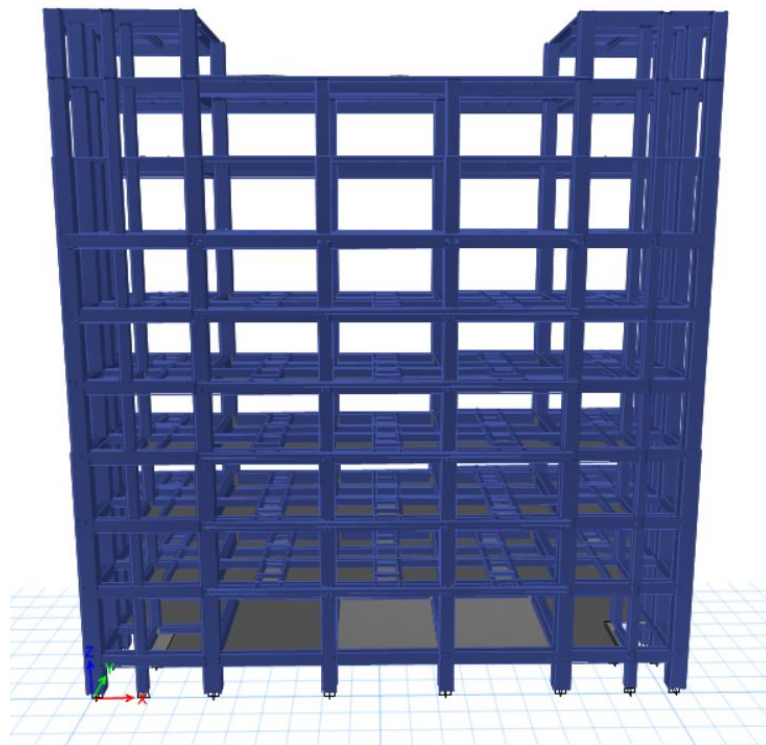
Pemodelan struktur pada gedung ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ETABS sebagai alat analisis dan perencanaan struktur utama. Program ini digunakan karena mampu memodelkan sistem struktur tiga dimensi secara akurat, mencakup balok, kolom, pelat lantai, dan elemen-elemen struktural lainnya. Dalam perencanaan ini, struktur gedung dirancang menggunakan sistem rangka beton bertulang, dengan perhitungan beban yang bekerja baik vertikal maupun lateral, termasuk pengaruh gempa sesuai ketentuan SNI yang berlaku.

Setiap elemen struktur pada bangunan dimodelkan sesuai dengan fungsinya di lapangan. Kolom dan balok dimasukkan sebagai elemen frame dengan properti penampang dan material tertentu, sedangkan pelat lantai dimodelkan menggunakan elemen area agar dapat menyalurkan beban secara realistis. Struktur juga dirancang sebagai Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) yang berfungsi untuk menahan beban lateral akibat gempa, dengan mempertimbangkan kekakuan dan daktilitas yang memadai.

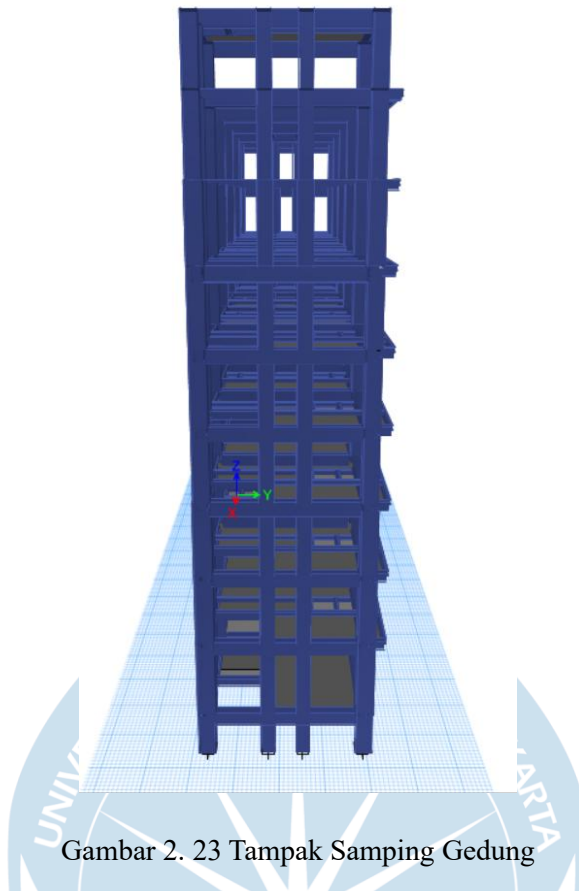
Data material yang digunakan dalam pemodelan mengacu pada mutu material hasil perencanaan sebelumnya, baik untuk beton maupun baja tulangan. Adapun parameter material yang digunakan dalam pemodelan di *software* ETABS adalah sebagai berikut:

1. Mutu beton (f'_c) = 30 MPa
2. Mutu baja tulangan utama (f_y) = 420 MPa
3. Mutu baja tulangan sengkang (f_{ys}) = 280 MPa

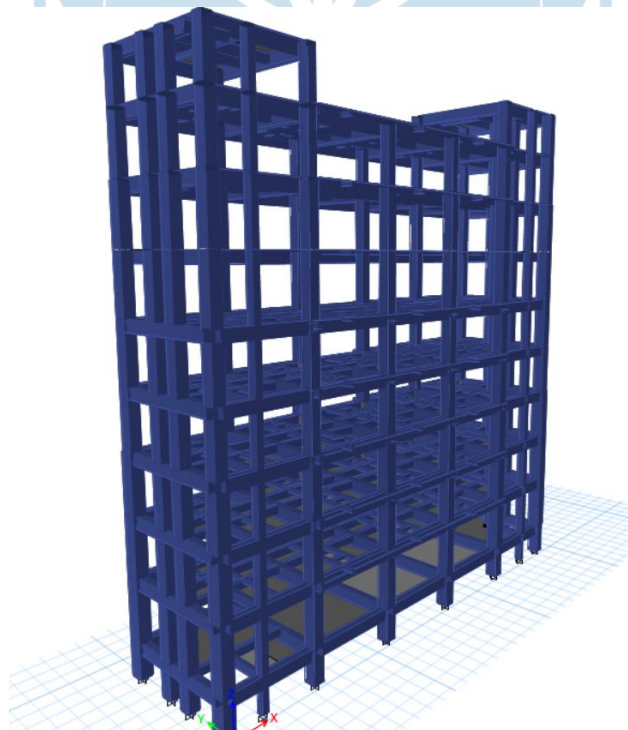
Pemodelan ini menghasilkan tampilan struktur dalam bentuk tiga dimensi (3D), yang mencakup keseluruhan sistem rangka gedung. Hasil pemodelan tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam proses analisis beban, gaya dalam, serta penentuan dimensi elemen-elemen struktur agar memenuhi persyaratan kekuatan dan stabilitas bangunan. Berikut merupakan *output* pemodelan struktur dalam 3D yang telah dirancang melalui aplikasi ETABS.



Gambar 2. 22 Tampak Depan Gedung



Gambar 2. 23 Tampak Samping Gedung



Gambar 2. 24 Tampak Diagonal Gedung

2.12 Perencanaan Balok

Balok memiliki peran penting sebagai salah satu elemen struktural dalam penyaluran beban ke kolom. Dalam bangunan ini, terdapat penggunaan balok induk dan balok anak dengan ukuran yang berbeda. Balok anak memiliki dimensi yang lebih kecil dibandingkan dengan balok induk. Jenis balok yang digunakan adalah balok betan bertulangan yang merupakan pilihan umum dalam konstruksi bangunan.

2.12.1 Perencanaan Balok Induk

Pada perencanaan gedung asrama ini, terdapat dua buah balok induk yaitu B1 dan B2. Berikut merupakan contoh perhitungan perencanaan balok dengan momen terbesar yakni B1:

Data Perencanaan Balok Induk B1 (500 x 800 mm) pada bentang 9 meter

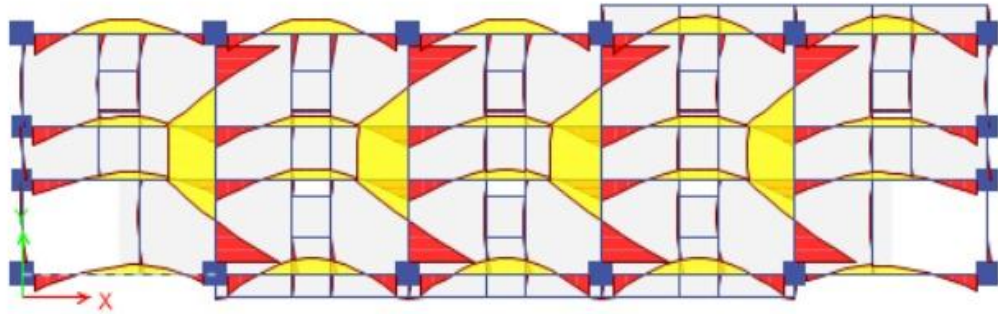
- Lebar balok (b) = 500 mm
- Tinggi balok (b) = 800 mm
- Bentang balok (L) = 9000 mm
- Bentang bersih (Ln) = 8100 mm
- Tinggi efektif balok (d) = 731,5 mm
- Selimut beton = 40 mm
- Mutu beton (f'_c) = 30 MPa
- Diameter tulangan utama = 25 mm
- Diameter tulangan sengkang = 16 mm
- Tegangan leleh (F_{yt}) = 280 MPa
- Mutu tulangan (F_y) = 420 MPa
- β_1 = 0,84

Berdasarkan analisis dari aplikasi ETABS, diperoleh gaya dalam balok seperti pada tabel 2.26 berikut.

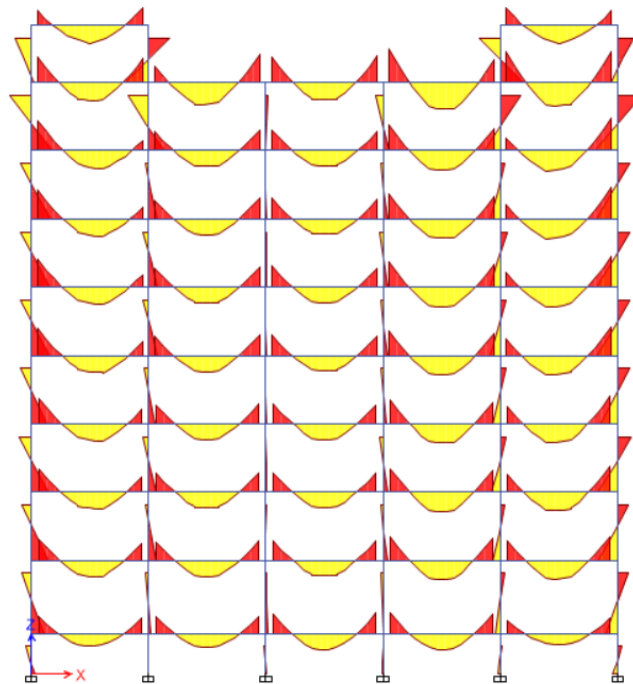
Tabel 2. 26 Gaya Dalam Balok B1

Lokasi		
	Tumpuan	Lapangan

Mu^+	706,7837 kNm	892,7691 kNm
Mu^-	931,4673 kNm	909,416 kNm
Pu	61,1491 kN	



Gambar 2. 25 Diagram Balok Tampak Atas



Gambar 2. 26 BMD Balok Tampak Depan

2.12.1.1 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 $A_g \cdot f'_c / 10$

$$\begin{aligned}
 P_u &= 61,1491 \text{ kN} \\
 &= 611.491 \text{ N} \\
 A_g \cdot f'_c/10 &= 500 \times 800 \times 30 / 10 \\
 &= 1.200.000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$P_u \leq A_g \cdot f'_c/10$$

$$611.491 \text{ N} \leq 1.200.000 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi syarat})$$

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

$$L_n \geq 4d$$

$$8100 \geq 4 (731,5)$$

$$8100 \text{ mm} \geq 2926 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi syarat})$$

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

$$500 > 0,3 (800) \text{ atau } 250 \text{ mm}$$

$$500 > 240 \text{ mm atau } 250 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi syarat})$$

2.12.1.2 Desain Tulangan Lentur

a. Tulangan Negatif Tumpuan

Faktor koreksi terkendali tarik : $\phi = 0,9$ (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

$$\begin{aligned}
 \alpha &= d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot Mu^-}{\phi \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot b}} \\
 &= 731,5 - \sqrt{731,5^2 - \frac{2 \times 931,4673}{0,9 \cdot 0,85 \cdot 30 \cdot 500}} \\
 &= 129,360 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{\alpha}{\beta_1} \\
 &= \frac{129,360}{0,84} \\
 &= 154,789 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\text{max}} &= \frac{3}{8} \cdot d \\
 &= 274,31 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_{\text{max}} &= \beta \times c_{\text{max}} \\
 &= 230,42 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{731,5 - 154,789}{154,789} \times 0,003 \\
 &= 0,011 \\
 A_s \text{ req} &= \frac{Mu}{\phi f_y \cdot (d - \frac{a}{2})} \\
 &= 3.695,49 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka, dibutuhkan jumlah tulangan yaitu:

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{0,25 \times \pi \times D^2} \\
 &= \frac{3.695,49}{0,25 \times \pi \times 25^2} \\
 &= 8 \text{ buah} \\
 A_s \text{ pakai} &= \frac{n \times \pi \times D^2}{4} \\
 &= \frac{8 \times \pi \times 25^2}{4} \\
 &= 3.926,991 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ min 1} &= \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b_w \times d \\
 &= 1.192,438 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ min 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d \\
 &= 1.219,167 \text{ mm}^2 \\
 A_s \text{ max} &= 0,025 \times b \times d \\
 &= 9.143,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Nilai A_s perlu dipilih dari nilai terbesar dari A_s , A_s min 1, dan A_s min 2, dimana nilai A_s perlu tidak boleh melebihi nilai A_s max, maka nilai A_s perlu yang diambil yaitu $3.926,991 \text{ mm}^2$ dengan tulangan terpasang 8D25

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

$$S = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tulangan utama})}{n-1}$$

$$= \frac{500 - (2 \times 40) - (2 \times 16) - (8 \times 25)}{8-1}$$

$$= 36,857 \text{ mm}$$

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

$$S_{\max} = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton}$$

$$= 280 \text{ mm}$$

$$S_{\min} < S < S_{\max}$$

$$25 \text{ mm} < 36,857 \text{ mm} < 280 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi Syarat})$$

Maka, didapat momen nominal sebagai berikut:

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

$$= 3.926,911 \times 420 \left(731,5 - \frac{129,360}{2} \right)$$

$$= 1.099,811 \text{ kNm}$$

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

$$= 0,9 \times 1.099,811$$

$$= 989,830 \text{ kNm}$$

Maka, tulangan negatif tumpuan yang dipasang adalah 8D25.

b. Tulangan Positif Tumpuan

Faktor koreksi terkendali tarik : $\phi = 0,9$ (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

$$\alpha = d - \sqrt{d^2 - \frac{2.M_u^+}{\phi.0,85.f'_c. b}}$$

$$= 731,5 - \sqrt{731,5^2 - \frac{2 \times 706,7837}{0,9. 0,85. 30. 500}}$$

$$= 64,680 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{64,680}{0,84}$$

$$= 77,395 \text{ mm}$$

$$c_{\max} = \frac{3}{8} \cdot d$$

$$= 274,31 \text{ mm}$$

$$\alpha_{\max} = \beta \times c_{\max}$$

$$= 230,42 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{731,5 - 77,395}{77,395} \times 0,003$$

$$= 0,025$$

$$A_{s \text{ req}} = \frac{M_u}{\phi f_y \cdot (d - \frac{a}{2})}$$

$$= 2.791,493 \text{ mm}^2$$

Maka, dibutuhkan jumlah tulangan yaitu:

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{0,25 \times \pi \times D^2}$$

$$= \frac{2.791,493}{0,25 \times \pi \times 25^2}$$

$$= 6,2 \approx 8 \text{ buah}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4}$$

$$= \frac{8 \times \pi \times 25^2}{4}$$

$$= 3.926,9908 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min 1} = \frac{0,25\sqrt{f'c}}{f_y} \times b_w \times d$$

$$= 1.192,438 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min 2} = \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d$$

$$= 1.219,167 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ max} = 0,025 \times b \times d$$

$$= 9.143,75 \text{ mm}^2$$

Nilai A_s perlu dipilih dari nilai terbesar dari A_s , $A_s \text{ min 1}$, dan $A_s \text{ min 2}$, dimana nilai A_s perlu tidak boleh melebihi nilai $A_s \text{ max}$, maka nilai A_s perlu yang diambil yaitu $1.963,495 \text{ mm}^2$ dengan tulangan terpasang 4D25.

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

$$S = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tulangan utama})}{n-1}$$

$$= \frac{500 - (2 \times 40) - (2 \times 16) - (8 \times 25)}{8-1}$$

$$= 26,857 \text{ mm}$$

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

$$S_{\text{max}} = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton}$$

$$= 280 \text{ mm}$$

$$S_{\text{min}} < S < S_{\text{max}}$$

$$25 \text{ mm} < 26,857 \text{ mm} < 280 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi Syarat})$$

Maka, didapat momen nominal sebagai berikut:

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

$$= 3.926,9908 \times 420 \left(731,5 - \frac{64,680}{2} \right)$$

$$= 1.104,759 \text{ kNm}$$

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

$$= 0,9 \times 1.104,759$$

$$= 994,283 \text{ kNm}$$

Maka, tulangan positif tumpuan yang dipasang adalah 8D25.

c. Tulangan Negatif Lapangan

Faktor koreksi terkendali tarik : $\phi = 0,9$ (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

$$\begin{aligned} \alpha &= d - \sqrt{d^2 - \frac{2.M_u^-}{\phi \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot b}} \\ &= 731,5 - \sqrt{731,5^2 - \frac{2 \times 909,416}{0,9 \cdot 0,85 \cdot 30 \cdot 500}} \\ &= 129,360 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{\alpha}{\beta_1} \\ &= \frac{129,360}{0,84} \\ &= 154,789 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{\max} &= \frac{3}{8} \cdot d \\ &= 274,31 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_{\max} &= \beta \times c_{\max} \\ &= 230,42 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{731,5 - 154,789}{154,789} \times 0,003 \\ &= 0,011 \end{aligned}$$

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

$$= 3.607,964 \text{ mm}^2$$

Maka, dibutuhkan jumlah tulangan yaitu:

$$\begin{aligned} n &= \frac{As \text{ perlu}}{0,25 \times \pi \times D^2} \\ &= \frac{3.607,964}{0,25 \times \pi \times 25^2} \\ &= 8 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As \text{ pakai} &= \frac{n \times \pi \times D^2}{4} \\ &= \frac{4 \times \pi \times 25^2}{4} \\ &= 3.926,991 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As \text{ min 1} &= \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} \times b_w \times d \\ &= 1.192,438 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As \text{ min 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d \\ &= 1.219,167 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As \text{ max} &= 0,025 \times b \times d \\ &= 9.143,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai As perlu dipilih dari nilai terbesar dari As, As min 1, dan As min 2, dimana nilai As perlu tidak boleh melebihi nilai As max, maka nilai As perlu yang diambil yaitu 3.926,991 mm² dengan tulangan terpasang 8D25.

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

$$\begin{aligned} S &= \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tulangan utama})}{n-1} \\ &= \frac{500 - (2 \times 40) - (2 \times 16) - (8 \times 25)}{8-1} \\ &= 26,857 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$S_{\max} = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton}$$

$$= 280 \text{ mm}$$

$$S_{\min} < S < S_{\max}$$

$$25 \text{ mm} < 36,857 \text{ mm} < 280 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi Syarat})$$

Maka, didapat momen nominal sebagai berikut:

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

$$= 3.926,991 \times 420 \left(731,5 - \frac{129,360}{2} \right)$$

$$= 1.099,811 \text{ kNm}$$

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

$$= 0,9 \times 1.099,811$$

$$= 989,830 \text{ kNm}$$

Maka, tulangan negatif lapangan yang dipasang adalah 8D25.

d. Tulangan Positif Lapangan

Faktor koreksi terkendali tarik : $\phi = 0,9$ (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

$$\alpha = d - \sqrt{d^2 - \frac{2.M_u^+}{\phi.0,85.f'_c. b}}$$

$$= 731,5 - \sqrt{731,5^2 - \frac{2 \times 892,769}{0,9 \cdot 0,85 \cdot 30 \cdot 500}}$$

$$= 129,360 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{129,360}{0,84}$$

$$= 154,789 \text{ mm}$$

$$c_{\max} = \frac{3}{8} \cdot d$$

$$= 274,31 \text{ mm}$$

$$\alpha_{\max} = \beta \times c_{\max}$$

$$= 230,42 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{731,5 - 154,789}{154,789} \times 0,003$$

$$= 0,011$$

$$A_{s \text{ req}} = \frac{Mu}{\phi f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)}$$

$$= 3.541,919 \text{ mm}^2$$

Maka, dibutuhkan jumlah tulangan yaitu:

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{0,25 \times \pi \times D^2}$$

$$= \frac{3541,919}{0,25 \times \pi \times 25^2}$$

$$= 8 \text{ buah}$$

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4}$$

$$= \frac{4 \times \pi \times 25^2}{4}$$

$$= 3.926,991 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min 1}} = \frac{0,25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \times b_w \times d$$

$$= 1.192,438 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min 2}} = \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d$$

$$= 1.219,167 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ max} &= 0,025 \times b \times d \\ &= 9.143,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai A_s perlu dipilih dari nilai terbesar dari A_s , $A_s \text{ min } 1$, dan $A_s \text{ min } 2$, dimana nilai A_s perlu tidak boleh melebihi nilai $A_s \text{ max}$, maka nilai A_s perlu yang diambil yaitu $3.926,991 \text{ mm}^2$ dengan tulangan terpasang 8D25.

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

$$\begin{aligned} S &= \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tulangan utama})}{n - 1} \\ &= \frac{500 - (2 \times 40) - (2 \times 16) - (8 \times 25)}{8 - 1} \\ &= 26,857 \text{ mm} \\ S_{\text{min}} &= 25 \text{ mm} \\ S_{\text{max}} &= 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton} \\ &= 280 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{min}} < S < S_{\text{max}}$$

$$25 \text{ mm} < 26,857 \text{ mm} < 280 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi Syarat})$$

Maka, didapat momen nominal sebagai berikut:

$$\begin{aligned} M_n &= A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 3.926,991 \times 420 \left(731,5 - \frac{129,360}{2} \right) \\ &= 1.099,811 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 1.099,811 \\ &= 989,830 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maka, tulangan positif lapangan yang dipasang adalah 8D25.

2.12.1.3 Desain Tulangan Torsi

Diketahui:

$$V_u \text{ tumpuan} = 607.268,06 \text{ N} = 607,268 \text{ kN}$$

$$V_u \text{ lapangan} = 926.060,90 \text{ N} = 926,060 \text{ kN}$$

$$T_u = 122.101 \text{ kNm}$$

$$s \text{ tumpuan} = 75 \text{ mm}$$

$$s \text{ lapangan} = 100 \text{ mm}$$

1) Pemeriksaan Torsi

$$A_{cp} = b \times h$$

$$= 500 \times 800$$

$$= 400.000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2 \times (b + h)$$

$$= 2 \times (500 + 800)$$

$$= 2.600 \text{ mm}$$

$$\phi T_{cr} = \frac{0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{f'c} \times A_{cp}^2}{P_{cp}} \times 10^{-6}$$

$$= \frac{0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times 400.000^2}{2.600} \times 10^{-6}$$

$$= 20,982 \text{ kNm} < T_u \quad (\text{Torsi perlu diperhitungkan})$$

2) Parameter Penampang Balok

$$x_0 = b - 2C_c - d_s$$

$$= 500 - 2(40) - 13$$

$$= 407 \text{ mm}$$

$$y_0 = h - 2C_c - d_s$$

$$= 800 - 2(40) - 13$$

$$= 707 \text{ mm}$$

$$A_{0h} = x_0 \cdot y_0$$

$$= 407 \cdot 707$$

$$= 287.749 \text{ mm}^2$$

$$A_0 = 0,85 \cdot A_{0h}$$

$$= 244.586,65 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 (x_0 + y_0)$$

$$= 2.228 \text{ mm}$$

3) Pemeriksaan Batasan Dimensi Penampang

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'c} \times b \times d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 500 \times 731,5 \\ &= 340.560,19 \text{ N} \\ &= 340,560 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1,7 \cdot A_{oh}^2}\right)^2} &\leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} + 0,66 \sqrt{f'c}\right) \\ 2,14 \text{ mm}^2 &\leq 3,41 \text{ mm}^2 \quad (\text{Memenuhi Syarat}) \end{aligned}$$

4) Perhitungan Tulangan Torsi Transversal

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_u}{2\phi \cdot A_o \cdot f_{yv}} \\ &= 0,55 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

5) Perhitungan Kebutuhan Tulangan Torsi Transversal

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} \text{ tumpuan} &= \frac{(V_u \text{ Tumpuan} / \phi - V_c)}{(f_{yt} \cdot d)} \\ &= \frac{(607,268 / 0,75 - 340,560)}{(280 \cdot 731,5)} \\ &= 1,53 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} \text{ lapangan} &= \frac{(V_u \text{ Lapangan} / \phi - V_c)}{(f_{yt} \cdot d)} \\ &= \frac{(926,060 / 0,75 - 340,560)}{(280 \cdot 731,5)} \\ &= 2,91 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{v+t}}{s} \text{ tumpuan perlu} &= 2 \times \frac{A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \\ &= 2 \times 0,55 + 1,53 \\ &= 2,62 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{v+t}}{s} \text{ tumpuan perlu} &= 2 \times \frac{A_t}{s} + \frac{A_v}{s} \\ &= 2 \times 0,55 + 2,91 \\ &= 4,01 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{v+t}}{s} \text{ minimal 1} &= \frac{0,062 \times \sqrt{f'c} \times b}{f_{yt}} \\ &= 0,40 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\frac{A_{v+t}}{s} \text{ minimal 2} = 0,35 \times \frac{b}{f_{yt}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,42 \text{ mm} \\
 \frac{A_{v+t}}{s} \text{ tumpuan use} &= \frac{n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot ds^2}{s} \\
 &= \frac{2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 13^2}{75} \\
 &= 7,08 \text{ mm} \\
 \frac{A_{v+t}}{s} \text{ lapangan use} &= \frac{n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot ds^2}{s} \\
 &= \frac{2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 13^2}{100} \\
 &= 5,31 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

6) Perhitungan Kebutuhan Tulangan Torsi Longitudinal

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{A_t}{s} \times Ph \\
 &= 0,55 \times 2.216 \\
 &= 1.213,78 \text{ mm}^2 \\
 A_{1 \text{ min}} &= \frac{0,42 \times \sqrt{f'c} \times A_{cp}}{f_y - \left(\frac{A_t}{s}\right) \times Ph} \\
 &= \frac{0,42 \times \sqrt{30} \times 400.000}{420 - (0,55) \times 2.216} \\
 &= 977,11 \text{ mm}^2 \\
 A_{1 \text{ use}} &= 1.213,78 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

2.12.1.4 Desain Tulangan Geser

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.1.1, kekuatan momen balok dihitung menggunakan faktor reduksi 1,0 dan tulangan menggunakan tegangan leleh efektif paling tidak 1,25fy.

Tumpuan

a. Perhitungan Momen Probabilitas (MPr)

1) M_{pr^-} dari Tumpuan Negatif

$$\begin{aligned}
 \text{Tulangan} &= 8D25 \\
 A_s \text{ use} &= 3.926,99 \text{ mm}^2 \\
 A_{pr} &= 1,25 \cdot a \\
 &= 1,25 \cdot 129,360 \\
 &= 161,70 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr}^- &= A_s \times 1,25 \times f_y \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) \\
 &= 3.926,99 \times 1,25 \times 420 \times \left(731,5 - \frac{161,70}{2} \right) \\
 &= 1.341.426.091,70 \text{ Nmm} \\
 &= 134.142,601 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

2) M_{pr}^+ dari Tumpuan Positif

$$\text{Tulangan} = 8D25$$

$$A_s \text{ use} = 3.926,99 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{pr} &= 1,25 \cdot a \\
 &= 1,25 \cdot 129,360 \\
 &= 161,70 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr}^- &= A_s \times 1,25 \times f_y \left(d - \frac{a_{pr}}{2} \right) \\
 &= 3.926,99 \times 1,25 \times 420 \times \left(731,5 - \frac{161,70}{2} \right) \\
 &= 1.341.426.091,70 \text{ Nmm} \\
 &= 134.142,601 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

b. Gaya Geser Gempa Akibat Sendi Plastis

$$\begin{aligned}
 V_{pr} &= \frac{M_{pr}^- + M_{pr}^+}{L_n} \\
 &= \frac{134.142,601 + 134.142,601}{8,1} \\
 &= 332,743 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c. Gaya Geser Akibat Beban Gravitasi

$$V_g = 353,71 \text{ kN}$$

d. Gaya Geser Desain

$$\begin{aligned}
 V_{e1} \text{ gempa kiri} &= V_g - V_{pr} \\
 &= 353,71 - 332,743 \\
 &= 20,967 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{e2} \text{ gempa kanan} &= V_g + V_{pr} \\
 &= 353,71 + 332,743 \\
 &= 685,184 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Syarat : $V_e \text{ maks} > 0,5 V_g$

$$685,184 \text{ kN} > 176,855 \text{ kN} \quad (\text{Memenuhi Syarat})$$

e. Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 500 \times 731,5 \\ &= 340.560,19 \text{ N} \\ &= 340,560 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= A_v \cdot F_{yt} \cdot d/s \\ &= 2.183,817 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 500 \times 731,5 \\ &= 1.322,17 \text{ kN (Digunakan karena lebih kecil)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 340,560 + 1.322,17 \\ &= 1.662,735 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_u = V_e = 607,268 \text{ kN}$$

Syarat kapasitas tulangan geser : $\phi V_n / V_u \geq 1$ dengan $\phi = 0,75$

$$\phi V_n / V_u = 2,05$$

2,05 > 1 (Memenuhi syarat)

f. Kebutuhan Tulangan Geser di Daerah Tumpuan

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 2847:2019, yaitu $V_e > 0,5 V_u$, maka ukuran sengkang kebutuhan (spasi) sengkang diperhitungkan sebagai berikut.

Asumsi jumlah kaki = 4 kaki

Diameter sengkang = 13 mm

$$\begin{aligned} s &= \frac{\phi A_v f_{yt} d}{V_e} \\ &= \frac{0,75 \times 402,12 \times 280 \times 731,5}{607,268} \\ &= 101 \approx 75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$s < s_{\max} = d/4$ dan 150 mm

75 < 183 mm dan 150 mm (Memenuhi Syarat)

Maka, kebutuhan tulangan geser tumpuan adalah 4D13 – 75.

g. Kebutuhan Tulangan Geser di Daerah Lapangan

$$\begin{aligned}V_c &= 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\&= 0,17 \times \sqrt{30} \times 500 \times 731,5 \\&= 340.560,19 \text{ N} \\&= 340,560 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_s &= A_v \cdot F_{yt} \cdot d/s \\&= 1.637,863 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\&= 0,66 \times \sqrt{30} \times 500 \times 731,5 \\&= 1.322,17 \text{ kN (Digunakan karena lebih kecil)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_n &= V_c + V_s \\&= 340,560 + 1.322,17 \\&= 1.669 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$V_u = 971,51 \text{ kN}$$

Syarat kapasitas tulangan geser : $\phi V_n / V_u \geq 1$ dengan $\phi = 0,75$

$$\phi V_n / V_u = 1,28$$

$1,28 > 1$ (Memenuhi syarat)

Asumsi jumlah kaki = 4 kaki

Diameter sengkang = 13 mm

$$\begin{aligned}s &= \frac{\phi A_v f_{yt} d}{V_e} \\&= \frac{0,75 \times 402,12 \times 280 \times 731,5}{971,51} \\&= 113 \approx 100 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat :

$$s < s_{\max} = d/2$$

$100 < 365,75 \text{ mm}$ (Memenuhi Syarat)

Maka, kebutuhan tulangan geser tumpuan adalah 4D13 – 100.

Tabel 2. 27 Rekapitulasi Gaya Dalam Balok Induk

Kode Balok	Bentang	Mu Tumpuan (kNm)		Mu Lapangan (kNm)		Vg (kN)
	mm	-	+	-	+	
B1	9000	938,37	731,63	957,77	935,23	352,44
B2	9000	348,70	66,24	133,99	238,74	183,58

Tabel 2. 28 Rekapitulasi Penulangan Balok Induk

Kode Balok	Bentang	Dimensi		Tumpuan			Lapangan		
		mm		Longitudinal		Transversal	Longitudinal		Transversal
		B	L	-	+		-	+	
B1	9000	500	800	8D25	8D25	4D13 – 75	8D25	8D25	4D13 – 100
B2	9000	400	750	5D22	3D22	2D10 - 75	3D22	3D22	2D10 - 100

2.12.2 Perencanaan Balok Anak

Balok anak berfungsi sebagai penghubung antara dua balok induk dalam struktur. Ukuran balok anak umumnya lebih kecil dibandingkan balok induk. Keberadaan balok anak tersebut membantu dalam distribusi beban dari pelat lantai ke balok induk, sehingga memungkinkan pengurangan tebal pelat lantai. Dengan demikian, penggunaan balok anak memberikan kontribusi penting dalam efisiensi desain struktur bangunan, mengoptimalkan penggunaan material dengan mengurangi beban pada pelat lantai dan memperhitungkan pembebanan yang tepat pada balok induk.

Data Perencanaan Balok Anak B3 (300 x 500 mm) pada bentang 7,2 meter

- Lebar balok (b) = 300 mm
- Tinggi balok (h) = 500 mm
- Tinggi efektif balok (d) = 439 mm
- Selimut beton = 40 mm
- Mutu beton (f'_c) = 30 MPa
- Diameter tulangan utama = 22 mm
- Diameter tulangan sengkang = 10 mm
- Tegangan leleh (F_y) = 280 MPa

- Mutu tulangan (F_y) = 420 MPa
- β_1 = 0,84

Berdasarkan analisis dari aplikasi ETABS, diperoleh gaya dalam balok sebagai berikut.

Lokasi		
	Tumpuan	Lapangan
Mu	-220,969 kNm	121.295 kNm
Vu	165,011 kN	109,560 kN

Tulangan pada balok ini dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu area tumpuan dan area lapangan. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam perhitungan untuk menentukan tulangan yang akan digunakan pada balok anak:

1) Perhitungan Tulangan Longitudinal Tumpuan

Faktor koreksi terkendali tarik : $\phi = 0,9$ (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

Asumsi jumlah tulangan = 4

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pakai} &= \frac{n \times \pi \times D^2}{4} \\
 &= \frac{4 \times \pi \times 22^2}{4} \\
 &= 1.520,531 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ min 1} &= \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} \times b_w \times d \\
 &= 429,375 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ min 2} &= \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d \\
 &= 439 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'c \cdot b} \\
 &= \frac{1520,531 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 300} \\
 &= 83,480
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{\alpha}{\beta_1} \\
 &= \frac{83,48}{0,84} \\
 &= 99,38 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c_{\max} &= \frac{3}{8} \cdot 439 \\
 &= 164,625 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_{\max} &= \beta \times c_{\max} \\
 &= 138,285 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) \\
 &= 253,699 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 \times 253,699 \\
 &= 228,329 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$M_u = 220,969 \text{ kNm}$$

Syarat : $\phi M_n > M_u = 228,329 > 220,969$ (Memenuhi syarat maka asumsi diterima)

Maka, didapat tulangan tumpuan yaitu 4D22.

2) Perhitungan Tulangan Longitudinal Lapangan

Faktor koreksi terkendali tarik : $\phi = 0,9$ (SNI 2847:2019 Tabel 21.2.2)

Asumsi jumlah tulangan = 3

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &= \frac{n \times \pi \times D^2}{4} \\
 &= \frac{3 \times \pi \times 22^2}{4} \\
 &= 1.140,398 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min } 1} &= \frac{0,25 \sqrt{f'c}}{f_y} \times b_w \times d \\
 &= 429,375 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s \min 2} = \frac{1,4}{f_y} \times b_w \times d$$

$$= 439 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{1140,398 \cdot 420}{0,85 \cdot 30 \cdot 300}$$

$$= 62,610$$

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

$$= \frac{62,610}{0,84}$$

$$= 74,92 \text{ mm}$$

$$c_{\max} = \frac{3}{8} \cdot 439$$

$$= 164,625 \text{ mm}$$

$$\alpha_{\max} = \beta \times c_{\max}$$

$$= 138,285 \text{ mm}$$

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$= 195,273 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 195,273$$

$$= 175,745 \text{ kNm}$$

$$M_u = 121,295 \text{ kNm}$$

Syarat : $\phi M_n > M_u = 175,745 > 121,295$ (Memenuhi syarat maka asumsi diterima)

Maka, didapat tulangan tumpuan yaitu 3D22.

3) Perhitungan Tulangan Geser Tumpuan

Sebagian dari gaya geser yang terjadi pada balok ditanggung oleh beton, sedangkan sisanya ditanggung oleh tulangan geser seperti sengkang atau

begel. Menurut SNI 2847:2019 pasal 22.5, kekuatan geser beton tanpa adanya gaya aksial dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$\begin{aligned} V_c &= 0,017 \times \sqrt{f'c} \times b \times d \\ &= 0,017 \times \sqrt{30} \times 300 \times 439 \\ &= 122,630 \text{ kN} \end{aligned}$$

Memeriksa batasan dimensi penampang:

$$\begin{aligned} V_s &\leq 0,66\sqrt{f'c} \times b \times d \\ 386,165 \text{ kN} &\leq 476,091 \text{ kN} \end{aligned}$$

Menghitung spasi minimal sengkang:

$$\begin{aligned} S &= \frac{Av.fyt.d}{V_s} \\ &= 68,92 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, digunakan $S = 75 \text{ mm}$ dan digunakan tulangan 2D10 – 75.

4) Perhitungan Tulangan Geser Lapangan

Sebagian dari gaya geser yang terjadi pada balok ditanggung oleh beton, sedangkan sisanya ditanggung oleh tulangan geser seperti sengkang atau begel. Menurut SNI 2847:2019 pasal 22.5, kekuatan geser beton tanpa adanya gaya aksial dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$\begin{aligned} V_c &= 0,017 \times \sqrt{f'c} \times b \times d \\ &= 0,017 \times \sqrt{30} \times 300 \times 439 \\ &= 122,630 \text{ kN} \end{aligned}$$

Memeriksa batasan dimensi penampang:

$$\begin{aligned} V_s &\leq 0,66\sqrt{f'c} \times b \times d \\ 289,623 \text{ kN} &\leq 476,091 \text{ kN} \end{aligned}$$

Menghitung spasi minimal sengkang:

$$\begin{aligned} S &= \frac{Av.fyt.d}{V_s} \\ &= 92,73 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, digunakan $S = 100 \text{ mm}$ dan digunakan tulangan 2D10 – 100.

Tabel 2. 29 Rekapitulasi Gaya Dalam Balok Anak

Kode Balok	Bentang	Tumpuan		Lapangan	
	mm	Mu (kNm)	Vu (kN)	Mu (kNm)	Vu (kN)
B3	7200	220,811	165,011	132,414	109,560
B4	3200	58,956	66,043	25,486	52,086
B5	1400	10,558	13,694	34,387	7,801
BL	3500	36,140	148,763	21,273	29,792

Tabel 2. 30 Rekapitulasi Penulangan Balok Anak

Kode Balok	Bentang	Dimensi (mm)		Tumpuan		Lapangan	
	mm	B	L	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
B4	7200	300	500	4D22	2D10 – 75	3D22	2D10 – 100
B5	3200	200	250	3D19	2D10 – 75	2D19	2D10 – 100
B6	1400	150	250	3D16	2D10 – 75	3D16	2D10 – 100
BL	3500	300	500	4D22	2D10 – 75	3D22	2D10 – 100

2.13 Perencanaan *Tie Beam*

Tie beam atau balok pengikat merupakan elemen struktur bawah yang berfungsi menghubungkan satu pondasi dengan pondasi lainnya agar bekerja secara terpadu. Kehadiran *tie beam* sangat penting untuk menjaga kestabilan sistem pondasi terhadap gaya lateral, perbedaan penurunan tanah, maupun gaya tarik yang mungkin terjadi akibat beban tidak simetris. Dengan adanya *tie beam*, setiap pondasi tidak bekerja sendiri-sendiri, melainkan saling menahan dan menyeimbangkan gaya satu sama lain sehingga risiko pergeseran dan ketidakseimbangan struktur dapat diminimalkan.

Pada perencanaan ini, *tie beam* ditempatkan di dalam tanah yang bertujuan untuk menyatukan elemen-elemen pondasi tanpa harus menimbulkan perbedaan elevasi yang besar, sekaligus membantu mendistribusikan beban dari struktur atas secara lebih merata. Selain berfungsi struktural, *tie beam* juga meningkatkan kekakuan sistem pondasi dan menjaga kestabilan arah horizontal bangunan. Oleh karena itu, perencanaan *tie beam* harus dilakukan dengan mempertimbangkan kekuatan lentur, gaya tarik, serta kemampuan menahan gaya geser agar mampu bekerja efektif sesuai peranannya dalam keseluruhan sistem struktur bangunan.

2.13.1 Perhitungan *tie beam* tipe 1

Pada perencanaan ini, digunakan tiga tipe *tie beam* yaitu tipe 1 (bentang 6300 mm), tipe 2 (bentang 8100 mm), dan tipe 3 (bentang 2150 mm). Berikut merupakan data-data yang diperlukan dalam perencanaan *tie beam* tipe 1.

Panjang bersih *tie beam* (L_n) = 6300 mm

Lebar *tie beam* (b) = 350 mm

Tinggi *tie beam* (h) = 550 mm

Diameter tulangan longitudinal (d_b) = 16 mm

Diameter tulangan transversal (d_s) = 10 mm

Selimut beton (C_c) = 30 mm

Kuat tekan beton (f_c') = 30 MPa

Kuat leleh tulangan longitudinal (f_y) = 420 MPa

Kuat leleh tulangan transversal (f_{yt}) = 280 MPa

$$\beta_1 = 0,84$$

$$\lambda = 1$$

1. Perhitungan Gaya Aksial

Pada SNI 2847:2019 pasal 18.13.3.2 disebutkan bahwa lebar balok pengikat harus lebih besar dari spasi bersih antar kolom yang disambung dibagi dengan 20 tetapi tidak perlu lebih besar dari 450 mm. Maka, lebar *tie beam* 450 mm dapat digunakan sebagai batas maksimal.

$$\begin{aligned}\text{Tinggi efektif tie beam (d)} &= h - C_c - d_b - d_s/2 \\ &= 550 - 30 - 16 - 10/2 \\ &= 502 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Gaya aksial kolom (P}_g\text{)} = 6.883,9566 \text{ kN (kolom K1)}$$

$$S_{DS} \text{ gempa} = 0,7802$$

Perlu dilakukan perhitungan gaya aksial pada *tie beam* sesuai dengan ketentuan SNI 1726:2019 pasal 7.13.6.2 yang menyatakan bahwa semua pengikat harus memiliki kuat tarik atau tekan paling sedikit sama dengan gaya sebesar 10% dikali nilai terbesar dari beban mati terfaktor ditambah beban hidup terfaktor pada penutup tiang fondasi atau kolom yang lebih besar.

$$\begin{aligned}\text{Gaya aksial tie beam (P}_u\text{)} &= 10\% \times S_{DS} \times P_g \\ &= 10\% \times 0,7802 \times 6.883,9566 \\ &= 537,086 \text{ kN}\end{aligned}$$

Cek $P_u > 0,1 \times A_g \times f_c'$. Jika P_u lebih besar maka gaya aksial perlu diperhitungkan.

$$P_u > 0,1 \times A_g \times f_c'$$

$$537,086 \text{ kN} > 0,1 \times (350 \times 550) \times 30$$

$$537,086 \text{ kN} < 577,500 \text{ kN} \text{ (Tidak perlu perhitungkan gaya aksial)}$$

2. Perhitungan Gaya Dalam Akibat Beda Penurunan

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas beton (E)} &= 4700 \sqrt{f'c'} \\ &= 4700 \sqrt{30} \\ &= 25.732 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Inersia penampang (I)} &= \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \\ &= \frac{1}{12} \cdot 350 \cdot 550^3 \\ &= 4,852 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$\text{Beda penurunan } (\Delta) = 4,630 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen tumpuan akibat beda penurunan} &= 6 \times E \times I \times \frac{\Delta}{Ln^2} \\ &= 6 \times 25.732 \times 4,852 \times \frac{4630}{6,3^2} \\ &= 87,435 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser tumpuan akibat beda penurunan} &= 12 \times E \times I \times \frac{\Delta}{Ln^3} \\ &= 12 \times 25.732 \times 4,852 \times \frac{4630}{6,3^3} \\ &= 27,757 \text{ kN} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Gaya Dalam Akibat Beban Gravitasi

$$\begin{aligned} \text{Beban merata akibat berat sendiri (q}_{DL}) &= \text{Berat jenis beton} \times b \times h \\ &= 24 \times 0,35 \times 0,55 \\ &= 4,531 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban merata akibat beban dinding (q}_{SIDL}) &= \text{Beban dinding} \times \text{Tinggi lantai} \\ &= 2,5 \times 4,5 \end{aligned}$$

$$= 11,25 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban merata akibat beban gravitasi (q}_D\text{)} &= 1,4 (q_{DL} + q_{SIDL}) \\ &= 1,4 (4,531 + 11,25) \\ &= 22,093 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen tumpuan} &= -\frac{1}{12} \times q_D \times L_n^2 \\ &= -\frac{1}{12} \times 22,093 \times 6,3^2 \\ &= -73,072 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen lapangan} &= \frac{1}{24} \times q_D \times L_n^2 \\ &= \frac{1}{24} \times 22,093 \times 6,3^2 \\ &= 36,536 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser tumpuan} &= \frac{L_n}{2} \times q_D \\ &= \frac{6,3}{2} \times 22,093 \\ &= 69,593 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser lapangan} &= \frac{L_n}{4} \times q_D \\ &= \frac{6,3}{4} \times 22,093 \\ &= 34,796 \text{ kN} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Penulangan Lentur

Penulangan Tumpuan Negatif

Asumsi jumlah tulangan = 6

$$\begin{aligned} \text{As pakai} &= \frac{\pi}{4} \times n \times d_b^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \times 6 \times 16^2 \end{aligned}$$

$$= 1.206,372 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 1} &= (0,25\sqrt{f'c})/f_y \times b \times d \\ &= (0,25\sqrt{30})/420 \times 350 \times 502 \\ &= 572,827 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 2} &= 1,4/f_y \times b \times d \\ &= 1,4/420 \times 350 \times 502 \\ &= 585,667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times f'c \times b} \\ &= \frac{1.206,372 \times 420}{0,85 \times 30 \times 350} \\ &= 56,770 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{\alpha}{\beta_1} \\ &= \frac{56,770}{0,84} \\ &= 67,930 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \cdot f_y \cdot (d - \frac{\alpha}{2}) \\ &= 1.206,372 \cdot 420 \cdot (502 - \frac{56,770}{2}) \\ &= 239,969 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 239,969 \\ &= 215,972 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_u = 160,507 \text{ kNm}$$

Syarat : $\phi M_n > M_u = 215,972 > 160,507$ (Memenuhi syarat maka asumsi diterima)

Maka, didapat tulangan tumpuan yaitu 6D16.

Penulangan Tumpuan Positif

Asumsi jumlah tulangan = 4

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{\pi}{4} \times n \times d_b^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \times 4 \times 16^2 \\ &= 804,248 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min 1} &= (0,25\sqrt{f'c})/f_y \times b \times d \\ &= (0,25\sqrt{30})/420 \times 350 \times 502 \\ &= 572,827 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min 2} &= 1,4/f_y \times b \times d \\ &= 1,4/420 \times 350 \times 502 \\ &= 585,667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times f'c' \times b} \\ &= \frac{804,248 \times 420}{0,85 \times 30 \times 350} \\ &= 37,847 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{\alpha}{\beta_1} \\ &= \frac{163,176}{0,84} \\ &= 45,287 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \cdot f_y \cdot (d - \frac{\alpha}{2}) \\ &= 804,248 \cdot 420 \cdot (502 - \frac{37,847}{2}) \\ &= 163,176 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times 163,176 \\ &= 146,858 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_u = 87,435 \text{ kNm}$$

Syarat : $\phi M_n > M_u = 146,858 > 87,435$ (Memenuhi syarat maka asumsi diterima)

Maka, didapat tulangan tumpuan yaitu 4D16.

Penulangan Lapangan Negatif

Asumsi jumlah tulangan = 4

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{\pi}{4} \times n \times d_b^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \times 4 \times 16^2 \\ &= 804,248 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min 1} &= (0,25 \sqrt{f'_c}) / f_y \times b \times d \\ &= (0,25 \sqrt{30}) / 420 \times 350 \times 502 \\ &= 572,827 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min 2} &= 1,4 / f_y \times b \times d \\ &= 1,4 / 420 \times 350 \times 502 \\ &= 585,667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{804,248 \times 420}{0,85 \times 30 \times 350} \\ &= 37,847 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{\alpha}{\beta_1} \\ &= \frac{37,847}{0,84} \\ &= 45,056 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$= 804,248 \cdot 420 \cdot \left(502 - \frac{37,847}{2}\right)$$

$$= 163,176 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 428,627$$

$$= 385,764 \text{ kNm}$$

$$M_u = 69,593 \text{ kNm}$$

Syarat : $\phi M_n > M_u = 385,764 > 69,593$ (Memenuhi syarat maka asumsi diterima)

Maka, didapat tulangan tumpuan yaitu 4D16.

Penulangan Lapangan Positif

Asumsi jumlah tulangan = 4

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{\pi}{4} \times n \times d_b^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \times 4 \times 16^2 \\ &= 804,248 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 1} &= (0,25 \sqrt{f'_c}) / f_y \times b \times d \\ &= (0,25 \sqrt{30}) / 420 \times 350 \times 502 \\ &= 572,827 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min } 2} &= 1,4 / f_y \times b \times d \\ &= 1,4 / 420 \times 350 \times 502 \\ &= 585,667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{804,248 \times 420}{0,85 \times 30 \times 350} \\ &= 37,847 \end{aligned}$$

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

$$= \frac{37,847}{0,84}$$

$$= 45,056 \text{ mm}$$

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

$$= 804,248 \cdot 420 \cdot \left(502 - \frac{37,847}{2}\right)$$

$$= 163,176 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 163,176$$

$$= 146,858 \text{ kNm}$$

$$M_u = 146,858 \text{ kNm}$$

Syarat : $\phi M_n > M_u = 146,858 > 146,858$ (Memenuhi syarat maka asumsi diterima)

Maka, didapat tulangan tumpuan yaitu 4D16.

5. Penulangan Geser

Penulangan Geser Tumpuan

Misal digunakan jumlah tulangan = 2

$$A_v = \frac{\pi}{4} \times n \times d_s^2$$

$$= \frac{\pi}{4} \times 2 \times 16^2$$

$$= 402,123 \text{ mm}^2$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 502$$

$$= 163,599 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= A_v \cdot F_{yt} \cdot d/s \\
 &= 157,080 \cdot 280 \cdot 502/100 \\
 &= 220,791 \text{ kN (Digunakan karena lebih kecil)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 350 \times 502 \\
 &= 635,150 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \\
 &= 163,599 + 220,791 \\
 &= 384,390 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= 0,75 \times 384,390 \\
 &= 288,293 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_u = 97,350 \text{ kN}$$

Syarat kapasitas tulangan geser : $\phi V_n \geq V_u$ 1 dengan $\phi = 0,75$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$288,293 > 97,350 \text{ (Memenuhi syarat)}$$

Syarat :

$$s < s_{\max} = d/2 \text{ dan } 600 \text{ mm}$$

$$100 < 349,5 \text{ mm dan } 600 \text{ mm (Memenuhi Syarat)}$$

Maka, kebutuhan tulangan geser tumpuan adalah 2D10 – 100.

Penulangan Geser Lapangan

Misal digunakan jumlah tulangan = 2

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{\pi}{4} \times n \times d_s^2 \\
 &= \frac{\pi}{4} \times 2 \times 10^2
 \end{aligned}$$

$$= 157,080 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 350 \times 502 \\ &= 163,599 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= A_v \cdot F_{yt} \cdot d/s \\ &= 157,080 \cdot 280 \cdot 502/150 \\ &= 147,194 \text{ kN (Digunakan karena lebih kecil)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batas } V_s &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 350 \times 502 \\ &= 635,150 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 163,599 + 147,194 \\ &= 310,793 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,75 \times 310,793 \\ &= 233,095 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_u = 34,796 \text{ kN}$$

Syarat kapasitas tulangan geser : $\phi V_n \geq V_u$ 1 dengan $\phi = 0,75$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$288,293 > 97,350 \text{ (Memenuhi syarat)}$$

Syarat :

$$s < s_{\max} = d/2 \text{ dan } 600 \text{ mm}$$

$$100 < 349,5 \text{ mm dan } 600 \text{ mm (Memenuhi Syarat)}$$

Maka, kebutuhan tulangan geser tumpuan adalah 2D10 – 100.

Adapula rekapitulasi perhitungan *tie beam* seperti pada tabel 2.31 Berikut.

Tabel 2. 31 Rekapitulasi Penulangan *Tie Beam*

Kode <i>Tie</i> <i>Beam</i>	Bentang	Dimensi		Tumpuan			Lapangan		
		mm		Longitudinal		Transversal	Longitudinal		Transversal
	mm	B	L	-	+		-	+	
Tipe 1	6300	350	550	6D16	4D16	2D10 – 100	4D16	4D16	2D10 – 150
Tipe 2	8100	450	550	6D16	6D16	2D10 – 75	6D16	6D16	2D10 – 100
Tipe 3	2150	250	400	4D16	4D16	2D10 – 100	2D16	2D16	2D10 – 150

2.14 Perencanaan Kolom

Pada perencanaan gedung asrama ini, digunakan empat buah kolom. Berikut merupakan contoh perhitungan perencanaan kolom dengan dimensi terbesar.

Data Perencanaan Kolom K1 (900 x 900) Lantai 1

- KDS = D
- Mutu beton (f'_c) = 30 MPa
- Diameter tulangan longitudinal = 25 mm
- Diameter tulangan sengkang = 10 mm
- Selimut beton = 40 mm
- Tinggi kolom (L) = 4500 mm
- Tinggi bersih kolom (L_n) = 3700 mm
- Tinggi kolom atas = 4200 mm
- Lebar balok (b_b) = 500 mm
- Tinggi balok (h_b) = 800 mm
- Lebar kolom (b_k) = 900 mm
- Tinggi kolom (h_k) = 900 mm
- β_1 = 0,84
- d = 855 mm

Gaya dalam berdasarkan hasil analisis struktur kolom dari ETABS

- P_u = 8.266,41 kN

- $M_x = 1.073,71 \text{ kNm}$
- $M_y = 330,32 \text{ kNm}$
- $V_u = 330,783 \text{ kN}$
- $N_u = 6,311 \text{ kN}$

2.14.1 Pemeriksaan Ketentuan Kolom

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.2, kolom harus memenuhi syarat sebagai berikut.

- Dimensi terkecil tidak kurang dari 300 mm
Syarat : $900 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$ (Memenuhi syarat)
- Rasio dimensi penampang terkecil tidak kurang dari 0,4
Syarat : $b/h = 900/900 = 1 > 0,4$ (Memenuhi syarat)

2.14.2 Perhitungan Tulangan Longitudinal

- Asumsi Tulangan 32D25

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1, luas tulangan longitudinal A_s tidak boleh kurang dari 0,01 A_g dan tidak lebih dari 0,06 A_g . Dengan kata lain, rasio tulangan longitudinal dibatasi oleh $0,01 < \rho < 0,06$.

$$\begin{aligned} A_s &= n \times 0,25\pi \times d^2 \\ &= 20 \times 0,25\pi \times 32^2 \\ &= 15.708 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g &= b \times h \\ &= 900 \times 900 \\ &= 810.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rasio } (\rho) &= \frac{A_s}{A_g} \\ &= \frac{15.708}{810.000} = 0,0194 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat} = 0,01 < 0,0194 < 0,06 \text{ (Memenuhi Syarat)}$$

- Ketentuan SCWB (*Strong Column Weak Beam*)

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2, kekuatan lentur kolom harus memenuhi 2. $M_{nc} \geq 1,2 (M_n^- \text{ balok} + M_n^+ \text{ balok})$.

$$M_n \text{ kolom} = 1.076,947 \text{ kNm}$$

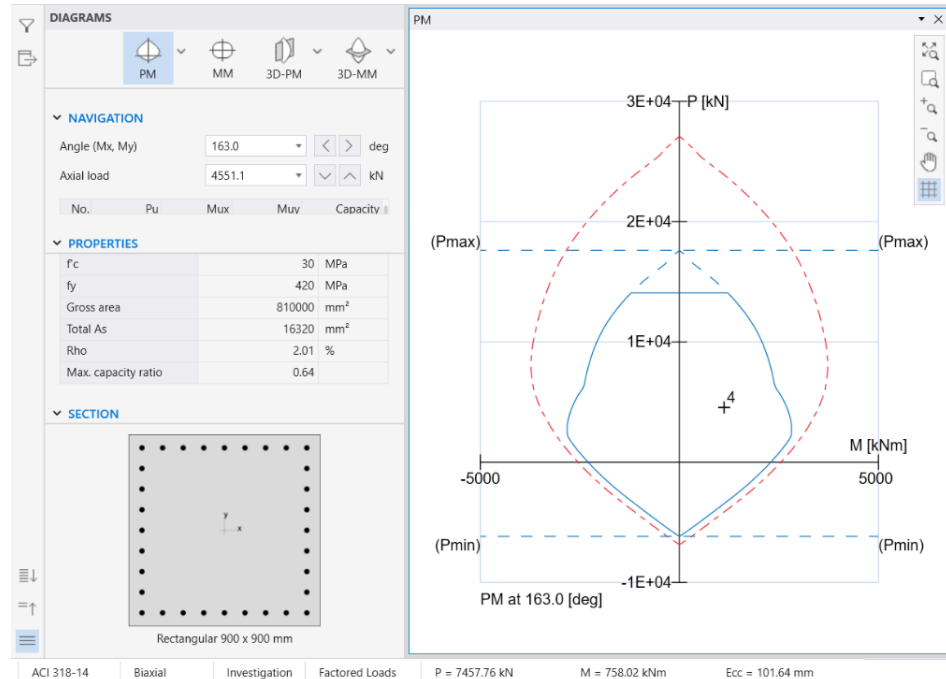
$$Mn^- \text{ balok} = 1.116,304 \text{ kNm}$$

$$Mn^+ \text{ balok} = 584,822 \text{ kNm}$$

$$2 \times Mn \text{ kolom} \geq 1,2 (Mn^- \text{ balok} + Mn^+ \text{ balok})$$

$$2 \times (1.076,947) \geq 1,2 (1.116,304 + 584,822)$$

$$2.153,89 \text{ kNm} \geq 2.041,35 \text{ kNm} \text{ (Memenuhi Syarat)}$$



Gambar 2. 27 Diagram Kolom K1

2.14.3 Perhitungan Tulangan Transversal

- 1) Perhitungan Tulangan di Daerah Sendi Plastis (Tumpuan)

$$bc = bw - 2 \text{ (selimut beton)}$$

$$= 900 - 2(40)$$

$$= 820 \text{ mm}$$

$$Ag = b \times h$$

$$= 900 \times 900$$

$$= 810.000 \text{ mm}^2$$

$$Ach = bc^2$$

$$= 820^2$$

$$= 672.400 \text{ mm}^2$$

$$0,3 f'c Ag = 0,3 (30) (810.000)$$

$$= 7.290.000 \text{ N}$$

$$= 7.290 \text{ kN}$$

$$P_u = 8.266,41 \text{ kN} > 0,3 f'_c A_g \text{ (Memenuhi syarat)}$$

Menurut SNI 2847:2019, pasal 18.7.5.4 karena $P_u > 0,3 f'_c A_g$, maka :

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min 1} &= 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \\ &= 0,3 \left(\frac{810.000}{672.400} - 1 \right) \left(\frac{30}{420} \right) \\ &= 0,00429 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s} \text{ min 2} &= 0,09 \left(\frac{f'_c}{f_{yt}} \right) \\ &= 0,09 \left(\frac{30}{420} \right) \\ &= 0,00643 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min 3} = 0,2 \text{ kf kn} \left(\frac{P_u}{f_{yt} \cdot A_{ch}} \right)$$

$$\begin{aligned} k_f &= \frac{f'_c}{175} + 0,6 \geq 1 \\ &= \frac{30}{175} + 0,6 = 0,8 \end{aligned}$$

Maka, digunakan $k_f = 1$

$$\begin{aligned} k_n &= \frac{n_1}{n_1 - 2} \\ &= \frac{32}{32 - 2} = 1,1 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s} \text{ min 3} = 0,2 \cdot 1 \cdot 1,1 \left(\frac{8.266,41 \times 1000}{420 \times 672.400} \right) = 0,00649 \text{ mm}^2$$

Maka diambil nilai $\frac{A_{sh}}{s}$ minimal yang terbesar yaitu $0,00649 \text{ mm}^2$.

Misal digunakan tulangan transversal D10 jumlah kaki = 9

$$A_{sh} = n \times \pi/4 \times d^2 = 706,858 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_{sh}}{0,0127 \times bc} = \frac{706,858}{0,0127 \times 820} = 67,88$$

Digunakan spasi 75 mm dengan pengecekan:

$$\frac{A_{sh}}{s} = \frac{706,858}{75} = 9,424 \text{ mm}^2/\text{mm} \text{ (Memenuhi Syarat Minimal)}$$

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3, spasi tulangan transversal tidak melebihi:

$$\text{a. } 0,25 b = 0,25 (900) = 225 \text{ mm}$$

$$\text{b. } 6d = 6 (25) = 150 \text{ mm}$$

$$\text{c. } S_0 = 100 + \left(\frac{350 - hx}{3} \right) = 150 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 150 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 75 \text{ mm (Memenuhi Syarat)}$$

Maka, digunakan tulangan 9D10 – 75.

2) Perhitungan Gaya Geser Kolom

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 2487:2019, momen-momen ujung Mpr berdasarkan pada tegangan tarik baja sebesar 1,25 fy.

$$M_{pr \text{ kolom}} = 3.192,815 \text{ kNm}$$

$$V_u = \frac{2 \cdot M_{pr \text{ kolom}}}{L_n}$$

$$= \frac{2 \times 3.192,815}{3700}$$

$$= 1.725,85 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{3,5 A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$= 702,229 \text{ kN}$$

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

$$= 1.598,9 \text{ kN}$$

$$\frac{A_s}{s} \text{ min 1} = 0,062 \sqrt{f'_c} \frac{bw}{f_y}$$

$$= 0,7277 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_s}{s} \text{ min 2} = 0,35 \times \frac{bw}{f_y}$$

$$= 0,7500 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \cdot d}$$

$$= 4,5456 \text{ mm}^2/\text{mm (Memenuhi Syarat)}$$

3) Perhitungan Tulangan di Luar Daerah Sendi Plastis/Lapangan

Misal digunakan jumlah kaki = 4 dan spasi = 100

$$\text{Spasi max 1} = 6 \cdot d = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max 2} = 150 \text{ mm}$$

Maka spasi = 100 mm memenuhi syarat

$$V_u = 309,731 \text{ kN}$$

$$V_c = 702,229 \text{ kN}$$

$$V_s = 0 \text{ kN}$$

$$V_c + V_s > V_u$$

$$702,299 \text{ kN} > 309,731 \text{ kN (Memenuhi Syarat)}$$

Maka, digunakan asumsi tulangan dapat digunakan yaitu 4D10 – 100.



Tabel 2. 32 Rekapitulasi Perhitungan Kolom

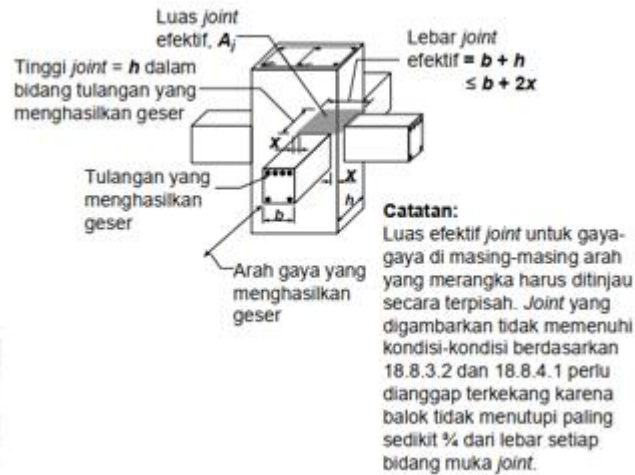
Dimensi			Tumpuan		Lapangan	
Tipe	b (mm)	h (mm)	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
Kolom 1	900	900	32D25	9D10 – 75	32D25	4D10 – 100
Kolom 2	800	800	28D25	8D10 – 75	28D25	4D10 – 150
Kolom 3	700	700	24D25	7D10 – 75	24D25	4D10 – 100
Kolom Lift	500	500	12D22	4D13 – 75	12D22	4D13 – 100

2.15 Hubungan Balok Kolom

Perhitungan hubungan antara balok dan kolom merupakan hal yang penting dikarenakan perlu dilakukan perhitungan untuk menentukan kebutuhan tulangan tambahan yang diperlukan untuk mengikat antara balok dan kolom. Hubungan antara kolom dan balok harus memenuhi persyaratan yang tercantum dalam SNI 2847:2019 pasal 18.8 yang mengatur mengenai Joint Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus.

Dimensi balok	: B1 (500 x 800)
Dimensi kolom	: K1 (900 x 900)
D tulangan longitudinal kolom	: 32 D25
D tulangan transversal kolom	: 7D10-100
D tulangan longitudinal balok tumpuan atas	: 8 D25
D tulangan longitudinal balok tumpuan bawah	: 4 D25
D tulangan transversal balok	: 2D16-100
Selimut beton	: 40 mm
Tinggi kolom	: 900 mm
Fy tulangan longitudinal	: 420 Mpa
Fy tulangan transversal	: 420 Mpa
F'c	: 30 Mpa
λ	: 1
Faktor terdistribusi (DF)	: 0,5
Faktor pengali	: 1

2.15.1 Perhitungan Luas Penampang Efektif



Gambar 2. 28 Luas *Joint* Efektif

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 2847:2019 pasal 18.8.2.4, *joint* kolom (h) harus minimal setengah dari tinggi balok-balok yang tersambung pada *joint* tersebut dan berperan dalam menahan gaya geser sebagai bagian dari sistem struktur penahan gempa. Diketahui terdapat 4 balok yang terhubung dalam satu kolom. Diantaranya ada 3 balok B1 dan 1 balok B3, dimensi balok B1 (500 x 800) dan B3 (300 x 500) dan kolom K1 (900 x 900) terletak pada pertemuan balok dengan kolom interior.

B balok B1 (bb_1)	= 500 mm
H balok B1 (hb_1)	= 800 mm
B balok B3 (bb_2)	= 300 mm
H balok B4 (hb_2)	= 500 mm
B kolom K1 (b_j)	= 900 mm
H kolom K1 (h_j)	= 900 mm > 0,5 h balok
	= 900 mm > 0,5 (800)
	= 900 mm > 400 mm (Memenuhi Syarat)

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 2847:2019 pasal 18.8.4.3, luas *joint* efektif diukur dari muka kolom ke muka kolom pada arah memanjang balok, serta dari

muka balok ke muka balok pada arah tegak lurus terhadap arah tersebut. Dengan demikian, luas *joint* efektif merupakan daerah pertemuan antara balok dan kolom yang menyalurkan gaya geser dan momen dari balok ke kolom.

$$\begin{aligned}x \text{ balok B1 (x1,x2)} &= \frac{hj-bb1}{2} \\&= \frac{900-500}{2} \\&= 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}bj &= bb1 + 2x \\&= 500 + 2(200) \\&= 900 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas efektif joint (Aj)} &= bj \times hj \\&= 900 \times 900 \\&= 810.000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x \text{ balok B3 (x1,x2)} &= \frac{hj-bb2}{2} \\&= \frac{900-300}{2} \\&= 300\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}bj &= bb2 + 2x \\&= 300 + 2(300) \\&= 900 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Luas efektif joint (Aj)} &= bj \times hj \\&= 900 \times 900 \\&= 810.000 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 2847:2019 pasal 18.8.3.2, apabila pada keempat sisi joint terdapat balok yang tersambung dan masing-masing balok memiliki lebar minimal tiga perempat dari lebar kolom, maka jumlah tulangan

pengekang yang dibutuhkan dapat dikurangi 0,5 , dan jarak antar tulangan dapat diperbesar maksimal 150 mm, asalkan dimensi balok yang tersambung mencukupi.

Jumlah Balok pada sisi *joint* = 4

B balok B1 (bb1) = 500 mm

B balok B3 (bb2) = 300 mm

$$\begin{aligned}\frac{3}{4} \times B \text{ kolom} &= \frac{3}{4} \times (900) < bb1 \\ &= 675 \text{ mm} < 500 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat balok mengekang b balok $> \frac{3}{4} \times b$ kolom, didapatkan 500 mm dan 300 mm < 675 mm. Balok tidak mengekang kolom dan dianggap merangka.

2.15.2 Perhitungan Jumlah Tulangan

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3, perhitungan sebagai berikut.

$$A_{sh} / s = 5,271 \text{ mm}$$

Jarak tulangan transversal yang digunakan adalah 100 mm

$$s_{use} = 100 \text{ mm}$$

$$A_{sh} / s_{req} = A_{sh} / s \times s_{use}$$

$$= 5,271 \times 100$$

$$= 527,1 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh} / s_{use} = n \times \frac{\pi}{4} \times d^2$$

$$= 9 \times \frac{\pi}{4} \times 10^2$$

$$= 706,8584 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat} = A_{sh} / s_{use} > A_{sh} / s_{req} \text{ (Memenuhi Syarat)}$$

Digunakan tulangan 9D10-100.

2.15.3 Perhitungan Gaya Geser

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3, Gaya geser desain (V_e) harus dihitung dengan mempertimbangkan gaya maksimum yang mungkin terjadi pada permukaan joint di setiap ujung kolom. Gaya-gaya ini ditentukan berdasarkan momen lentur maksimum (M_{pr}) yang dapat terjadi di setiap ujung kolom, sesuai dengan rentang beban aksial terfaktor (P_u) yang bekerja pada kolom tersebut. Nilai geser pada kolom tidak wajib melebihi geser yang diperoleh dari kekuatan joint berdasarkan M_{pr} balok yang tersambung ke *joint*. Namun, V_e tidak boleh lebih kecil dari gaya geser terfaktor hasil analisis struktur. Perhitungan kekuatan momen balok dilakukan dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan sebesar 1,0, dan tegangan leleh tulangan yang digunakan paling sedikit sebesar 1,25 kali f_y . Pembagian kombinasi momen antara balok dan kolom di atas maupun di bawah joint harus ditentukan melalui analisis.

Untuk tulangan 8D25 sisi atas pada balok B1:

As

$$\begin{aligned} &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 8 \times \frac{\pi}{4} \times 25^2 \\ &= 3926,991 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

a

$$\begin{aligned} &= A_s \times f_y / (0.85 \times f'_c \times b) \\ &= \frac{3926,991 \times 420}{0,85 \times 30 \times 500} \\ &= 129,3597 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tinggi efektif balok (d)

$$\begin{aligned} &= h - c_c - d_s - d_b/2 \\ &= 800 - 40 - 16 - 25/2 \\ &= 731,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

M_{pr}

$$\begin{aligned} &= A_s + (1.25 f_y) (d - a/2) \\ &= 3926,991 \times (1,25 \times 420)(731,5 - (129,3597/2)) \\ &= 1374,7633 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Untuk tulangan 4D25 sisi atas pada balok B1:

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 25^2 \\ &= 1.963,4954 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= A_s \times f_y / (0.85 \times f'_c \times b) \\ &= \frac{1963,4954 \times 420}{0,85 \times 30 \times 500} \\ &= 64,6798 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif balok (d)} &= h - c_c - d_s - d_b/2 \\ &= 800 - 40 - 16 - 25/2 \\ &= 731,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr} &= A_s \times (1.25 f_y) (d - a/2) \\ &= 1963,4954 \times (1,25 \times 420) (731,5 - (64,6798/2)) \\ &= 720,7187 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Untuk tulangan 4D22 sisi atas pada balok B4:

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 \\ &= 1520,5308 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= A_s \times f_y / (0.85 \times f'_c \times b) \\ &= \frac{1520,5308 \times 420}{0,85 \times 30 \times 300} \\ &= 83,4801 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi efektif balok (d)} &= h - c_c - d_s - d_b/2 \\ &= 500 - 40 - 10 - 22/2 \end{aligned}$$

$$= 439 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_{pr} &= A_s + (1.25 f_y) (d - a/2) \\ &= 1520,5308 (1,25 \times 420)(475 - (115,2941/2)) \\ &= 317,1241 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Untuk tulangan 2D22 sisi atas pada balok B4:

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \frac{\pi}{4} \times d_b^2 \\ &= 2 \times \frac{\pi}{4} \times 22^2 \\ &= 760,2654 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= A_s \times f_y / (0.85 \times f'_c \times b) \\ &= \frac{760,2654 \times 420}{0,85 \times 30 \times 300} \\ &= 41,7401 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr} &= A_s + (1.25 f_y) (d - a/2) \\ &= 760,2654 \times (1,25 \times 420)(731,5 - (69,1765/2)) \\ &= 166,8921 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kolom dianggap memiliki kekakuan yang sama, maka faktor distribusi digunakan 0,5.

$$\begin{aligned} M_c &= 0,5 (1374,7633 + 720,7187) \\ &= 1047,741 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_n &= 4500 - (0,5 \times 800) - (0,5 \times 800) \\ &= 3,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_c + M_c}{l_n} \\ &= \frac{1047,741 + 1047,741}{3,7} \end{aligned}$$

$$= 566,3465 \text{ kN}$$

Luas tulangan atas 8D25 ($A_s = 3926,991 \text{ mm}^2$)

Gaya tarik beton di sisi kiri

$$\begin{aligned} C1 = T1 &= 1,25 A_s F_y \\ &= 1,25 \times 3926,991 \times 420 \\ &= 2061,6703 \text{ kN} \end{aligned}$$

Luas tulangan bawah 4D25 ($A_s = 1963,4954 \text{ mm}^2$)

Gaya tekan beton di sisi kanan

$$\begin{aligned} C2 = T2 &= 1,25 A_s F_y \\ &= 1,25 \times 1963,4954 \times 420 \\ &= 1030,8351 \text{ kN} \end{aligned}$$

Asumsi bangunan bergerak ke kiri

$$\begin{aligned} V_j &= T1 + C2 - V_e \\ &= 2061,6703 + 1030,8351 - 566,3465 \\ &= 2526,1589 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan ketentuan dalam SNI 2847:2019 pasal 18.8.4.1, Hubungan balok kolom yang ditinjau adalah pertemuan antara kolom dan balok diujung bangunan, sehingga kolom di rangka oleh 4 balok pada keempat sisi kolom namun tidak mengekang melainkan merangka.

$$\begin{aligned} V_n &= 1 \times \sqrt{f_y} \times A_j \\ &= 1 \times \sqrt{30} \times 810000 \\ &= 4436,5527 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,85 \times V_n \\ &= 0,85 \times 4436,5527 \end{aligned}$$

$$= 3771,0698 \text{ kN} > V_j = 2687,4898 \text{ kN (Memenuhi Syarat)}$$

Metode perhitungan yang digunakan berlaku seragam untuk semua komponen struktur, maka komponen hubungan balok kolom lainnya ditampilkan secara terpisah dalam bentuk gambar pada bagian lampiran.

