

BAB IV
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Perencanaan

4.1.1 Data Struktur Bangunan

Data Teknis Proyek Gedung Penunjang Bank NTT :

Nama bangunan : Gedung Penunjang PT. Bank NTT
 Lokasi bangunan : Jl. W.J. Lalametik Oebufu, Kota Kupang-NTT
 Fungsi : Kantor
 Struktur utama : Beton Bertulang
 Jumlah lantai : 5 lanta + atap
 Panjang bangunan : 36 m
 Lebar bangunan : 20 m
 Tinggi bangunan : 28 m
 Atap : Dag beton

Tinggi per lantai Gedung Penunjang Bank NTT sebagai berikut :

Lantai 1 (H1) : 4,5 m
 Lantai 2 (H2) : 4,5 m
 Lantai 3 (H3) : 4,5 m
 Lantai 4 (H4) : 4,5 m
 Lantai 5 (H5) : 4 m
 Lantai 6 (H6) : 4 m

4.1.2 Data Material

Data struktur Proyek Gedung Penunjang Bank NTT

Mutu beton (f_c) : 25 MPa
 Mutu baja tulangan : BJT S 420
 (SNI 2052-2024, Tabel 7 Hal.9)
 Tegangan leleh (f_y) : 420 MPa
 Tegangan putus (f_u) : 280 MPa
 Modulus elastisitas beton (E_c) : $4700 \times \sqrt{25}$
 : 4700×5
 : 23500 MPa
 Modulus Elastisitas baja (E_s) : 200000 MPa

4.1.3 Data Dimensi Elemen Struktur

Data dimensi elemen struktur yang digunakan dalam tugas akhir ini merupakan dimensi. Struktur eksisting, yang mencakup tinggi lantai, dimensi kolom, balok induk, balok anak, pelat lantai, dan sloof.

Tabel 4.1 Dimensi Elemen Struktur

Dimensi Sloof dan Balok	
S1	30 x 50
SP	15 x 20
B1	30 x 50
B2	25 x 40
Dimensi Kolom	
K1	60 x 60
K2	50 x 50
K3	40 x 40
K4	30 x 50
Pelat Lantai	Tebal 125 mm

4.2 Perhitungan Pembebanan

4.2.1 Beban Mati

Berikut adalah berat bahan bangunan dan berat komponen gedung yang mengacu pada pedoman perencanaan beban desain minimum untuk bangunan gedung dan struktur lain mengacu pada peraturan SNI 1727 : 2020

Bj Beton bertulang	=	24	kN/m ³	(Sumber : SNI 1727 :2020 Tabel C3.11-2)
Bj Air	=	9,8	kN/m ³	(Sumber : SNI 1727 :2020 Tabel C3.11-2)
Bj Keramik	=	23,6	kN/m ³	(Sumber : SNI 1727 :2020 Tabel C3.11-2)
Bj Gypsum	=	7,9	kN/m ³	(Sumber : SNI 1727 :2020 Tabel C3.11-2)
Bj MEP	=	0,19	kN/m ³	(Sumber : SNI 1727 :2020 Tabel C3.11-2)
Bj Penggantung	=	0,1	kN/m ²	(Sumber : SNI 1727 :2020 Tabel C3.11-2)
Bj Bata Ringan	=	1000	kg/m ³	(Sumber: Brika)
Bj Spesi	=	20,4	kN/m ³	(Sumber : SNI 1727 :2020 Tabel C3.11-2)
Beban spesi	=	0,023	kN/m ²	(Sumber : SNI 1727 :2020 Tabel C3.11-2)
Beban Water Proofing	=	0,05	kN/m ²	(Sumber : SNI 1727 :2020 Tabel C3.11-2)
Beban Kaca	=	0,38	kN/m ²	(Sumber : SNI 1727 :2020 Tabel C3.11-2)
Beban Kayu	=	0,96	kN/m ²	(Sumber : SNI 1727 :2020 Tabel C3.11-2)

1 Berat Bahan Bangunan

Berat Jenis Beton Bertulang = 24 kN/m³

(Dihitung otomatis dengan program ETABS)

2 Beban Mati Tambahan

- Berat Air Hujan

Tebal air hujan diasumsikan = 0,05 m

Berat air Hujan = Tebal air hujan x Bj air

= 0,05 x 9,8

= 0,49 kN/m²

- **Berat Penutup Lantai**

$$\begin{aligned} \text{Berat spesi} &= 0,023 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Ubin keramik (t = 12 mm)} &= \text{Tebal keramik} \times \text{Berat jenis keramik} \\ &= 0,012 \times 23,6 \\ &= 0,283 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Berat penutup lantai} &= \text{Berat keramik} + \text{spesi} \\ &= 0,283 + 0,023 \\ &= 0,306 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- **Berat Mekanikal Elektrikal**

$$\text{Berat MEP} = 0,19 \text{ kN/m}^2$$

- **Berat Plafond**

$$\begin{aligned} \text{Berat Plafond (12 mm)} &= \text{Tebal plafond} \times \text{Berat jenis plafond} \\ &= 0,012 \times 7,9 \\ &= 0,0948 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Berat penggantung} = 0,10 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Berat total} &= \text{Berat plafond} + \text{Berat penggantung} \\ &= 0,1 + 0,10 \\ &= 0,19 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- **Berat bata ringan**

(Sumber : Brika)

$$\begin{aligned} \text{Bj bata ringan} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\ &= 9,810 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Tebal bata ringan} = 0,1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Bata Ringan} &= \text{Bj bata ringan} \times \text{tebal bata ringan} \\ &= 9,810 \times 0,1 \\ &= 0,981 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat plesteran (t = 10 mm)} &= \text{Bj spesi} \quad \times \quad \text{tebal plester} \times 2 \\
 &= 20,4 \quad \times \quad 0,02 \\
 &= 0,408 \quad \text{kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \quad + \quad \text{Berat plesteran dinding} \\
 &= 0,981 \quad + \quad 0,408 \\
 &= 1,39 \quad \text{kN/m}^2
 \end{aligned}$$

- Beban kaca eksterior (t = 12 mm) = 0,38 kN/m²
- Beban Kayu = 0,96 kN/m²

4.2.2 Beban Mati Tambahan Pada Pelat

a) Beban mati tambahan pada pelat atap

$$\begin{aligned}
 \text{Berat spesi (t=3 cm)} &= 0,03 \quad \times \quad 20,4 \quad \text{kN/m}^3 \\
 &= 0,612 \quad \text{kN/m}^2 \\
 \text{Berat water proofing} &= 0,05 \quad \text{kN/m}^2 \\
 \text{Berat air hujan} &= 0,49 \quad \text{kN/m}^2 \\
 \text{Berat struktur MEP} &= 0,19 \quad \text{kN/m}^2 \\
 \text{Berat plafond + rangka} &= 0,19 \quad \text{kN/m}^2 \quad + \\
 \hline
 \text{Total} &= 1,537 \quad \text{kN/m}^2
 \end{aligned}$$

b) Beban mati tambahan pelat lantai 1-5

$$\begin{aligned}
 \text{Berat spesi (t = 3 cm)} &= 0,03 \quad \times \quad 20,4 \\
 &= 0,612 \quad \text{kN/m}^2 \\
 \text{Berat struktur MEP} &= 0,19 \quad \text{kN/m}^2 \\
 \text{Berat plafond + rangka} &= 0,19 \quad \text{kN/m}^2 \\
 \text{Berat penutup lantai} &= 0,306 \quad \text{kN/m}^2 \quad + \\
 \hline
 \text{Total} &= 1,303 \quad \text{kN/m}^2
 \end{aligned}$$

c) Beban mati tambahan pelat lantai dasar

$$\begin{aligned}
 \text{Berat spesi (t = 3 cm)} &= 0,03 \times 20,4 \\
 &= 0,612 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Berat penutup lantai} &= 0,095 \text{ kN/m}^2 \quad + \\
 \hline
 \text{Total} &= \mathbf{0,7068 \text{ kN/m}^2}
 \end{aligned}$$

4.2.3 Beban Hidup

Berikut adalah beban hidup yang bekerja pada Gedung Penunjang PT. Bank NTT menurut SNI 1727: 2020

Tabel 4.2 Beban Hidup Berdasarkan Fungsi Ruang Tiap Lantai

LANTAI	FUNGSI RUANGAN	BERAT (Qh)
		kN/m ²
Lantai 1	Ruang Kantor	2,4
	Lobby	4,79
	Ruang Pantry	2,4
	Toilet Pria	1,92
	Koridor	4,79
	Tangga	4,79
	Toilet Wanita	1,92
Lantai 2	Ruang Kantor	2,4
	Ruang Kesehatan	1,92
	Ruang Pantry	2,4
	Toilet Pria	1,92
	Toilet Wanita	1,92
Lantai 3	Ruang Komputer	4,79
	Ruang Kantor	2,4
	Ruang Pantry	2,4
	Toilet Pria	1,92
	Koridor	4,79
	Toilet Wanita	1,92
Lantai 4	Aula	4,79
	Ruang Kesehatan	1,92
	Ruang Pantry	2,4

	Toilet Pria	1,92
	Koridor	4,79
	Toilet Wanita	1,92
Lantai 5	Ruang Kantor	2,4
	Ruang Santai	4,79
	Ruang Pantry	2,4
Lantai 5	Toilet Pria	1,92
	Koridor	4,79
	Toilet Wanita	1,92
Atap	Atap	0,96

4.3 Berat Struktur

Data Bangunan :

Tinggi H1	=	4,5	m
Tinggi H2	=	4,5	m
Tinggi H3	=	4,5	m
Tinggi H4	=	4,5	m
Tinggi H5	=	4	m
Tinggi H6	=	4	m
Bj Beton	=	24	kN/m ³
Berat Bata Ringan	=	1,39	kN/m ²
Beban Pintu	=	0,96	kN/m ²
Beban Jendela	=	0,38	kN/m ²

Dimensi Kolom	=	b	x	h
K1	=	0,6	x	0,6
K2	=	0,5	x	0,5
K3	=	0,4	x	0,4
K4	=	0,3	x	0,3

Dimensi Balok	=	Lebar	x	Tinggi
Balok Induk B1	=	0,3	x	0,5
Balok Induk B2	=	0,25	x	0,4

Dimensi Sloof	=	Lebar	x	Tinggi
S1	=	0,3	x	0,5
Sp	=	0,15	x	0,2

Luas Pelat

Pelat Lantai 1	=	738,29	m ²	<i>(Sumber: Autocad)</i>
Pelat Lantai 2	=	709,924	m ²	<i>(Sumber: Autocad)</i>
Pelat Lantai 3	=	709,924	m ²	<i>(Sumber: Autocad)</i>
Pelat Lantai 4	=	709,924	m ²	<i>(Sumber: Autocad)</i>
Pelat Lantai 5	=	709,924	m ²	<i>(Sumber: Autocad)</i>
Atap	=	702,13	m ²	<i>(Sumber: Autocad)</i>

1. Perhitungan Berat Balok

a) Berat Balok Atap

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\ \text{balok (ln)} &= 3 - 0,3 \times 1 \\ &= 2,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai Atap} &= b \times h \times \text{ln} \times \text{Jumlah (n)} \times B_j \\ &= 0,3 \times 0,5 \times 2,7 \times 10 \times 24 \\ &= 97,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nama	Luas Balok (m ²)		Panjang	Bj beton	Jumlah	Berat Balok
	B (m)	h (m)	Bentang(m)	kN/m ³	n	kN
(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(7)	(8)
						(2) x (3) x (4) x (5) x (6) x (7)
B1	0,3	0,5	3	24	10	108
B1	0,3	0,5	6	24	15	324
B1	0,3	0,5	5	24	12	216
B1	0,3	0,5	5,5	24	5	99
B1	0,3	0,5	4,5	24	4	64,8
B1	0,3	0,5	1,5	24	3	16,2
B2	0,25	0,4	3	24	21	151,2
B2	0,25	0,4	5	24	5	60
B2	0,25	0,4	1,5	24	2	7,2
Total Berat Balok Lantai Atap						1046,4

b) Berat Balok Lantai 5

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 5} &= b \times h \times P. \text{ Bentang} \times \text{Jumlah (n)} \times B_j \\ &= 0,3 \times 0,5 \times 3 \times 10 \times 24 \\ &= 108 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nama	Luas Balok (m ²)		Panjang	Bj beton	Jumlah	Berat Balok
	B (m)	h (m)	Bentang(m)	kN/m ³	n	kN
(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(7)	(8)
						(2) x (3) x (4) x (5) x (6) x (7)
B1	0,3	0,5	3	24	10	108
B1	0,3	0,5	6	24	25	540
B1	0,3	0,5	5	24	16	288
B1	0,3	0,5	5,5	24	8	158,4
B1	0,3	0,5	4,5	24	8	129,6
B2	0,25	0,5	3	24	9	81
B2	0,25	0,4	6	24	19	273,6
B2	0,25	0,4	5	24	10	120
B2	0,25	0,4	5,5	24	5	66
B2	0,25	0,4	4,5	24	5	54
Total Berat Balok Lantai 5						1818,6

c) Berat Balok Lantai 4

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 4} &= b \times h \times P. \text{Bentang} \times \text{Jumlah (n)} \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 3 \times 10 \times 24 \\
 &= \mathbf{108} \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Nama	Luas Balok (m ²)		Panjang	Bj beton	Jumlah	Berat Balok
	B (m)	h (m)	Bentang (m)	kN/m ³	n	kN
(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(7)	(8)
						(2) x (3) x (4) x (5) x (6) x (7)
B1	0,3	0,5	3	24	10	108
B1	0,3	0,5	6	24	25	540
B1	0,3	0,5	5	24	16	288
B1	0,3	0,5	5,5	24	8	158,4
B1	0,3	0,5	4,5	24	8	129,6
B2	0,25	0,4	3	24	9	64,8

B2	0,25	0,4	6	24	19	273,6
B2	0,25	0,4	5	24	10	120
B2	0,25	0,4	5,5	24	5	66
B2	0,25	0,4	4,5	24	5	54
Total Berat Balok Lantai 4						1802,4

d) Berat Balok Lantai 3 dan 2

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 3} &= b \times h \times P. \text{ Bentang} \times \text{Jumlah (n)} \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 3 \times 10 \times 24 \\
 &= 108 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

1. Perhitungan Berat Pelat

a) Berat Pelat Lantai Atap

Nama	Luas Pelat (m ²)			Tebal Pelat m	Bj beton kN/m ³	Berat Pelat kN
	Bruto	Void	Netto			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
			(2) - (3)			(4) x (5) x (6)
Lantai Atap	702,13	435,93	266,2	0,125	24	798,6

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Pelat Lantai Atap} &= \text{Luas Pelat} \times \text{Tebal Pelat} \times B_j \\
 &= 266,2 \times 0,125 \times 24 \\
 &= 798,6 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b) Berat Pelat Lantai 5

Nama	Luas Pelat (m ²)			Tebal Pelat m	Bj beton kN/m ³	Berat Pelat kN
	Bruto	Void	Netto			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
			(2) - (3)			(4) x (5) x (6)
Lantai 5	709,924	24,855	685,069	0,125	24	2055,207

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Pelat Lantai 5} &= \text{Luas Pelat} \times \text{Tebal Pelat} \times B_j \\
 &= 685,069 \times 0,125 \times 24 \\
 &= 2055,207 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

c) Berat Pelat Lantai 4

Nama	Luas Pelat (m ²)			Tebal Pelat m	Bj beton kN/m ³	Berat Pelat kN
	Bruto	Void	Netto			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
			(2) - (3)			(4) x (5) x (6)
Lantai 4	709,924	24,855	685,069	0,125	24	2055,207

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Pelat Lantai 4} &= \text{Luas Pelat} \times \text{Tebal Pelat} \times \text{Bj} \\
 &= 685,069 \times 0,125 \times 24 \\
 &= 2055,207 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

d) Berat Pelat Lantai 3

Nama	Luas Pelat (m ²)			Tebal Pelat m	Bj beton kN/m ³	Berat Pelat kN
	Bruto	Void	Netto			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
			(2) - (3)			(4) x (5) x (6)
Lantai 3	709,924	24,855	685,069	0,125	24	2055,207

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Pelat Lantai 3} &= \text{Luas Pelat} \times \text{Tebal Pelat} \times \text{Bj} \\
 &= 685,069 \times 0,125 \times 24 \\
 &= 2055,207 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

e) Berat Pelat Lantai 2

Nama	Luas Pelat (m ²)			Tebal Pelat m	Bj beton kN/m ³	Berat Pelat kN
	Bruto	Void	Netto			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
			(2) - (3)			(4) x (5) x (6)
Lantai 2	709,924	24,855	685,069	0,125	24	2055,207

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Pelat Lantai 2} &= \text{Luas Pelat} \quad \times \text{Tebal Pelat} \quad \times \text{Bj} \\
 &= 685,069 \quad \times \quad 0,125 \quad \times \quad 24 \\
 &= 2055,207 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

f) Berat Pelat Lantai 1

Nama	Luas Pelat (m ²)			Tebal Pelat	Bj beton	Berat Pelat
	Bruto	Void	Netto	m	kN/m ³	kN
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
			(2) - (3)			(4) x (5) x (6)
Lantai 1	738,29	24,855	713,435	0,125	24	2140,305

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Pelat Lantai 1} &= \text{Luas Pelat} \quad \times \text{Tebal Pelat} \quad \times \text{Bj} \\
 &= 713,435 \quad \times \quad 0,125 \quad \times \quad 24 \\
 &= 2140,305 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

f) Berat Pelat Lantai Dasar

Nama	Luas Pelat (m ²)			Tebal Pelat	Bj beton	Berat Pelat
	Bruto	Void	Netto	m	kN/m ³	kN
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
			(2) - (3)			(4) x (5) x (6)
Lantai Dasar	767,92	0	767,92	0,125	24	2303,76

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Pelat Lantai Dasar} &= \text{Luas Pelat} \quad \times \text{Tebal Pelat} \quad \times \text{Bj} \\
 &= 767,92 \quad \times \quad 0,125 \quad \times \quad 24 \\
 &= 2303,76 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.3 Rekapitulasi Berat Pelat

No	Lantai	Berat Pelat
		(kN)
1	Lantai Dasar	2303,760
2	Lantai 1	2140,305
3	Lantai 2	2055,207

4	Lantai 3	2055,207
5	Lantai 4	2055,207
6	Lantai 5	2055,207
7	Atap	798,600

Berat Balok Lantai 1

1. Arah Memanjang Sumbu X

BALOK INDUK

LINE F

- Line E

$$\text{Gride 4-5} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\ &= 6 - 0,6 \times 1 \\ &= 5,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,3 \times 0,5 \times 5,4 \times 1 \times 24 \\ &= 19,44 \text{ kN} \end{aligned}$$

LINE E

- Line E

$$\text{Gride 1-2, 7-8} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\ &= 3 - 0,6 \times 1 \\ &= 2,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,3 \times 0,5 \times 2,4 \times 1 \times 24 \\ &= 8,64 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Line D**

$$\text{Gride 2-3, 3-4, 4-5,5-6,6-7} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 5$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok(ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\ &= 6 - 0,6 \times 1 \\ &= 5,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,3 \times 0,5 \times 5,4 \times 5 \times 24 \\ &= 97,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

LINE D

- **Line D**

$$\text{Gride 1-2, 7-8} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok(ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\ &= 3 - 0,6 \times 1 \\ &= 2,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,3 \times 0,5 \times 2,4 \times 2 \times 24 \\ &= 17,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Line D**

$$\text{Gride 2-3, 3-4, 4-5,5-6,6-7} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 5$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok(ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\ &= 6 - 0,6 \times 1 \\ &= 5,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 5,4 \times 5 \times 24 \\
 &= 97,2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

LINEC

- Line C

$$\text{Gride 1-2, 7-8} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\
 &= 3 - 0,6 \times 1 \\
 &= 2,4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 2,4 \times 2 \times 24 \\
 &= 17,28 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Line C

$$\text{Gride 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 5$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\
 &= 6 - 0,6 \times 1 \\
 &= 5,4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 5,4 \times 5 \times 24 \\
 &= 97,2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

LINE B

- Line B

$$\text{Gride 1-2, 7-8} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\ &= 3 - 0,6 \times 1 \\ &= 2,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,3 \times 0,5 \times 2,4 \times 2 \times 24 \\ &= 17,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Line B

$$\text{Gride 2-3, 3-4, 4-5,5-6,6-7} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 5$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\ &= 6 - 0,6 \times 1 \\ &= 5,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,3 \times 0,5 \times 5,4 \times 5 \times 24 \\ &= 97,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

LINE A

- Line A

$$\text{Gride 1-2, 7-8} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\ &= 3 - 0,6 \times 1 \\ &= 2,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 2,4 \times 2 \times 24 \\
 &= 17,28 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Line A**

$$\text{Gride 2-3, 3-4, 4-5,5-6,6-7} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 5$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\
 &= 6 - 0,6 \times 1 \\
 &= 5,4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 5,4 \times 5 \times 24 \\
 &= 97,2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{TOTAL BENTANG BERSIH BALOK MEMANJANG} = 576,9 \text{ kN}$$

Berat Balok Lantai 1

2. Arah Melintang Sumbu Y

- **Line 1**

$$\text{Gride E-D, D-C} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\
 &= 5 - 0,6 \times 1 \\
 &= 4,4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 4,4 \times 2 \times 24 \\
 &= 31,68 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Line 1**

$$\text{Gride C-B} = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\ &= 5,5 - 0,6 \times 1 \\ &= 4,9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,3 \times 0,5 \times 4,9 \times 1 \times 24 \\ &= 17,64 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Line 1**

$$\text{Gride B-A} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok(ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\ &= 4,5 - 0,6 \times 1 \\ &= 3,9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,3 \times 0,5 \times 3,9 \times 1 \times 24 \\ &= 14,04 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{TOTAL BERAT BERSIH BALOK} = 63,36$$

LINE 2,3,4,5,6,7 dan 8

Karena bentang pada line 1 sama dengan line 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8 maka hasil perhitungannya sama.

$$\text{Berat bersih balok} = 63,36 \text{ kN}$$

Tambahan pada line 4 dan 5

- **Line 4**

$$\text{Gride F-E} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= \text{Lo (As-As)} - \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ &= 5 - 0,6 \times 1 \\ &= 4,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 1} &= \text{b} \times \text{h} \times \text{ln} \times \text{n} \times \text{Bj} \\ &= 0,3 \times 0,5 \times 4,4 \times 1 \times 24 \\ &= 15,84 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Line 5**

$$\text{Gride F-E} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= \text{Lo (As-As)} - \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ &= 5 - 0,6 \times 1 \\ &= 4,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 1} &= \text{b} \times \text{h} \times \text{ln} \times \text{n} \times \text{Bj} \\ &= 0,3 \times 0,5 \times 4,4 \times 1 \times 24 \\ &= 15,84 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{TOTAL BERAT BERSIH BALOK} = 475,2$$

BALOK ANAK
LANTAI 2-5
Arah Memanjang

- **Line E'**

$$\text{Gride 4-5} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - 1/2b.\text{induk} + 1/2b.\text{induk kan} \times \text{kolom} \\
 &= 3 - 0,3 \times 1 \\
 &= 2,7
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 2,7 \times 2 \times 24 \\
 &= 12,96 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Line H

$$\text{Gride 1-2} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - 1/2b.\text{induk} + 1/2b.\text{induk kan} \times \text{kolom} \\
 &= 3 - 0,3 \times 1 \\
 &= 2,7
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 2,7 \times 1 \times 24 \\
 &= 6,48 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Gride 2-7} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 9$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - 1/2b.\text{induk} + 1/2b.\text{anak} \times \text{kolom} \\
 &= 3 - 0,275 \times 1 \\
 &= 2,725
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 2,725 \times 9 \times 24 \\
 &= 58,86 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Gride 7-8} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - 1/2b.\text{induk} + 1/2b.\text{anak} \times \text{kolom} \\ &= 1,5 - 0,275 \times 1 \\ &= 1,225 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 1,225 \times 2 \times 24 \\ &= 5,88 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Line G**

$$\text{Gride 6-9} = 2,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - 1/2b.\text{induk} + 1/2b.\text{anak} \times \text{kolom} \\ &= 2,5 - 0,275 \times 1 \\ &= 2,225 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 2,225 \times 1 \times 24 \\ &= 5,34 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Line G**

$$\text{Gride (9-9')} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - 1/2b.\text{induk} + 1/2b.\text{anak} \times \text{kolom} \\ &= 1,5 - 0,25 \times 1 \\ &= 1,25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 1,25 \times 1 \times 24 \\ &= 3 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Line G**

$$\text{Gride (9'-8)} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - 1/2b.\text{induk} + 1/2b.\text{anak} \times \text{kolom} \\ &= 5 - 0,275 \times 1 \\ &= 4,725 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 4,725 \times 1 \times 24 \\ &= 11,34 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Line C'**

$$\text{Gride 1-2, 7-8} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - 1/2b.\text{induk} + 1/2b.\text{induk kan} \times \text{kolom} \\ &= 3 - 0,3 \times 1 \\ &= 2,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 2,7 \times 2 \times 24 \\ &= 12,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Line C'**

$$\text{Gride 2-7} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 10$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar} (1/2B1 + 1/2B2) \times \text{kolom} \\ &= 3 - 0,275 \times 1 \\ &= 2,725 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 2,725 \times 10 \times 24 \\ &= 65,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk Line B' dan A' sama dengan nilai C'

- Line B'

$$\begin{aligned} \text{Gride 1-2, 7-8} &= 3 \text{ m} \\ \text{Jumlah Balok B1 (n)} &= 2 \\ &= 12,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Line B'

$$\begin{aligned} \text{Gride 2-7} &= 10 \text{ m} \\ \text{Jumlah Balok B1 (n)} &= 2 \\ &= 65,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Line B'

$$\begin{aligned} \text{Gride 1-2, 7-8} &= 3 \text{ m} \\ \text{Jumlah Balok B1 (n)} &= 2 \\ &= 12,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Line B'

$$\begin{aligned} \text{Gride 2-7} &= 10 \text{ m} \\ \text{Jumlah Balok B1 (n)} &= 2 \\ &= 65,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Total Berat Balok Anak Memanjang} = 338,94 \text{ kN}$$

Arah Melintang

- Grid 2'

$$\begin{aligned} \text{Line E-D, D-C} &= 5 \text{ m} \\ \text{Jumlah Balok B1 (n)} &= 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\ &= 5 - 0,3 \times 1 \\ &= 4,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 4,7 \times 2 \times 24 \\
 &= 22,56 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Line C-B} = 5,5 \text{ m}$$

Jumlah Balok B1 (n)

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= 1 \\
 &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 5,5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 5,2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 5,2 \times 1 \times 24 \\
 &= 12,48 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Line B-A} = 4,5 \text{ m}$$

Jumlah Balok B1 (n) = 1

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 4,5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 4,2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 4,2 \times 1 \times 24 \\
 &= 10,08 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Grid 3'**

$$\text{Line E-D, D-C} = 5 \text{ m}$$

Jumlah Balok B1 (n) = 2

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok}(l_n) &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 4,7
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 4,7 \times 2 \times 24 \\
 &= 22,56 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Line C-B} = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok}(l_n) &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 5,5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 5,2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 5,2 \times 1 \times 24 \\
 &= 12,48 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Panjang bersih balok (ln)

$$\text{Line B-A} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok}(l_n) &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 4,5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 4,2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 4,2 \times 1 \times 24 \\
 &= 10,08 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Grid 4'

$$\text{Line F-E, E-D, D-C} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 3$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok}(l_n) &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 4,7
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 4,7 \times 3 \times 24 \\
 &= 33,84 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Line C-B} = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok}(l_n) &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 5,5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 5,2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 5,2 \times 1 \times 24 \\
 &= 12,48 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Line B-A} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok}(l_n) &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 4,5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 4,2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 4,2 \times 1 \times 24 \\
 &= 10,08 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Grid 3'**

$$\text{Line E-D, D-C} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\ &= 5 - 0,3 \times 1 \\ &= 4,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 4,7 \times 2 \times 24 \\ &= 22,56 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Line C-B} = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\ &= 5,5 - 0,3 \times 1 \\ &= 5,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 5,2 \times 1 \times 24 \\ &= 12,48 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Line B-A} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\ &= 4,5 - 0,3 \times 1 \\ &= 4,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 4,2 \times 1 \times 24 \\ &= 10,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Grid 9**

$$\text{Line E-G} = 3,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= \text{Lo (As-As)} - \text{lebar (B1 kiri + B2 kanan)} \times \text{n kolom} \\ &= 3,5 - 0,275 \times 1 \\ &= 3,225 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times \text{Bj} \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 3,225 \times 1 \times 24 \\ &= 7,74 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Grid 6'**

$$\text{Line E-D, D-C} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= \text{Lo (As-As)} - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times \text{n kolom} \\ &= 5 - 0,3 \times 1 \\ &= 4,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times \text{Bj} \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 4,7 \times 2 \times 24 \\ &= 22,56 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Line C-B} = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= \text{Lo (As-As)} - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times \text{n kolom} \\ &= 5,5 - 0,3 \times 1 \\ &= 5,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times \text{Bj} \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 5,2 \times 1 \times 24 \\ &= 12,48 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Line B-A} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\ &= 4,5 - 0,3 \times 1 \\ &= 4,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 4,2 \times 1 \times 24 \\ &= 10,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Grid 9''

$$\text{Line E-G} = 3,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + B2 kanan)} \times n \text{ kolom} \\ &= 3,5 - 0,275 \times 1 \\ &= 3,225 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 3,225 \times 1 \times 24 \\ &= 7,74 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Grid 7'

$$\text{Line E-G} = 2,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + B2 kanan)} \times n \text{ kolom} \\ &= 2,5 - 0,275 \times 1 \\ &= 2,225 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 2,225 \times 1 \times 24 \\
 &= 5,34 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Total Berat Balok Anak Melintang} = 257,7 \text{ kN}$$

Lantai 1	Memanjang	Melintang
	915,84	764,58
Total Berat Balok	1680,42	

Berat Balok Lantai 2

1. Arah Memanjang Sumbu X

BALOK INDUK

LINE E

- Line E

$$\text{Gride 1-2, 7-8} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (l}_n\text{)} &= L_o \text{ (As-As)} - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\
 &= 3 - 0,6 \times 1 \\
 &= 2,4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 2,4 \times 1 \times 24 \\
 &= 8,64 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Gride 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 5$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\
 &= 6 - 0,6 \times 1 \\
 &= 5,4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 5,4 \times 5 \times 24 \\
 &= 97,2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

LINE D

- **Line D**

$$\text{Gride 1-2, 7-8} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\
 &= 3 - 0,6 \times 1 \\
 &= 2,4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 2,4 \times 2 \times 24 \\
 &= 17,28 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Line D**

$$\text{Gride 2-3, 3-4, 4-5,5-6,6-7} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 5$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\
 &= 6 - 0,6 \times 1 \\
 &= 5,4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 5,4 \times 5 \times 24 \\
 &= 97,2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

LINEC

- Line C

$$\text{Gride 1-2, 7-8} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\
 &= 3 - 0,6 \times 1 \\
 &= 2,4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 2,4 \times 2 \times 24 \\
 &= 17,28 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Line C

$$\text{Gride 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 5$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\
 &= 6 - 0,6 \times 1 \\
 &= 5,4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 5,4 \times 5 \times 24 \\
 &= 97,2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

LINE B

- Line B

$$\text{Gride 1-2, 7-8} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= \text{Lo (As-As)} - \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ &= 3 - 0,6 \times 1 \\ &= 2,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times \text{Bj} \\ &= 0,3 \times 0,5 \times 2,4 \times 2 \times 24 \\ &= 17,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Line B

$$\text{Gride 2-3, 3-4, 4-5,5-6,6-7} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 5$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= \text{Lo (As-As)} - \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ &= 6 - 0,6 \times 1 \\ &= 5,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times \text{Bj} \\ &= 0,3 \times 0,5 \times 5,4 \times 5 \times 24 \\ &= 97,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

LINE A

- Line A

$$\text{Gride 1-2, 7-8} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\
 &= 3 - 0,6 \times 1 \\
 &= 2,4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 2,4 \times 2 \times 24 \\
 &= 17,28 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Line A**

$$\text{Gride 2-3, 3-4, 4-5,5-6,6-7} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok (n)} = 5$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\
 &= 6 - 0,6 \times 1 \\
 &= 5,4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 5,4 \times 5 \times 24 \\
 &= 97,2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{TOTAL BENTANG BERSIH BALOK MEMANJANG} = 563,76 \text{ kN}$$

Berat Balok Lantai 2

2. Arah Melintang Sumbu Y

LINE 1

- **Line 1**

$$\text{Gride E-D, D-C} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\
 &= 5 - 0,6 \times 1 \\
 &= 4,4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 4,4 \times 2 \times 24 \\
 &= 31,68 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Line 1**

$$\text{Gride C-B} = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (l}_n\text{)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\
 &= 5,5 - 0,6 \times 1 \\
 &= 4,9
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 4,9 \times 1 \times 24 \\
 &= 17,64 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Line 1**

$$\text{Gride B-A} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (l}_n\text{)} &= L_o (\text{As-As}) - b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\
 &= 4,5 - 0,6 \times 1 \\
 &= 3,9
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,3 \times 0,5 \times 3,9 \times 1 \times 24 \\
 &= 14,04 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{TOTAL BERAT BERSIH BALOK} = 63,36$$

LINE 2,3,4,5,6,7 dan 8

Karena bentang pada line 1 sama dengan line 2, 3, 4, 5, 6, 7, dan 8 maka hasil perhitungannya sama.

$$\text{Berat bersih balok} = 63,36 \text{ kN}$$

$$\text{TOTAL BERAT BERSIH BALOK} = 443,52$$

BALOK ANAK

LANTAI 2-5

Arah Memanjang

- Line H

$$\text{Gride 1-2} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - 1/2b.\text{induk} + 1/2b.\text{induk kan} \times n.k \\ &= 3 - 0,3 \times 1 \\ &= 2,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 2,7 \times 1 \times 24 \\ &= 6,48 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Gride 2-7} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 9$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - 1/2b.\text{induk} + 1/2b.\text{anak} \times n.k \\ &= 3 - 0,275 \times 1 \\ &= 2,725 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 2,725 \times 9 \times 24 \\ &= 58,86 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Gride 7-8} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - 1/2b.\text{induk} + 1/2b.\text{anak} \times n.k \\ &= 1,5 - 0,275 \times 1 \\ &= 1,225 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 1,225 \times 2 \times 24 \\ &= 5,88 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Line G**

$$\text{Gride 6-9} = 2,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - 1/2b.\text{induk} + 1/2b.\text{anak} \times n.k \\ &= 2,5 - 0,275 \times 1 \\ &= 2,225 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 2,225 \times 1 \times 24 \\ &= 5,34 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Line G**

$$\text{Gride (9-9')} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar} (1/2B1 + 1/2B2) \times n.k \\ &= 1,5 - 0,275 \times 1 \\ &= 1,225 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 1,225 \times 1 \times 24 \\
 &= 2,94 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Line G**

$$\text{Gride (9'-8)} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (1/2B1 + 1/2B2)} \times n.k \\
 &= 5 - 0,275 \times 1 \\
 &= 4,725
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 4,725 \times 1 \times 24 \\
 &= 11,34 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Line C'**

$$\text{Gride 1-2, 7-8} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - 1/2b.\text{induk} + 1/2b.\text{induk kan} \times n.k \\
 &= 3 - 0,3 \times 1 \\
 &= 2,7
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 1} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 2,7 \times 2 \times 24 \\
 &= 12,96 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Line C'**

$$\text{Gride 2-7} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 10$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar } (1/2B_1 + 1/2B_2) \times n.k \\
 &= 3 - 0,275 \times 1 \\
 &= 2,725
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 2,725 \times 10 \times 24 \\
 &= 65,4 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk Line B' dan A' sama dengan nilai C'

- **Line B'**

$$\begin{aligned}
 \text{Gride 1-2, 7-8} &= 3 \text{ m} \\
 \text{Jumlah Balok B1 (n)} &= 2 \\
 &= 12,96 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Line B'**

$$\begin{aligned}
 \text{Gride 2-7} &= 10 \text{ m} \\
 \text{Jumlah Balok B1 (n)} &= 2 \\
 &= 65,4 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Line B'**

$$\begin{aligned}
 \text{Gride 1-2, 7-8} &= 3 \text{ m} \\
 \text{Jumlah Balok B1 (n)} &= 2 \\
 &= 12,96 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Line B'**

$$\begin{aligned}
 \text{Gride 2-7} &= 10 \text{ m} \\
 \text{Jumlah Balok B1 (n)} &= 2 \\
 &= 65,4 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Total Berat Balok Anak Memanjang} = 325,92 \text{ kN}$$

Arah Melintang

- Grid 2'

$$\text{Line E-D, D-C} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 2$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\ &= 5 - 0,3 \times 1 \\ &= 4,7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 4,7 \times 2 \times 24 \\ &= 22,56 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Line C-B} = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\ &= 5,5 - 0,3 \times 1 \\ &= 5,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 5,2 \times 1 \times 24 \\ &= 12,48 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Line B-A} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\ &= 4,5 - 0,3 \times 1 \\ &= 4,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 4,2 \times 1 \times 24 \\
 &= 10,08 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Grid 3'**

$$\text{Line E-D, D-C} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (l_n)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 4,7
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 4,7 \times 2 \times 24 \\
 &= 22,56 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Line C-B} = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (l_n)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 5,5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 5,2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 5,2 \times 1 \times 24 \\
 &= 12,48 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Line B-A} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (l_n)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 4,5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 4,2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 4,2 \times 1 \times 24 \\
 &= 10,08 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Grid 4'

$$\text{Line E-D, D-C} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (l_n)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 4,7
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times l_n \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 4,7 \times 2 \times 24 \\
 &= 22,56 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Line C-B} = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= Lo (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 5,5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 5,2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times ln \times n \times Bj \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 5,2 \times 1 \times 24 \\
 &= 12,48 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Line B-A} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= Lo (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 4,5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 4,2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times ln \times n \times Bj \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 4,2 \times 1 \times 24 \\
 &= 10,08 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Grid 3'**

$$\text{Line E-D, D-C} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= Lo (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 4,7
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times ln \times n \times Bj \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 4,7 \times 2 \times 24 \\
 &= 22,56 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Line C-B} = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\ &= 5,5 - 0,3 \times 1 \\ &= 5,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 5,2 \times 1 \times 24 \\ &= 12,48 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Line B-A} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\ &= 4,5 - 0,3 \times 1 \\ &= 4,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times ln \times n \times B_j \\ &= 0,25 \times 0,4 \times 4,2 \times 1 \times 24 \\ &= 10,08 \text{ kN} \end{aligned}$$

- **Grid 9**

$$\text{Line E-G} = 3,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \text{lebar (B1 kiri + B2 kanan)} \times n \text{ kolom} \\ &= 3,5 - 0,275 \times 1 \\ &= 3,225 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 3,225 \times 1 \times 24 \\
 &= 7,74 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Grid 6'**

$$\text{Line E-D, D-C} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= \text{Lo (As-As)} - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 4,7
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 4,7 \times 2 \times 24 \\
 &= 22,56 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Line C-B} = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= \text{Lo (As-As)} - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 5,5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 5,2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times \text{ln} \times n \times B_j \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 5,2 \times 1 \times 24 \\
 &= 12,48 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Line B-A} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= Lo (As-As) - \text{lebar (B1 kiri + kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 4,5 - 0,3 \times 1 \\
 &= 4,2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times ln \times n \times Bj \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 4,2 \times 1 \times 24 \\
 &= 10,08 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Grid 9''**

$$\text{Line E-G} = 3,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= Lo (As-As) - \text{lebar (B1 kiri +B2 kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 3,5 - 0,275 \times 1 \\
 &= 3,225
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times ln \times n \times Bj \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 3,225 \times 1 \times 24 \\
 &= 7,74 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Grid 7'**

$$\text{Line E-G} = 2,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Balok B1 (n)} = 1$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= Lo (As-As) - \text{lebar (B1 kiri +B2 kanan)} \times n \text{ kolom} \\
 &= 2,5 - 0,275 \times 1 \\
 &= 2,225
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Balok Lantai 2 (B2)} &= b \times h \times ln \times n \times Bj \\
 &= 0,25 \times 0,4 \times 2,225 \times 1 \times 24 \\
 &= 5,34 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\text{Total Berat Balok Anak Melintang} = 246,42 \text{ kN}$$

Lantai 2	Memanjang	Melintang
	889,68	753,3
Total Berat Balok		1642,98

Tabel 4.3 Rekapitulasi Berat Balok

No	Lantai	Berat Balok
		(kN)
1	Lantai Dasar	1248,492
2	Lantai 1	1680,420
3	Lantai 2	1642,980
4	Lantai 3	1643,980
5	Lantai 4	1667,100
6	Lantai 5	1667,100
7	Atap	1631,580
Berat Total Balok		9933,160

3. Perhitungan Berat Kolom

$$\begin{aligned} \text{a) Berat Kolom Atap} &= b \times h \times 1/2 \text{ T. Kolom} \times \text{Jumlah (n)} \times B_j \\ \text{Berat Kolom Lantai Atap} &= 0,5 \times 0,5 \times 2 \times 40 \times 24 \\ &= 480 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nama	Luas Kolom (m ²)		1/2 Tinggi	Jumlah	Bj beton	Berat Kolom
	B (m)	h (m)	Kolom (m)	n	kN/m ³	kN
(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(7)	(8)
						(2) x (3) x (4) x (5) x (6) x (7)
K2	0,5	0,5	2	40	24	480
Total Berat Kolom Lantai Atap						480

b) Berat Kolom Lantai 5

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Kolom Lantai 5} &= b \times h \times 1/2 \text{ T. Kolom} \times \text{Jumlah (n)} \times B_j \\
 &= 0,5 \times 0,5 \times 4 \times 40 \times 24 \\
 &= 960 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Nama	Luas Kolom (m ²)		1/2 Tinggi	Jumlah	Bj beton	Berat Kolom
	B (m)	h (m)	Kolom (m)	n	kN/m ³	kN
(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(7)	(8)
						(2) x (3) x (4) x (5) x (6) x (7)
K2	0,5	0,5	4	40	24	960
Total Berat Kolom Lantai 5						960

c) Berat Kolom Lantai 4

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Kolom Lantai 4} &= b \times h \times 1/2 \text{ T. Kolom} \times \text{Jumlah (n)} \times B_j \\
 &= 0,5 \times 0,5 \times 4,25 \times 40 \times 24 \\
 &= 1020 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Nama	Luas Kolom (m ²)		1/2 Tinggi	Jumlah	Bj beton	Berat Kolom
	B (m)	h (m)	Kolom (m)	n	kN/m ³	kN
(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(7)	(8)
						(2) x (3) x (4) x (5) x (6) x (7)
K2	0,5	0,5	4,25	40	24	1020
Total Berat Kolom Lantai 4						1020

b) Berat Kolom Lantai 3

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Kolom Lantai 3} &= b \times h \times 1/2 \text{ T. Kolom} \times \text{Jumlah (n)} \times B_j \\
 \text{(K2 dari 1/2 lantai4)} &= 0,5 \times 0,5 \times 2,25 \times 40 \times 24 \\
 &= 540 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Kolom Lantai 3} &= b \times h \times 1/2 \text{ T. Kolom} \times \text{Jumlah (n)} \times B_j \\
 \text{(K1 dari 1/2 lantai3)} &= 0,6 \times 0,6 \times 2,25 \times 40 \times 24 \\
 &= 777,6 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Nama	Luas Kolom (m ²)		1/2 Tinggi	Jumlah	Bj beton	Berat Kolom
	B (m)	h (m)	Kolom (m)	n	kN/m ³	kN
(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(7)	(8)
						(2) x (3) x (4) x (5) x (6) x (7)
K1	0,6	0,6	2,25	40	24	777,6
K2	0,5	0,5	2,25	40	24	540
Total Berat Kolom Lantai 3						1317,6

c) Berat Kolom Lantai 2

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Kolom Lantai 1} &= b \times h \times 1/2 \text{ T. Kolom} \times \text{Jumlah (n)} \times \text{Bj} \\
 \text{(K1 dari 1/2 lantai3 DAN 1/2lantai2)} &= 0,6 \times 0,6 \times 4,5 \times 40 \times 24 \\
 &= 1555,2 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Nama	Luas Kolom (m ²)		1/2 Tinggi	Jumlah	Bj beton	Berat Kolom
	B (m)	h (m)	Kolom (m)	n	kN/m ³	kN
(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(7)	(8)
						(2) x (3) x (4) x (5) x (6) x (7)
K1	0,6	0,6	4,5	40	24	1555,2
Total Berat Kolom Lantai 2						1555,2

d) Berat Kolom

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Kolom Lantai 1} &= b \times h \times 1/2 \text{ T. Kolom} \times \text{Jumlah (n)} \times \text{Bj} \\
 \text{(K1 dari 1/2 lantai2 DAN 1/2lantai1)} &= 0,6 \times 0,6 \times 4,5 \times 42 \times 24 \\
 &= 1632,96 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Nama	Luas Kolom (m ²)		1/2 Tinggi	Jumlah	Bj beton	Berat Kolom
	B (m)	h (m)	Kolom (m)	n	kN/m ³	kN
(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(7)	(8)
						(2) x (3) x (4) x (5) x (6) x (7)
K1	0,6	0,6	4,5	42	24	1632,96
Total Berat Kolom Lantai 1						1632,96

d) Berat Kolom

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Kolom Lantai Dasar (K1 dari 1/2 lantai1)} &= b \times h \times 1/2 \text{ T. Kolom} \times \text{Jumlah (n)} \times B_j \\
 &= 0,6 \times 0,6 \times 2,25 \times 42 \times 24 \\
 &= 816,48 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

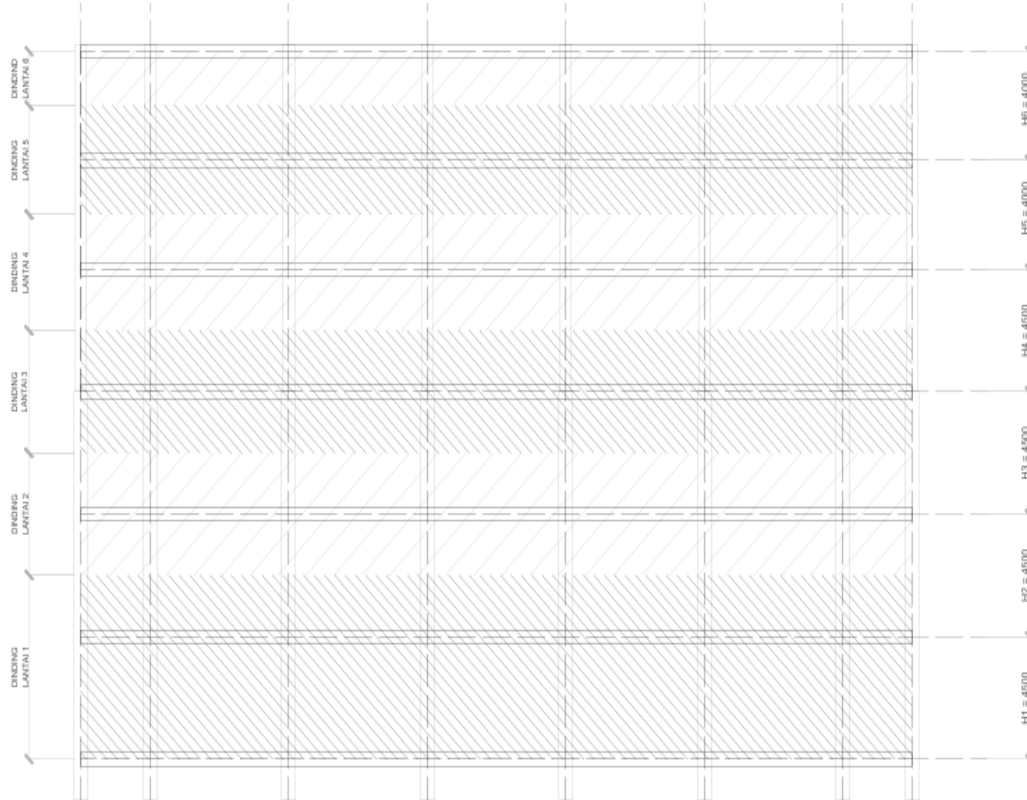
$$\begin{aligned}
 \text{Berat Kolom Lantai Dasar} &= b \times h \times \text{T.Pedestal} \times \text{Jumlah (n)} \times B_j \\
 &= 0,6 \times 0,6 \times 1,5 \times 40 \times 24 \\
 &= 518,4 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Nama	Luas Kolom (m ²)		1/2 Tinggi	Jumlah	Bj beton	Berat Kolom
	B (m)	h (m)	Kolom (m)	n	kN/m ³	kN
(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(7)	(8)
						(2) x (3) x (4) x (5) x (6) x (7)
K1	0,6	0,6	2,25	42	24	816,48
K1	0,6	0,6	1,5	40	24	518,4
Total Berat Kolom Lantai 1						1334,88

Tabel 4.5 Rekapitulasi Berat Kolom

No	Lantai	Berat Kolom
		(kN)
1	Lantai Dasar	1334,880
2	Lantai 1	1632,960
3	Lantai 2	1555,200
4	Lantai 3	1317,600
5	Lantai 4	1020,000
6	Lantai 5	960,000
7	Atap	480,000
Total Berat Kolom		8300,640

4. Beban Mati Tambahan Akibat Berat Dinding



Gambar 4. 1 Tinggi Pembebanan Per Lantai

a) Beban Dinding Lantai 2

1 Lantai 2

a. Untuk arah memanjang (Sumbu x)

- Line E dan Line A

$$\text{Gride 1-2, 7-8} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Dinding (n)} = 4$$

$$\text{Tinggi lantai (H)} = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi bersih dinding (hr)} &= (H1+1/2H2) - \text{H. balok} \\ &= 6,75 - 0,5 \\ &= 6,25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \quad \times \quad \text{n kolom} \\ 0,6 \quad \times \quad 1 \end{array} \right\} \\
 &= 3 - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \quad \times \quad \text{n kolom} \\ 0,6 \quad \times \quad 1 \end{array} \right\} \\
 &= 2,4 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= h_n \quad \times \quad l_n \\
 &= 6,25 \quad \times \quad 2,4 \\
 &= 15 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringar} \times \text{Luas dinding} \times \text{n dinding} \\
 &= 1,389 \quad \times \quad 15 \quad \times \quad 1 \\
 &= 20,8350 \quad \text{kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding} \quad \text{kN}}{l_n \quad \text{m}} \\
 &= \frac{20,8350}{2,4} \\
 &= 8,6813 \quad \text{kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

- **Line E**

$$\text{Gride 2-3, 3-4, 5-6, 6-7} = 6 \quad \text{m}$$

$$\text{Jumlah Dinding (n)} = 4$$

$$\text{Tinggi lantai (H)} = 4,5 \quad \text{m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hr)} &= (H_1 + 1/2 H_2) - \text{H. balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \quad \times \quad \text{n kolom} \\ 0,6 \quad \times \quad 1 \end{array} \right\} \\
 &= 6 - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \quad \times \quad \text{n kolom} \\ 0,6 \quad \times \quad 1 \end{array} \right\} \\
 &= 5,4 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= h_n \times l_n \\
 &= 6,25 \times 5,4 \\
 &= 33,75 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringar} \times \text{Luas dinding} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 33,75 \times 1 \\
 &= 46,8788 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding kN}}{l_n \text{ m}} \\
 &= \frac{46,8788}{5,4} \\
 &= 8,6813 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

- **Line E**

$$\text{Gride Lift} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Dinding (n)} = 1$$

$$\text{Tinggi lantai (H)} = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hr)} &= (H_1 + 1/2 H_2) - \text{H. balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (A_s - A_s) - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,6 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 3 - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,6 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 2,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= h_n \times l_n \\
 &= 6,25 \times 2,4 \\
 &= 15 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringar} \times \text{Luas dinding} \times n \text{ dinding} \\
&= 1,3890 \times 15 \times 1 \\
&= 20,8350 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{ln} \text{ kN/m} \\
&= \frac{20,8350}{2,4} \\
&= 8,6813 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
\end{aligned}$$

- **Line E**

$$\text{Gride 4-5 (sisa lift)} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Dinding (n)} = 1$$

$$\text{Tinggi lantai (H)} = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
\text{Tinggi bersih dinding (hr)} &= (H1+1/2H2) - \text{H. balok} \\
&= 6,75 - 0,5 \\
&= 6,25 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Panjang bersih balok (ln)} &= Lo (As-As) - \left(b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \right) \\
&= 3 - \left(0,6 \times 1 \right) \\
&= 2,4 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Luas kotor dinding (Abruto)} &= hn \times ln \\
&= 6,25 \times 2,4 \\
&= 15 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Luas Pintu} &= \text{H pintu} \times \text{Lebar} \times \text{Jumlah} \\
&= 2,25 \times 1,05 \times 1 \\
&= 2,3625 \text{ m}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Jendela} &= H \text{ jendela} \times \text{Lebar} \times \text{Jumlah} \\
 &= 1,5 \times 0,64 \times 1 \\
 &= 0,96 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas bersih dinding (A netto)} &= A \text{ brutto} - \text{Luas pintu} - \text{Luas jendela} \\
 &= 15 - 2,3625 - 0,96 \\
 &= 11,678 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times A \text{ netto} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 11,678 \times 1 \\
 &= 16,2200 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pintu} &= A \text{ pintu} \times \text{Berat pintu} \\
 &= 2,3625 \times 0,96 \\
 &= 2,268 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jendela} &= A \text{ jendela} \times \text{Beban kaca} \\
 &= 0,96 \times 0,38 \\
 &= 0,3648 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total berat} &= \text{Berat dinding} + \text{Berat pintu} + \text{Berat jendela} \\
 &= 16,2200 + 2,268 + 0,3648 \\
 &= 18,8528 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{l_n} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 &= \frac{18,8528}{2,4} \\
 &= 7,8554 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

- **Line E**

$$\text{Gride 2-3, 5-6, 6-7} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Dinding (n)} = 1$$

$$\text{Tinggi lantai (H)} = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi bersih dinding (hn)} &= (H1+1/2H2) - \text{H. balok} \\ &= 6,75 - 0,5 \\ &= 6,25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \left(\begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,6 \times 1 \end{array} \right) \\ &= 6 - \left(\begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,6 \times 1 \end{array} \right) \\ &= 5,4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas dinding} &= hn \times ln \\ &= 6,25 \times 5,4 \\ &= 33,75 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringar} \times \text{Luas dinding} \times \text{n dinding} \\ &= 1,3890 \times 33,75 \times 1 \\ &= 46,8788 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{ln} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\ &= \frac{46,8788}{5,4} \\ &= 8,6813 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS}) \end{aligned}$$

Line D'3 (lift)

$$\text{Gride 4-5} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Dinding (n)} = 1$$

$$\text{Tinggi lantai (H)} = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding}(h_n) &= (H_1 + 1/2H_2) - H. \text{ balok} \\
 &= 6,75 - 0,4 \\
 &= 6,35 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok } (l_n) &= L_o (A_s - A_s) - \left\{ \begin{array}{l} b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \\ 0,4 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 3 - \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 2,6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= h_n \times l_n \\
 &= 6,35 \times 2,6 \\
 &= 16,51 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times \text{Luas dinding} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 16,51 \times 1 \\
 &= 22,9324 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{l_n} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 &= \frac{22,9324}{2,6} \\
 &= 8,8202 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

Line D'2 (toilet pria per ruangan)

$$\text{Gride 6-7} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Dinding } (n) = 1$$

$$\text{Tinggi lantai } (H) = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding } (h_r) &= (H_1 + 1/2H_2) - H. \text{ balok} \\
 &= 6,75 - 0,4 \\
 &= 6,35 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_0 (\text{As-As}) - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \quad \times \quad \text{n kolom} \\ 0,3 \quad \times \quad 1 \end{array} \right\} \\
 &= 1,5 - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \quad \times \quad \text{n kolom} \\ 0,3 \quad \times \quad 1 \end{array} \right\} \\
 &= 1,2 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas kotor dinding (Abruto)} &= h_n \quad \times \quad l_n \\
 &= 6,35 \quad \times \quad 1,2 \\
 &= 7,62 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Pintu} &= H \text{ pintu} \quad \times \quad \text{Lebar} \quad \times \quad \text{Jumlah} \\
 &= 2,25 \quad \times \quad 1,05 \quad \times \quad 1 \\
 &= 2,3625 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Jendela} &= H \text{ jendela} \quad \times \quad \text{Lebar} \quad \times \quad \text{Jumlah} \\
 &= 1,5 \quad \times \quad 0,64 \quad \times \quad 1 \\
 &= 0,96 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas bersih dinding (A netto)} &= A \text{ brutto} \quad - \quad \text{Luas pintu} \quad - \quad \text{Luas jendela} \\
 &= 7,62 \quad - \quad 2,3625 \quad - \quad 0,96 \\
 &= 4,298 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \quad \times \quad A \text{ netto} \quad \times \quad n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \quad \times \quad 4,298 \quad \times \quad 1 \\
 &= 5,9692 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pintu} &= A \text{ pintu} \quad \times \quad \text{Berat pintu} \\
 &= 2,3625 \quad \times \quad 0,96 \\
 &= 2,268 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jendela} &= A \text{ jendela} \quad \times \quad \text{Beban kaca} \\
 &= 0,96 \quad \times \quad 0,38 \\
 &= 0,3648 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total berat} &= \text{Berat dinding} + \text{Berat pintu} + \text{Berat jendela} \\
 &= 5,9692 + 2,268 + 0,3648 \\
 &= 8,6020 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{\text{ln}} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 &= \frac{8,6020}{1,2} \\
 &= 7,1684 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

Line D'1 (Ruang Pantry)

$$\text{Gride 6-6'1} = 2,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Dinding (n)} = 1$$

$$\text{Tinggi lantai (H)} = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hr)} &= (H1+1/2H2) - \text{H. balok} \\
 &= 6,75 - 0,4 \\
 &= 6,35 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= \text{Lo (As-As)} - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,3 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 2,5 - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,3 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 2,2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas kotor dinding (Abruto)} &= \text{hn} \times \text{ln} \\
 &= 6,35 \times 2,2 \\
 &= 13,97 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Pintu} &= \text{H pintu} \times \text{Lebar} \times \text{Jumlah} \\
 &= 2,25 \times 1,05 \times 1 \\
 &= 2,3625 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Jendela} &= H \text{ jendela} \times \text{Lebar} \times \text{Jumlah} \\
 &= 1,5 \times 0,64 \times 1 \\
 &= 0,96 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas bersih dinding (A netto)} &= A \text{ brutto} - \text{Luas pintu} - \text{Luas jendela} \\
 &= 13,97 - 2,3625 - 0,96 \\
 &= 10,648 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times A \text{ netto} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 10,648 \times 1 \\
 &= 14,7894 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pintu} &= A \text{ pintu} \times \text{Beban pintu} \\
 &= 2,3625 \times 0,96 \\
 &= 2,268 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jendela} &= A \text{ jendela} \times \text{Beban kaca} \\
 &= 0,96 \times 0,38 \\
 &= 0,3648 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total berat} &= \text{Berat dinding} + \text{Berat pintu} + \text{Berat jendela} \\
 &= 14,7894 + 2,268 + 0,3648 \\
 &= 17,4222 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{l_n} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 &= \frac{17,4222}{2,2} \\
 &= 7,9192 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

Line D'1 (Ruang Tangga Darurat)

Gride 6'1-6'3 = 1,5 m

Jumlah Dinding (n) = 1

Tinggi lantai (H) = 4,5 m

Tinggi bersih dinding (hr) = $(H1+1/2H2) - H. \text{ balok}$
= 6,75 - 0,4
= 6,35 m

Panjang bersih balok (ln) = $Lo (As-As) - \left(b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \right)$
= 1,5 - $\left(0,3 \times 1 \right)$
= 1,2 m

Luas kotor dinding (Abruto) = hn x ln
= 6,35 x 1,2
= 7,62 m²

Luas Pintu = H pintu x Lebar x Jumlah
= 2,25 x 1,05 x 1
= 2,3625 m²

Luas bersih dinding(A netto) = A brutto - Luas pintu
= 7,62 - 2,3625
= 5,258 m²

Berat dinding = Berat bata ringan x A netto x n dinding
= 1,3890 x 5,258 x 1
= 7,3027 kN

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pintu} &= A \text{ pintu} \times B_j \text{ pintu} \\
 &= 2,3625 \times 0,96 \\
 &= 2,268 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total berat} &= \text{Berat dinding} + \text{Berat pintu} \\
 &= 7,3027 + 2,268 \\
 &= 9,5707 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding kN}}{\text{ln m}} \\
 &= \frac{9,5707}{1,2} \\
 &= 7,9756 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

Line D'1 (Toilet Pria)

$$\text{Gride 6'3-8} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Dinding (n)} = 1$$

$$\text{Tinggi lantai (H)} = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hr)} &= (H1 + 1/2H2) - \text{H. balok} \\
 &= 6,75 - 0,4 \\
 &= 6,35 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (As-As) - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,3 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 5 - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,3 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 4,7 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas kotor dinding (Abruto)} &= \text{hn} \times \text{ln} \\
 &= 6,35 \times 4,7 \\
 &= 29,845 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Pintu} &= H \text{ pintu} \times \text{Lebar} \times \text{Jumlah} \\
 &= 2,25 \times 1,05 \times 1 \\
 &= 2,3625 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas bersih dinding(A netto)} &= A \text{ brutto} - \text{Luas pintu} \\
 &= 29,845 - 2,3625 \\
 &= 27,483 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times A \text{ netto} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 27,483 \times 1 \\
 &= 38,1732 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pintu} &= A \text{ pintu} \times \text{Beban Pintu} \\
 &= 2,3625 \times 0,96 \\
 &= 2,268 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total berat} &= \text{Berat dinding} + \text{Berat pintu} \\
 &= 38,1732 + 2,268 \\
 &= 40,4412 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{l_n} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 &= \frac{40,4412}{4,7} \\
 &= 8,6045 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Line D} & \\
 \text{Gride 4-5 (Lift)} &= 3 \text{ m} \\
 \text{Jumlah Dinding (n)} &= 1 \\
 \text{Tinggi lantai (H)} &= 4,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hn)} &= (H1+1/2H2) - \text{H. balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= Lo (As-As) - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ \left(\begin{array}{l} 0,5 \times 1 \end{array} \right) \end{array} \right\} \\
 &= 3 - \left(\begin{array}{l} 0,5 \times 1 \end{array} \right) \\
 &= 2,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= hn \times ln \\
 &= 6,25 \times 2,5 \\
 &= 15,625 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringar} \times \text{Luas dinding} \times \text{n dinding} \\
 &= 1,3890 \times 15,625 \times 1 \\
 &= 21,7031 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{ln} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 &= \frac{21,7031}{2,5} \\
 &= 8,6813 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

Line D

$$\text{Gride 4-4'1 (Sisa Lift)} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah Dinding (n)} = 1$$

$$\text{Tinggi lantai (H)} = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hn)} &= (H1+1/2H2) - \text{H. balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \left\{ b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \right\} \\
 &= 3 - \left\{ 0,5 \times 1 \right\} \\
 &= 2,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= h_n \times l_n \\
 &= 6,25 \times 2,5 \\
 &= 15,625 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringar} \times \text{Luas dinding} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 15,625 \times 1 \\
 &= 21,7031 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{l_n} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 &= \frac{21,7031}{2,5} \\
 &= 8,6813 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

Line D (Toilet wanita)

$$\text{Gride 6-6'2} = 3,0 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah dinding (n)} = 1,0$$

$$\text{Tinggi lantai (H)} = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hn)} &= (H_1 + 1/2 H_2) - H. \text{ balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \left\{ b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \right\} \\
 &= 3,0 - \left\{ 0,45 \times 1 \right\} \\
 &= 2,55 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= h_n \times l_n \\
 &= 6,25 \times 2,55 \\
 &= 15,9375 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringar} \times \text{Luas dinding} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 15,9375 \times 1 \\
 &= 22,1372 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding kN}}{l_n \text{ m}} \\
 &= \frac{22,1372}{2,55} \\
 &= 8,6813 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

Line D

$$\text{Gride 7-8 (Toilet Wanita)} = 3,0 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah dinding (n)} = 1,0$$

$$\text{Tinggi lantai (H)} = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (h}_n) &= (H_1 + 1/2H_2) - \text{H. balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (l}_n) &= L_o (\text{As-As}) - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,6 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 3,0 - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,6 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 2,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= h_n \times l_n \\
 &= 6,25 \times 2,4 \\
 &= 15 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times \text{Luas dinding} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 15 \times 1 \\
 &= 20,8350 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{l_n} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 &= \frac{20,8350}{2,4} \\
 &= 8,6813 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

- **Line A**

$$\text{Gride 2-3, 3-4, 5-6, 6-7} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi lantai} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah dinding (n)} = 4$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hn)} &= (H1+1/2H2) - \text{H. balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,6 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 6,0 - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,6 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 5,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= h_n \times l_n \\
 &= 6,25 \times 5,4 \\
 &= 33,75 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times \text{Luas dinding} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 33,75 \times 1 \\
 &= 46,8788 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{l_n} \frac{\text{kN}}{\text{m}}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{46,8788}{5,4}$$

$$= 8,6813 \quad \text{kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})$$

Line A

Gride 4-5 = 6 m

Jumlah Dinding (n) = 1

Tinggi lantai (H) = 4,5 m

Tinggi bersih dinding (hn) = (H1+1/2H2) - H. balok

$$= 6,75 - 0,5$$

$$= 6,25 \quad \text{m}$$

Panjang bersih balok (ln) = Lo (As-As) - $\left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,6 \times 1 \end{array} \right\}$

$$= 6 - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,6 \times 1 \end{array} \right\}$$

$$= 5,4 \quad \text{m}$$

Luas kotor dinding (Abruto) = hn x ln

$$= 6,25 \times 5,4$$

$$= 33,75 \quad \text{m}^2$$

Luas Pintu = H pintu x Lebar x Jumlah

$$= 2,25 \times 1,05 \times 1$$

$$= 2,3625 \quad \text{m}^2$$

Luas Jendela = H jendela x Lebar x Jumlah

$$= 1,5 \times 0,64 \times 1$$

$$= 0,96 \quad \text{m}^2$$

Luas bersih dinding (A netto) = A brutto - Luas pintu - Luas jendela

$$= 33,75 - 2,3625 - 0,96$$

$$= 30,428 \quad \text{m}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times A_{\text{netto}} \times n_{\text{dinding}} \\
 &= 1,3890 \times 30,428 \times 1 \\
 &= 42,2638 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pintu} &= A_{\text{pintu}} \times \text{Beban pintu} \\
 &= 2,3625 \times 0,96 \\
 &= 2,268 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jendela} &= A_{\text{jendela}} \times \text{Beban kaca} \\
 &= 0,96 \times 0,38 \\
 &= 0,3648 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total berat} &= \text{Berat dinding} + \text{Berat pintu} + \text{Berat jendela} \\
 &= 42,2638 + 2,268 + 0,3648 \\
 &= 44,8966 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{l_n} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 &= \frac{44,8966}{5,4} \\
 &= 8,3142 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

- **Line A**

$$\text{Gride 1-2, 7-8} = 3 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah dinding} = 2$$

$$\text{Tinggi lantai} = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hn)} &= (H_1 + 1/2 H_2) - H_{\text{balok}} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \left\{ b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \right\} \\
 &= 3,0 - \left\{ 0,6 \times 1 \right\} \\
 &= 2,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= h_n \times l_n \\
 &= 6,25 \times 2,4 \\
 &= 15 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times \text{Luas dinding} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 15 \times 1 \\
 &= 20,8350 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{l_n} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 &= \frac{20,8350}{2,4} \\
 &= 8,6813 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

$$\text{Total Beban Dinding Lantai 1 Arah Memanjang} = 748,268 \text{ kN}$$

b Untuk Arah Melintang (Sumbu y)

- Line 1

$$\text{Gride E-D, D-C, dan tangga} = 5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah dinding} = 3$$

$$\text{Tinggi lantai} = 5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hn)} &= (H_1 + 1/2 H_2) - H. \text{ balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \left\{ b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \right\} \\
 &= 5,0 - \left\{ 0,6 \times 1 \right\} \\
 &= 4,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= h_n \times l_n \\
 &= 6,25 \times 4,4 \\
 &= 27,5 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times \text{Luas dinding} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 27,5 \times 1 \\
 &= 38,1975 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{l_n} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 &= \frac{38,1975}{4,4} \\
 &= 8,6813 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

- **Line 1**

$$\text{Gride C-B} = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah dinding} = 1,0$$

$$\text{Tinggi lantai} = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hn)} &= (H_1 + 1/2 H_2) - H. \text{ balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \left\{ b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \right\} \\
 &= 5,5 - \left\{ 0,6 \times 1 \right\} \\
 &= 4,9 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= h_n \times l_n \\
 &= 6,25 \times 4,9 \\
 &= 30,625 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times \text{Luas dinding} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 30,625 \times 1 \\
 &= 42,5381 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding kN}}{l_n \text{ m}} \\
 &= \frac{42,5381}{4,9} \\
 &= 8,6813 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

- **Line 1**

$$\text{Gride B-A} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah dinding (n)} = 1,0$$

$$\text{Tinggi lantai} = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (h}_n) &= (H_1 + 1/2 H_2) - \text{H. balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (l}_n) &= L_o (\text{As-As}) - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,6 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 4,5 - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,6 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 3,9 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= h_n \times l_n \\
 &= 6,25 \times 3,9 \\
 &= 24,375 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times \text{Luas dinding} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 24,375 \times 1 \\
 &= 33,8569 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{ln} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 &= \frac{33,8569}{3,9} \\
 &= 8,6813 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

- **Line 3**

$$\text{Gride E-D} = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah dinding (n)} = 1,0$$

$$\text{Tinggi lantai} = 4,5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hn)} &= (H1+1/2H2) - \text{H. balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= Lo (As-As) - \left(b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \right) \\
 &= 5,5 - \left(0,6 \times 1 \right) \\
 &= 4,9 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= hn \times ln \\
 &= 6,25 \times 4,9 \\
 &= 30,625 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times \text{Luas dinding} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 30,625 \times 1 \\
 &= 42,5381 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{\text{ln}} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 &= \frac{42,5381}{4,9} \\
 &= 8,6813 \quad \text{kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

- **Line 4**

$$\text{Gride E-D''} = 2,5 \quad \text{m}$$

$$\text{Jumlah dinding (n)} = 1,0$$

$$\text{Tinggi lantai} = 4,5 \quad \text{m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hr)} &= (H1+1/2H2) - \text{H. balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= \text{Lo (As-As)} - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \quad \times \quad \text{n kolom} \\ 0,60 \quad \times \quad 1 \end{array} \right\} \\
 &= 2,5 - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \quad \times \quad \text{n kolom} \\ 0,60 \quad \times \quad 1 \end{array} \right\} \\
 &= 1,9 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= \text{hn} \quad \times \quad \text{ln} \\
 &= 6,25 \quad \times \quad 1,9 \\
 &= 11,875 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times \text{Luas dinding} \times \text{n dinding} \\
 &= 1,3890 \quad \times \quad 11,875 \quad \times \quad 1 \\
 &= 16,4944 \quad \text{kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{\text{ln}} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 &= \frac{16,4944}{1,9} \\
 &= 8,6813 \quad \text{kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

- **Line 6**

Gride E-D' = 3,5 m (R.pantry, R.tangga darurat, toilet)

Jumlah dinding (n) = 3

Tinggi lantai = 4,5 m

$$\begin{aligned} \text{Tinggi bersih dinding (hn)} &= (H1+1/2H2) - \text{H. balok} \\ &= 6,75 - 0,5 \\ &= 6,25 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (A_s-A_s) - \left(\begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,45 \times 1 \end{array} \right) \\ &= 3,5 - \left(\begin{array}{l} 0,45 \times 1 \end{array} \right) \\ &= 3,05 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas dinding} &= hn \times ln \\ &= 6,25 \times 3,05 \\ &= 19,0625 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times \text{Luas dinding} \times \text{n dinding} \\ &= 1,3890 \times 19,0625 \times 1 \\ &= 26,4778 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{ln} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\ &= \frac{26,4778}{3,05} \\ &= 8,6813 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS}) \end{aligned}$$

- **Line 7**

Gride E-D''3 = 2,5 m (per ruangan untuk toilet pria)

Jumlah dinding = 2

Tinggi lantai = 4,5 m

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hn)} &= (H1+1/2H2) - \text{H. balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,45 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 2,5 - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,45 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 2,05 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= \text{hn} \times \text{ln} \\
 &= 6,25 \times 2,05 \\
 &= 12,8125 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times \text{Luas dinding} \times \text{n dinding} \\
 &= 1,3890 \times 12,8125 \times 1 \\
 &= 17,7966 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{\text{ln}} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 &= \frac{17,7966}{2,05} \\
 &= 8,6813 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

- **Line 6'**

$$\begin{aligned}
 \text{Grid D-C} &= 2,5 \text{ m} \\
 \text{Jumlah dinding} &= 1 \\
 \text{Tinggi lantai} &= 4,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hn)} &= (H1+1/2H2) - \text{H. balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \quad \times \quad \text{n kolom} \\ 0,3 \quad \times \quad 1 \end{array} \right\} \\
 &= 2,5 - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \quad \times \quad \text{n kolom} \\ 0,3 \quad \times \quad 1 \end{array} \right\} \\
 &= 2,2 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= \text{hn} \quad \times \quad \text{ln} \\
 &= 6,25 \quad \times \quad 2,2 \\
 &= 13,75 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times \text{Luas dinding} \times \text{n dinding} \\
 &= 1,3890 \quad \times \quad 13,75 \quad \times \quad 1 \\
 &= 19,0988 \quad \text{kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding} \quad \text{kN}}{\text{ln} \quad \text{m}} \\
 &= \frac{19,0988}{2,2} \\
 &= 8,6813 \quad \text{kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

- **Line 7**

$$\text{Grid D-C} = 2,5 \quad \text{m}$$

$$\text{Jumlah dinding} = 1$$

$$\text{Tinggi lantai} = 4,5 \quad \text{m}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hn)} &= (H_1 + 1/2 H_2) - \text{H. balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \quad \times \quad \text{n kolom} \\ 0,45 \quad \times \quad 1 \end{array} \right\} \\
 &= 2,5 - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \quad \times \quad \text{n kolom} \\ 0,45 \quad \times \quad 1 \end{array} \right\} \\
 &= 2,05 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= h_n \times l_n \\
 &= 6,25 \times 2,05 \\
 &= 12,8125 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times \text{Luas dinding} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 12,8125 \times 1 \\
 &= 17,7966 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding kN}}{l_n \text{ m}} \\
 &= \frac{17,7966}{2,05} \\
 &= 8,6813 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

- **Line 8**

$$\text{Grid E-D} = 5,0 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi lantai} = 5,0 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah dinding (n)} = 1,0$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (h}_n) &= (H_1 + 1/2 H_2) - \text{H. balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (l}_n) &= L_o (\text{As-As}) - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,6 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 5,0 - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,6 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 4,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= h_n \times l_n \\
 &= 6,25 \times 4,4 \\
 &= 27,5 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times \text{Luas dinding} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 27,5 \times 1 \\
 &= 38,1975 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{l_n} \text{ kN/m} \\
 &= \frac{38,1975}{4,4} \\
 &= 8,6813 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

- Line 8

$$\text{Grid D-C} = 5,0 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi lantai} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah dinding (n)} = 1,0$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hn)} &= (H1+1/2H2) - H. \text{ balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= L_o (\text{As-As}) - \left(b \text{ kolom} \times n \text{ kolom} \right) \\
 &= 5,0 - \left(0,6 \times 1 \right) \\
 &= 4,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas dinding} &= h_n \times l_n \\
 &= 6,25 \times 4,4 \\
 &= 27,5 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times \text{Luas dinding} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 27,5 \times 1 \\
 &= 38,1975 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{\text{ln}} \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\
 &= \frac{38,1975}{4,4} \\
 &= 8,6813 \quad \text{kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

- Line 8

$$\text{Grid C-B} = 5,5 \quad \text{m}$$

$$\text{Tinggi lantai} = 4,5 \quad \text{m}$$

$$\text{Jumlah dinding (n)} = 1,0$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bersih dinding (hn)} &= (H1+1/2H2) - \text{H. balok} \\
 &= 6,75 - 0,5 \\
 &= 6,25 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang bersih balok (ln)} &= \text{Lo (As-As)} - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,6 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 5,5 - \left\{ \begin{array}{l} \text{b kolom} \times \text{n kolom} \\ 0,6 \times 1 \end{array} \right\} \\
 &= 4,9 \quad \text{m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas kotor dinding (Abruto)} &= \text{hn} \times \text{ln} \\
 &= 6,25 \times 4,9 \\
 &= 30,625 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Jendela} &= \text{H jendela} \times \text{Lebar} \times \text{Jumlah} \\
 &= 1,5 \times 0,64 \times 1 \\
 &= 0,96 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas bersih dinding(A netto)} &= \text{A brutto} - \text{Luas jendela} \\
 &= 30,625 - 0,96 \\
 &= 29,665 \quad \text{m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times A_{\text{netto}} \times n_{\text{dinding}} \\
 &= 1,3890 \times 29,665 \times 1 \\
 &= 41,2047 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jendela} &= A_{\text{jendela}} \times B_{\text{jendela}} \\
 &= 0,96 \times 0,38 \\
 &= 0,3648 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total berat} &= \text{Berat dinding} + \text{Berat jendela} \\
 &= 41,2047 + 0,3648 \\
 &= 41,5695 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding}}{l_n} \text{ kN/m} \\
 &= \frac{41,5695}{4,9} \\
 &= 8,4836 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

- Line 8

$$\text{Grid B-A} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi lantai} = 4,5 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah dinding (n)} = 1$$

$$\text{Tinggi bersih dinding (hr)} = (H_1 + 1/2 H_2) - \text{H. balok}$$

$$= 6,75 - 0,5$$

$$= 6,25 \text{ m}$$

$$\text{Panjang bersih balok (ln)} = L_o (A_s - A_s) - b_{\text{kolom}} \times n_{\text{kolom}}$$

$$= 4,5 - 0,6 \times 1$$

$$= 3,9 \text{ m}$$

$$\text{Luas kotor dinding (Abruto)} = h_n \times l_n$$

$$= 6,25 \times 3,9$$

$$= 24,375 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Jendela} &= H \text{ jendela} \times \text{Lebar} \times \text{Jumlah} \\
 &= 1,5 \times 0,64 \times 1 \\
 &= 0,96 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas bersih dinding (A nett0)} &= A \text{ brutto} - \text{Luas jendela} \\
 &= 24,375 - 0,96 \\
 &= 23,415 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{Berat bata ringan} \times A \text{ netto} \times n \text{ dinding} \\
 &= 1,3890 \times 23,415 \times 1 \\
 &= 32,5234 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jendela} &= A \text{ jendela} \times \text{Berat jendela} \\
 &= 0,96 \times 0,38 \\
 &= 0,3648 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total berat} &= \text{Berat dinding} + \text{Berat jendela} \\
 &= 32,5234 + 0,3648 \\
 &= 32,8882 \text{ kN} \quad (\text{Berat struktur})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding/m} &= \frac{\text{Berat dinding} \text{ kN}}{\text{ln} \text{ m}} \\
 &= \frac{32,8882}{3,9} \\
 &= 8,4329 \text{ kN/m} \quad (\text{Berat di ETABS})
 \end{aligned}$$

$$\text{Total Beban Dinding Lantai 1 Arah Melintang} = 552,795 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{TOTAL BEBAN DINDING} &= \text{Beban dinding sumbu x} + \text{Beban dinding sumbu y} \\
 \text{LANTAI 2} &= 748,268 + 552,795 \\
 &= 1301,063 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.6 Rekapitulasi Beban Dinding

No	Lantai	Beban Dinding Arah Memanjang (kN)	Beban Dinding Arah Melintang (kN)	Total (kN)
1	Lantai 1	765,902	608,789	1374,691
2	Lantai 2	765,902	608,789	1374,691
3	Lantai 3	765,902	608,789	1374,691
4	Lantai 4	462,345	372,572	834,917
5	Lantai 5	430,702	340,312	771,014

5. Beban Hidup

1) Lantai Dasar

$$\begin{aligned}
 \text{- Total berat} &= \text{Luas Pelat} \times \text{KoefBeban hidup (qh)} \times n \\
 &= 2303,760 \times 1,92 \times 1 \\
 &= 4423,2192 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

1) Lantai 1

$$\begin{aligned}
 \text{- Ruang Kantor} &= \text{Luas Pelat} \times \text{Beban hidup (qh)} \times n \\
 \text{(6m)} &= 30 \times 2,4 \times 12 \\
 &= 864 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{- Ruang Kantor} &= \text{Luas Pelat} \times \text{Beban hidup (qh)} \times n \\
 \text{(3m)} &= 15 \times 4,79 \times 4 \\
 &= 287,4 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{- Ruang Pantry} &= \text{Luas Pelat} \times \text{Beban hidup (qh)} \times n \\
 &= 8,912 \times 2,4 \times 1 \\
 &= 21,3888 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{- Toilet Pria} &= \text{Luas Pelat} \times \text{Beban hidup (qh)} \times n \\
 \text{(5m)} &= 17,588 \times 1,92 \times 1 \\
 &= 33,76896 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Toilet Pria	= Luas Pelat	x	Beban hidup (qh)	x	n
	= 3,75	x	2,4	x	1
	= 9	kN			
- Ruang tangga d	= Luas Pelat	x	Beban hidup (qh)	x	n
	= 5,246	x	1,92	x	1
	= 10,07232	kN			
- Toilet Wanita	= Luas Pelat	x	Beban hidup (qh)	x	n
	= 7,5015	x	1,92	x	2
	= 28,80576	kN			
- Koridor (1) (6m)	= Luas Pelat	x	Beban hidup (qh)	x	n
	= 30	x	4,79	x	5
	= 718,5	kN			
- Koridor (2) (3m)	= Luas Pelat	x	Beban hidup (qh)	x	n
	= 15	x	4,79	x	3
	= 215,55	kN			
- Koridor (3)	= Luas Pelat	x	Beban hidup (qh)	x	n
	= 30	x	4,79	x	1
	= 143,7	kN			

Total beban hidup L1 = 2332,18584 kN

2) Lantai 2

- Ruang Kantor (6m)	= Luas Pelat	x	Beban hidup (qh)	x	n
	= 30	x	4,79	x	11
	= 1580,7	kN			

- Ruang Kantor = 287,4 kN
(3m)
- Ruang Kesehatan = Luas Pelat x Beban hidup (qh) x n
= 30 x 1,92 x 1
= 57,6 kN
- Ruang Pantry = 21,3888 kN
- Toilet Pria = 33,76896 kN
- Koridor = 718,5 kN
(6m)
- Koridor (2) = 215,55 kN
(3m)
- Koridor (3) = 143,7 kN
- Toilet Wanita = 28,80576 kN

Total beban hidup L2 = 3087,41352 kN

3) Lantai 3

- Ruang Komputer = Luas Pelat x Beban hidup (qh) x n
(6m) = 30 x 4,79 x 1
= 143,7 kN
- Ruang Komputer = Luas Pelat x Beban hidup (qh) x n
(3m) = 15 x 4,79 x 2
= 143,7 kN

- Ruang Kantor (6m) = Luas Pelat x Beban hidup (qh) x n
 = 30 x 4,79 x 9
 = 1293,3 kN
- Ruang Kantor (3m) = Luas Pelat x Beban hidup (qh) x n
 = 15 x 4,79 x 2
 = 143,7 kN
- Ruang Pantry = 21,3888 kN
- Toilet Pria = 33,76896 kN
- Toilet Wanita = 28,80576 kN
- Koridor (2) (3m) = 215,55 kN
- Koridor (1) (6m) = Luas Pelat x Beban hidup (qh) x n
 = 30 x 4,79 x 6
 = 862,2 kN
- Koridor (3) = 143,7 kN

Total beban hidup L3 = 3029,81352 kN

4) Lantai 4

- Aula (6m) = Luas Pelat x Beban hidup (qh) x n
 = 30 x 4,79 x 9
 = 1293,3 kN

- Aula (3m)	=	Luas Pelat	x	Beban hidup (qh)	x	n
	=	15	x	4,79	x	6
	=	431,1	kN			
- Ruang Kesehatan	=	57,6	kN			
- Ruang Pantry	=	21,3888	kN			
- Toilet Pria	=	33,76896	kN			
- Toilet Wanita	=	28,80576	kN			
- Koridor (1) (6m)	=	862,2	kN			
- Koridor (2) (3m)	=	= Luas Pelat	x	Beban hidup (qh)	x	n
	=	15	x	4,79	x	1
	=	71,85	kN			
- Koridor (3)	=	143,7	kN			
Total beban hidup L4	=	2943,71352	kN			

5) Lantai 5

- Ruang Kantor (6m)	=	Luas Pelat	x	Beban hidup (qh)	x	n
	=	30	x	4,79	x	5
	=	718,5	kN			
- Ruang Kantor (3m)	=	Luas Pelat	x	Beban hidup (qh)	x	n
	=	15	x	4,79	x	2
	=	143,7	kN			

- Ruang Santai = Luas Pelat x Beban hidup (qh) x n
 = 30 x 4,79 x 1
 = 143,7 kN
- Ruang Pantry = 21,3888 kN
- Toilet Pria = 33,76896 kN
- Koridor (1) = Luas Pelat x Beban hidup (qh) x n
 (6m) = 30 x 4,79 x 4
 = 574,8 kN
- Koridor (1) = Luas Pelat x Beban hidup (qh) x n
 (3m) = 15 x 4,79 x 3
 = 215,55 kN
- Koridor (3) = 143,7 kN
- Toilet Wanita = 28,80576 kN

Total beban hidup L5 = 2023,91352 kN

6) Atap

- Atap = Luas Pelat x Beban hidup (qh) x n
 (3m) = 15 x 0,96 x 8
 = 115,2 kN
- Atap = Luas Pelat x Beban hidup (qh) x n
 (6m) = 30 x 0,96 x 19
 = 547,2 kN

Total beban hidup atap = 662,4 kN

Rekapitulasi Beban

1) Beban Pelat

Tabel 4.7 Rekapitulasi Berat Pelat

No	Lantai	Berat Kolom
		(kN)
1	Lantai 1	2140,305
2	Lantai 2	2055,207
3	Lantai 3	2055,207
4	Lantai 4	2055,207
5	Lantai 5	2055,207
6	Atap	798,600

2) Beban Kolom

Tabel 4.8 Rekapitulasi Berat Kolom

No	Lantai	Berat Kolom
		(kN)
1	Lantai 1	1632,960
2	Lantai 2	1555,200
3	Lantai 3	1317,600
4	Lantai 4	1020,000
5	Lantai 5	960,000
6	Atap	480,000

3) Berat Balok

Tabel 4.9 Rekapitulasi Berat Balok

No	Lantai	Total (kN)
1	Lantai Dasar	1248,492
1	Lantai 1	1680,420
2	Lantai 2	1642,980
3	Lantai 3	1643,980

4	Lantai 4	1667,100
5	Lantai 5	1667,100
5	Lantai Atap	1631,580

4) Beban Dinding

Tabel 4.10 Rekapitulasi Beban Dinding

No	Lantai	Beban Dinding Arah Memanjang (kN)	Beban Dinding Arah Melintang (kN)	Total (kN)
1	Lantai 1	690,342	476,789	1167,131
2	Lantai 2	748,268	552,795	1301,063
3	Lantai 3	748,268	552,795	1301,063
4	Lantai 4	462,345	372,572	834,917
5	Lantai 5	430,702	340,312	771,014

5) Beban Hidup

Tabel 4.11 Rekapitulasi Berat Beban Hidup

No	Lantai	Berat B. Hidup
		(kN)
1	Lantai Dasar	4423,2192
2	Lantai 1	2332,186
3	Lantai 2	3087,414
4	Lantai 3	3029,814
5	Lantai 4	2943,714
6	Lantai 5	2023,914
7	Atap	662,400

Beban Struktur

1) Berat Lantai Dasar (W0)

Berat sloof	=	1248,492	kN
Berat kolom	=	1334,880	kN
Beban mati tambahan	=	542,766	kN
Berat beban hidup	=	<u>4423,219</u>	kN
Total	=	7549,357	kN

2) Berat Lantai 1 (W1)

Berat balok	=	1680,420	kN
Berat kolom	=	1632,960	kN
Beban mati tambahan	=	929,606	kN
Berat dinding	=	1167,131	kN
Berat beban hidup	=	<u>2332,186</u>	kN
Total	=	7742,302	kN

3) Berat Lantai 2 (W2)

Berat balok	=	1642,980	kN
Berat kolom	=	1555,200	kN
Beban mati tambahan	=	892,645	kN
Berat dinding	=	1301,063	kN
Berat beban hidup	=	<u>3087,414</u>	kN
Total	=	8479,301	kN

4) Berat Lantai 3 (W3)

Berat balok	=	1643,980	kN
Berat kolom	=	1317,600	kN
Beban mati tambahan	=	892,645	kN
Berat dinding	=	1301,063	kN
Berat beban hidup	=	<u>3029,814</u>	kN
Total	=	8185,101	kN

5) Berat Lantai 4 (W4)			
Berat balok	=	1667,100	kN
Berat kolom	=	1020,000	kN
Beban mati tambahan	=	2055,207	kN
Berat dinding	=	892,645	kN
Berat beban hidup	=	2943,714	kN
Total	=	8578,665	kN

6) Berat Lantai 5 (W5)			
Berat balok	=	1667,100	kN
Berat kolom	=	960,000	kN
Beban mati tambahan	=	892,645	kN
Berat dinding	=	771,014	kN
Berat beban hidup	=	2023,914	kN
Total	=	6314,672	kN

7) Berat Lantai 6 (Watap)			
Berat balok	=	1631,580	kN
Berat kolom	=	480,000	kN
Beban mati tambahan	=	409,096	kN
Berat beban hidup	=	662,400	kN
Total	=	3183,076	kN

Beban Struktur = 50032,476 kN

4.4 Perhitungan Manual Beban Gempa

A. Parameter Gempa

1. Kategori risiko struktur bangunan dan faktor keutamaan gempa

Parameter kategori risiko struktur Gedung Penunjang PT. Bank NTT, dimana berfungsi sebagai gedung kantor ditentukan berdasarkan tabel berikut.

Tabel 3 – Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan - Rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bioskop - Gedung pertemuan - Stadion - Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, 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 disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III

(Sumber: SNI 1726:2019 hal.24)

Berdasarkan dari jenis pemanfaatan bangunan, kantor termasuk ke dalam kategori risiko **II**

2. Menentukan Faktor Keutamaan Gempa
Adapun parameter selanjutnya yakni faktor keutamaan gempa untuk bangunan ini ditentukan berdasarkan berikut:

Tabel 4.12 Faktor Keutamaan Gempa

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

(Sumber: SNI 1726:2019 hal.24)

Berdasarkan dari kategori resiko bangunan, Gedung Penunjang PT. Bank NTT memiliki nilai faktor keutamaan gempa sebesar : **1,0**

3. Menentukan klasifikasi tanah

Klasifikasi situs dapat ditentukan berdasarkan tabel berikut:

Tabel 4.13 Data tanah sampel I untuk lokasi gedung

No	Kedalaman	Tebal/ti (m)	Nilai SPT/Ni	ti/Ni
1	0	0	0	0
2	2	2	12	0,1667
3	4,5	2,5	18	0,1389
4	7	2,5	17	0,1471
5	9,5	2,5	13	0,1923
6	12	2,5	17	0,1471
7	14,5	2,5	34	0,0735
8	17	2,5	50	0,0500
9	19,5	2,5	60	0,0417
10	22	2,5	60	0,0417
11	24,5	2,5	60	0,0417
12	27	2,5	60	0,0417
13	29,5	2,5	60	0,0417
Jumlah		29,5		1,1238

Tabel 4.14 Data tanah sampel II untuk lokasi gedung

No	Kedalaman	Tebal/ti (m)	Nilai SPT/Ni	ti/Ni
1	0	0	0	0
2	2	2	10	0,2000
3	4,5	2,5	16	0,1563
4	7	2,5	13	0,1923
5	9,5	2,5	22	0,1136
6	12	2,5	14	0,1786
7	14,5	2,5	25	0,1000
8	17	2,5	34	0,0735
9	19,5	2,5	35	0,0714
10	22	2,5	41	0,0610
11	24,5	2,5	49	0,0510
12	27	2,5	60	0,0417
13	29,5	2,5	60	0,0417
Jumlah		29,5		1,2811

Dari data pada tabel diatas, maka dihitung dan diambil nilai rata-rata N-SPT, yaitu

$$\begin{aligned} \text{Nilai rata-rata N} &= \frac{1,1238 + 1,2811}{2} \\ &= 1,2024482 \end{aligned}$$

Maka didapat nilai rata-rata uji N-SPT :

$$\begin{aligned} \bar{N} &= \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{N_i}} = \frac{29,5}{1,2024} \text{ m} \\ &= 24,533 \text{ blows/ft} \end{aligned}$$

Dari nilai hasil perhitungan diatas, didapat nilai $N = 24,533 > 15$

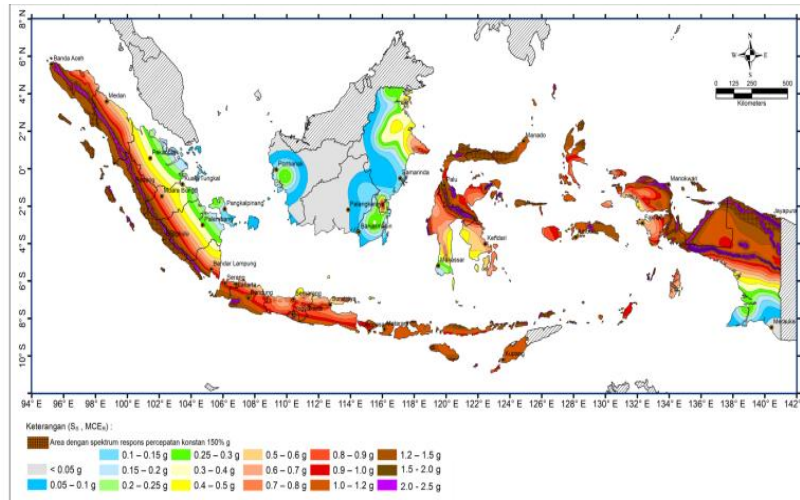
Sehingga, gedung penunjang PT. Bank NTT masuk ke dalam Situs Tanah Sedang

Tabel 4.15 Klasifikasi kelas situs tanah

Tabel 5 – Klasifikasi situs			
Kelas situs	\bar{V}_s (m/detik)	\bar{N} atau \bar{N}_{60}	\bar{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 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	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 (ketebalan $H > 7,5$ m dengan indeks plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa		
CATATAN: N/A = tidak dapat dipakai			

Sumber : SNI 1726 2019 tabel 5 (Hal 29)

- d. Menentukan nilai percepatan batuan dasar pada periode pendek (SS) dan parameter percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S1)
 Untuk menentukan nilai Ss dan S1 maka digunakan peta sumber dan bahaya gempa Indonesia yang terbaru yaitu pada tahun 2017 yang disusun oleh Tim Gempa Nasional (PUSGEN).



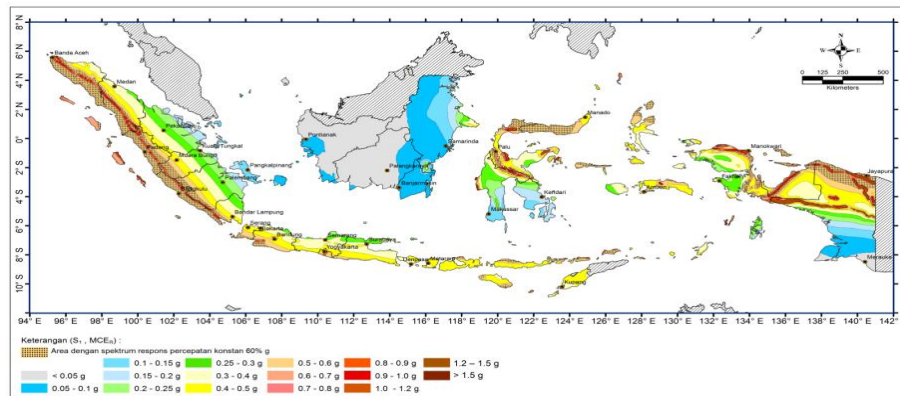
Gambar 15 – Parameter gerak tanah S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_s) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2-detik (redaman kritis 5%)

Gambar 4.2 Parameter Gerak Tanah S_s , Gempa Maksium yyang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia Untuk Spektrum Respons 0,2 Detik (Redaman Kritis 5%)

Sumber : SNI 1726 2019 tabel 5 (Hal 29)

Pada peta spektrum respons periode pendek 0.2 detik di Kota Kupang, didapatkan nilai $S_s = 1.0 - 1.2\text{ g}$ (dipakai $S_s = 1.05$).

$$S_s = 1,05\text{ g}$$



Gambar 16 – Parameter gerak tanah, S_s , gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_s) wilayah Indonesia untuk spektrum respons 0,2- detik (redaman kritis 5%)

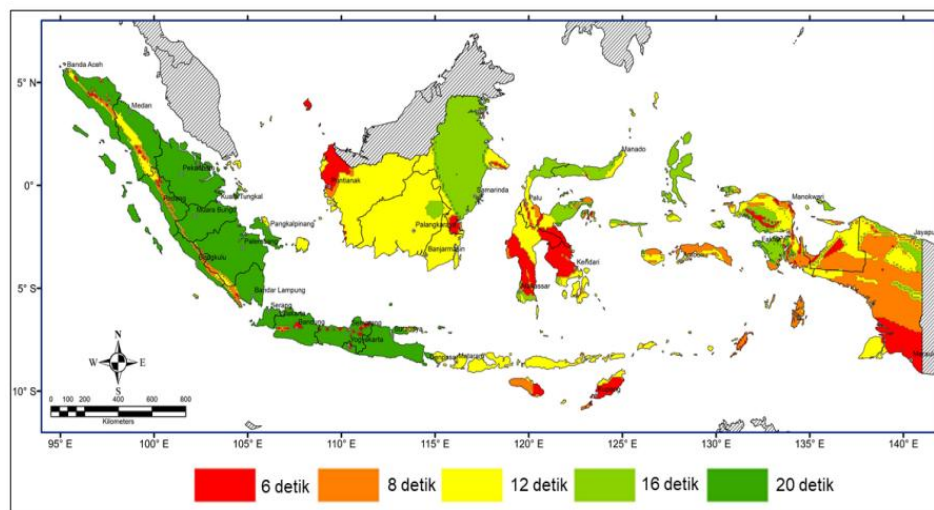
Gambar 4.3 Parameter Gerak Tanah, S_1 , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Wilayah Indonesia untuk Spektrum Respons 0,2 Detik

Sumber : SNI 1726 2019 tabel 5 (Hal 29)

Pada peta spektrum respons periode 1 detik di Kota Kupang, didapatkan nilai

$$S_1 = 0.4 - 0.5 \text{ g (dipakai } S_s = 0.45)$$

$$S_1 = 0,45 \text{ g}$$



Gambar 20 – Peta transisi periode panjang, T_L , wilayah Indonesia

Gambar 4.4 Peta Transisi Periode Panjang, TL Wilayah Indonesia

Sumber : SNI 1726-2019; Gambar 20 Hal 238)

Pada peta transisi periode panjang pada daerah Kupang, didapatkan nilai TL sebesar :

$$TL = 4 \text{ detik}$$

e. Menghitung faktor amplifikasi periode pendek (F_a)

Tabel 4.16 Koefisien Situs F_a

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_x) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,25$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,75$	$S_1 = 1,0$	$S_1 = 1,25$	$S_1 \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	SS ^(a)					

CATATAN:

(a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat \bar{n}

Sumber SNI 1726 2019 Tabel 6 (hal 34)

Dengan kelas situs tanah sedang (SD) dan nilai Ss sebesar 1.05 Maka dilakukan interpolasi linier dengan tujuan mendapat nilai Fa :

X1 : 1,10
 X2 : 1,00
 Y1 : 1,00
 Y2 : 1,25
 Y : 1,0500

$$\begin{aligned}
 Fa &= X_1 + \frac{(Y - Y_1)}{(Y_2 - Y_1)} \cdot (X_2 - X_1) \\
 &= 1,10 + \frac{(1,05 - 1,00)}{(1,25 - 1,00)} \times (1,00 - 1,1) \\
 &= 1,080
 \end{aligned}$$

f. Menghitung faktor amplifikasi periode 1 detik (Fv)

Tabel 4.17 Koefisien situs Fv

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE _R) terpetakan pada periode 1 detik, S _v					
	S _v ≤ 0,1	S _v = 0,2	S _v = 0,3	S _v = 0,4	S _v = 0,5	S _v ≥ 0,6
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	SS ^(a)					

CATATAN:
 (a) SS= Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik, lihat 6.10.1

Sumber : SNI 1726 2019 Tabel 7 (Hal 34 - 35)

X1 : 2,00
 X2 : 1,90
 Y1 : 0,30
 Y2 : 0,40
 Y : 0,4500

$$\begin{aligned}
 F_v &= \boxed{X_1 + \frac{(Y - Y_1)}{(Y_2 - Y_1)} \cdot (X_2 - X_1)} \\
 &= 2,00 + \frac{(0,45 - 0,30)}{(0,40 - 0,30)} \times (1,90 - 2,0) \\
 &= 1,850
 \end{aligned}$$

- g. Menghitung percepatan pada periode pendek (SM_s)
sesuai SNI 1726 2016 pasal 6.2 (Hal 34)

$$\begin{aligned}
 SM_s &= F_a \times S_s \\
 &= 1,080 \times 1,0500 \\
 &= 1,134 \text{ g}
 \end{aligned}$$

- h. Menghitung percepatan pada periode 1 detik (SM₁)
sesuai SNI 1726 2016 pasal 6.2 (Hal 34)

$$\begin{aligned}
 SM_1 &= F_v \times S_1 \\
 &= 1,850 \times 0,4500 \\
 &= 0,833 \text{ g}
 \end{aligned}$$

- i. Menghitung percepatan desain pada periode pendek (SM_s)
sesuai SNI 1726 2016 pasal 6.3 (Hal 35)

$$\begin{aligned}
 S_{DS} &= \boxed{\frac{2}{3} \times SM_s} \\
 &= 0,756 \text{ g}
 \end{aligned}$$

- j. Menghitung percepatan desain pada periode 1 detik (SM₁)
sesuai SNI 1726 2016 pasal 6.3 (Hal 35)

$$\begin{aligned}
 S_{D1} &= \boxed{\frac{2}{3} \times SM_1} \\
 &= 0,555 \text{ g}
 \end{aligned}$$

k Menentukan kategori desain seismik (KDS)

- 1) Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periodik pendek

$$S_{DS} = 0,756 \text{ g} \cdot 2019 \text{ tabel 8 (Hal 37)}$$

Tabel 4.18 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek

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

Sumber: SNI 1726 2019 tabel 8 (hal 37)

- 2) Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada periodik 1 detik

$$S_{D1} = 0,555 \text{ g}$$

Tabel 4.19 Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik

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

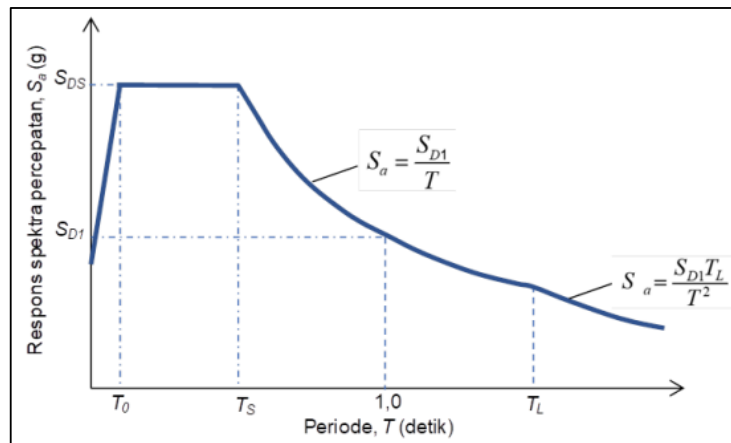
Sumber: SNI 1726 2019 tabel 8 (Hal 37)

1. Rekapitulasi parameter - parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan beban gempa

Keterangan	Data
Kategori resiko	II
Faktor keutamaan gempa	1,0
Kelas situs tanah	SD
Parameter percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) g	1,0500
Parameter percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) g	0,4500
Parameter peta transisi periode panjang (TL) detik	4

Faktor amplifikasi periode pendek (Fa)	1,080
Faktor amplifikasi periode 1 detik (Fv)	1,850
Percepatan spektrum pada periode pendek (SMs) g	1,134
Percepatan spektrum pada periode 1 detik (SM ₁) g	0,833
Percepatan desain spektrum pada periode pendek (S _{DS}) g	0,756
Percepatan desain spektrum pada periode 1 detik (S _{D1}) g	0,555
Kategori desain seismik (KDS)	D

4.4.1 Desain Respons Spektrum



Gambar 4.5 Respons Spektra Percepatan

- 1) Menghitung nilai periode T_0 sesuai dengan SNI 1726-2019 Pasal 6.4 halaman 36

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 0,2 \frac{SD1}{SDS} \\
 &= 0,2 \frac{0,555}{0,756} \\
 &= 0,147 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

- 2) Menghitung nilai periode T_s sesuai SNI 1726-2019 Pasal 6.4 halaman 36

$$\begin{aligned}
 T_s &= \frac{SD1}{SDS} \\
 &= \frac{0,555}{0,756} \\
 &= 0,734 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

3) Menentukan Nilai TL

Nilai TL diperoleh dari Peta Gempa Indonesia (PUSGEN) sesuai lokasi gedung di Kota Kupang yaitu 20 detik

4) Menghitung nilai Sa sesuai SNI 1726-2019 Pasal 6.4 halaman 35

a. Untuk $T < T_0$

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

b. Untuk $T_0 \leq T \leq T_s$

$$S_a = S_{DS}$$

c. Untuk $T_s \leq T \leq T_L$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

d. Untuk $T > T_L$

$$S_a = \frac{S_{D1} \times T_L}{T^2}$$

Perhitungan respon spektrum rencana dilakukan menggunakan program bantu

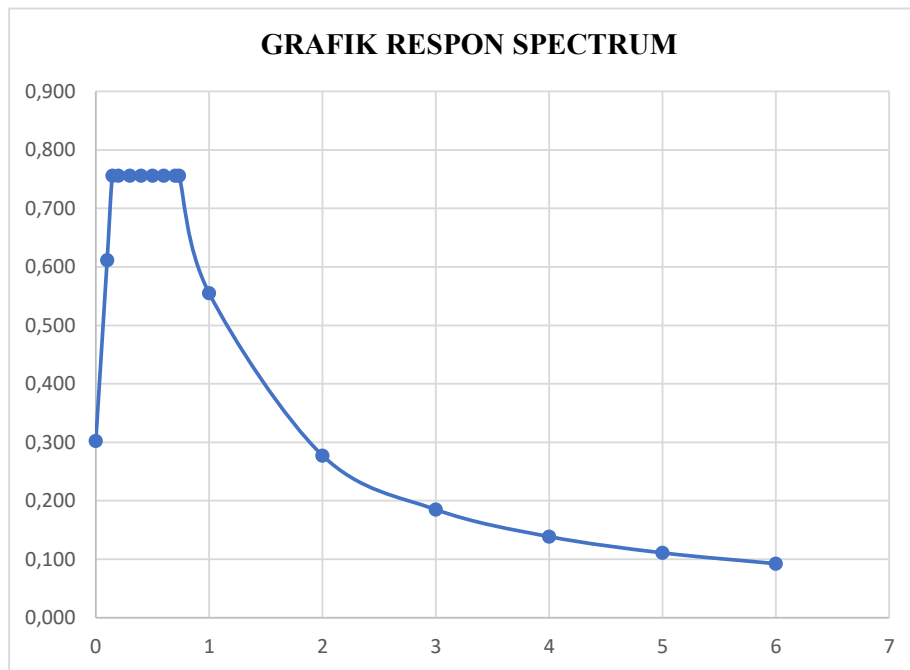
Microsoft Excel, dan didapatkan grafik respon spektrum rencana pada gedung

Penunjang PT. Bank NTT seperti dibawah ini :

	T	SA		T	SA
T < T0	0	0,302	T > TL	5	0,111
	0,1	0,611		6	0,0925
T0	0,147	0,756		7	0,0793
	0,2	0,756		8	0,0694
T ≥ T0	0,3	0,756		9	0,0617
	0,4	0,756		10	0,0555
	0,5	0,756		11	0,0505
	0,6	0,756		12	0,0463
	0,7	0,756		13	0,0427
	Ts	0,734		0,756	14

$T \geq TS$	1	0,555
	2	0,2775
	3	0,185
TL	4	0,1388

15	0,037
16	0,0347
17	0,0326
18	0,0308
19	0,0292
20	0,0278



Gambar 4.6 Grafik Respons Spektrum (Tanah Sedang) Gedung Penunjang Bank NTT

4.4.2 Periode Fundamental Struktur (T)

- a. Menghitung periode fundamental pendekatan (T_a)

Periode Fundamental pendekatan (T_a), dalam detik harus ditentukan dari persamaan berikut

Tabel 4.20 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
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

Sumber: SNI 1726 2019 pasal 7.8.2.1 halaman 72

$$\begin{aligned} T_a &= C_t \times h_n^x \\ &= 0,0466 \times 27,50^{0,9} \\ &= 0,92 \text{ detik} \end{aligned}$$

h_n = Ketinggian struktur di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur

b Menghitung Periode Maksimum (T_{max})

$$S_{D1} = 0,555 \text{ g}$$

Tabel 4.21 koefisien untuk batas atas pada periode dihitung

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, S_{D1}	Koefisien C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726 2019 pasal 7.8.2.1 halaman 72

Ditinjau dari nilai $SDI = 0,555 \text{ g}$ dimana letaknya berada pada $\geq 0,4 \text{ g}$, maka nilai koefisien C_u yang diperoleh dari tabel diatas adalah 1,4

- Arah X

$$\begin{aligned} T_{\max_1} &= C_u \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,92 \\ &= 1,288 \text{ detik} \end{aligned}$$

- Arah Y

$$\begin{aligned} T_{\max_2} &= C_u \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,92 \\ &= 1,288 \text{ detik} \end{aligned}$$

c. Waktu getar alami dari analisis ETABS

Display > show table > result > modal result > modal participating mass ratios

$T_{cx} = 2,769$ detik (Modal 1 - Output Etabs)

$T_{cy} = 2,305$ detik (Modal 2 - Output Etabs)

Menurut SNI 1726 2019 Pasal 7.8.2 hal. 71 - 72

- | | |
|----------------------------------|---------------------|
| 1) Jika $T_c > T_{\max}$, | maka $T = T_{\max}$ |
| 2) Jika $T_a < T_c < T_{\max}$, | maka $T = T_c$ |
| 3) Jika $T_c < T_a$, | maka $T = T_a$ |

Maka digunakan :

$$T_{cx} = 1,288 \text{ detik}$$

$$T_{cy} = 1,288 \text{ detik}$$

c. Menentukan nilai faktor R, Cd dan Ω_0

Menurut SNI 1726 2019 pasal 7.2.2 hal. 50 nilai faktor R, Cd, dan Ω_0 sebagai berikut.

Tabel 4.22 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

Tabel 12 – Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik (lanjutan)								
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	E ^e	F ^f
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^g	TI ^g	TI ^g
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^h	TI ^h	TI ^h
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^h	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁱ	3½	3 ^a	3½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetankan								

Sumber : SNI 1726:2019 Tabel 12, Halaman 50

dari tabel diatas nilai R, Cd, dan Ω_0 adalah

$$R = 8$$

$$C_d = 5,5$$

$$\Omega_0 = 3$$

$$\begin{aligned}
 \text{Skala arah X} &= \frac{I_e}{R} \times 9,81 \times 100 \% \\
 &= \frac{1,0}{8} \times 9,81 \times 100 \% \\
 &= 1,2263 \text{ m/s}^2 \rightarrow 1226,3 \text{ mm/s}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Skala arah Y} &= \frac{I_e}{R} \times 9,81 \times 100 \% \\
 &= \frac{1,0}{8} \times 9,81 \times 100 \% \\
 &= 1,2263 \text{ m/s}^2 \rightarrow 1226,3 \text{ mm/s}^2
 \end{aligned}$$

d. Menghitung koefisien respons seismik (Cs)

1) Menghitung nilai Cs min Menerus SNI 1726 2019 pasal 7.8.1.1 hal. 70

$$\begin{aligned}
 C_s \text{ min} &= 0,044 \times SDS \times I_e \geq 0,010 \\
 &= 0,044 \times 0,756 \times 1,0 \geq 0,010 \\
 &= 0,0333 \geq 0,010 \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

2) Menghitung nilai Cs menurut SNI 1726 2019 pasal 7.8.1.1 hal. 70

$$\begin{aligned}
 C_s &= \frac{SDS}{R/I_e} \\
 &= \frac{0,756}{8 / 1} \\
 &= 0,0945
 \end{aligned}$$

3) Menghitung nilai Cs maks menurut SNI 1726 2019 Pasal 7.8.1.1 hal. 70

- Untuk $T \leq T_L$

$$\begin{aligned}
 C_{sx \text{ max}} &= \frac{SDI}{T_{cx} \times \left(\frac{R}{I_e} \right)} \\
 &= \frac{0,555}{1,288 \times \left(\frac{8,0}{1,0} \right)} \\
 &= 0,0539
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{sy \max} &= \frac{SDI}{T_{cy} \times \left[\frac{R}{I_e} \right]} \\
 &= \frac{0,555}{1,288 \times \left[\frac{8,0}{1,0} \right]} \\
 &= 0,0539
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$C_{s \min} < C_{sx} < C_{sx \max}$$

$$0,0333 < 0,0945 < 0,0539$$

$$\text{Maka dipakai nilai } C_{sx} \text{ adalah } = 0,0539$$

$$C_{s \min} < C_{sy} < C_{sy \max}$$

$$0,0333 < 0,0945 < 0,0539$$

$$\text{Maka dipakai nilai } C_{sy} \text{ adalah } = 0,0539$$

e. Menghitung nilai base share (V)

$$V = C_s \times W \quad (\text{SNI 1726:2020 Pasal 7.8.1})$$

Keterangan:

$$C_s = \text{koefisien respon seismik}$$

$$W = \text{Berat seismik struktur}$$

$$= 50032,476 \text{ kN}$$

Maka nilai V_x dan V_y adalah seagai berikut:

1) Gaya dasar sismic/base shear (V_x)

$$\begin{aligned}
 V_x &= C_{sx} \times W_t \\
 &= 0,0539 \times 50032,476 \\
 &= 2694,89 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2) Gaya dasar sismic/base shear (V_y)

$$\begin{aligned}
 V_y &= C_{sy} \times W_t \\
 &= 0,0539 \times 50032,476 \\
 &= 2694,89 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

f Menghitung gaya gempa lateral (F)

$$F_x = C_{vx} \times V \quad (\text{SNI 1726:2020 Pasal 7.8.3})$$
$$C_{vx} = \frac{w_x \times h_x^k}{\sum w_i \times h_i^k}$$

dimana :

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

V = Gaya lateral desain total atau geser dasar struktur

w_i, w_x = Bagian berat seismik efektif total struktur (w) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

h_i, h_x = Tinggi dasar sampai tingkat i atau x

k = Eksponen yang terkait dengan periode struktur sebagai berikut

a. untuk struktur dengan periode sebesar 0,5 detik atau kurang ($k=1$)

b. Untuk struktur dengan periode sebesar 2,5 detik atau kurang ($k=2$)

c. Untuk struktur dengan periode sebesar 0,5 - 2,5 detik, k harus sebesar 2 atau

dilakukan interpolasi linear antara 1 dan 2

atau dilakukan interpolasi linear antara 1 dan 2

- Dari nilai periode struktur yang digunakan
Dari perhitungan sebelumnya, didapatkan nilai periode struktur untuk arah X dan Y sebagai berikut:

$$T_{cx} = 1,288 \text{ detik}$$

$$T_{cy} = 1,288 \text{ detik}$$

Karena nilai periode struktur berada diantara 0,5 - 2,5 detik, maka melalui interpolasi didapat:

1) Nilai eksponen arah X (K_x)

$$T_{X_1} : 0,5$$

$$T_{X_2} : 2,5$$

$$T_{cx} : 1,288$$

$$K_{X_1} : 1$$

$$K_{X_2} : 2$$

$$Kx = Kx_1 + \frac{(Tcx - Tx_1)}{(Tx_2 - Tx_1)} \cdot (Kx_2 - Kx_1)$$

$$Kx = 1 + \frac{(1,288 - 0,5)}{(2,5 - 0,5)} \times (2 - 1)$$

$$= 1,394$$

2) Nilai eksponen arah Y (Ky)

$$Ty_1 : 0,5$$

$$Ty_2 : 2,5$$

$$Tcy : 1,288$$

$$Ky_1 : 1$$

$$Ky_2 : 2$$

$$Ky = Kx_1 + \frac{(Tcx - Tx_1)}{(Tx_2 - Tx_1)} \cdot (Kx_2 - Kx_1)$$

$$Ky = 1 + \frac{(1,288 - 0,5)}{(2,5 - 0,5)} \times (2 - 1)$$

$$= 1,394$$

dari hasil interpolasi diatas, nilai eksponen arah x adalah sebesar

$$Kx = 1,394 \text{ KN}$$

$$Ky = 1,394 \text{ KN}$$

- Gaya gempa lateral (F)

$$Vx = 2694,89 \text{ KN}$$

$$Vy = 2694,89 \text{ KN}$$

Berikut contoh perhitungan gaya gempa lateral pada lantai 1 (i=1)

a. Gaya gempa arah X

$$wi \times hi^{kx} = 7742,30 \times 6^{1,394}$$

$$= 94104,44 \text{ KN}$$

$$C_{vx} = \frac{\sum w_i \times h_i^{kx}}{\sum w_i \times h_i^{kx}}$$

$$= \frac{94104,44}{2066084,538}$$

$$= 0,045547$$

$$F_x = C_{vx} \times V_x$$

$$= 0,045547 \times 2694,9$$

$$= 122,745 \text{ kN}$$

b. Gaya gempa arah Y

$$w_i \times h_i^{ky} = 7742,30 \times 12,15458^{1,394}$$

$$= 251764,01 \text{ KN}$$

$$C_{vy} = \frac{\sum w_i \times h_i^{ky}}{\sum w_i \times h_i^{ky}}$$

$$= \frac{251764,01}{2066084,538}$$

$$= 0,12185562$$

$$F_y = C_{vy} \times V_y$$

$$= 0,121856 \times 2694,9$$

$$= 328,38792 \text{ kN}$$

Tabel 4.23 faktor distribusi vertikal

No	Lantai	W kN	Tinggi (hi) m	hx ^{kx}	hx ^{ky}
1	Atap	3183,076	27,5	101,49	101,49
2	Lantai 5	6314,672	23,5	81,52	81,5199
3	Lantai 4	8578,665	19,5	62,85	62,8497
4	Lantai 3	8185,101	15	43,598	43,598
5	Lantai 2	8479,301	10,5	26,518	26,5176
6	Lantai 1	7742,302	6	12,155	12,1546
7	Lantai Dasar	7549,3571	1,5	1,7598	1,75983

Tabel 4.24 Gaya Gempa Lateral per Lantai

No	$w_i \times h_i^{kx}$	$w_i \times h_i^{ky}$	Cvx	Cvy	Fx	Fy
					kN	kN
1	323051,30	323051,30	0,156	0,156	421,3714	421,3714
2	514771,35	514771,35	0,249	0,249	671,4411	671,4411
3	539166,90	539166,90	0,261	0,261	703,2613	703,2613
4	356854,30	356854,30	0,173	0,173	465,4622	465,4622
5	224850,67	224850,67	0,109	0,109	293,2836	293,2836
6	94104,44	94104,437	0,046	0,046	122,7449	122,7449
7	13285,5804	13285,5804	0,006	0,006	17,3290	17,3290
Σ	2066084,5	2066084,5				

4.5 Kombinasi Beban Gempa

Sebagaimana yang telah disyaratkan pada SNI 1726 : 2019 pasal 7.4.2. hal.65 bahwa terdapat pengaruh beban gempa secara horizontal dan vertikal. Baban gempa juga harus dimodifikasi untuk memperhitungkan kuat lebih sistem, seperti yang ditetapkan pada SNI 1726-2019 pasal 7.4.3.1. hal.66.

1. Pengaruh beban gempa horizontal

$$\begin{aligned}
 E_h &= \rho \quad x \quad Q_e \text{ (100% dan 30%)} && \text{(SNI 1726-2019, pasal 7.4.2.1)} \\
 &= 1,0 \quad x \quad \left[1 \quad Q_x \pm \quad 0,3 \quad Q_y \right] \text{ atau } 1,0 \left[1 \quad Q_y \pm \quad 0,3 \quad Q_x \right] \\
 &= \quad 1,0 \quad \left[1,0 \quad Q_x \pm \quad 0,30 \quad Q_y \right] \text{ atau } 1,0 \left[Q_y \pm \quad 0,3 \quad Q_x \right]
 \end{aligned}$$

2. Pengaruh beban gempa vertikal

$$\begin{aligned}
 E_v &= \quad 0,2 \quad x \quad SDS \quad x \quad D && \text{(SNI 1726-2019, pasal 7.4.2.2)} \\
 &= \quad 0,2 \quad x \quad 0,8 \quad x \quad D \\
 &= \quad 0,160 \quad D \\
 &&& \text{(SNI 1726-2019, pasal 7.4.2)}
 \end{aligned}$$

3. Beban gempa

$$\begin{aligned}
 E &= \quad E_h \quad + \quad E_v \\
 &= \quad 1,0 \quad Q_x \pm \quad 0,30 \quad Q_y \quad + \quad 0,160 \quad D \quad \text{atau} \\
 &\quad 1,0 \quad Q_y \pm \quad 0,30 \quad Q_x \quad + \quad 0,160 \quad D
 \end{aligned}$$

Sehingga kombinasi pembebanan pada Gedung Penunjang PT. Bank NTT sebagai berikut :

1. **1,4 D**
2. **1,2 D + 1,6 L**
3. **1,2 D + 1 L**
1,2 D + 0,5 L
4. **1,2 D + 1 L**
1,2 D + 0,5 L

$$\begin{aligned}
 &1,2 \quad D \quad + \quad 0,5 \quad L \quad \pm \quad 1,0 \left[0,3 \quad Q_x \quad + \quad 0,16 \quad D \right] \pm \\
 &1,0 \left[1 \quad Q_y \quad + \quad 0,16 \quad D \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
5. & 1,2 D + 0,5 L + \left[0,30 Q_x + 0,2 D \right] + \left[1,0 Q_y + 0,2 D \right] \\
& \quad \mathbf{1,520 D + 0,5 L + 0,30 Q_x + 1,0 Q_y} \\
6. & 1,2 D + 1 L - \left[0,30 Q_x + 0,2 D \right] + \left[1,0 Q_y + 0,2 D \right] \\
& \quad \mathbf{1,200 D + 0,5 L - 0,30 Q_x + 1,0 Q_y} \\
7. & 1,2 D + 1 L + \left[0,30 Q_x + 0,2 D \right] - \left[1,0 Q_y + 0,2 D \right] \\
& \quad \mathbf{1,200 D + 0,5 L + 0,30 Q_x - 1,0 Q_y} \\
8. & 1,2 D + 1 L - \left[0,30 Q_x + 0,2 D \right] - \left[1,0 Q_y + 0,2 D \right] \\
& \quad \mathbf{0,880 D + 0,5 L - 0,30 Q_x - 1,0 Q_y}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 1,2 D + 0,5 L \pm 1,0 \left[1 Q_x + 0,160 D \right] \pm \\
& 1,0 \left[0,3 Q_y + 0,160 D \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
9. & 1,2 D + 1 L + \left[1,0 Q_x + 0,2 D \right] + \left[0,30 Q_y + 0,2 D \right] \\
& \quad \mathbf{1,520 D + 0,5 L + 1,0 Q_x + 0,30 Q_y} \\
10. & 1,2 D + 1 L + \left[1,0 Q_x + 0,2 D \right] + \left[0,30 Q_y + 0,2 D \right] \\
& \quad \mathbf{1,200 D + 0,5 L - 1,0 Q_x + 0,30 Q_y} \\
11. & 1,2 D + 1 L + \left[1,0 Q_x + 0,2 D \right] - \left[0,30 Q_y + 0,2 D \right] \\
& \quad \mathbf{1,200 D + 0,5 L + 1,0 Q_x - 0,30 Q_y} \\
12. & 1,2 D + 1 L - \left[1,0 Q_x + 0,2 D \right] - \left[0,30 Q_y + 0,2 D \right] \\
& \quad \mathbf{0,880 D + 0,5 L - 1,0 Q_x - 0,30 Q_y}
\end{aligned}$$

$$0,9 D \pm 1,0 \left[0,3 Q_x + 0,160 D \right] \pm 1,0 \left[1 Q_y + 0,160 D \right]$$

$$\begin{aligned}
13. & 0,9 D + \left[0,30 Q_x + 0,160 D \right] + \left[1,0 Q_y + 0,160 D \right] \\
& \quad \mathbf{1,220 D + 0,30 Q_x + 1,0 Q_y} \\
14. & 0,9 D - \left[0,30 Q_x + 0,160 D \right] + \left[1,0 Q_y + 0,160 D \right] \\
& \quad \mathbf{0,900 D - 0,30 Q_x + 1,0 Q_y} \\
15. & 0,9 D + \left[0,30 Q_x + 0,160 D \right] - \left[1,0 Q_y + 0,160 D \right] \\
& \quad \mathbf{0,900 D + 0,30 Q_x - 1,0 Q_y} \\
16. & 0,9 D - \left[0,30 Q_x + 0,160 D \right] - \left[1,0 Q_y + 0,160 D \right] \\
& \quad \mathbf{0,580 D - 0,30 Q_x - 1,0 Q_y}
\end{aligned}$$

$$0,9 D \pm 1,0 \left[1 Q_x + 0,160 D \right] \pm 1,0 \left[0,3 Q_y + 0,160 D \right]$$

$$17. 0,9 D + \left[1,0 Q_x + 0,160 D \right] + \left[0,30 Q_y + 0,160 D \right]$$

$$\mathbf{1,220 D + 1,0 Q_x + 0,30 Q_y}$$

$$18. 0,9 D - \left[1,0 Q_x + 0,160 D \right] + \left[0,30 Q_y + 0,160 D \right]$$

$$\mathbf{0,900 D - 1,0 Q_x + 0,30 Q_y}$$

$$19. 0,9 D + \left[1,0 Q_x + 0,160 D \right] - \left[0,30 Q_y + 0,160 D \right]$$

$$\mathbf{0,900 D + 1,0 Q_x - 0,30 Q_y}$$

$$20. 0,9 D - \left[1,0 Q_x + 0,160 D \right] - \left[0,30 Q_y + 0,160 D \right]$$

$$\mathbf{0,580 D - 1,0 Q_x - 0,30 Q_y}$$

4.6 Analisis Gempa Dinamik Eksisting

4.6.1 Partisipasi Massa

Menurut SNI 126:2019 Pasal 7.9.1.1 analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini, untuk ragam satu badan kaku (*single rigid body*) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,005 detik. Pengecualian sebagai alternatif, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari oleh model. Berikut adalah tabel rasio modal partisipasi massa yang didapatkan dari hasil analisa gempa dinamis menggunakan program bantu ETABS.

Tabel 4.25 Tabel Modal Rasio Partisipasi Massa

Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY
		sec					
Modal	1	1,927	1,285E-05	0,7066	0	1E-05	0,7066
Modal	2	1,85	0,71	2,288E-05	0	0,71	0,7066
Modal	3	1,66	0,0005	0,0021	0	0,7105	0,7087
Modal	4	0,591	5,833E-06	0,1073	0	0,7105	0,816
Modal	5	0,571	0,1089	6,246E-06	0	0,8194	0,816
Modal	6	0,517	8,596E-06	0,0004	0	0,8194	0,8165
Modal	7	0,318	1,152E-05	0,0421	0	0,8194	0,8585
Modal	8	0,308	0,0404	1,377E-05	0	0,8598	0,8586
Modal	9	0,279	1,944E-05	0,0002	0	0,8599	0,8587
Modal	10	0,205	0,0001	0,0244	0	0,8599	0,8832
Modal	11	0,201	0,0239	0,0001	0	0,8839	0,8833
Modal	12	0,181	0,0001	0,0003	0	0,884	0,8835
Modal	13	0,141	2,515E-05	0,0076	0	0,884	0,8912
Modal	14	0,139	0,0072	2,993E-05	0	0,8912	0,8912
Modal	15	0,125	1,859E-06	0,0001	0	0,8912	0,8913
Modal	16	0,113	0,0003	0,0066	0	0,8915	0,8979
Modal	17	0,113	0,0065	0,0003	0	0,898	0,8982
Modal	18	0,101	0,0001	0,0001	0	0,8981	0,8983

Modal	19	0,045	0,0063	0,0891	0	0,9043	0,9874
Modal	20	0,045	0,0944	0,0072	0	0,9987	0,9946

Berdasarkan tabel diatas disimpulkan bahwa pada kondisi eksisting Partisipasi Massa diatas 90% tercapai pada Modal 19 dan sudah mampu memenuhi syarat Partisipasi Massa sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1

4.6.2 Skala Gaya Geser Desain

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1 bila periode fundamental hasil analisis lebih besar dari $C_u T_a$ pada suatu arah tertentu, maka periode struktur T harus diambil sebesar $C_u T_a$. Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t , dimana V adalah gaya geser dasar statik ekuivalen, dan V_t adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil kombinasi ragam

Tabel 4.26 Hasil Penjumlahan Base Shear untuk Masing-masing Gempa

Tipe Gempa Statis		Fx	Fy
		kN	kN
Statis	EQx	-2668,2674	0
	EQy	0	-2668,2674
Dinamis	Respon Spektrum X (RSPx)	1526,9351	13,335
	Respon Spektrum Y (RSPy)	13,335	1434,6595

Sumber: Output ETABS-Base Reaction, Load case Beban Gempa Statis dan Dinamis

Tabel 4.27 Kontrol Nilai Gaya Geser Dasar

Arah	V dinamis	V statis	Keterangan
X	1526,9351	-2668,2674	Tidak Memenuhi
Y	1434,6595	-2668,2674	Tidak Memenuhi

Dari hasil output diatas, maka syarat SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1 (Hal.78), yaitu $V_{dinamis} \leq V_{statis}$ (Tidak Memenuhi) sehingga skala faktor dinamis harus dikalikan dengan V/V_t .

Dimana V adalah gaya geser dasar metode statis ekuivalen dan V_t adalah gaya geser dasar gempa (dinamis). Hasil di atas menunjukkan struktur berperilaku statis. Supaya struktur berperilaku dinamis, maka dibutuhkan pembesaran scale faktor.

$$\text{Faktor skala X (lama)} = 1226,3 \text{ mm/s}^2$$

$$\text{Faktor skala Y (lama)} = 1226,3 \text{ mm/s}^2$$

Menghitung scale faktor baru

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala X (baru)} &= U1 \times \frac{V \text{ statis}}{V \text{ dinamis}} \\ &= 1226,25 \times \frac{2668,2674}{1526,9351} \\ &= 2142,830366 \text{ mm/s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala Y (baru)} &= U2 \times \frac{V \text{ statis}}{V \text{ dinamis}} \\ &= 1226,25 \times \frac{2668,2674}{1434,6595} \\ &= 2280,654677 \text{ mm/s}^2 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan pembesaran skala gaya maka dilanjutkan dengan menginput faktor skala baru pada program bantu ETABS dan melakukan analisis ulang beban gempa dinamis. Setelah dilakukan analisa ulang maka didapatkan gaya geser dasar baru seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 4.28 Hasil Penjumlahan Base Shear untuk Masing-masing Gempa

Tipe Gempa Statis		Fx	Fy
		kN	kN
Statis	EQx	-2668,27	0,00
	EQy	0,00	-2668,27
Dinamis	Respon Spektrum X (RSPx)	2668,28	23,30
	Respon Spektrum Y (RSPy)	24,80	2668,27

Tabel 4.29 Kontrol Nilai Gaya Geser Dasar

Arah	V dinamis	V statis	Keterangan
X	2668,28	-2668,27	Memenuhi
Y	2668,27	-2668,27	Memenuhi

4.6.3 Simpangan

Kontrol desain struktur dilakukan terhadap pengecekan batas simpangan antar lantai yang diatur dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6 hal 75 sedangkan besar batas simpangan antar lantai tingkat tertera pada SNI 1726:2019 Pasal 7.12

Simpangan antartingkat izin $\Delta_a = 0,02 h$

7.12.1 Batasan simpangan antar tingkat

Simpangan antar tingkat desain (Δ) seperti ditentukan dalam 0, atau 0, tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti didapatkan dari Tabel 20 untuk semua tingkat.

Tabel 20 – Simpangan antar tingkat izin, $\Delta_a^{a,b}$

Struktur	Kategori risiko		
	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 eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Display > story respons plot > show > case/combo > RSPx/RSPy > show table >

Formatted

Tabel 4.30 Kontrol Simpangan

Story	Elevation	Location	RPX		RPY	
			X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir
			mm	mm	mm	mm
ATAP	27,5	Top	78,631	2,98	4,097	88,522
Lantai 5	23,5	Top	73,256	2,808	3,845	82,602
Lantai 4	19,5	Top	64,024	2,511	3,374	72,232
Lantai 3	15	Top	48,443	2,006	2,578	54,606
Lantai 2	10,5	Top	31,77	1,445	1,716	35,517
Lantai 1	6	Top	14,422	0,776	1,136	15,882
Lantai Dasar	1,5	Top	1,21	0,066	0,097	1,327
Base	0	Top	0	0	0	0

Berikut adalah contoh perhitungan simpangan antar lantai yang terjadi pada lantai 2 pada simpangan

arah X

Diketahui:

$$R = 8$$

$$Cd = 5,5$$

$$\Omega = 3$$

$$Ie = 1$$

$$\begin{aligned} \Delta_a^a &= \frac{Cd \times \delta e3}{Ie} \\ &= \frac{5,5 \times 48,443}{1,0} \\ &= 266,437 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta_a^b &= \frac{Cd \times \delta e2}{Ie} \\ &= \frac{5,5 \times 31,77}{1,0} \\ &= 174,735 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_a^{ab} &= \Delta_a^a - \Delta_a^b \\ &= 266,437 - 174,735 \\ &= 91,702 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 20 simpangan antar lantai izin sesuai SNI 1726 2019 Pasal 7.12.1 Hal. 88 untuk jenis struktur yang masuk kedalam tipe semua struktur lainnya dan berada pada kategori resiko II batas antar lantai ijin adalah 0,020 h_{sx} dimana h_{sx} merupakan tinggi tingkat.

Maka dari perhitungan diatas

$$\begin{aligned}\Delta \text{ ijin} &= 0,020 \times h_{sx} \\ &= 0,020 \times 4500 \\ &= 90 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kontrol

$$\Delta_a^{ab} \leq \Delta \text{ ijin}$$

$$91,702 \leq 90 \text{ Tidak Memenuhi}$$

Menentukan nilai story inelastic drift (Δ)

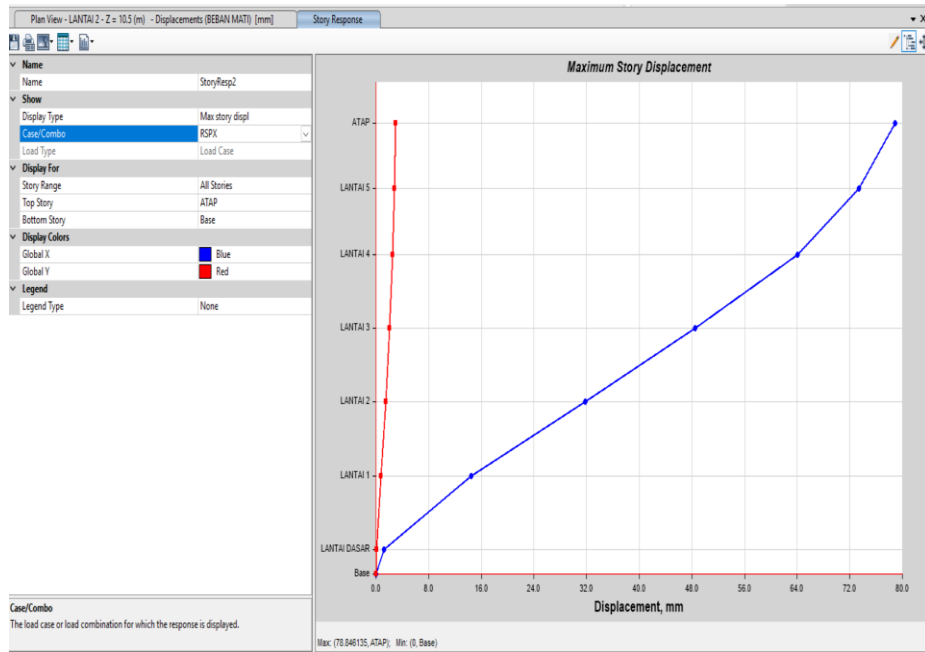
$$\text{Faktor pembesaran defleksi (Cd)} = 5,5$$

$$\text{Faktor keutamaan gempa (Ie)} = 1$$

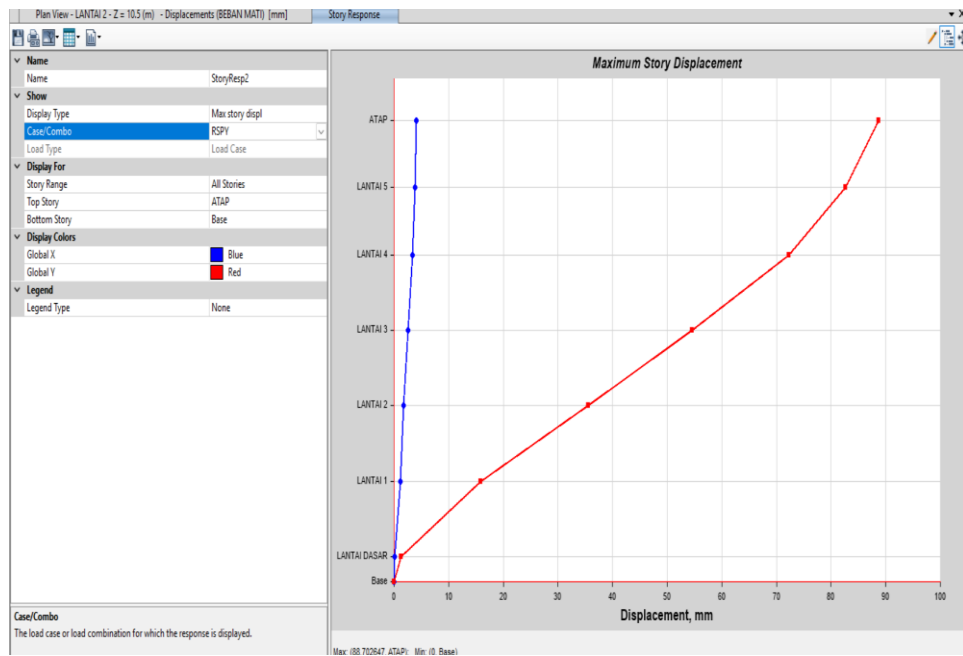
$$\text{Maka, } \Delta = \delta \times Cd/Ie$$

1. Simpangan Arah X

No	Story	h _{sx} mm	δe mm	Δ mm	Δi mm	Δ ijin mm	Kontrol Δi ≤ Δ ijin
1	Atap	4000	78,631	432,4705	29,5625	80	Memenuhi
2	Lantai 5	4000	73,256	402,908	50,776	80	Memenuhi
3	Lantai 4	4500	64,024	352,132	85,696	90	Memenuhi
4	Lantai 3	4500	48,443	266,4365	91,7015	90	Tidak Memenuhi
5	Lantai 2	4500	31,77	174,735	95,414	90	Tidak Memenuhi
6	Lantai 1	4500	14,422	79,321	72,666	90	Memenuhi
7	Lantai Dasar	1500	1,21	6,655	6,655	30	Memenuhi
8	Base	0	0	0	0	0	Tidak Memenuhi



Gambar 4.6.1 Grafik Simpangan Respon Spektrum Sumbu X (RSPX) Skala Baru



Gambar 4.6.2 Grafik Simpangan Respon Spektrum Sumbu Y (RSPY) Skala Baru

2. Simpangan Arah Y

No	Story	h_{sx} mm	δe mm	Δ mm	Δ_i mm	Δ izin mm	Kontrol $\Delta_i \leq \Delta$ izin
1	Atap	4000	88,522	486,871	32,56	80	Memenuhi
2	Lantai 5	4000	82,602	454,311	57,035	80	Memenuhi
3	Lantai 4	4500	72,232	397,276	96,943	90	Tidak Memenuhi
4	Lantai 3	4500	54,606	300,333	104,9895	90	Tidak Memenuhi
5	Lantai 2	4500	35,517	195,3435	107,9925	90	Tidak Memenuhi
6	Lantai 1	4500	15,882	87,351	80,053	90	Memenuhi
7	Lantai Dasar	1500	1,327	7,2985	7,2985	30	Memenuhi
8	Base	0	0	0	0	0	Tidak Memenuhi

Berikut adalah contoh perhitungan simpangan antar lantai yang terjadi pada lantai 2 pada

simpangan arah X

$$\begin{aligned}\Delta_a^a &= \frac{Cd \quad x \quad \delta e3}{Ie} \\ &= \frac{5,5 \quad x \quad 48,443}{1,0} \\ &= 266,437 \quad \text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_a^b &= \frac{Cd \quad x \quad \delta e2}{Ie} \\ &= \frac{5,5 \quad x \quad 31,77}{1,0} \\ &= 174,735 \quad \text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_a^{ab} &= \Delta_a^a \quad - \quad \Delta_a^b \\ &= 266,437 \quad - \quad 174,735 \\ &= 91,702 \quad \text{mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 20 simpangan antar lantai izin sesuai SNI 1726 2019 Pasal 7.12.1 Hal. 88 untuk jenis struktur yang masuk kedalam tipe semua struktur lainnya dan berada pada kategori resiko II batas antar lantai izin adalah 0,020 h_{sx} dimana h_{sx} merupakan tinggi tingkat.

Maka dari perhitungan diatas

$$\begin{aligned}\Delta \text{ ijin} &= 0,020 \times h_{sx} \\ &= 0,020 \times 4500 \\ &= 90 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}\Delta_a^{ab} &\leq \Delta \text{ ijin} \\ 91,702 &\leq 90 \quad \text{Tidak Memenuhi}\end{aligned}$$

4.6.4 Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari : 0,10

$$\theta = \frac{P_x \times \Delta_i \times I_e}{V_x \times h_{sx} \times C_d}$$

Keterangan :

P_x = Beban desain vertikal total dan di atas tingkat-x (Kn), bila menghitung P_x , tidak perlu mengkalikan faktor beban atau menggunakan batas layan beban vertikal

Δ_i = Simpangan antartingkat desain

I_e = Faktor keutamakan gempa yang ditentukan sesuai SNI 1726 2019 Pasal 7.2.2 Hal. 50

I_e = 0,0

V_x = Gaya geser seismik yang bekerja di atas tingkat

h_{sx} = Tinggi tingkat (mm)

C_d = Faktor pembesaran defleksi yang ditentukan sesuai SNI 1726 2019 Pasal 7.2.2 Hal.50

C_d = 5,5

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ maks yang ditentukan sebagai berikut :

$$\theta_{maks} : \frac{0,5}{\beta \times Cd}$$

$$: \frac{0,5}{1 \times 5,5}$$

$$: 0,0909 \leq 0,25 \quad \text{Memenuhi}$$

Dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat x dan $x - 1$.

Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1.

Nilai P_x diambil dari output ETABS kombinasi 20 (Beban Layan), Display \rightarrow Show Table \rightarrow

Story Force \rightarrow Analysis Result \rightarrow Struktur Result \rightarrow Story Force

No	Story	Location	P_x Kn
1	ATAP	Bottom	9196,0403
2	Lantai 5	Bottom	19931,498
3	Lantai 4	Bottom	31116,455
4	Lantai 3	Bottom	42769,422
5	Lantai 2	Bottom	54319,315
6	Lantai 1	Bottom	67192,646
7	Lantai Dasar	Bottom	76567,623

Sumber: Output E-tabs 2022

Nilai V_x dan V_y diambil dari output ETABS beban seismik (EQx dan EQy), Display \rightarrow Show Table \rightarrow Story force \rightarrow Analysis Result \rightarrow Struktur Result \rightarrow Story Force

No	Story	Elevation	V_x Kn	V_y Kn
1	ATAP	27,5	-126,6372	-422,124
2	Lantai 5	23,5	-323,8061	-1079,3536
3	Lantai 4	19,5	-535,1613	-1783,871
4	Lantai 3	15	-672,0529	-2240,1763
5	Lantai 2	10,5	-758,383	-2527,9432

6	Lantai 1	6	-795,2722	-2650,9074
7	Lantai Dasar	1,5	-800,4802	-2668,2674

Sumber: Output E-tabs 2022

Selanjutnya perhitungan keperluan P-delta untuk mengetahui kestabilan struktur jika θ lebih besar dari θ_{maks} struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang

Berikut adalah keperluan P-delta untuk arah X

No	Story	Px Kn	h _{sx} mm	Δi mm	Vx Kn	θi Kn	θ _{maks}	Keterangan
1	Atap	9196,0403	27500	29,5625	126,64	0,0141934	0,0909	Stabil
2	Lantai 5	19931,498	23500	50,776	323,81	0,0241815	0,0909	Stabil
3	Lantai 4	31116,455	19500	85,6955	535,16	0,0464586	0,0909	Stabil
4	Lantai 3	42769,422	15000	91,7015	672,05	0,0707379	0,0909	Stabil
5	Lantai 2	54319,315	10500	95,414	758,38	0,1183384	0,0909	Tidak Stabil
6	Lantai 1	67192,646	6000	72,666	795,27	0,1860473	0,0909	Tidak Stabil
7	Lantai Dasar	76567,623	1500	6,655	800,48	0,0771594	0,0909	Stabil

Berikut adalah keperluan P-delta untuk arah Y

No	Story	Px Kn	h _{sy} mm	Δi mm	Vy Vv	θi Kn	θ _{maks}	Keterangan
1	Atap	9196,0403	27500	32,56	422,12	0,0046898	0,0909	Stabil
2	Lantai 5	19931,498	23500	57,035	422,12	0,0208358	0,0909	Stabil
3	Lantai 4	31116,455	19500	96,943	1783,9	0,0157669	0,0909	Stabil
4	Lantai 3	42769,422	15000	104,9895	2240,2	0,0242965	0,0909	Stabil
5	Lantai 2	54319,315	10500	107,9925	2527,9	0,0401817	0,0909	Stabil
6	Lantai 1	67192,646	6000	80,0525	2650,9	0,0614877	0,0909	Stabil
7	Lantai Dasar	76567,623	1500	7,2985	2668,3	0,0253861	0,0909	Stabil

Berikut adalah contoh perhitungan P-Delta sesuai SNI 1726 2019 Pasal 7.8.7 Hal. 76 diambil

Story 2 sumbu X

$$\begin{aligned}
\theta &= \frac{P_x \times \Delta i \times I_e}{V_x \times h_{sx} \times C_d} \\
&= \frac{54319 \times 95,414 \times 1}{758,38 \times 10500 \times 5,5} \\
&= 0,12 \leq 0,10 \text{ Desain Ulang}
\end{aligned}$$

Secara keseluruhan, hasil analisis gempa dinamik menunjukkan bahwa struktur eksisting belum sepenuhnya memenuhi kriteria kinerja seismik yang diharapkan, terutama dalam hal pengendalian simpangan dan stabilitas global struktur. Oleh karena itu, diperlukan upaya peningkatan kinerja struktur, salah satunya melalui penerapan sistem isolasi dasar (*base isolation*), untuk mengurangi respons gempa yang diteruskan ke struktur atas.

4.7.1 Perancangan Base Isolator

a. Penentuan Spesifikasi dan Parameter Base Isolator

Penentuan spesifikasi dan parameter base isolator dilakukan berdasarkan hasil output joint reaction berupa gaya vertikal (Fz) pada kondisi struktur eksisting, di mana nilai Fz maksimum digunakan sebagai dasar pembagian base isolator menjadi tiga tipe. Spesifikasi dan parameter base isolator selanjutnya ditetapkan dengan mengacu pada katalog teknis Bridgestone (2015), yang meliputi effective stiffness, effective damping, serta nonlinear properties untuk memodelkan perilaku isolator dalam analisis dinamik.

4.31 Rekapitulasi Gaya Aksial (Fz) dan Pengelompokan Tipe HDRB

No	Row Labels	Max of FZ	GRUP HDRB	
1	272	3143,135	H D R B T I P E A	NOMINAL LONG TERM 4710 kN
2	264	2854,2366		
3	208	2845,4382		
4	256	2843,6457		
5	160	2821,2955		
6	216	2809,0644		
7	120	2796,0304		
8	168	2793,4669		
9	112	2789,9572		
10	60	2767,3886		
11	224	2731,9315		
12	128	2726,987		
13	72	2664,7989		
14	280	2647,7174		
15	64	2619,2168	H D R B T I P E B	NOMINAL LONG TERM 3090 kN
16	80	2609,0911		
17	176	2520,4331		
18	232	2330,9358		
19	85	2319,3147		
20	67	2318,5816		
21	136	2264,1823		

22	53	2247,8551		
23	88	2142,3261		
24	51	2127,9427		
25	83	2111,6621		
26	76	2035,2944		
27	184	1986,6668		
28	248	1877,2251		
29	200	1850,3672		
30	90	1845,0916		
31	152	1810,1104	H D R B T I P E C	NOMINAL LONG TERM 2340 kN
32	104	1765,0488		
33	24	1761,5951		
34	32	1761,3976		
35	56	1760,9539		
36	16	1699,0294		
37	47	1503,327		
38	40	1490,8106		
39	69	1444,1753		
40	8	1283,3598		

Berdasarkan hasil analisis gaya aksial maksimum (F_z) pada setiap kolom, dilakukan rekapitulasi nilai F_z untuk menentukan kebutuhan kapasitas beban vertikal base isolator. Nilai F_z maksimum kemudian digunakan sebagai acuan dalam pengelompokan tipe High Damping Rubber Bearing (HDRB) sesuai dengan kapasitas nominal long-term load yang tersedia pada katalog pabrikan. Hasil pengelompokan menunjukkan bahwa base isolator dibagi ke dalam beberapa tipe HDRB dengan kapasitas nominal long-term load sebesar 4710 kN, 3900 kN, dan 2340 kN.

b. Menentukan diameter base isolator

Penentuan diameter base isolator didasarkan pada gaya horizontal maksimum yang bekerja pada sistem isolasi. Gaya horizontal total (F) dihitung sebagai resultan dari gaya horizontal arah sumbu X (F_x) dan sumbu Y (F_y), yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

Tegangan geser rata-rata pada base isolator dihitung dengan membandingkan gaya horizontal terhadap luas penampang efektif isolator, yang dirumuskan sebagai:

$$\rho = \frac{F}{A}$$

Luas penampang isolator dinyatakan sebagai hasil perkalian antara diameter isolator (D) dan total tebal lapisan karet (t), sehingga persamaan menjadi:

$$F = \rho \times A = \rho \times (D \times t)$$

dengan :

- ρ = tegangan geser (N/mm²)
- F = gaya horizontal total (N)
- A = luas penampang efektif isolator (mm²)
- D = diameter isolator (mm)
- t = tebal lapisan karet (mm)

Berikut contoh perhitungan diameter base isolator

Diketahui

- F_x = -38,3228 kN
- F_y = 103,7257 kN
- Tegangan geser = 1 N/mm²
- Diameter base isolator (Tipe A) = 700 mm

> Gaya Horizontal Total

$$\begin{aligned}
 F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\
 &= \sqrt{1468,637 + 10759,021} \\
 &= 110,57874 \text{ kN} \\
 &= 110578,74 \text{ N}
 \end{aligned}$$

> Tebal lapisan karet

$$\begin{aligned} F &= \rho \times D \times t \\ 110578,74 &= 1 \times 700 \times t \\ 110578,74 &= 700 t \\ \frac{110578,74}{700} &= t \\ 157,969629 &= t \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t \text{ pakai} &< t \text{ perlu} \\ 157,969629 &< 202 \end{aligned}$$

Memenuhi

4.8 Analisis Gempa Dinamik Menggunakan Base Isolator

4.8.1 Partisipasi Massa

Menurut SNI 126:2019 Pasal 7.9.1.1 analisis harus dilakukan untuk menentukan ragam x alami untuk struktur. Analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar 100% dari massa struktur. Untuk mencapai ketentuan ini, untuk ragam satu badan kaku (single rigid body) dengan periode 0,05 detik, diizinkan untuk mengambil semua ragam dengan periode di bawah 0,005 detik. Pengecualian sebagai alternatif, analisis diizinkan untuk memasukkan jumlah ragam yang minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model. Berikut adalah tabel rasio modal partisipasi massa yang didapatkan dari hasil analisa gempa dinamis menggunakan program bantu ETABS.

Tabel 4.32 Tabel Modal Rasio Partisipasi Massa

Case	Mode	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY
		sec					
Modal	1	2,769	0,6308	0,0019	0	0,6308	0,0019
Modal	2	2,305	0,0035	0,8468	0	0,6343	0,8486
Modal	3	1,975	0,2524	0,0018	0	0,8867	0,8505
Modal	4	0,869	0,0361	0,0007	0	0,9228	0,8511
Modal	5	0,765	0,0009	0,1184	0	0,9237	0,9695
Modal	6	0,654	0,0479	0,0004	0	0,9717	0,9699
Modal	7	0,427	0,0051	0,0024	0	0,9767	0,9723
Modal	8	0,418	0,0011	0,0214	0	0,9779	0,9937
Modal	9	0,36	0,0139	0,0001	0	0,9918	0,9938
Modal	10	0,267	1,379E-05	0,0046	0	0,9918	0,9984
Modal	11	0,262	0,0025	0,0002	0	0,9943	0,9985
Modal	12	0,234	0,0033	0,0000392	0	0,9976	0,9986
Modal	13	0,181	2,02E-06	0,0012	0	0,9976	0,9998
Modal	14	0,177	0,0011	8,889E-06	0	0,9987	0,9998
Modal	15	0,161	0,0009	2,096E-05	0	0,9996	0,9998
Modal	16	0,136	3,013E-06	0,0001	0	0,9996	0,9999

Modal	17	0,134	0,0002	0	0	0,9998	0,9999
Modal	18	0,121	0,0001	2,362E-06	0	0,9999	0,9999
Modal	19	0,11	6,904E-06	0,0001	0	0,9999	1
Modal	20	0,109	0,0001	2,692E-06	0	1	1

Berdasarkan tabel diatas disimpulkan bahwa pada gedung menggunakan base isolator Partisipasi Massa diatas 90% pada Modal 5 dan sudah mampu memenuhi syarat Partisipasi Massa Sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.1

4.8.2 Skala Gaya Geser Desain

Menurut SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1 bila periode fundamental hasil analisis lebih besar dari $C_u T_a$ pada suatu arah tertentu, maka periode struktur T harus diambil sebesar $C_u T_a$. Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari sebesar $C_u T_a$. 100% dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t , dimana V adalah gaya geser dasar statik ekuivalen, dan V_t adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil kombinasi ragam

Tabel 4.33 Hasil Penjumlahan Base Shear untuk Masing-masing Gempa

Tipe Gempa Statis		Fx	Fy
		kN	kN
Statis	EQx	-2668,2674	0
	EQy	0	-2668,2674
Dinamis	Respon Spektrum X (RSPx)	794,5235	69,1987
	Respon Spektrum Y (RSPy)	160,91	1147,487

Sumber: Output ETABS-Base Reaction, Load case Beban Gempa Statis dan Dinamis

Tabel 4.34 Kontrol Nilai Gaya Geser Dasar

Arah	V dinamis	V statis	Keterangan
X	794,5235	-2668,2674	Tidak Memenuhi
Y	1147,487	-2668,2674	Tidak Memenuhi

Dari hasil output diatas, maka syarat SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1 (Hal.78), yaitu $V_{dinamis} \leq V_{statis}$ (Tidak Memenuhi) sehingga skala faktor dinamis harus dikalikan dikalikan dengan V/V_t . Dimana V adalah gaya geser dasar metode statis ekuivalen dan Hasil di atas menunjukkan struktur berperilaku statis. Supaya struktur berperilaku dinamis, maka dibutuhkan pembesaran scale faktor.

$$\text{Faktor skala X (lama)} = 2142 \text{ mm/s}^2$$

$$\text{Faktor skala Y (lama)} = 2291 \text{ mm/s}^2$$

Menghitung scale faktor baru

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala X (baru)} &= U1 \quad \times \quad \frac{V_{statis}}{V_{dinamis}} \\ &= 2142 \quad \times \quad \frac{2668,2674}{794,5235} \\ &= 3294,515920 \quad \text{mm/s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala Y (baru)} &= U2 \quad \times \quad \frac{V_{statis}}{V_{dinamis}} \\ &= 2291 \quad \times \quad \frac{2668,2674}{1147,487} \\ &= 2281,132875 \quad \text{mm/s}^2 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan pembesaran skala gaya maka dilanjutkan dengan menginput faktor skala baru pada program bantu ETABS dan melakukan analisis ulang beban gempa dinamis. Setelah dilakukan analisa ulang maka didapatkan gaya geser dasar baru seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 4.35 Hasil Penjumlahan Base Shear untuk Masing-masing Gempa

Tipe Gempa Statis		Fx	Fy
		kN	kN
Statis	EQx	-2668,27	0,00
	EQy	0,00	-2668,27
Dinamis	Respon Spektrum X (RSPx)	2668,29	232,39
	Respon Spektrum Y (RSPy)	160,91	2668,29

Tabel 4.36 Kontrol Nilai Gaya Geser Dasar

Arah	V dinamis	V statis	Keterangan
X	2668,29	2668,27	Memenuhi
Y	2668,29	2668,27	Memenuhi

4.8.3 Simpangan

Kontrol desain struktur dilakukan terhadap pengecekan batas simpangan antar lantai yang diatur dalam SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6 hal 75 sedangkan besar batas simpangan antar lantai tingkat tertera pada SNI 1726:2019 Pasal 7.12

Simpangan antartingkat izin $\Delta_a = 0,02 h$

7.12.1 Batasan simpangan antar tingkat

Simpangan antar tingkat desain (Δ) seperti ditentukan dalam 0, atau 0, tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti didapatkan dari Tabel 20 untuk semua tingkat.

Tabel 20 – Simpangan antar tingkat izin, $\Delta_a^{a,b}$

Struktur	Kategori risiko		
	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 eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	0,025 h_{sx}^c	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}
Struktur dinding geser kantilever batu bata ^d	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}	0,010 h_{sx}
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}	0,007 h_{sx}
Semua struktur lainnya	0,020 h_{sx}	0,015 h_{sx}	0,010 h_{sx}

Display > story respons plot > show > case/combo > RSPx/RSPy > show table >

Formatted

Tabel 4.37 Kontrol Simpangan

Story	Elevation	Location	RPX		RPY	
			X-Dir	Y-Dir	X-Dir	Y-Dir
			mm	mm	mm	mm
ATAP	27,5	Top	78,106	62,389	3,863	78,739
Lantai 5	23,5	Top	73,222	58,094	3,49	73,596
Lantai 4	19,5	Top	64,579	50,591	2,835	64,586
Lantai 3	15	Top	49,517	38,025	1,743	49,299
Lantai 2	10,5	Top	32,939	24,698	1,088	32,651
Lantai 1	6	Top	15,222	11,005	0,506	14,877
Lantai Dasar	1,5	Top	1,206	0,889	0,04	0,968
Base	0	Top	0	0	0	0

Berikut adalah contoh perhitungan simpangan antar lantai yang terjadi pada lantai 2 pada simpangan arah X

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 R &= 8 \\
 Cd &= 6 \\
 \Omega_0 &= 3 \\
 I_e &= 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta_a^a &= \frac{Cd \times \delta e3}{I_e} \\
 &= \frac{5,5 \times 49,517}{1,0} \\
 &= 272,344 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta_a^b &= \frac{Cd \times \delta e2}{I_e} \\
 &= \frac{5,5 \times 32,939}{1,0} \\
 &= 181,165 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_a^{ab} &= \Delta_a^a - \Delta_a^b \\ &= 272,344 - 181,165 \\ &= 91,179 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 20 simpangan antar lantai izin sesuai SNI 1726 2019 Pasal 7.12.1 Hal. 88

untuk jenis struktur yang masuk kedalam tipe semua struktur lainnya dan berada pada

kategori resiko II batas antar lantai ijin adalah $0,020 h_{sx}$ dimana h_{sx} merupakan tinggi tingkat.

Maka dari perhitungan diatas

$$\begin{aligned}\Delta \text{ ijin} &= 0,020 \times h_{sx} \\ &= 0,020 \times 4500 \\ &= 90 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kontrol

$$\Delta_a^{ab} \leq \Delta \text{ ijin}$$

$$91,179 \leq 90 \text{ Tidak Memenuhi}$$

Menentukan nilai story inelastic drift (Δ)

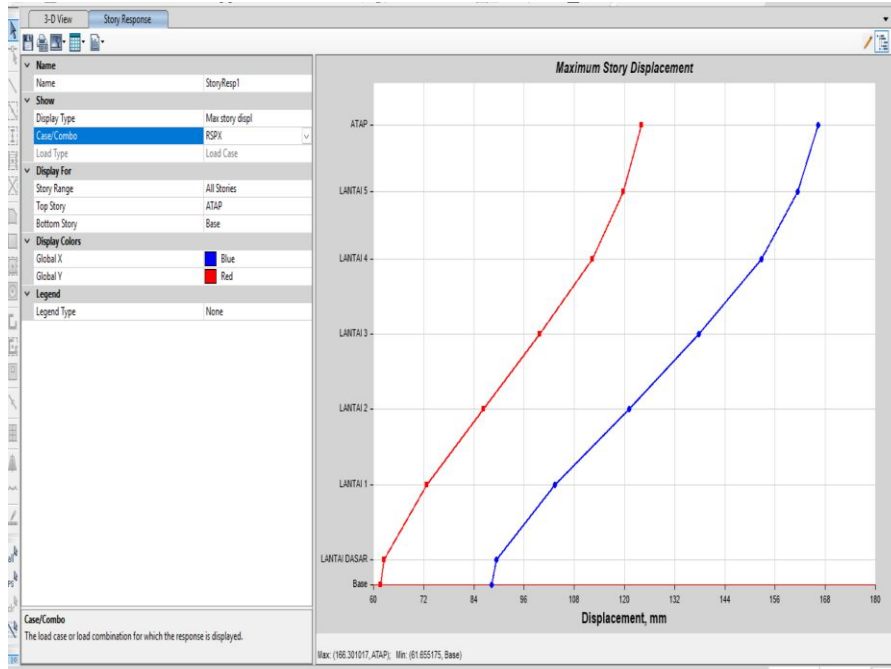
$$\text{Faktor pembesaran defleksi (Cd)} = 5,5$$

$$\text{Faktor keutamaan gempa (Ie)} = 1$$

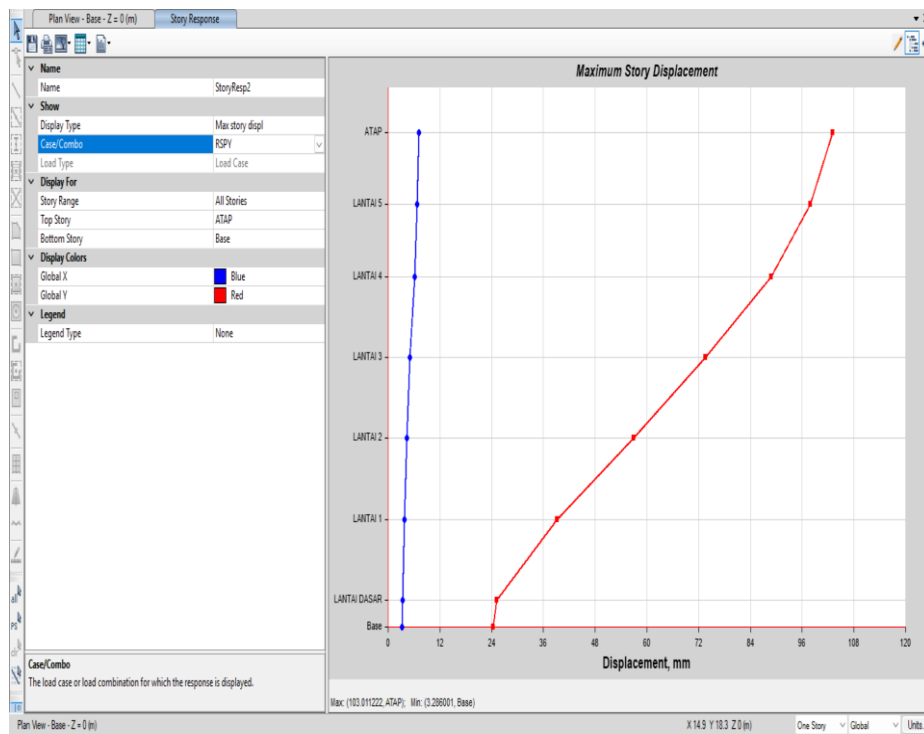
$$\text{Maka, } \Delta = \delta \times Cd/Ie$$

1. Simpangan Arah X

No	Story	h_{sx} mm	δe mm	Δ mm	Δi mm	Δ ijin mm	Kontrol $\Delta i \leq \Delta$ ijin
1	Atap	4000	78,106	392,31324	24,531507	80	Memenuhi
2	Lantai 5	4000	73,222	367,78174	43,412329	80	Memenuhi
3	Lantai 4	4500	64,579	324,36941	75,653881	90	Memenuhi
4	Lantai 3	4500	49,517	248,71553	83,268493	90	Memenuhi
5	Lantai 2	4500	32,939	165,44703	88,989498	90	Memenuhi
6	Lantai 1	4500	15,222	76,457534	70,4	90	Memenuhi
7	Lantai Dasar	1500	1,206	6,0575342	6,0575342	30	Memenuhi
8	Base	0	0	0	0	0	-



Gambar 4.9 Grafik Simpangan Respon Spektrum Sumbu X (RSPX) Base Isolator



Gambar 4.10 Grafik Simpangan Respon Spektrum Sumbu X (RSPX) Base Isolator

2. Simpangan Arah Y

No	Story	h_{sx} mm	δe mm	Δ mm	Δ_i mm	Δ izin mm	Kontrol $\Delta_i \leq \Delta$ izin
1	Atap	4000	78,739	395,49269	25,83242	80	Memenuhi
2	Lantai 5	4000	73,596	369,66027	45,255708	80	Memenuhi
3	Lantai 4	4500	64,586	324,40457	76,784	90	Memenuhi
4	Lantai 3	4500	49,299	247,62055	83,620091	90	Memenuhi
5	Lantai 2	4500	32,651	164,00046	84,413699	90	Memenuhi
6	Lantai 1	4500	14,877	74,724658	69,863	90	Memenuhi
7	Lantai Dasar	1500	0,968	4,8621005	4,8621005	30	Memenuhi
8	Base	0	0	0	0	0	-

Berikut adalah contoh perhitungan simpangan antar lantai yang terjadi pada lantai 2 pada simpangan arah X

$$\begin{aligned}\Delta_a^a &= \frac{Cd \times \delta e3}{Ie} \\ &= \frac{5,5 \times 49,517}{1} \\ &= 248,72 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_a^b &= \frac{Cd \times \delta e2}{Ie} \\ &= \frac{5,5 \times 32,939}{1} \\ &= 165,45 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta_a^{ab} &= \Delta_a^a - \Delta_a^b \\ &= 248,72 - 165,45 \\ &= 83,268 \text{ mm}\end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 20 simpangan antar lantai izin sesuai SNI 1726 2019 Pasal 7.12.1 Hal. 88 untuk jenis struktur yang masuk kedalam tipe semua struktur lainnya dan berada pada kategori resiko II batas antar lantai ijin adalah $0,020 h_{sx}$ dimana h_{sx} merupakan tinggi tingkat.

Maka dari perhitungan diatas

$$\begin{aligned}\Delta \text{ ijin} &= 0,020 \times h_{sx} \\ &= 0,020 \times 4500 \\ &= 90 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}\Delta_a^{ab} &\leq \Delta \text{ ijin} \\ 83,268 &\leq 90 \quad \text{Memenuhi}\end{aligned}$$

4.8.3 Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-Delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,1

$$\theta = \frac{P_x \times \Delta_i \times I_e}{V_x \times h_{sx} \times C_d}$$

Keterangan :

P_x = Beban desain vertikal total dan di atas tingkat-x (Kn), bila menghitung P_x , tidak perlu mengkalikan faktor beban atau menggunakan batas layan beban vertikal

Δ_i = Simpangan antartingkat desain

I_e = Faktor keutamakan gempa yang ditentukan sesuai SNI 1726 2019 Pasal 7.2.2 Hal. 50

I_e = 0,0

V_x = Gaya geser seismik yang bekerja di atas tingkat

h_{sx} = Tinggi tingkat (mm)

C_d = Faktor pembesaran defleksi yang ditentukan sesuai SNI 1726 2019 Pasal 7.2.2 Hal. 50

C_d = 5,5

Koefisien stabilitas (θ) tidak boleh melebihi θ maks yang ditentukan sebagai berikut :

$$\theta_{maks} : \frac{0,5}{\beta \times Cd}$$

$$: \frac{0,5}{1 \times 5,5}$$

$$: 0,0909 \leq 0,25 \quad \text{Memenuhi}$$

Dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat x dan $x - 1$.

Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil sebesar 1.

Nilai P_x diambil dari output ETABS kombinasi 20 (Beban Layan), Display → Show Table →

Story Force → Analysis Result → Struktur Result → Story Force

No	Story	Location	P_x Kn
1	ATAP	Bottom	14682,295
2	Lantai 5	Bottom	30127,124
3	Lantai 4	Bottom	46093,83
4	Lantai 3	Bottom	63068,975
5	Lantai 2	Bottom	79941,651
6	Lantai 1	Bottom	97673,782
7	Lantai Dasar	Bottom	110213,37

Sumber: Output E-tabs 2022

Nilai V_x dan V_y diambil dari output ETABS beban seismik (EQ_x dan EQ_y), Display → Show Table → Story force → Analysis Result → Struktur Result → Story Force

No	Story	Elevation	V_x Kn	V_y Kn
1	ATAP	27,5	601	655
2	Lantai 5	23,5	1.135	1.233
3	Lantai 4	19,5	1.537	1.628

4	Lantai 3	15	1.832	1.877
5	Lantai 2	10,5	2.108	2.112
6	Lantai 1	6	2.412	2.403
7	Lantai Dasar	1,5	2.644	2.643

Sumber: Output E-tabs 2022

Selanjutnya perhitungan keperluan P-delta untuk mengetahui kestabilan struktur jika θ lebih besar dari θ_{maks} struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang

Berikut adalah keperluan P-delta untuk arah X

No	Story	Px Kn	h _{sx} mm	Δi mm	Vx Kn	θ _i Kn	θ _{maks}	Keterangan
1	Atap	14682,295	27500	24,531507	600,56	0,0039652	0,0909	Stabil
2	Lantai 5	30127,124	23500	43,412329	1135,3	0,0089131	0,0909	Stabil
3	Lantai 4	46093,83	19500	75,653881	1537,1	0,0211529	0,0909	Stabil
4	Lantai 3	63068,975	15000	83,268493	1832,4	0,0347387	0,0909	Stabil
5	Lantai 2	79941,651	10500	88,989498	2108,3	0,058428	0,0909	Stabil
6	Lantai 1	97673,782	6000	70,4	2411,6	0,086405	0,0909	Stabil
7	Lantai Dasar	110213,37	1500	6,0575342	2643,6	0,0306113	0,0909	Stabil

Berikut adalah keperluan P-delta untuk arah Y

No	Story	Px Kn	h _{sy} mm	Δi mm	Vy Vv	θ _i Kn	θ _{maks}	Keterangan
1	Atap	14682,295	27500	25,83242	654,96	3,83E-03	0,0909	Stabil
2	Lantai 5	30127,124	23500	45,255708	654,96	1,61E-02	0,0909	Stabil
3	Lantai 4	46093,83	19500	76,784018	1628,3	2,03E-02	0,0909	Stabil
4	Lantai 3	63068,975	15000	83,620091	1877,4	3,41E-02	0,0909	Stabil
5	Lantai 2	79941,651	10500	84,413699	2111,9	5,53E-02	0,0909	Stabil
6	Lantai 1	97673,782	6000	69,862557	2403	8,61E-02	0,0909	Stabil
7	Lantai Dasar	110213,37	1500	4,8621005	2642,5	2,46E-02	0,0909	Stabil

Berikut adalah contoh perhitungan P-Delta sesuai SNI 1726 2019 Pasal 7.8.7 Hal. 76

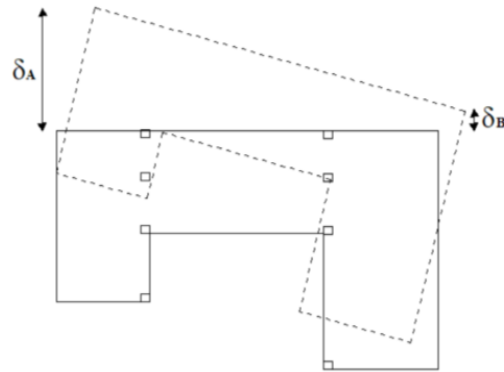
diambil Story 2 sumbu X

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{P_x \times \Delta_i \times I_e}{V_x \times h_{sx} \times C_d} \\ &= \frac{79942 \times 88,989 \times 1}{2108,3 \times 10500 \times 5,5} \\ &= 0,06 \leq 0,10 \quad \text{Stabil} \end{aligned}$$

Secara keseluruhan, hasil analisis gempa dinamik menunjukkan bahwa struktur dengan sistem base isolator telah memenuhi kriteria kinerja seismik yang disyaratkan dan menunjukkan perilaku struktur yang lebih baik dibandingkan struktur tanpa isolator, khususnya dalam hal pengurangan gaya gempa, pengendalian simpangan, dan peningkatan stabilitas struktur.

4.9 Ketidakberaturan Struktur Horizontal

1. Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1a dan 1b (Torsi Tidak Terduga)



Gambar 4.11 Ketidakberaturan 1a dan 1b

Sumber : SNI 1726-2019, Gambar 5 Hal.60

a. Ketidakberaturan Horizontal 1a (Ketidakberaturan Torsi)

Ketidakteraturan torsi menurut SNI 1726-2019 didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tidak terduga dengan $A_x = 1,0$ di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur.

- Contoh perhitungan diambil pada lantai atap arah X sebagai berikut :

$$\Delta_{\max} = 13,54$$

$$\Delta_{\text{agv}} = 12,31$$

$$\begin{aligned} \frac{\Delta_{\max}}{\Delta_{\text{agv}}} &= \frac{13,54}{12,31} \\ &= 1,100 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\frac{\Delta_{\max}}{\Delta_{\text{agv}}} > 1,2$$

$$1,100 < 1,2 \quad \mathbf{OK}$$

b. Ketidakberaturan Horizontal 1b (ketidakberaturan torsi berlebihan)

Ketidakteraturan torsi berlebih menurut SNI 1726-2019 didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk torsi tidak terduga dengan $\Delta_x = 1,0$ di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur.

- Contoh perhitungan diambil pada lantai atap arah Y sebagai berikut :

$$\Delta_{\max} = 15,13$$

$$\Delta_{\text{avg}} = 12,93$$

$$\frac{\Delta_{\max}}{\Delta_{\text{avg}}} = \frac{15,13}{12,93} = 1,170$$

Kontrol :

$$\frac{\Delta_{\max}}{\Delta_{\text{avg}}} > 1,4$$

$$1,170 < 1,4 \quad \text{OK}$$

- Rekapitulasi hasil perhitungan ketidakberaturan torsi 1a dan 1b sebagai berikut :

Tabel 4.38 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi Arah X

No	Story	Arah X			Cek
		Δ_{\max}	Δ_{avg}	$\Delta_{\max}/\Delta_{\text{avg}}$	
		mm	mm	mm	
1	Lantai Atap	13,54	12,31	1,100	OK
2	Lantai 5	25,71	23,56	1,091	OK
3	Lantai 4	41,73	38,42	1,086	OK
4	Lantai 3	45,18	41,61	1,086	OK
5	Lantai 2	46,70	42,83	1,090	OK
6	Lantai 1	37,30	33,24	1,122	OK
7	Lantai Dasar	117,19	62,18	1,885	H.1b

Display > Show Table > Analysis Result > Joint Output > Displacements >

Tabel : Story Max Over Avg Drifts

Tabel 4.39 Pengecekan Ketidakberaturan Torsi Arah Y

No	Story	Arah Y			
		Δ_{max}	Δ_{avg}	$\Delta_{max}/\Delta_{avg}$	Cek
		mm	mm	mm	
1	Lantai Atap	15,13	12,93	1,170	OK
2	Lantai 5	30,04	25,39	1,183	OK
3	Lantai 4	49,74	41,81	1,190	OK
4	Lantai 3	54,78	46,05	1,190	OK
5	Lantai 2	56,45	47,39	1,191	OK
6	Lantai 1	42,43	35,55	1,194	OK
7	Lantai Dasar	180,63	93,23	1,937	H.1b

Display > Show Table > Analysis Result > Joint Output > Displacements >

Tabel :Story Max Over Avg Drifts

Jika nilai $\delta A/\delta rata_2 \geq 1,2$ maka masuk pada peraturan 1a.

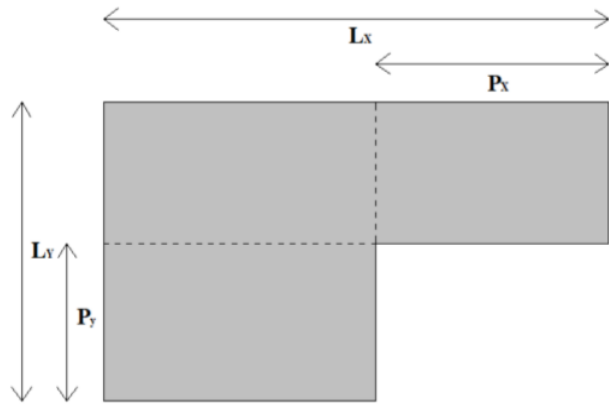
Jika nilai $\delta A/\delta rata_2 \geq 1,4$ maka masuk pada peraturan 1b.

Dari hasil perhitungan pada tabel di atas didapat kedua nilai lebih kecil dari 1,2 dan 1,4.

Sehingga, struktur gedung ini dianggap memiliki ketidakberaturan horizontal 1b.

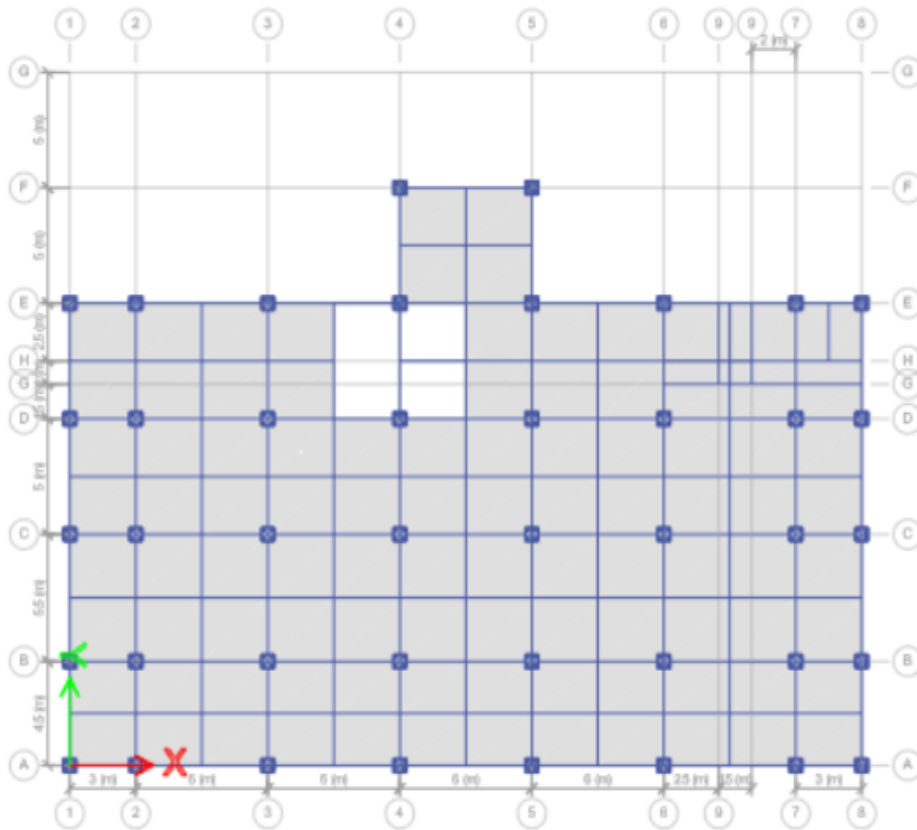
2. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Ketidakberaturan sudut dalam menurut SNI 1726-2019 didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang di tinjau.



Gambar 4.12 Ketidakberaturan 2

Sumber : SNI 1726-2019, Gambar 5 Hal.60



Gambar 4.13 Denah Lantai Dasar

a. Contoh perhitungan diambil pada arah X sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L_x &= 36 \text{ m} \\ P_x &= 0 \text{ m} \\ \frac{P_x}{L_x} &= \frac{0}{36} > 0,15 \\ &= 0 < 0,15 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan pada tabel di atas didapat nilai pada arah sumbu x lebih dari 15%. Sehingga, struktur gedung ini dianggap tidak memiliki ketidakberaturan sudut dalam.

b. Contoh perhitungan diambil pada arah Y sebagai berikut :

$$\begin{aligned} L_y &= 25 \text{ m} \\ P_y &= 0 \text{ m} \\ \frac{P_y}{L_y} &= \frac{0}{25} > 0,15 \\ &= 0,00 < 0,15 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan pada tabel di atas didapat nilai pada arah sumbu y kurang dari 15%. Sehingga, struktur gedung ini dianggap tidak memiliki ketidakberaturan sudut dalam.

- Rekapitulasi hasil perhitungan ketidakberaturan sudut dalam sebagai berikut :

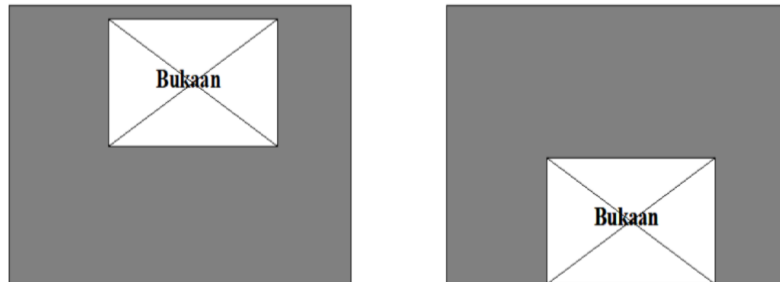
Tabel 4.40 Pengecekan Ketidakberaturan Sudut Dalam

Lx	36	m
Px	0	m
Ly	25	m
Py	0	m
Px/Lx	0	
Py/Ly	0,00	
Cek	OK	

Dari hasil perhitungan pada tabel di atas didapat salah satu rasio $P_y/L_y < 15\%$. Sehingga, struktur gedung ini dianggap tidak dianggap tidak memiliki ketidakberaturan sudut dalam.

3. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma menurut SNI 1726-2019 didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan dari 50% mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.



Gambar 4.14 Ketidakberaturan 3

Sumber : SNI 1726-2019, Gambar 5 Hal.60

- Contoh perhitungan ketidakberaturan diskontinuitas diafragma sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 A \text{ Total} &= \left\{ L_x \times L_y \right\} - \left\{ P_x \times P_y \right\} \\
 &= \left\{ 36 \times 25 \right\} - \left\{ 0 \times 0 \right\} \\
 &= 900 - 0 \\
 &= 900 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A \text{ Bukaan} &= A \text{ void} \\
 &= 40 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A \text{ Bukaan}}{A \text{ Total}} &= \frac{40}{900} < 0,5 \\
 &= 0,04 < 0,5 \quad \mathbf{H.3}
 \end{aligned}$$

- Rekapitulasi hasil perhitungan ketidakberaturan diskontinuitas diafragma sebagai berikut :

Tabel 4.41 Pengecekan Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

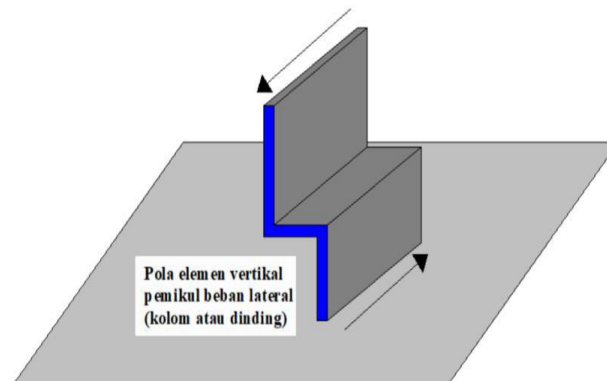
A_{total}	900	m^2
A_{bukaan}	40,0	m^2
Cek	H.3	

Dari hasil perhitungan di atas didapat nilai diatas lebih kecil dari 0,5 pada setiap lantai. Sehingga, struktur gedung ini dianggap memiliki ketidakberaturan diskontinuitas diafragma.

4. Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

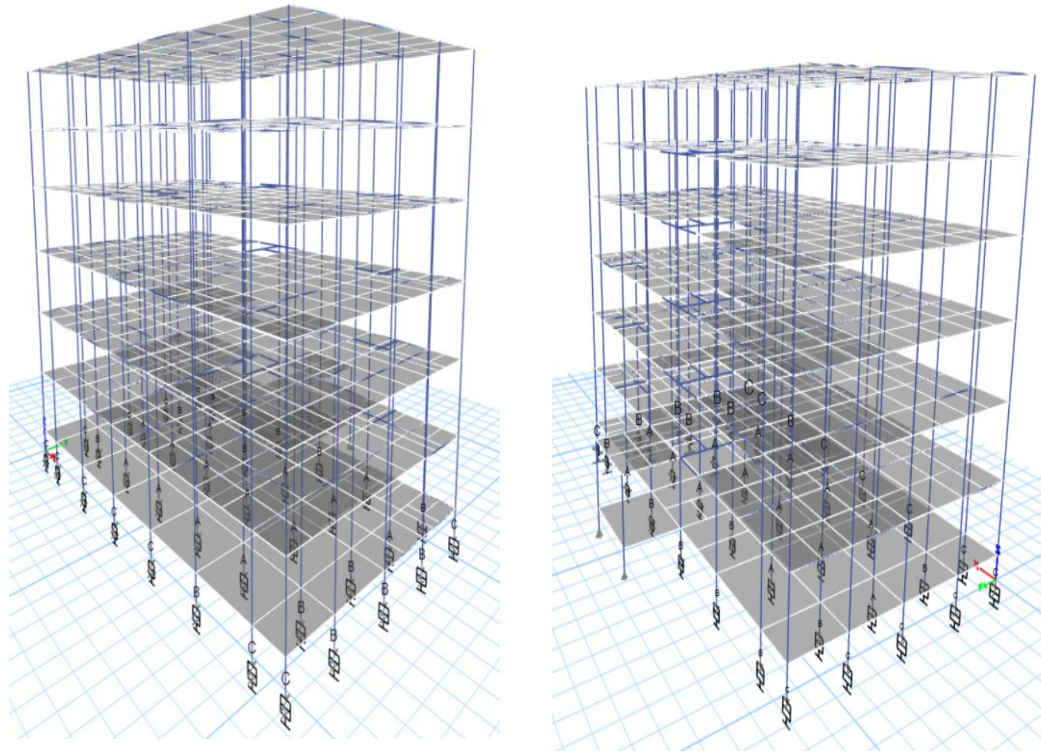
Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang menurut SNI 1726-2019 didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.

Ketidakberaturan ini dapat langsung dilihat pada struktur, ketidakberaturan ini ada jika struktur mempunyai elemen vertikal seperti kolom atau shearwall yang tidak menerus pada arah horizontal dari atas ke bawah.



Gambar 4.15 Ketidakberaturan 4

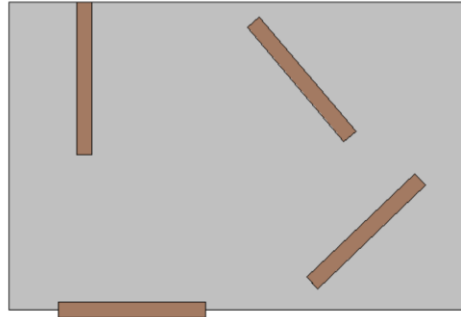
Sumber : SNI 1726-2019, Gambar 5 Hal.60



Dapat dilihat pada gambar pemodelan di atas bahwa kolomnya menerus dari atas ke bawah dan tidak ada yang menjorok ke dalam atau ke luar. Sehingga, struktur gedung ini dianggap tidak memiliki ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang.

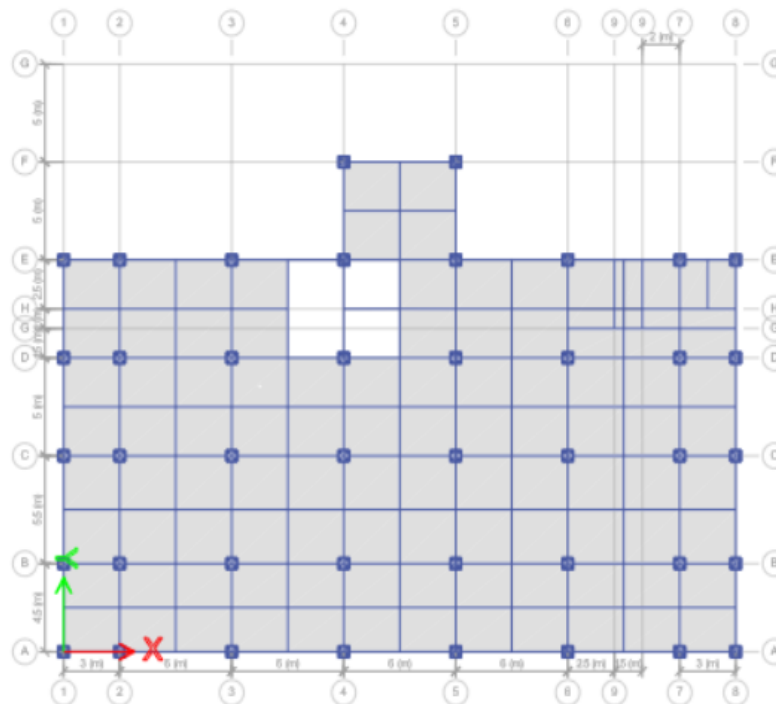
5. Ketidakberaturan Sistem Nonpararel

Ketidakberaturan sistem nonpararel menurut SNI 1726-2019 didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik. Ketidakberaturan ini didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral berupa kolom atau shear wall yang tidak paralel, maksudnya sumbu ortogonal utama sumbu X dan Y.



Gambar 4.16 Ketidakberaturan 5

Sumber : SNI 1726-2019, Gambar 5 Hal.60



Gambar 4.17 Denah Lantai Dasar

Dapat dilihat pada gambar pemodelan di atas bahwa semua kolomnya tegak lurus dengan sumbu X dan sumbu Y. Sehingga, struktur gedung ini dianggap tidak memiliki ketidakberaturan sistem nonpararel.

Kesimpulan :

Berdasarkan evaluasi ketidakberaturan horizontal sesuai SNI 1726:2019, struktur hanya mengalami ketidakberaturan torsi berlebihan (H.1b), sedangkan jenis ketidakberaturan horizontal lainnya tidak ditemukan. Kondisi ini menunjukkan bahwa respon seismik struktur dipengaruhi secara signifikan oleh efek torsi, sehingga perencanaan struktur

memerlukan analisis dinamik untuk memastikan distribusi gaya gempa dan simpangan antar tingkat dapat terakomodasi secara aman.

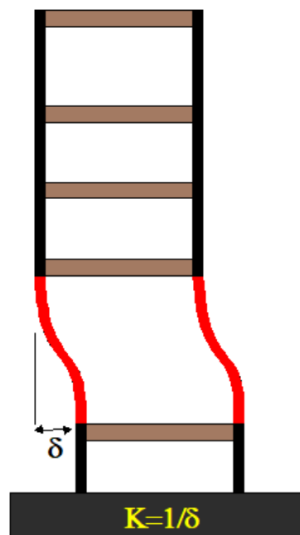
Ketidakberaturan Struktur Vertikal

1. Ketidakberaturan Struktur Vertikal Tipe 1a dan 1b (Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak)

a. Ketidakberaturan Vertikal 1a (Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak)
Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak menurut SNI 1726-2019 didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata atasnya.

b. Ketidakberaturan Vertikal 1b (Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan)

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak menurut SNI 1726-2019 didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.



Gambar 4.18 Ketidakberaturan 1a dan 1b

Sumber : SNI 1726-2019, Gambar 6 Hal.62

Contoh perhitungan soft story tipe 1a arah X sebagai berikut :

No	Story	hx	δ_i	δ/h	70% δ/h
		mm	mm	mm	mm
1	Lantai Atap	4000	4,92	-0,0011	-0,0008
2	Lantai 5	4000	9,42	-0,0020	-0,0014
3	Lantai 4	4500	17,29	-0,0003	-0,0002
4	Lantai 3	4500	18,72	-0,0001	-0,0001
5	Lantai 2	4500	19,27	0,0010	0,0007
6	Lantai 1	4500	14,96	0,0013	0,0009
7	Lantai Dasar	1500	9,33	0,0062	0,0044

No	Story	80% δ/h	Avg δ/h
		mm	w/15 lantai
1	Lantai Atap	-0,0009	0,89
2	Lantai 14	-0,0016	0,00
3	Lantai 13	-0,0003	0,00
4	Lantai 12	-0,0001	0,00
5	Lantai 11	0,0008	0,00
6	Lantai 10	0,0010	0,00
7	Lantai 9	0,0050	0,00

Contoh perhitungan soft story tipe 1a arah Y sebagai berikut :

No	Story	hx	δ_i	δ/h	70% δ/h
		mm	mm	mm	mm
1	Lantai Atap	4000	5,17	-0,0012	-0,0009
2	Lantai 14	4000	10,16	-0,0022	-0,0015
3	Lantai 13	4500	18,81	-0,0004	-0,0003
4	Lantai 12	4500	20,72	-0,0001	-0,0001
5	Lantai 11	4500	21,33	0,0012	0,0008
6	Lantai 10	4500	16,00	0,0004	0,0003
7	Lantai 9	1500	13,98	0,0093	0,0065

No	Story	80% δ/h	Avg δ/h
		mm	w/15 lantai
1	Lantai Atap	-0,0010	1,01
2	Lantai 14	-0,0017	0,00
3	Lantai 13	-0,0003	0,00
4	Lantai 12	-0,0001	0,00
5	Lantai 11	0,0009	0,00
6	Lantai 10	0,0004	0,00
7	Lantai 9	0,0075	0,00

- Rekapitulasi hasil perhitungan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak sebagai berikut :

Tabel 4.42 Pengecekan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak

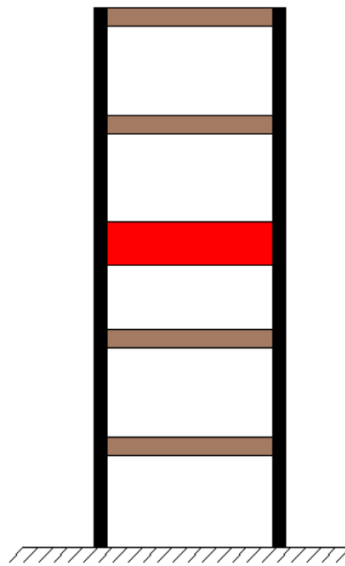
No	Story	Arah X		Arah Y	
		Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
		kN/m		kN/m	
1	Lantai Atap	85337,23		122507,92	
2	Lantai 14	129089,71	OK	181926,65	OK
3	Lantai 13	144413,45	OK	203885,79	OK
4	Lantai 12	148858,06	OK	212176,29	OK
5	Lantai 11	149186,86	OK	215132,73	OK
6	Lantai 10	147901,97	OK	215744,40	OK
7	Lantai 9	146014,18	OK	215238,49	OK
8	Lantai 8	144022,89	OK	214225,61	OK
9	Lantai 7	142291,23	OK	213120,01	OK
10	Lantai 6	141247,11	OK	212367,47	OK
11	Lantai 5	141593,39	OK	212694,21	OK
12	Lantai 4	144707,73	OK	215676,19	OK
13	Lantai 3	153740,83	OK	225064,61	OK
14	Lantai 2	185492,34	OK	249427,48	OK
15	Lantai 1	342986,73	OK	423278,02	OK

Display > Show Table > Analysis Result > Structure Output > Other Output Items > Story Stiffness

- 1a. $K_x < 0,7 K(x+1)$
 $K_x < 0,8 [K(x+1) + K(x+2) + K(x+3)]/3$
- 1b. $K_x < 0,6 K(x+1)$
 $K_x < 0,7 [K(x+1) + K(x+2) + K(x+3)]/3$

Dari hasil perhitungan pada tabel di atas didapat nilai tidak memenuhi syarat ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b. Sehingga, struktur gedung ini dianggap tidak memiliki ketidakberaturan vertikal 1a dan 1b.

2. Ketidakberaturan Struktur Vertikal Tipe 2 (Ketidakberaturan Berat/Massa)
 Ketidakberaturan berat (massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150% massa efektif di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai dibawahnya tidak perlu ditinjau.



Gambar 4.19 Ketidakberaturan 2

Sumber : SNI 1726-2019, Gambar 6 Hal.62

- Contoh perhitungan ketidakberaturan berat (massa) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{a. Lantai Dasar} &= 1,5 \times W_0 \\ &= 1,5 \times 7549,4 \\ &= 11324,0 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol} &: \\ W_1 &> 1,5 \times W_0 \\ 7549,4 &> 11324,0 \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Lantai 1} &= 1,5 \times W_1 \\ &= 1,5 \times 7742,3 \\ &= 11613,5 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol} &: \\ W_1 &> 1,5 \times W_1 \\ 7742,3 &> 11613,5 \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. Lantai 2} &= 1,5 \times W_2 \\ &= 1,5 \times 8479,3 \\ &= 12719,0 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol} &: \\ W_2 &> 1,5 \times W_2 \\ 8479,3 &> 12719,0 \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. Lantai 3} &= 1,5 \times W_3 \\ &= 1,5 \times 8185,1 \\ &= 12277,7 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontrol} &: \\ W_3 &> 1,5 \times W_3 \\ 8185,1 &> 12277,7 \quad \mathbf{OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{e. Lantai 4} &= 1,5 \times W4 \\
 &= 1,5 \times 8578,7 \\
 &= 12868,0 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kontrol} &: \\
 W4 &> 1,5 \times W4 \\
 8578,7 &> 12868,0 \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{f. Lantai 5} &= 1,5 \times W5 \\
 &= 1,5 \times 6314,7 \\
 &= 9472,0 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kontrol} &: \\
 W5 &> 1,5 \times W5 \\
 6314,7 &> 9472,0 \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{g. Lantai Atap} &= 1,5 \times W6 \\
 &= 1,5 \times 3183,1 \\
 &= 4774,6 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kontrol} &: \\
 W6 &> 1,5 \times W6 \\
 3183,1 &> 4774,6 \quad \mathbf{OK}
 \end{aligned}$$

- Rekapitulasi ketidakberaturan berat (massa) dapat dilihat pada tabel dibawah ini sebagai berikut :

Tabel 4.43 Pengecekan Ketidakberaturan Berat (Massa) Manual

No	Story	Massa	Cek
		kN	$W_i > 1,5 W$
1	Lantai Atap	7825,4	OK
2	Lantai 14	8226,7	OK
3	Lantai 13	8226,7	OK

4	Lantai 12	8226,7	OK
5	Lantai 11	8226,7	OK
6	Lantai 10	8226,7	OK
7	Lantai 9	8226,7	OK

$$M_x > 1,5 M(x+1)$$

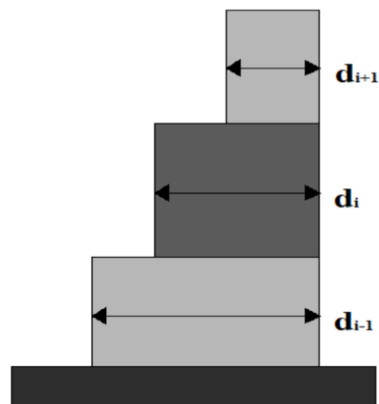
$$M_x > 1,5 M(x-1)$$

Dari hasil perhitungan tabel di atas didapat nilai tidak memenuhi syarat ketidakberaturan berat (massa). Sehingga, struktur ini dianggap tidak memiliki ketidakberaturan berat (massa).

3. Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Ketidakberaturan massa (berat) didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.

Ketidakberaturan vertikal terjadi ketika struktur memiliki kolom atau shear wall yang memiliki dimensi lebih dari 130% dimensi kolom atau shear wall ditingkat atas atau bawahnya.



Gambar 4.20 Ketidakberaturan 3

Sumber : SNI 1726-2019, Gambar 6 Hal.62

- Rekapitulasi ketidakberaturan geometri vertikal dapat dilihat pada tabel dibawah ini sebagai berikut :

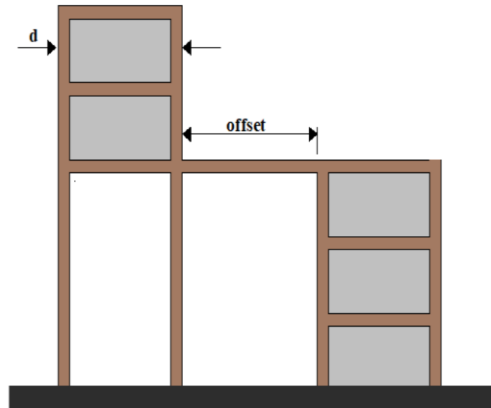
Tabel 4.44 Pengecekan Ketidakberaturan Geometri Vertikal

No	Story	L	Cek
		mm	
1	Lantai Atap	800	
2	Lantai 14	800	OK
3	Lantai 13	800	OK
4	Lantai 12	800	OK
5	Lantai 11	800	OK
6	Lantai 10	800	OK

Dari hasil perhitungan tabel di atas didapat nilai kurang dari 130% pada setiap lantai. Sehingga, struktur gedung ini dianggap tidak memiliki ketidakberaturan geometri vertikal.

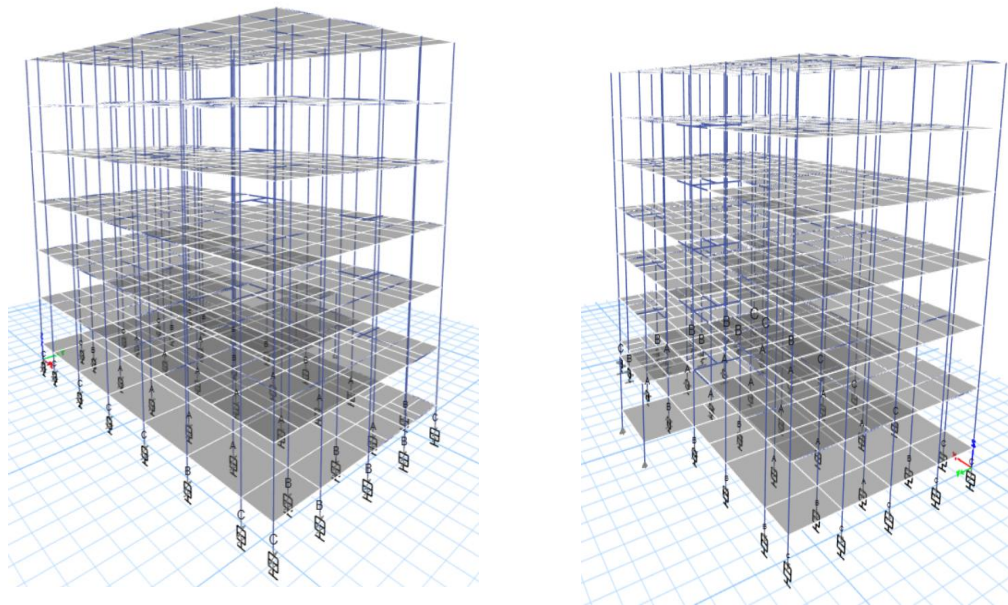
4. Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral

Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul ditingkat di bawahnya. Ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral terjadi ketika struktur memiliki kolom atau shear wall yang tidak menerus dari atas sampai bawah dan pergeserannya kanan dan kiri.



Gambar 4.21 Ketidakberaturan 4

Sumber : SNI 1726-2019, Gambar 6 Hal.62



Dapat dilihat pada gambar struktur di atas bahwa kolomnya menerus dari atas ke bawah dan tidak ada yang memiliki ofset atau pergeseran. Sehingga, struktur gedung ini dianggap tidak memiliki ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral.

5. Ketidakberaturan Struktur Vertikal Tipe 5a dan 5b (Ketidakberaturan Tingkat Lemah)
 - a. Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekakuan Lateral

Tingkat

Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekakuan lateral tingkat

didefinisikan ada jika kekakuan lateral suatu tingkat kurang dari 80% kekakuan

lateral tingkat diatasnya. Kekakuan lateral tingkat adalah kekakuan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.

Contoh perhitungan ketidakberaturan tingkat lemah 5a arah X sebagai berikut :

$$V_x \text{ Lantai 14} = -3659,16 \text{ kN}$$

$$V_x \text{ Lantai Atap} = -1863,21 \text{ kN}$$

$$V_x \text{ Lantai 14} < 0,8 \times V_x \text{ Lantai Atap}$$

$$-3659,16 < 0,8 \times -1863,21$$

$$-3659,16 < -1490,568 \quad (\text{memiliki ketidakberaturan 5a})$$

b. Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada

Kekakuan Lateral Tingkat

Ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekakuan lateral tingkat didefinisikan ada jika kekakuan lateral suatu tingkat kurang dari 65% kekakuan lateral tingkat diatasnya. Kekakuan lateral tingkat adalah kekakuan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.

- Contoh perhitungan ketidakberaturan tingkat lemah 5b Arah X sebagai berikut :

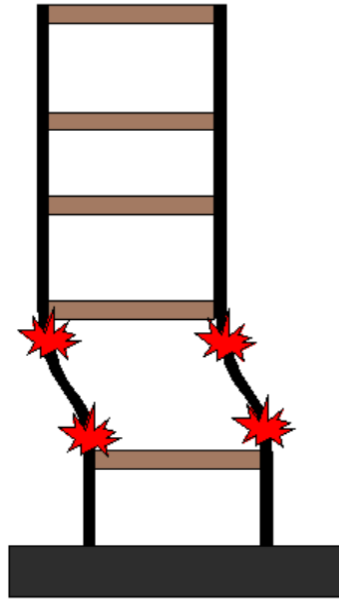
$$V_x \text{ Lantai 14} = -3659,16 \text{ kN}$$

$$V_x \text{ Lantai Atap} = -1863,21 \text{ kN}$$

$$V_x \text{ Lantai 14} < 0,65 \times V_x \text{ Lantai Atap}$$

$$-3659,16 < 0,65 \times -1863,21$$

$$-3659,16 < -1211,0865 \quad (\text{memiliki ketidakberaturan 5b})$$



Gambar 4.22 Ketidakberaturan 5a dan 5b

Sumber : SNI 1726-2019, Gambar 6 Hal.62

Rekapitulasi ketidakberaturan tingkat lemah tipe 5a dan 5b dapat dilihat pada tabel dibawah ini sebagai berikut :

Tabel 4.45 Pengecekan Ketidakberaturan Tingkat Lemah

No	Story	Arah X		Arah Y	
		Kekakuan	Cek	Kekakuan	Cek
		kN		kN	
1	Lantai Atap	-1863,21		-1863,21	
2	Lantai 14	-3659,16	V.5b	-3659,16	V.5b
3	Lantai 13	-5220,12	V.5b	-5220,12	V.5b
4	Lantai 12	-6561,85	V.5b	-6561,85	V.5b
5	Lantai 11	-7700,24	V.5b	-7700,24	V.5b
6	Lantai 10	-8651,28	V.5b	-8651,28	V.5b
7	Lantai 9	-9431,10	V.5b	-9431,10	V.5b
8	Lantai 8	-10055,97	V.5b	-10055,97	V.5b
9	Lantai 7	-10542,34	V.5b	-10542,34	V.5b
10	Lantai 6	-10906,85	V.5b	-10906,85	V.5b
11	Lantai 5	-11166,35	V.5b	-11166,35	V.5b
12	Lantai 4	-11337,97	V.5b	-11337,97	V.5b

13	Lantai 3	-11439,16	V.5b	-11439,16	V.5b
14	Lantai 2	-11480,52	V.5b	-11480,52	V.5b
15	Lantai 1	-11494,27	V.5b	-11494,27	V.5b

5a. $V_x < 0,8 V(x+1)$

5b. $V_x < 0,65 V(x+1)$

Kesimpulan :

Dari 5 poin ketidakberaturan horizontal diatas, struktur ini memenuhi syarat sesuai pada tabel. Artinya struktur ini memiliki ketidakberaturan yang berada pada poin 5 yaitu ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan tipe 5b.

4.10 Perhitungan Penulangan Pelat Lantai

A. Data Perencanaan

Mutu Beton (f_c') = 25 MPa

Distribusi blok tegangan tekan, nilai β_1 dicari seperti di SNI 2847-2019 pasal 10.2.7.3

Tabel 22.2.2.4.3 – Nilai β_1 untuk distribusi tegangan beton persegi ekuivalen

f_c' , MPa	β_1	
$17 \leq f_c' \leq 28$	0,85	a)
$28 < f_c' < 55$	$0,85 - \frac{0,05(f_c' - 28)}{7}$	b)
$f_c' \geq 55$	0,65	c)

SNI 2847-2019 Tabel 22.2.2.4.3 hal.478

Nilai β_1 ($17 < f_c' < 28$)

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\begin{aligned} \text{Modulus Elastisitas Beton (Ec)} &= 4700 \times \sqrt{f_c'} \\ &= 4700 \times \sqrt{25} \\ &= 23500 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{Tegangan Leleh (fy)} = 280 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus Elastisitas Baja (Es)} = 200000 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal Pelat Lantai Rencana (hf)} = 125 \text{ mm}$$

$$\text{Selimut Beton (sb)} = 20 \text{ mm}$$

SNI 2847-2019 Tabel 20.6.1.3.1 hal.460

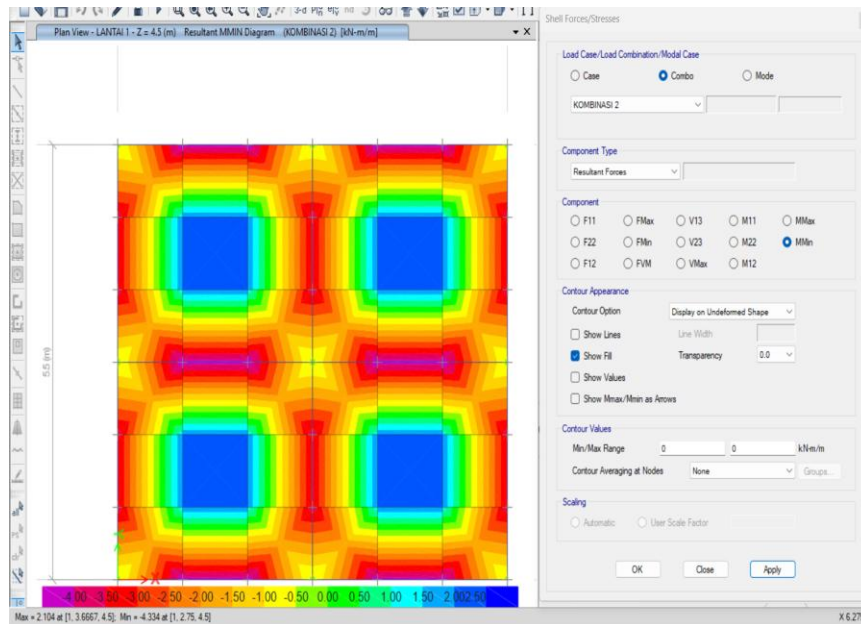
$$\text{Diameter Tulangan Pokok } \emptyset = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Diamter Tulangan Bagi } \emptyset = 8 \text{ mm}$$

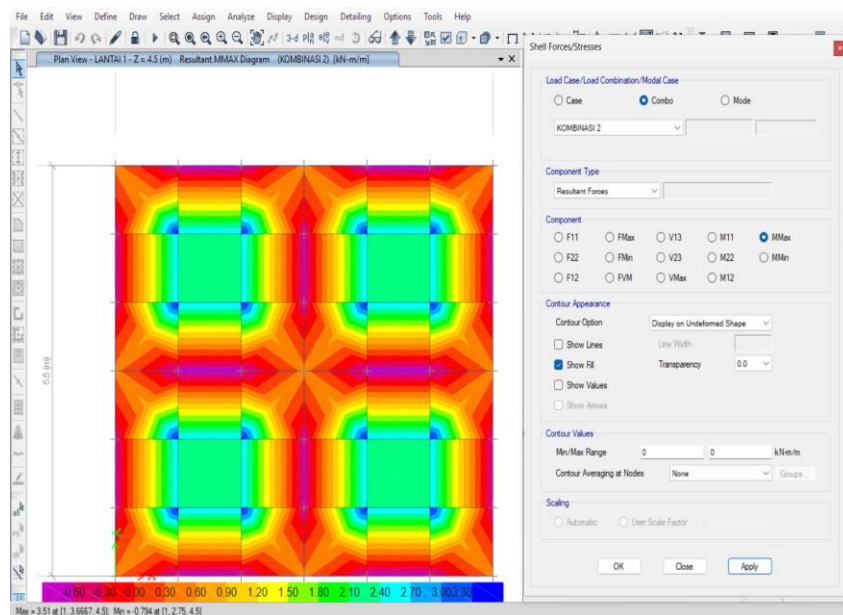
$$b = 1000 \text{ mm}$$

B. Output Momen Pelat Lantai

Perhitungan momen pada pelat lantai didapatkan dari output program bantu Etabs v22. Pelat lantai telah dianalisis dengan beban gravitasi terkombinasi sehingga menghasilkan resultan gaya seperti gambar dibawah. Beban terkombinasi yaitu sesuai SNI 1727-2020 yaitu kombinasi 2 = 1,2 D + 1,6 L. Selanjutnya untuk output gaya dalam pelat lantai didapatkan dari Display > Show Table > Tables > Analysis > Result > Shell Results > Shell Forces.



Gambar 4.23 Output Momen Minimal pada Pelat



Gambar 4.24 Output Momen Maximal pada Pelat

Momen rencana

$$\begin{aligned}
 \text{Maksimum pada pelat} &= M_{Tx} = 4,438 \text{ kNm/m (Kombinasi 2)} \\
 &= M_{Ty} = 4,323 \text{ kNm/m (Kombinasi 2)} \\
 &= M_{Lx} = 3,57 \text{ kNm/m (Kombinasi 2)} \\
 &= M_{Ly} = 3,55 \text{ kNm/m (Kombinasi 2)}
 \end{aligned}$$

C. Desain Penulangan

1. Desain Pendahuluan

- Spasi minimum tulangan

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

- Spasi maksimum tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 2 h \\ &= 2 \times 125 \\ &= 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

atau

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

Maka digunakan $S_{\max} = 250 \text{ mm}$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

- Jumlah tulangan

$$\begin{aligned} n &= \frac{b}{s} \\ &= \frac{1000}{150} \\ &= 6,6667 \end{aligned}$$

- Luas tulangan tekan

$$\begin{aligned} A_s' &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 7 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 523 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 7 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 523 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Tinggi serat tekan sumbu X

$$\begin{aligned} d_{xt} &= s_b + \left(\frac{1}{2} \times D \right) \\ &= 20 + \left(\frac{1}{2} \times 10 \right) \\ &= 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tinggi efektif sumbu X

$$\begin{aligned} d_{xt} &= h_f - d_{x'} \\ &= 125 - 25 \\ &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tinggi serat tekan sumbu Y

$$\begin{aligned} d'_{yl} &= s_b + \left(\frac{1}{2} \times D \right) \\ &= 20 + \left(\frac{1}{2} \times 10 \right) \\ &= 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Tinggi efektif sumbu Y

$$\begin{aligned} d_{yl} &= h_f - d_{y'} \\ &= 125 - 25 \\ &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

2 Cek Persyaratan Tulangan

Menurut SNI 2847-2019 tabel 8.6.1.1 hal.145, luas tulangan (A_s) harus memenuhi dari luas tulangan minimum (A_{smin}) dipilih terbesar dari 2 poin dibawah ini :

$$\begin{aligned} A_g &= b \times h_f \\ &= 1000 \times 125 \\ &= 125000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ min}} &= 0,0014 \times A_g \\ &= 0,0014 \times 125000 \\ &= 175 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \min} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times A_g \\
 &= \frac{0,0018 \times 420}{280} \times 125000 \\
 &= 338 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka digunakan $A_{s \min} = 338 \text{ mm}^2$

Maka :

$$\begin{aligned}
 A_{s'} &> A_{s \min} \\
 523 \text{ mm}^2 &> 337,5 \text{ mm}^2 \quad \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &> A_{s \min} \\
 523 \text{ mm}^2 &> 338 \text{ mm}^2 \quad \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

4.10.1 Perhitungan Kapasitas Desain Tulangan Tumpuan Arah X

Penulangan diasumsikan $c < d$

$$C_c = T_{s1} + T_{s2}$$

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$T_{s1} = A_{s'} \times f_s'$$

$$T_{s2} = A_s \times f_y$$

$$\text{Substitusi nilai } f_s' = \frac{f_s}{\epsilon_c} = \left(\frac{c - d'}{c} \right) \times E_s$$

$$\begin{aligned}
 f_s' &= \left(\frac{c - d'}{c} \right) \times \epsilon_c \times E_s \\
 &= \left(\frac{c - d'}{c} \right) \times 0,003 \times 200000 \\
 &= \left(\frac{c - d'}{c} \right) \times 600
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$T_{s1} = \left(\frac{d x' - c}{c} \right) \times 600$$

$$T_{s2} = A_s \times f_y$$

Substitusi nilai $a = \beta_1 \times c$

$$(0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times c \times b) \times c = (600 \times A_s' \times d) - (600 \times A_s' \times c) + (A_s \times f_y \times c)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,85 \times 25 \times 0,85 \\ 600 \times 523 \times 25 \\ 523 \times 280 \times c \end{array} \right\} \times c \times 1000 \times c = \left[\begin{array}{l} 600 \times 523 \times c \end{array} \right] +$$

Maka :

$$18062,5 \quad c^2 = 7850000 - 314000 \quad c + 146533,33 \quad c$$

$$18062,5 \quad c^2 - 7850000 + 314000 \quad c - 146533,33 \quad c$$

$$18062,5 \quad c^2 - 7850000 + 167466,67 \quad c$$

$$18062,5 \quad c^2 + 167467 \quad c - 7850000 = 0$$

Dari hasil distribusi nilai a diperoleh :

$$a = 18062,5$$

$$b = 167467$$

$$c = -7850000$$

Selanjutnya, dari hasil substitusi diatas kemudian dihitung garis netral (c) menggunakan persamaan dibawah ini :

$$C_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-167467 \pm \sqrt{(800700)^2 - 4(18062,5)(-16485000)}}{2 \times 18062,5}$$

$$= \frac{-167467 \pm 771497}{36125}$$

$$C_1 = 16,72$$

$$C_2 = -25,99$$

Cek asumsi garis netral

$$c < dx'$$

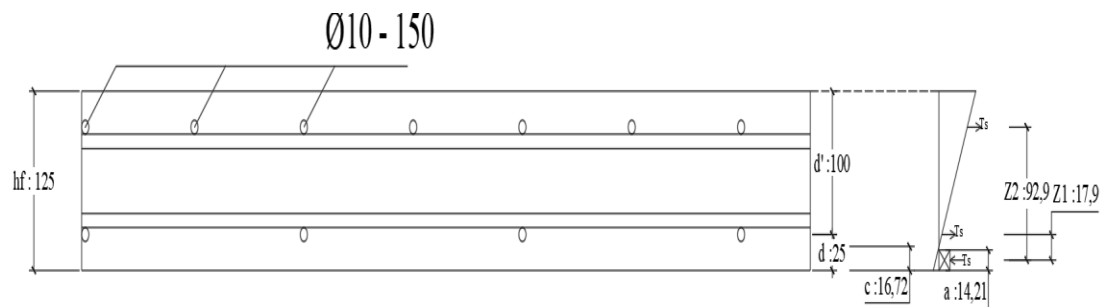
$$16,72 < 25 \quad \text{(Memenuhi)}$$

Dari persamaan garis netral ternyata lebih kecil dari d' , maka dilanjutkan menghitung nilai a Tinggi daerah tekan beton

$$a = \beta_1 \times c$$

$$= 0,85 \times 16,72$$

$$= 14,212 \text{ mm}$$



Gambar 4.25 Tulangan Tumpuan Arah X

Menghitung regangan

$$\epsilon_s' = \left(\frac{dx' - c}{c} \right) \times \epsilon_c$$

$$= \left(\frac{25 - 16,72}{16,72} \right) \times 0,003$$

$$= 0,0015$$

$$\epsilon_s = \left(\frac{dx - c}{c} \right) \times \epsilon_c$$

$$= \left(\frac{100 - 16,721}{16,72} \right) \times 0,003$$

$$= 0,0149$$

Batasan regangan leleh minimum pelat lantai (SNI 2847-2019 Pasal 8.3.3.1 hal. 136) $\epsilon_t = 0,004$.

Karena $\epsilon_t = 0,004 > \epsilon_s' = 0,0015$, Maka tulangan tekan terkendali tekan.

Tegangan leleh tulangan tekan

$$\begin{aligned} f_s' &= \epsilon_s' \times E_s \\ &= 0,0015 \times 200000 \\ &= 297,10 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Batasan regangan leleh maksimum pelat lantai (SNI 2847-2019 Pasal 21.2.2hal.471

Karena $\epsilon_s = 0,0149 > \epsilon_s' = 0,005$, Maka tulangan tekan terkendali tekan

Tegangan leleh tulangan tarik

$$\begin{aligned} f_s &= \epsilon_s \times E_s \\ &= 0,0149 \times 200000 \\ &= 2988,4 \text{ MPa} > 280 \text{ MPa (dipakai } f_y \text{ tulangan)} \end{aligned}$$

Gaya pada daerah tekan beton

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \\ &= 0,85 \times 25 \times 14,212 \times 1000 \\ &= 302015 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{s1} &= A_s' \times f_s' \\ &= 523 \times 297,10 \\ &= 155482 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{s2} &= A_s \times f_y \\ &= 523 \times 280 \\ &= 146533 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol keseimbangan gaya

$$\begin{aligned} C_c &= T_{s1} + T_{s2} \\ 302015 &= 155482 + 146533 \\ 302015 &= 302015 \text{ N (Seimbang)} \end{aligned}$$

Perhitungan Momen Nominal

$$\begin{aligned} Z_1 &= dx' - \left(\frac{1}{2} \times a \right) \\ &= 25 - \left(\frac{1}{2} \times 14,212 \right) \\ &= 17,894 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_2 &= dx - \left(\frac{1}{2} \times a \right) \\ &= 100 - \left(\frac{1}{2} \times 14,212 \right) \\ &= 92,894 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen Nominal

$$\begin{aligned} M_r &= \phi M_n \\ &= \phi \times \left(T_{s1} \times Z_1 \right) + \left(T_{s2} \times Z_2 \right) \\ &= 0,9 \times \left(155482 \times 17,894 \right) + \left(146533 \times 92,894 \right) \\ &= 16115971,56 \text{ Nmm} \\ &= 16,12 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi M_n &> M_u \\ 16,12 \text{ kNm} &> 4,438 \text{ kNm} \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

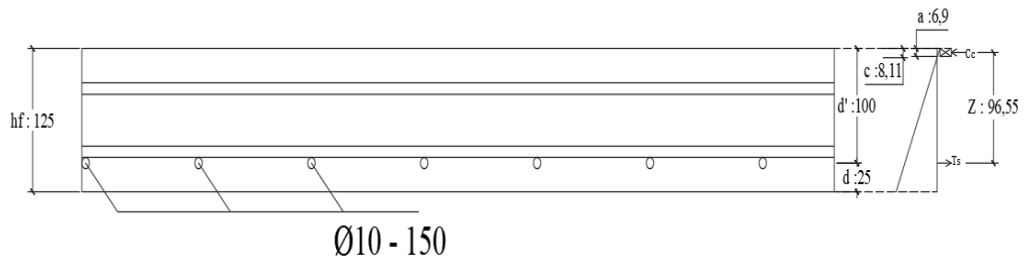
4.9.2 Perhitungan Kapasitas Desain Tulangan Lapangan Arah X

Perhitungan garis netral

$$\begin{aligned} c &= \left(\frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1} \right) \\ &= \left(\frac{523 \times 280}{0,85 \times 25 \times 1000 \times 0,85} \right) \\ &= 8,1126 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tinggi daerah tekan beton

$$\begin{aligned} a &= c \times \beta_1 \\ &= 8,1126 \times 0,85 \\ &= 6,8957 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.26 Tulangan Lapangan Arah X

Gaya pada daerah tekan beton

$$\begin{aligned}
 C_c &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \\
 &= 0,85 \times 25 \times 6,8957 \times 1000 \\
 &= 146533 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= A_s \times f_y \\
 &= 523 \times 280 \\
 &= 146533 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

Kontrol keseimbangan gaya

$$\begin{aligned}
 C_c &= T_s \\
 146533 \quad \text{N} &= 146533 \quad \text{N} \quad \text{(Seimbang)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Momen Nominal

$$\begin{aligned}
 Z &= d_x - 1/2 \times a \\
 &= 100 - 1/2 \times 6,8957 \\
 &= 96,552 \quad \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_r &= \phi M_n \\
 &= \phi \times \left[C_c \times Z \right] \\
 &= 0,9 \times \left[146533 \times 96,552 \right] \\
 &= 12733298,45 \quad \text{Nmm} \\
 &= 12,73 \quad \text{kNm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} M_r &> M_u \\ 12,733 \text{ kNm} &> 3,57 \text{ kNm} \quad (\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

4.9.3 Perhitungan Kapasitas Desain Tulangan Tumpuan Arah Y

Penulangan diasumsikan $c < d$

$$C_c = T_{s1} + T_{s2}$$

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$T_{s1} = A_{s'} \times f_{s'}$$

$$T_{s2} = A_s \times f_y$$

$$\text{Substitusi nilai } f_{s'} = \frac{f_s}{\epsilon_c} = \left(\frac{c - d'}{c} \right) \times E_s$$

$$\begin{aligned} f_{s'} &= \left(\frac{c - d'}{c} \right) \times \epsilon_c \times E_s \\ &= \left(\frac{c - d'}{c} \right) \times 0,003 \times 200000 \\ &= \left(\frac{c - d'}{c} \right) \times 600 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$T_{s1} = \left(\frac{dx' - c}{c} \right) \times 600$$

$$T_{s2} = A_s \times f_y$$

Substitusi nilai $a = \beta_1 \times c$

$$(0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times c \times b) \times c = (600 \times A_{s'} \times dy') - (600 \times A_s \times c) + (A_s \times f_y \times c)$$

$$\begin{aligned} &\left[0,85 \times 25 \times 0,85 \times c \times 1000 \right] \times c = \\ &\left[600 \times 523 \times 25 \right] - \\ &\left[600 \times 523 \times c \right] + \left[523 \times 280 \times c \right] \end{aligned}$$

Maka :

$$18062,5 \quad c^2 = 7850000 - 314000 \quad c + 146533,33 \quad c$$

$$18062,5 \quad c^2 - 7850000 + 314000 \quad c - 146533,33 \quad c$$

$$18062,5 \quad c^2 - 7850000 + 167466,67 \quad c$$

$$18062,5 \quad c^2 + 167467 \quad c - 7850000 = 0$$

Dari hasil distribusi nilai a diperoleh :

$$a = 18062,5$$

$$b = 167467$$

$$c = -7850000$$

Selanjutnya, dari hasil substitusi diatas kemudian dihitung garis netral (c)

menggunakan persamaan dibawah ini :

$$C_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$= \frac{-167467 \pm \sqrt{(800700)^2 - 4(18062,5)(-16485000)}}{2 \quad x \quad 18062,5}$$

$$= \frac{-167467 \pm 771497}{36125}$$

$$C_1 = 16,72$$

$$C_2 = -25,99$$

Cek asumsi garis netral

$$c < d'$$

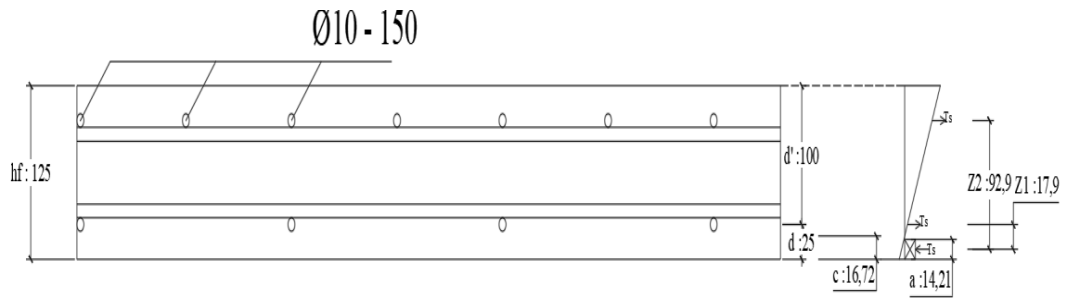
$$16,72 < 25 \quad \text{(Memenuhi)}$$

Dari persamaan garis netral ternyata lebih kecil dari d', maka dilanjutkan menghitung nilai a. Tinggi daerah tekan beton

$$a = \beta_1 \quad x \quad c$$

$$= 0,85 \quad x \quad 16,72$$

$$= 14,212 \quad \text{mm}$$



Gambar 4.27 Tulangan Tumpuan Arah Y

Menghitung regangan

$$\begin{aligned}\epsilon_{s'} &= \left(\frac{dx' - c}{c} \right) \times \epsilon_c \\ &= \left(\frac{25 - 16,72}{16,72} \right) \times 0,003 \\ &= 0,0015\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \left(\frac{dx - c}{c} \right) \times \epsilon_c \\ &= \left(\frac{100 - 16,721}{16,72} \right) \times 0,003 \\ &= 0,0149\end{aligned}$$

Batasan regangan leleh minimum pelat lantai (SNI 2847-2019 Pasal 8.3.3.1

hal.136) 0,004

Karena $\epsilon_t = 0,004 > \epsilon_{s'} = 0,0015$,Maka tulangan tekan terkendali tekan

Tegangan leleh tulangan tekan

$$\begin{aligned}f_{s'} &= \epsilon_{s'} \times E_s \\ &= 0,0015 \times 200000 \\ &= 297,10 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Batasan regangan leleh maksimum pelat lantai (SNI 2847-2019 Pasal 21.2.2hal.471

Karena $\epsilon_s = 0,0149 > \epsilon_s' = 0,005$,Maka tulangan tekan terkendali tekan

Tegangan leleh tulangan tarik

$$\begin{aligned}f_s &= \epsilon_s \times E_s \\ &= 0,0149 \times 200000 \\ &= 2988,4 \text{ MPa} > 280 \text{ MPa} \text{ (dipakai } f_y \text{ tulangan)}\end{aligned}$$

Gaya pada daerah tekan beton

$$\begin{aligned}C_c &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \\ &= 0,85 \times 25 \times 14,212 \times 1000 \\ &= 302015 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{s1} &= A_s' \times f_s' \\ &= 523 \times 297,10 \\ &= 155482 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_{s2} &= A_s \times f_y \\ &= 523 \times 280 \\ &= 146533 \text{ N}\end{aligned}$$

Kontrol keseimbangan gaya

$$\begin{aligned}C_c &= T_{s1} + T_{s2} \\ 302015 &= 155482 + 146533 \\ 302015 &= 302015 \text{ N} \text{ (Seimbang)}\end{aligned}$$

Perhitungan Momen Nominal

$$\begin{aligned}Z1 &= dx' - \left\{ \frac{1}{2} \times a \right\} \\ &= 25 - \left\{ \frac{1}{2} \times 14,212 \right\} \\ &= 17,894 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Z2 &= dx - \left\{ \frac{1}{2} \times a \right\} \\ &= 100 - \left\{ \frac{1}{2} \times 14,212 \right\} \\ &= 92,894 \text{ mm}\end{aligned}$$

Momen Nominal

$$\begin{aligned}
 M_r &= \phi M_n \\
 &= \phi \times \left\{ T_{s1} \times Z_1 \right\} + \left\{ T_{s2} \times Z_2 \right\} \\
 &= 0,9 \times \left\{ 155482 \times 17,894 \right\} + \left\{ 146533 \times 92,894 \right\} \\
 &= 16115971,56 \text{ Nmm} \\
 &= 16,12 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &> M_u \\
 16,12 \text{ kNm} &> 4,323 \text{ kNm} \text{ (Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

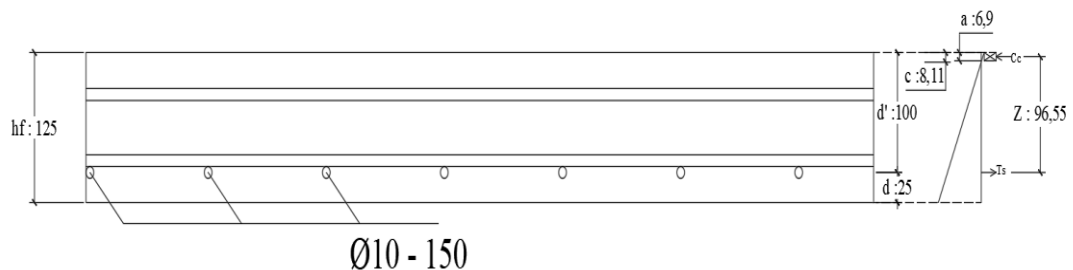
4.9.4 Perhitungan Kapasitas Desain Tulangan Lapangan Arah Y

Perhitungan garis netral

$$\begin{aligned}
 c &= \left(\frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1} \right) \\
 &= \left(\frac{523 \times 280}{0,85 \times 25 \times 1000 \times 0,85} \right) \\
 &= 8,1126 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tinggi daerah tekan beton

$$\begin{aligned}
 a &= c \times \beta_1 \\
 &= 8,1126 \times 0,85 \\
 &= 6,8957 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.28 Tulangan Lapangan Arah Y

Gaya pada daerah tekan beton

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \\ &= 0,85 \times 25 \times 6,8957 \times 1000 \\ &= 146533 \quad \text{N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \times f_y \\ &= 523 \times 280 \\ &= 146533 \quad \text{N} \end{aligned}$$

Kontrol keseimbangan gaya

$$\begin{aligned} C_c &= T_s \\ 146533 \quad \text{N} &= 146533 \quad \text{N} \quad \text{(Seimbang)} \end{aligned}$$

Perhitungan Momen Nominal

$$\begin{aligned} Z &= d_y - 1/2 \times a \\ &= 100 - 1/2 \times 6,8957 \\ &= 96,552 \quad \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_r &= \phi M_n \\ &= \phi \times \left\{ C_c \times Z \right\} \\ &= 0,9 \times \left\{ 146533 \times 96,552 \right\} \\ &= 12733298,45 \quad \text{Nmm} \\ &= 12,73 \quad \text{kNm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} M_r &> M_u \\ 12,733 \quad \text{kNm} &> 3,55 \quad \text{kNm} \quad \text{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

- Menghitung Tulangan Bagi Lapangan

Direncanakan tulangan bagi dengan diameter tulangan yaitu

$$\begin{aligned} A_s \text{ bagi} &= 0,002 \times A_g \\ &= 0,002 \times 125000 \\ &= 250 \quad \text{mm}^2 \end{aligned}$$

Direncanakan Tulangan Diameter = 8

$$\begin{aligned} \text{As ada} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 8^2 \\ &= 50,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan bagi tiap meter:

$$n = \frac{\text{As bagi}}{\text{As ada}} = \frac{250}{50,24} = 4,9761 = 7$$

Jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} s &= \frac{b}{n-1} = \frac{1000}{6} \\ &= 166,67 \text{ mm} \\ &= 165 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \text{As ada} &= \frac{\text{As} \times b}{S} \\ &= \frac{50,24 \times 1000}{165} \\ &= 304,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Rekapitulasi Penulangan Pelat Lantai

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.46 Rekapitulasi Momen Kapasitas Pelat Lantai

Momen Pelat	Tulangan	As Ada	As Perlu	Cek
		mm ²	mm ²	As ada > As perlu
Tumpuan X	Ø 10 - 150	523,33	337,5	Memenuhi
Lapangan X	Ø 10 - 150	523,33	337,50	Memenuhi

Tul. Bagi	Ø 8 - 165	304,48	250,00	Memenuhi
Tumpuan Y	Ø 10 - 150	523,33	337,50	Memenuhi
Lapangan Y	Ø 10 - 150	523,33	337,50	Memenuhi
Tul. Bagi	Ø 8 - 165	304,48	250,00	Memenuhi

Kontrol Lendutan Pelat Lantai

Beban pelat lantai terkombinasi layan

$$\begin{aligned}
 W &= \left(1,2 \times q_{DL} \right) + \left(1,6 \times q_{LL} \right) \\
 &= \left(1,2 \times 1,83 \right) + \left(1,6 \times 4,79 \right) \\
 &= 9,86 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L &= 4 \text{ m} \\
 &= 4000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Lendutan ijin

$$\begin{aligned}
 \Delta_i &= \frac{1}{240} \times L \\
 &= \frac{1}{240} \times 4000 \\
 &= 16,667 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Momen inersia penampang bruto

$$\begin{aligned}
 I_g &= \frac{1}{12} \times L_y \times h^3 \\
 &= \frac{1}{12} \times 4000 \times 125^3 \\
 &= 651041666,7 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Modulus retak beton (SNI 2847-2019 Pasal 19.2.3.1 hal.434)

$$\begin{aligned}
 f_r &= 0,62 \times 1 \times \sqrt{f_c'} \\
 &= 0,62 \times 1 \times \sqrt{25} \\
 &= 3,10 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Rasio modulus

$$\begin{aligned}n &= \frac{E_s}{E_c} \\ &= \frac{200000}{23500} \\ &= 8,51\end{aligned}$$

Jarak garis netral terhadap sisi beton

$$\begin{aligned}c &= n \times \frac{A_s}{b} \\ &= 8,51 \times \frac{523}{1000} \\ &= 4,45 \text{ mm}\end{aligned}$$

Momen inersia penampang retak yang ditransformasikan ke beton di hitung sebagai berikut :

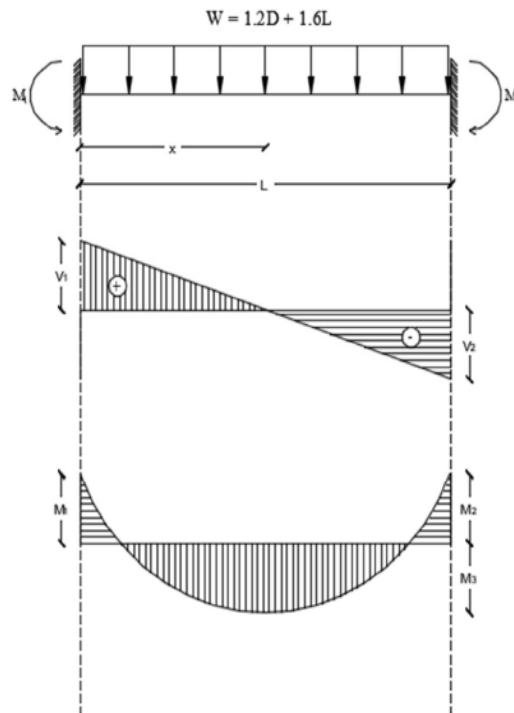
$$\begin{aligned}I_{cr} &= \frac{1}{3} \times L \times c^3 + n \times A_s \times \\ &\quad \left(d - c \right)^2 \\ &= \frac{1}{3} \times 4000 \times 88,35^3 + 8,51 \times 523 \times \\ &\quad \left(100 - 4,45 \right)^2 \\ &= 40777717,93 \text{ mm}^4\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Y_t &= \frac{h}{2} \\ &= \frac{125}{2} \\ &= 62,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Momen retak

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= f_r \times \frac{I_g}{Y_t} \\
 &= 3,10 \times \frac{651041667}{62,5} \\
 &= 32291667 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen maksimum



Gambar 4.23 Diagram Gaya Geser, Momen pada Tumpuan Jepit

Gambar 4.29 Diagram Gaya Geser, Momen pada Tumpuan Jepit

$$\begin{aligned}
 M_1 &= 4323000 \text{ Nmm} \quad (M_{ty} -, \text{ Output Etabs}) \\
 M_2 &= 4323000 \text{ Nmm} \quad (M_{ty} -, \text{ Output Etabs}) \\
 M_3 &= 3551000 \text{ Nmm} \quad (M_{ly} +, \text{ Output Etabs})
 \end{aligned}$$

Momen inersia efektif untuk perhitungan lendutan

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_3} \right)^3 \times I_g + \left(1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_3} \right)^3 \right) \times I_{cr}$$

$$= \left(\frac{32291667}{3551000} \right)^3 \times 651041667 + \left(1 - \left(\frac{32291667}{3551000} \right)^3 \right) \times 40777717,93$$

$$= 458960878521,01 \text{ mm}^4$$

Faktor ketergantungan waktu (jangka > 5 tahun jangka waktu)

$$s = 2 \text{ (Faktor pengaruh waktu, tabel 24.2.4.1.3 hal.547)}$$

$$\lambda\Delta = \frac{s}{1 + \left(50 \times p \right)}$$

$$= \frac{2}{1 + \left(50 \times 0,0055 \right)}$$

$$= 1,57$$

Titik tinjau lendutan maksimum

$$x = \frac{1}{2} \times L$$

$$= \frac{1}{2} \times 4000$$

$$= 2000 \text{ mm}$$

Lendutan jangka pendek (short term)

$$\Delta e = \frac{w \times x^3}{24Ec.Ie} - \left(2 \times L + \frac{4 M1}{w L} - \frac{4 M2}{w L} \right) x^2 + \frac{12 M1}{w} +$$

$$\left(L^3 - \frac{8 M1 L}{w} \right) - \left(\frac{4 M2 L}{w} \right)$$

$$\frac{9,86 \times 23500 \times 458960878521,01}{24 \times 23500 \times 458960878521,01} \times \left(2000 \right)^3$$

$$- \left(2 \times 4000 + \frac{4 \times 4323000}{9,86 \times 4000} \right) - \left(\frac{4 \times 4323000}{9,86 \times 4000} \right) 2000^2$$

$$= + \frac{12 \times 4323000}{4000} \times 2000 + 4000^3$$

$$\begin{aligned}
& - \left[\frac{8 \cdot 4323000 \cdot 4000}{9,86} - \frac{4 \cdot 4323000 \cdot 4000}{9,86} \right] \\
& = 0,000000000000076 \quad \times \quad 18980907574,04 \\
& = 0,001446 \quad \text{mm}
\end{aligned}$$

Lendutan jangsan panjang (long term)

$$\begin{aligned}
\Delta g &= \lambda \Delta \times \frac{w \cdot x}{24 E_c \cdot I_e} \left[x^3 - \left(2 \cdot L + \frac{4 \cdot M_1}{w \cdot L} - \frac{4 \cdot M_2}{w \cdot L} \right) x^2 + \right. \\
& \quad \left. \frac{12 \cdot M_1}{w} \cdot x + L^3 - \left(\frac{8 \cdot M_1 \cdot L}{w} - \frac{4 \cdot M_2 \cdot L}{w} \right) \right] \\
&= 1,57 \times \frac{9,86 \times 2000}{24 \times 23500 \times 458960878521,01} \times \\
&= \left[2000^3 - \left(2 \cdot 4000 \right) \right] + \frac{4 \cdot 4323000}{9,86 \cdot 4000} - \left[\frac{4 \cdot 4323000}{9,86 \cdot 4000} \right] \\
& \quad 2000^2 + \frac{12 \cdot 4323000}{4000} \cdot 2000 + 4000^3 - \\
& \quad \left[\frac{8 \cdot 4323000 \cdot 4000}{9,86} - \frac{4 \cdot 4323000 \cdot 4000}{9,86} \right] \\
&= 0,0000000000000119 \quad \times \quad 18980907574,04 \\
&= 0,002266 \quad \text{mm}
\end{aligned}$$

Lendutan total

$$\begin{aligned}
\Delta t &= \Delta e + \Delta g \\
&= 0,001446 + 0,002266 \\
&= 0,003712 \quad \text{mm}
\end{aligned}$$

Kontrol lendutan

$$\begin{aligned}
\Delta i &> \Delta t \\
16,667 \text{ mm} &> 0,003712 \text{ mm} \quad \text{(Memenuhi)}
\end{aligned}$$

4.11 Perhitungan Penulangan Balok

4.11.1 Balok Induk B64

A. Data Perencanaan

Lebar balok (bw)	=	300	mm
Tinggi balok (h)	=	500	mm
Selimut beton (sb)	=	40	mm
Mutu beton (fc')	=	25	MPa
Fy ulir	=	420	MPa
Fy sengkang polos	=	280	MPa
Modulus elastisitas (Es)	=	200000	MPa
Diameter tulangan pokok	=	19	mm
Diameter tulangan sengkang	=	10	mm
Tebal pelat (hf)	=	125	mm
Bentang balok (L)	=	6000	mm
Bentang bersih balok (Ln)	=	5400	mm
Menentukan nilai β_1			
Nilai β_1 ($17 < f_c' < 28$)			
β_1	=	0,85	
Modulus elastisitas neton (Ec)	=	4700	$\times \sqrt{f_c'}$
	=	4700	$\times \sqrt{25}$
	=	23500	MPa

B. Output Gaya Balok

Momen Balok B64			
Momen Tumpuan Kiri (-)	=	157,15	kNm
Momen Tumpuan Kiri (+)	=	50,40	kNm
Momen Tumpuan Kanan (+)	=	101,075	kNm
Momen Tumpuan Kanan (-)	=	200,55	kNm
Momen Lapangan (-)	=	1,73	kNm
Momen Lapangan (+)	=	96,042	kNm

4.11.2 Desain Tulangan Longitudinal

1. Syarat spasi minimum penulangan

- A. Spesi bersih minimum antara batang tulangan yang sejajar dalam suatu lapis harus sebesar db, tetapi tidak kurang dari 25 mm. (SNI 2847-2019 Pasal 25.2.1 hal.599)
- B. Bila tulangan sejajar tersebut diletakan dalam dua lapis atau lebih, tulangan pada lapis atas harus diletakan tepat di atas tulangan di bawahnya dengan spasi bersih antar lapis tidak boleh kurang dari 25 mm. (SNI 2847-2019 Pasal 25.2.1 hal.599)
- C. Bila diperlukan sengkang pengegang, spasi batang tulangan longitudinal yang tertumpu secara lateral tidak boleh melebihi 350 mm.

$$S = \frac{bw - \left(2 \times sb \right) - \left(2 \times Dt \text{ sgkg} \right) - \left(n \times Dt \text{ pkk} \right)}{n \text{ tulangan} - 1}$$

$$= \frac{300 - \left(2 \times 40 \right) - \left(2 \times 10 \right) - \left(5 \times 19 \right)}{5 - 1}$$

$$= 26,25 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

2. Syarat tulangan minimum dan maksimum

1) Tulangan tekan (As')

$$d' = sb + D.tul.sengkang + \left(1/2 \times D.tul.pokok \right)$$

$$= 40 + 10 + \left(0,5 \times 19 \right)$$

$$= 59,5 \text{ mm}$$

$$d = h - d'$$

$$= 500 - 59,5$$

$$= 440,5 \text{ mm}$$

2) Tulangan minimal sedikitnya harus dihitung menurut SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2

$$As \text{ min} = \frac{0,25 \times \sqrt{f_c'} \times bw \times d}{f_y}$$

$$= \frac{0,25 \times 25 \times 300 \times 441}{420}$$

$$= 0,003 \times 300 \times 440,5$$

$$= 393,30 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{1,4 \times 300 \times 441}{420}$$

$$= 440,5 \text{ mm}^2$$

Maka dipakai tulangan minimal

$$2D19 = \frac{1}{4} \times \rho_t \times D^2 \times n \text{ tulangan}$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \times 2$$

$$= 566,77 \text{ mm}^2 < 440,5 \text{ mm}^2$$

3) Tulangan maksimum dihitung menurut SNI 2847-2019 pasal 9.6.1.2

$$\text{As Max} = 0,75 \times \frac{0,85 f_c' \beta_1}{f_y} \times \frac{600}{600 + f_y} b_w \times d$$

$$= 0,75 \times \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{420} \times \frac{600}{600 + 420}$$

$$\times 300 \times 441$$

$$= 0,75 \times 0,043 \times 0,5882 \times 132150$$

$$= 2507,31 \text{ mm}^2$$

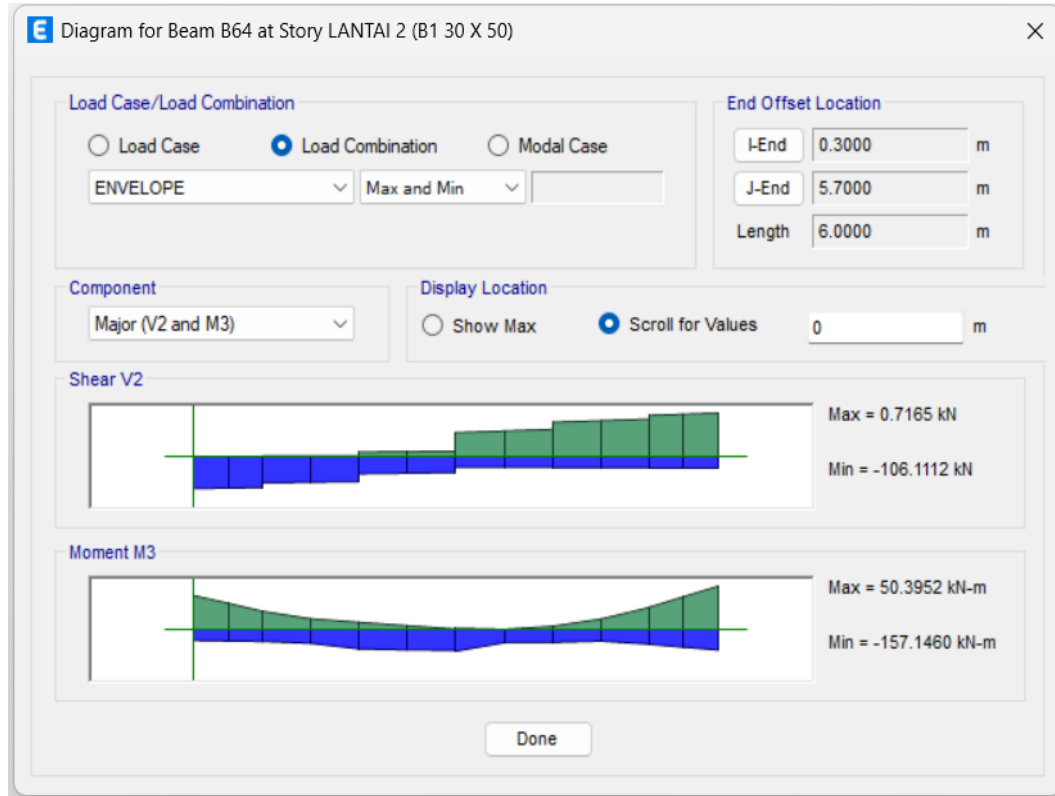
Maka, nilai tulangan maksimal

$$8D19 = \frac{1}{4} \times \rho_t \times D^2 \times n \text{ tulangan}$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \times 8$$

$$= 2267,1 \text{ mm}^2 < 2507,3 \text{ mm}^2$$

4.11.3 Perhitungan Penulangan Tumpuan Kiri



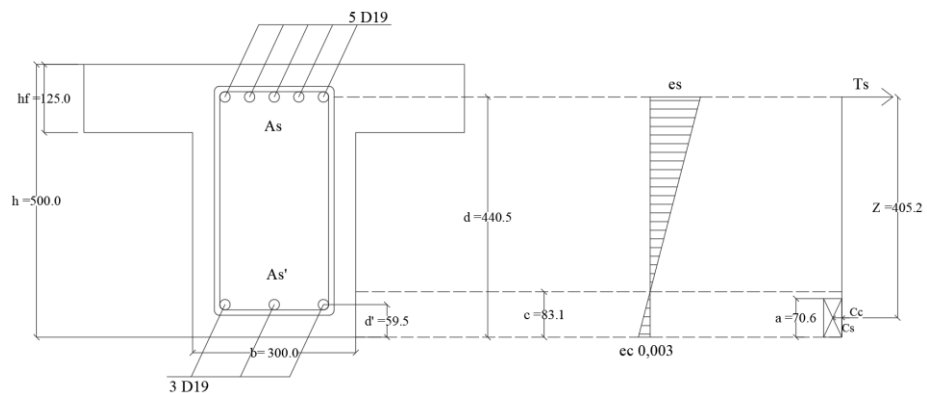
$$\text{Mu Kiri (-)} = 157,15 \text{ kNm} = 157146000 \text{ Nmm}$$

$$\text{Mu Kiri (+)} = 50,40 \text{ kNm} = 50395000 \text{ Nmm}$$

a. Kontrol Momen Negatif Tumpuan Kiri (Atas)

$$\text{Tulangan Tarik (atas)} \quad A_s : 5 \text{ D } 19 = 1416,9$$

$$\text{Tulangan Tekan (bawah)} \quad A_s' : 3 \text{ D } 19 = 850,2$$



Gambar 4.30 Penampang balok dan diagram tegangan momen negatif tumpuan kiri atas

1) Perhitungan luas tulangan tarik (A_s)

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \text{Luas tulangan} \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times t_t \times D^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\ &= 1416,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2) Perhitungan luas tulangan tarik (A_s')

$$\begin{aligned} A_s' &= n \times \text{Luas tulangan} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times t_t \times D^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\ &= 850,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

3) Perhitungan titik berat tulangan

Tulangan tarik (A_s)

$$\begin{aligned} d' &= s_b + D.tul.sengkang + \left[\frac{1}{2} \times D.tul.pokok \right] \\ &= 40 + 10 + \left[0,5 \times 19 \right] \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tulangan tekan (A_s')

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 500 - 59,5 \\ &= 440,50 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jika dimisalkan garis netral $c > d'$ maka perhitungan garis netral harus dicari

menggunakan persamaan :

$$C_c + C_s = T_s$$

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$\epsilon_c = 0,003$$

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

$$0.85 \times f_c' \times a \times b + A_s' \times f_s' = A_s \times f_y$$

Substitusi nilai f_s' :

$$\frac{f_s'}{\epsilon_c} = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c \times E_s$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c \times E_s$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \times 0,003 \times 200000$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \times 600$$

$$0.85 \times f_c' \times a \times b + A_s' \times \left(\frac{c-d'}{c} \times 600 \right) = A_s \times f_y \times c$$

$$0.85 \times f_c' \times a \times b \times c + A_s' \times 600 \times c - A_s' \times 600 \times d' = A_s \times f_y \times c$$

Substitusi nilai $a = \beta_1 \times c$

$$0.85 \times f_c' \times \beta_1 \times c \times b \times c + A_s' \times 600 \times c - A_s' \times 600 \times d' = A_s \times f_y \times c$$

$$0.85 \times f_c' \times \beta_1 \times b \times c^2 + A_s' \times 600 \times c - A_s' \times 600 \times d' = A_s \times f_y \times c$$

$$0,85 \times 25 \times 0,85 \times 300 \times c^2 + 850,2 \times 600 \times c - 850,2 \times 600 \times 59,5 = 1416,9 \times 420 \times c$$

$$5418,75 \times c^2 + 510093 \times c - 30350534 = 595109 \times c$$

$$5418,75 \times c^2 + -85016 \times c - 30350534 = 0$$

Menghitung nilai C dengan rumus abc :

$$a = 5418,75$$

$$b = -85016$$

$$c = -30350534$$

$$C_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$C_{1,2} = \frac{85016 \pm \sqrt{-85015,5 \cdot 2 - 4 \cdot 5418,75 \cdot -30350534}}{2 \cdot 5418,75}$$

$$C_1 = \frac{85016 + \sqrt{665075448853}}{10837,5}$$

$$= 83,09$$

$$C_2 = \frac{85015,50 - \sqrt{665075448853}}{10837,5}$$

$$= -67,41$$

$$5418,75 \cdot c^2 + -85015,5 \cdot c - 30350534 = 0$$

$$\left[5418,75 \cdot 83,09 \right]^2 + \left[-85015,5 \cdot 83,09 \right] - 30350534 = 0$$

$$0 = 0$$

Maka dipakai nilai $c = 83,09 > 59,5 \rightarrow \mathbf{OK}$

Dari perhitungan nilai c ternyata lebih besar dari d' , maka dilanjutkan menghitung nilai a :

Menghitung tinggi balok tegangan

$$a = \beta_1 \cdot c$$

$$= 0,85 \cdot 83,09$$

$$= 70,63 \text{ mm}$$

Menghitung regangan tulangan

Regangan tulangan ulir

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$= \frac{420}{200000}$$

$$= 0,0021$$

Regangan tulangan tekan

$$\begin{aligned}\epsilon_s' &= \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c \\ &= \frac{83,09 - 59,5}{83,09} \times 0,003 \\ &= 0,00085 < \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{Tulangan belum leleh}\end{aligned}$$

Regangan tulangan tarik

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{d - c}{c} \times \epsilon_c \\ &= \frac{441 - 83,09}{83,09} \times 0,003 \\ &= 0,0129 > \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{Tulangan sudah leleh}\end{aligned}$$

Perhitungan nilai tegangan

$$\begin{aligned}f_s' &= \epsilon_s' \times E_s \\ &= 0,0008518 \times 200000 \\ &= 170,37 \text{ MPa} < 420 \text{ MPa} \longrightarrow \text{Maka dipakai } f_s' = 170,37 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_s &= \epsilon_s \times E_s \\ &= 0,0129 \times 200000 \\ &= 2580,7 \text{ MPa} > 420 \text{ MPa} \longrightarrow \text{Maka dipakai } f_s' = 420 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai ϵ_s sesudah leleh = $0,0129 > 0,005$ (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

Maka diambil $\phi = 0,9$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$\begin{aligned}C_c &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \\ &= 0,85 \times 25 \times 70,63 \times 300 \\ &= 450268,54 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s &= A_s' \times f_s' \\
 &= 850,2 \times 170,37 \\
 &= 144839,96 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= A_s \times f_y \\
 &= 1416,9 \times 420 \\
 &= 595109 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek syarat kesetimbangan

$$\begin{aligned}
 C_c + C_s &= T_s \\
 450268,54 + 144839,96 &= 595109 \\
 595109 &= 595109 \quad \text{(Kondisi Seimbang Terpenuhi)}
 \end{aligned}$$

Menghitung jarak Ts terhadap Cc

$$\begin{aligned}
 Z &= d - \frac{1}{2} \times a \\
 &= 441 - \frac{1}{2} \times 70,63 \\
 &= 405,18
 \end{aligned}$$

Momen nominal (Mnb)

$$\begin{aligned}
 M_n &= T_s \times Z \\
 &= 595109 \times 405,18 \\
 &= 241128930,7 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_r &= \phi \times M_n \\
 &= 0,9 \times 241128931 \\
 &= 217016037,6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &> M_u \\
 217016038 &> 157146000 \quad \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

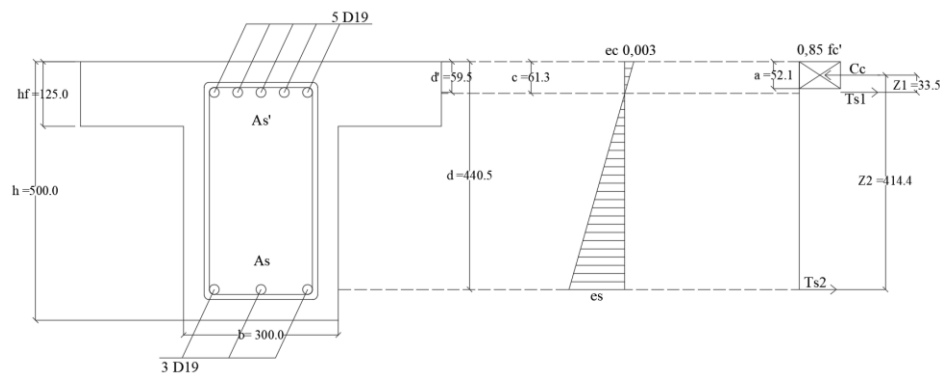
Kontrol :

$$\frac{\phi M_n}{M_u} = \frac{217016037,6}{157146000} = 1,38$$

b. Kontrol Momen Positif Tumpuan Kiri (Bawah)

Tulangan Tekan (atas) $A_s' : 5 \text{ D } 19 = 1416,9$

Tulangan Tarik (bawah) $A_s : 3 \text{ D } 19 = 850,2$



Gambar 4.31 Penampang balok dan diagram tegangan momen negatif tumpuan kiri bawah

1) Perhitungan luas tulangan tekan (A_s')

$$\begin{aligned} A_s' &= n \times \text{Luas tulangan} \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\ &= 1416,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2) Perhitungan luas tulangan tarik (A_s)

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \text{Luas tulangan} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\ &= 850,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

3) Perhitungan titik berat tulangan

Tulangan tekan (A_s')

$$\begin{aligned} d' &= sb + D.tul.senggang + \left[\frac{1}{2} \times D.tul.pokok \right] \\ &= 40 + 10 + \left[0,5 \times 19 \right] \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tulangan tarik (A_s)

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 500 - 59,50 \\ &= 440,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jika dimisalkan garis netral $> d'$ maka perhitungan garis netral harus dicari

menggunakan persamaan :

$$C_c + C_s = T_s$$

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$\epsilon_c = 0,003$$

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

$$0,85 \times f_c' \times a \times b + A_s' \times f_s' = A_s \times f_y$$

Substitusi nilai f_s' :

$$\frac{f_s'}{\epsilon_c} = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c \times E_s$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c \times E_s$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \times 0,003 \times 200000$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \times 600$$

$$0,85 \times f_c' \times a \times b + A_s' \times \left(\frac{c-d'}{c} \times 600 \right) = A_s \times f_y \times c$$

$$0,85 \times f_c' \times a \times b \times c + A_s' \times 600 \times c - A_s' \times 600 \times d' = A_s \times f_y \times c$$

Substitusi nilai $a = \beta_1 \times c$

$$0,85 \times f' \times \beta_1 \times c \times b \times c + As' \times 600 \times c - As' \times 600 \times d' = As \times fy \times c$$

$$0,85 \times f' \times \beta_1 \times b \times c^2 + As' \times 600 \times c - As' \times 600 \times d' = As \times fy \times c$$

$$0,85 \times 25 \times 0,85 \times 300 \times c^2 + 1416,9 \times 600 \times c - 1416,9 \times 600 \times 60 = 850,2 \times 420 \times c$$

$$5418,75 \times c^2 + 850155 \times c - 50584223 = 357065 \times c$$

$$5418,75 \times c^2 + 493090 \times c - 50584223 = 0$$

Menghitung nilai C dengan rumus abc :

$$a = 5418,75$$

$$b = 493090$$

$$c = -50584223$$

$$C_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$C_{1,2} = \frac{-493090 \pm \sqrt{493089,9^2 - 4 \times 5418,75 \times -50584223}}{2 \times 5418,75}$$

$$C_1 = \frac{-493090 + \sqrt{1339550672170}}{10837,5}$$

$$= 61,30$$

$$C_2 = \frac{-493090 - \sqrt{1339550672170}}{10837,5}$$

$$= -152,29$$

$$5418,75 \times c^2 + 493089,9 \times c - 50584223 = 0$$

$$\left[5418,75 \times 61,30 \right]^2 + \left[493089,9 \times 61,30 \right] - 50584223 = 0$$

$$0 = 0$$

Maka dipakai nilai $c = 61,30 > 59,5 \rightarrow$ **OK**

Dari perhitungan nilai c ternyata lebih besar dari d' , maka dilanjutkan menghitung nilai a :

Menghitung tinggi balok tegangan

$$\begin{aligned} a &= \beta_1 \times c \\ &= 0,85 \times 61,30 \\ &= 52,102 \text{ mm} \end{aligned}$$

Menghitung regangan tulangan

Regangan tulangan ulir

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{420}{200000} \\ &= 0,0021 \end{aligned}$$

Regangan tulangan tekan

$$\begin{aligned} \epsilon_{s'} &= \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c \\ &= \frac{61,30 - 59,5}{61,30} \times 0,003 \\ &= 0,00009 < \epsilon_y = 0,0021 \rightarrow \text{Tulangan belum leleh} \end{aligned}$$

Regangan tulangan tarik

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d - c}{c} \times \epsilon_c \\ &= \frac{441 - 61,30}{61,30} \times 0,003 \\ &= 0,0186 > \epsilon_y = 0,0021 \rightarrow \text{Tulangan sudah leleh} \end{aligned}$$

Perhitungan nilai tegangan

$$\begin{aligned} f_s' &= \epsilon_s' \times E_s \\ &= 8,792E-05 \times 200000 \\ &= 17,584 \text{ MPa} < 420 \text{ MPa} \rightarrow \text{Maka dipakai } f_s' = 17,584 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s &= \epsilon_s \times E_s \\ &= 0,0186 \times 200000 \\ &= 3711,8 \text{ MPa} > 420 \text{ MPa} \rightarrow \text{Maka dipakai } f_s' = 420 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai ϵ_s sesudah leleh = $0,0186 > 0,005$ (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

Maka diambil $\phi = 0,9$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \\ &= 0,85 \times 25 \times 52,102 \times 300 \\ &= 332149,85 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' \times f_s' \\ &= 1416,9 \times 17,584 \\ &= 24915,253 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \times f_y \\ &= 850,2 \times 420 \\ &= 357065 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek syarat kesetimbangan

$$\begin{aligned} C_c + C_s &= T_s \\ 332149,85 + 24915,25 &= 357065 \\ 357065 &= 357065 \quad \text{(Kondisi Seimbang Terpenuhi)} \end{aligned}$$

Menghitung jarak Ts terhadap Cc

$$\begin{aligned} Z1 &= d' - \frac{1}{2} \times a \\ &= 59,5 - \frac{1}{2} \times 52,102 \\ &= 33,45 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z2 &= d - \frac{1}{2} \times a \\ &= 440,5 - \frac{1}{2} \times 52,102 \\ &= 414,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen nominal (Mnb)

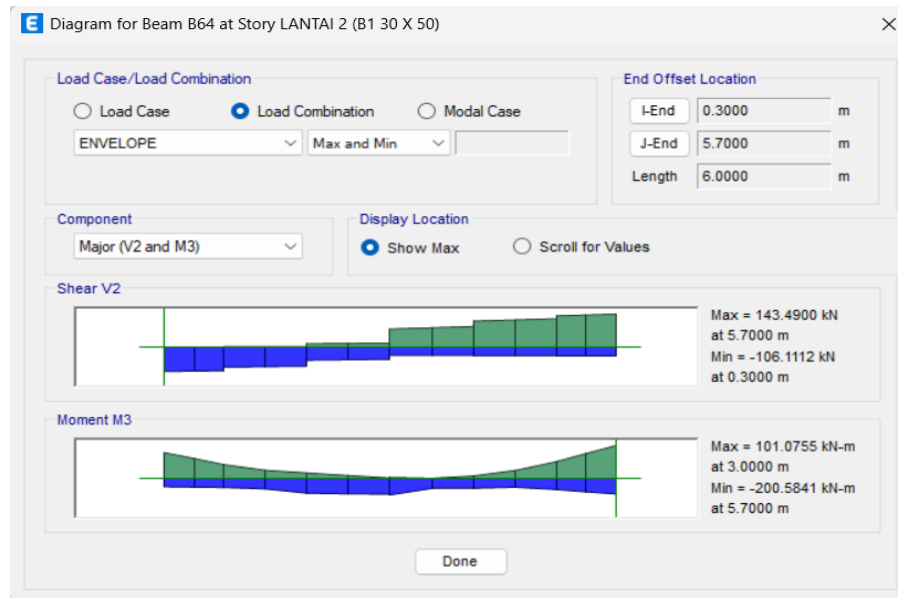
$$\begin{aligned} M_n &= \left\{ Cc \times Z1 \right\} + \left\{ Ts \times Z2 \right\} \\ &= \left\{ 332149,85 \times 33,45 \right\} + \left\{ 357065 \times 414 \right\} \\ &= 159095375,6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_r &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 159095376 \\ &= 143185838,1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi M_n &> M_u \\ 143185838 &> 50395000 \quad \text{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

4.11.4 Perhitungan Penulangan Tumpuan Kanan



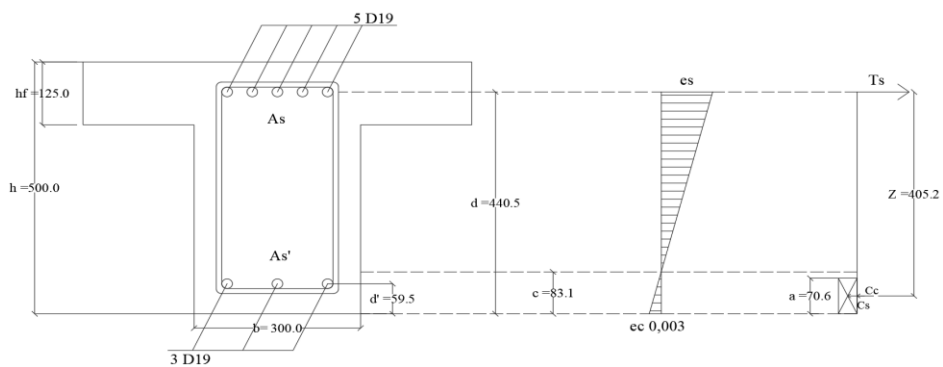
$$\text{Mu Kanan (-)} = 200,55 \quad \text{kNm} = 200548000 \quad \text{Nmm}$$

$$\text{Mu Kanan (+)} = 101,08 \quad \text{kNm} = 101075000 \quad \text{Nmm}$$

a. Kontrol Momen Negatif Tumpuan Kanan (Atas)

$$\text{Tulangan Tarik (atas)} \quad A_s : 5 \text{ D } 19 = 1416,9$$

$$\text{Tulangan Tekan (bawah)} \quad A_s' : 3 \text{ D } 19 = 850,2$$



Gambar 4.32 Penampang balok dan diagram tegangan momen negatif tumpuan kanan atas

1) Perhitungan luas tulangan tarik (A_s)

$$A_s = n \times \text{Luas tulangan}$$

$$\begin{aligned}
&= 5 \times \frac{1}{4} \times \text{tt} \times D^2 \\
&= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\
&= 1416,9 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

2) Perhitungan luas tulangan tekan (A_s')

$$\begin{aligned}
A_s' &= n \times \text{Luas tulangan} \\
&= 3 \times \frac{1}{4} \times \text{tt} \times D^2 \\
&= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\
&= 850,2 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

3) Perhitungan titik berat tulangan

Tulangan tekan (A_s')

$$\begin{aligned}
d' &= sb + D.tul.sengkang + \left(\frac{1}{2} \times D.tul.pokok \right) \\
&= 40 + 10 + \left(0,5 \times 19 \right) \\
&= 59,5 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Tulangan tarik (A_s)

$$\begin{aligned}
d &= h - d' \\
&= 500 - 59,50 \\
&= 440,50 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Jika dimisalkan garis netral $> d'$ maka perhitungan garis netral harus dicari

menggunakan persamaan :

$$C_c + C_s = T_s$$

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$\epsilon_c = 0,003$$

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

$$0,85 \times f_c' \times a \times b + A_s' \times f_s' = A_s \times f_y$$

Substitusi nilai f_s' :

$$\frac{fs'}{\varepsilon c} = \frac{c - d'}{c} \times \varepsilon c \times Es$$

$$fs' = \frac{c - d'}{c} \times \varepsilon c \times Es$$

$$fs' = \frac{c - d'}{c} \times 0,003 \times 200000$$

$$fs' = \frac{c - d'}{c} \times 600$$

$$0,85 \times fc' \times a \times b + As' \times \left(\frac{c-d'}{c} \times 600 \right) = As \times fy \times c$$

$$0,85 \times fc' \times a \times b \times c + As' \times 600 \times c - As' \times 600 \times d' = As \times fy \times c$$

Substitusi nilai $a = b1 \times c$

$$0,85 \times fc' \times b1 \times c \times b \times c + As' \times 600 \times c - As' \times 600 \times d' = As \times fy \times c$$

$$0,85 \times fc' \times b1 \times b \times c^2 + As' \times 600 \times c - As' \times 600 \times d' = As \times fy \times c$$

$$0,85 \times 25 \times 0,85 \times 300 \times c^2 + 850,2 \times 600 \times c - 850,2 \times 600 \times 60 = 1416,9 \times 420 \times c$$

$$5418,75 \times c^2 + 510093 \times c - 30350534 = 595109 \times c$$

$$5418,75 \times c^2 + -85016 \times c - 30350534 = 0$$

Menghitung nilai C dengan rumus abc :

$$a = 5418,75$$

$$b = -85016$$

$$c = -30350534$$

$$C_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$C_{1,2} = \frac{85016 \pm \sqrt{-85015,5^2 - 4 \times 5418,75 \times -30350534}}{2 \times 5418,75}$$

$$C_1 = \frac{85016 + \sqrt{665075448853}}{10837,5}$$

$$= 83,09$$

$$C_2 = \frac{85015,5 - \sqrt{665075448853}}{10837,5}$$

$$= -67,41$$

$$5418,75 c^2 + -85015,5 c - 30350534 = 0$$

$$\left[5418,75 \times 83,09 \right]^2 + \left[-85015,5 \times 83,09 \right] - 30350534 = 0$$

$$0 = 0$$

Maka dipakai nilai $c = 83,09 > 59,5 \rightarrow \mathbf{OK}$

Dari perhitungan nilai c ternyata lebih besar dari d' , maka dilanjutkan menghitung nilai a :

Menghitung tinggi balok tegangan

$$a = \beta_1 \times c$$

$$= 0,85 \times 83,09$$

$$= 70,63 \text{ mm}$$

Menghitung regangan tulangan

Regangan tulangan ulir

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$= \frac{420}{200000}$$

$$= 0,0021$$

Regangan tulangan tekan

$$\begin{aligned}\epsilon_s' &= \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c \\ &= \frac{83,09 - 59,5}{83,09} \times 0,003 \\ &= 0,00085 < \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{Tulangan belum leleh}\end{aligned}$$

Regangan tulangan tarik

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{d - c}{c} \times \epsilon_c \\ &= \frac{441 - 83,09}{83,09} \times 0,003 \\ &= 0,0129 > \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{Tulangan sudah leleh}\end{aligned}$$

Perhitungan nilai tegangan

$$\begin{aligned}f_s' &= \epsilon_s' \times E_s \\ &= 0,0009 \times 200000 \\ &= 170,37 \text{ MPa} < 420 \text{ MPa} \longrightarrow \text{Maka dipakai } f_s' = 170,37 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_s &= \epsilon_s \times E_s \\ &= 0,0129 \times 200000 \\ &= 2580,7 \text{ MPa} > 420 \text{ MPa} \longrightarrow \text{Maka dipakai } f_s' = 420 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai ϵ_s sesudah leleh = $0,0129 > 0,005$ (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

Maka diambil $\phi = 0,9$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$\begin{aligned}C_c &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \\ &= 0,85 \times 25 \times 70,63 \times 300 \\ &= 450268,54 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s &= A_s' \times f_s' \\
 &= 850,2 \times 170,37 \\
 &= 144839,96 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= A_s \times f_y \\
 &= 1416,9 \times 420 \\
 &= 595109 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek syarat kesetimbangan

$$\begin{aligned}
 C_c + C_s &= T_s \\
 450268,54 + 144839,96 &= 595109 \\
 &= 595109 \quad \text{(Kondisi Seimbang Terpenuhi)}
 \end{aligned}$$

Menghitung jarak Ts terhadap Cc

$$\begin{aligned}
 Z &= d - \frac{1}{2} \times a \\
 &= 441 - \frac{1}{2} \times 70,63 \\
 &= 405,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Momen nominal (Mnb)

$$\begin{aligned}
 M_n &= T_s \times Z \\
 &= 595109 \times 405 \\
 &= 241128930,7 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_r &= \phi \times M_n \\
 &= 0,9 \times 241128931 \\
 &= 217016037,6 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

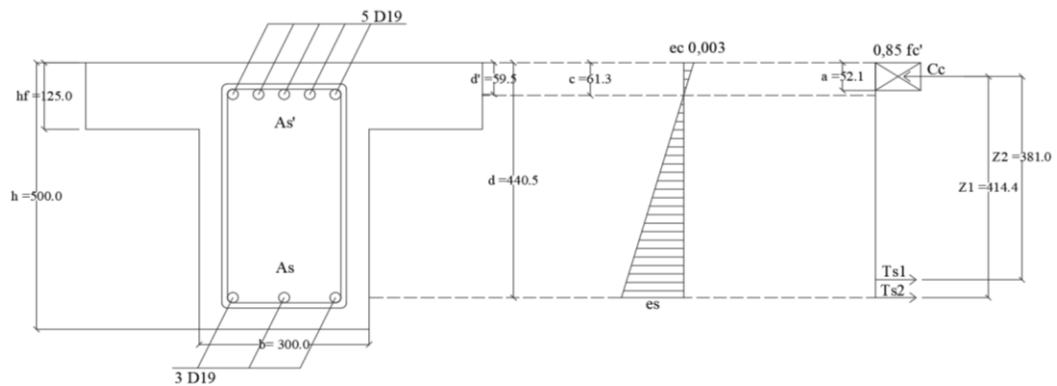
Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &> M_u \\
 217016038 &> 200548000 \quad \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

b. Kontrol Momen Positif Tumpuan Kanan (Bawah)

Tulangan Tekan (atas) $As' : 5 D 19 = 1416,9$

Tulangan Tarik (bawah) $As : 3 D 19 = 850,2$



Gambar 4.33 Penampang balok dan diagram tegangan momen negatif tumpuan kiri

1) Perhitungan luas tulangan tekan (As')

$$\begin{aligned} As' &= n \times \text{Luas tulangan} \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times ft \times D^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\ &= 1416,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

2) Perhitungan luas tulangan tarik (As)

$$\begin{aligned} As &= n \times \text{Luas tulangan} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times ft \times D^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\ &= 850,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

3) Perhitungan titik berat tulangan

Tulangan tekan (As')

$$\begin{aligned} d' &= sb + D.tul.sengkang + \left[\frac{1}{2} \times D.tul.pokok \right] \\ &= 40 + 10 + \left[0,5 \times 19 \right] \end{aligned}$$

$$= 59,5 \text{ mm}$$

Tulangan tarik (A_s)

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 500 - 59,5 \\ &= 440,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jika dimisalkan garis netral $> d'$ maka perhitungan garis netral harus dicari

menggunakan persamaan :

$$C_c + C_s = T_s$$

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$\epsilon_c = 0,003$$

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

$$0,85 \times f_c' \times a \times b + A_s' \times f_s' = A_s \times f_y$$

Substitusi nilai f_s' :

$$\frac{f_s'}{\epsilon_c} = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c \times E_s$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c \times E_s$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \times 0,003 \times 200000$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \times 600$$

$$0,85 \times f_c' \times a \times b + A_s' \times \left(\frac{c-d'}{c} \times 600 \right) = A_s \times f_y \times c$$

$$0,85 \times f_c' \times a \times b \times c + A_s' \times 600 \times c - A_s' \times 600 \times d' = A_s \times f_y \times c$$

Substitusi nilai $a = \beta_1 \times c$

$$0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times c \times b \times c + A_s' \times 600 \times c - A_s' \times 600 \times d' = A_s \times f_y \times c$$

$$0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times b \times c^2 + A_s' \times 600 \times c - A_s' \times 600 \times d' = A_s \times f_y \times c$$

$$0,85 \times 25 \times 0,85 \times 300 \times c^2 + 1416,9 \times 600 \times c - 1416,9 \times 600 \times 60 = 850,2 \times 420 \times c$$

$$5418,75 c^2 + 850155 c - 50584223 = 357065 c$$

$$5418,75 c^2 + 493090 c - 50584223 = 0$$

Menghitung nilai C dengan rumus abc :

$$a = 5418,75$$

$$b = 493090$$

$$c = -50584223$$

$$C_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$C_{1,2} = \frac{-493090 \pm \sqrt{493089,9^2 - 4 \times 5418,75 \times -50584223}}{2 \times 5418,75}$$

$$C_1 = \frac{-493090 + \sqrt{1339550672170}}{10837,5}$$

$$= 61,30$$

$$C_2 = \frac{-493089,9 - \sqrt{1339550672170}}{10837,5}$$

$$= -152,29$$

$$5418,75 c^2 + 493089,9 c - 50584223 = 0$$

$$\left(5418,75 \times 61,30 \right)^2 + \left(493089,9 \times 61,30 \right) - 50584223 = 0$$

$$0 = 0$$

Maka dipakai nilai $c = 61,30 > 59,5 \rightarrow$ **OK**

Dari perhitungan nilai c ternyata lebih besar dari d', maka dilanjutkan menghitung nilai a :

Menghitung tinggi balok tegangan

$$a = \beta_1 \times c$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,85 \times 61,30 \\
 &= 52,102 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Menghitung regangan tulangan

Regangan tulangan ulir

$$\begin{aligned}
 \epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\
 &= \frac{420}{200000} \\
 &= 0,0021
 \end{aligned}$$

Regangan tulangan tekan

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s' &= \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c \\
 &= \frac{61,30 - 59,5}{61,30} \times 0,003 \\
 &= 0,00009 < \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{Tulangan belum leleh}
 \end{aligned}$$

Regangan tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= \frac{d - c}{c} \times \epsilon_c \\
 &= \frac{441 - 61,30}{61,30} \times 0,003 \\
 &= 0,0186 > \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{Tulangan sudah leleh}
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai tegangan

$$\begin{aligned}
 f_s' &= \epsilon_s' \times E_s \\
 &= 8,792E-05 \times 200000 \\
 &= 17,584 \text{ MPa} < 420 \text{ MPa} \longrightarrow \text{Maka dipakai } f_s' = 17,584 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_s &= \epsilon_s \times E_s \\
 &= 0,0186 \times 200000 \\
 &= 3711,8 \text{ MPa} > 420 \text{ MPa} \longrightarrow \text{Maka dipakai } f_s' = 420 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai ϵ_s sesudah leleh = $0,0186 > 0,005$ (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

Maka diambil $\phi = 0,9$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \\ &= 0,85 \times 25 \times 52,102 \times 300 \\ &= 332149,85 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' \times f_s' \\ &= 1416,9 \times 17,584 \\ &= 24915,253 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \times f_y \\ &= 850,2 \times 420 \\ &= 357065 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek syarat kesetimbangan

$$\begin{aligned} C_c + C_s &= T_s \\ 332149,85 + 24915,25 &= 357065 \\ 357065 &= 357065 \quad \text{(Kondisi Seimbang Terpenuhi)} \end{aligned}$$

Menghitung jarak T_s terhadap C_c

$$\begin{aligned} Z_1 &= d - \frac{1}{2} \times a \\ &= 441 - \frac{1}{2} \times 52,102 \\ &= 414,45 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_2 &= d - d' \\ &= 441 - 59,5 \end{aligned}$$

$$= 381 \text{ mm}$$

Momen nominal (Mnb)

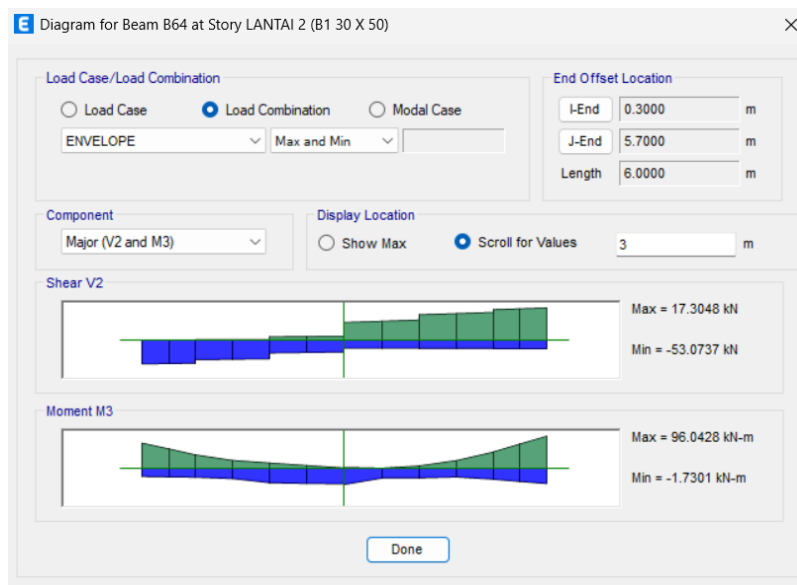
$$\begin{aligned} M_n &= \left[C_c \times Z1 \right] + \left[T_s \times Z2 \right] \\ &= \left[332149,85 \times 414,45 \right] + \left[357065 \times 381 \right] \\ &= 273700985,5 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_r &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 273700986 \\ &= 246330887 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} \phi M_n &> M_u \\ 246330887 &> 101075000 \text{ (Memenuhi)} \end{aligned}$$

4.11.5 Perhitungan Penulangan Lapangan

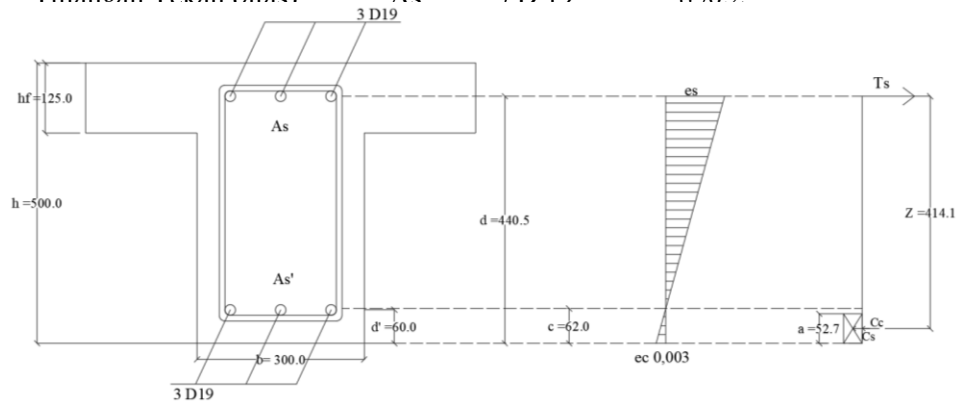


$$\begin{aligned} M_u (-) &= 1,73 \text{ kNm} = 1730000 \text{ Nmm} \\ M_u (+) &= 96,04 \text{ kNm} = 96042000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

a. Kontrol Momen Negatif Lapangan (Atas)

Tulangan Tarik (bawah) $A_s : 3 D 19 = 850,2$

Tulangan Tekan (atas) $A_{s'} : 3 D 19 = 850,2$



Gambar 4.34 Penampang balok dan diagram tegangan momen negatif lapangan atas

1) Perhitungan luas tulangan tarik (A_s)

$$\begin{aligned}
 A_s &= n \times \text{Luas tulangan} \\
 &= 3 \times \frac{1}{4} \times f_t \times D^2 \\
 &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\
 &= 850,2 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

2) Perhitungan luas tulangan tarik ($A_{s'}$)

$$\begin{aligned}
 A_{s'} &= n \times \text{Luas tulangan} \\
 &= 3 \times \frac{1}{4} \times f_t \times D^2 \\
 &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\
 &= 850,2 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

3) Perhitungan titik berat tulangan

Tulangan tekan ($A_{s'}$)

$$\begin{aligned}
 d' &= s_b + D_{\text{tul.sengkang}} + \left[\frac{1}{2} \times D_{\text{tul.pokok}} \right] \\
 &= 40 + 10 + \left[0,5 \times 19 \right] \\
 &= 60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan tarik (As)

$$\begin{aligned} d &= h - d' \\ &= 500 - 60 \\ &= 440,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jika dimisalkan garis netral $> d'$ maka perhitungan garis netral harus dicari

menggunakan persamaan :

$$C_c + C_s = T_s$$

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$\epsilon_c = 0,003$$

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

$$0,85 \times f_c' \times a \times b + A_s' \times f_s' = A_s \times f_y$$

Substitusi nilai f_s' :

$$\frac{f_s'}{\epsilon_c} = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c \times E_s$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c \times E_s$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \times 0,003 \times 200000$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \times 600$$

$$0,85 \times f_c' \times a \times b + A_s' \times \left(\frac{c-d'}{c} \times 600 \right) = A_s \times f_y \times c$$

$$0,85 \times f_c' \times a \times b \times c + A_s' \times 600 \times c - A_s' \times 600 \times d' = A_s \times f_y \times c$$

Substitusi nilai $a = \beta_1 \times c$

$$0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times c \times b \times c + A_s' \times 600 \times c - A_s' \times 600 \times d' = A_s \times f_y \times c$$

$$0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times b \times c^2 + A_s' \times 600 \times c - A_s' \times 600 \times d' = A_s \times f_y \times c$$

$$\begin{aligned} 0,85 \times 25 \times 0,85 \times 300 \times c^2 + 850,2 \times 600 \\ \times c - 850,2 \times 600 \times 60 = 850,2 \times 420 \times c \end{aligned}$$

$$5418,75 c^2 + 510093 c - 30350534 = 357065 c$$

$$5418,75 c^2 + 153028 c - 30350534 = 0$$

Menghitung nilai c dengan rumus abc :

$$a = 5418,75$$

$$b = 153028$$

$$c = -30350534$$

$$C_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$C_{1,2} = \frac{-153028 \pm \sqrt{153027,9^2 - 4 \times 5418,75 \times -30350534}}{2 \times 5418,75}$$

$$C_1 = \frac{-153028 + \sqrt{681265351791}}{10837,5}$$

$$= 62,04$$

$$C_2 = \frac{-153027,90 - \sqrt{681265351791}}{10837,5}$$

$$= -90,28$$

$$5418,75 c^2 + 153027,9 c - 30350534 = 0$$

$$\left[5418,75 \times 62,04 \right]^2 + \left[153027,9 \times 62,04 \right] - 30350534 = 0$$

$$0 = 0$$

Maka dipakai nilai $c = 62,04 > 59,5 \rightarrow \text{OK}$

Dari perhitungan nilai c ternyata lebih besar dari d', maka dilanjutkan menghitung nilai a :

Menghitung tinggi balok tegangan

$$a = \beta l \times c$$

$$= 0,85 \times 62,04$$

$$= 52,734 \text{ mm}$$

Menghitung regangan tulangan

Regangan tulangan ulir

$$\begin{aligned}\epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{420}{200000} \\ &= 0,0021\end{aligned}$$

Regangan tulangan tekan

$$\begin{aligned}\epsilon_s' &= \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c \\ &= \frac{62,04 - 59,5}{62,04} \times 0,003 \\ &= 0,00012 < \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{Tulangan belum leleh}\end{aligned}$$

Regangan tulangan tarik

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{d - c}{c} \times \epsilon_c \\ &= \frac{441 - 62,04}{62,04} \times 0,003 \\ &= 0,0183 > \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{Tulangan sudah leleh}\end{aligned}$$

Perhitungan nilai tegangan

$$\begin{aligned}f_s' &= \epsilon_s' \times E_s \\ &= 0,0001 \times 200000 \\ &= 24,566 \text{ MPa} < 420 \text{ MPa} \longrightarrow \text{Maka dipakai } f_s' = 24,566 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_s &= \epsilon_s \times E_s \\ &= 0,0183 \times 200000 \\ &= 3660,1 \text{ MPa} > 420 \text{ MPa} \longrightarrow \text{Maka dipakai } f_s = 420 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai ϵ_s sesudah leleh = 0,0183 > 0,005 (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

Maka diambil ϕ : 0,9

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \\ &= 0,85 \times 25 \times 52,734 \times 300 \\ &= 336180,05 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= A_s' \times f_s' \\ &= 850,2 \times 24,566 \\ &= 20885,05 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_s &= A_s \times f_y \\ &= 850,2 \times 420 \\ &= 357065 \text{ N} \end{aligned}$$

Cek syarat kesetimbangan

$$\begin{aligned} C_c + C_s &= T_s \\ 336180,05 + 20885,05 &= 357065 \\ 357065 &= 357065 \quad \text{(Kondisi Seimbang Terpenuhi)} \end{aligned}$$

Menghitung jarak Ts terhadap Cc

$$\begin{aligned} Z &= d - \frac{1}{2} \times a \\ &= 441 - \frac{1}{2} \times 52,734 \\ &= 414,13 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen nominal (Mnb)

$$\begin{aligned} M_n &= C_c \times Z \\ &= 336180,05 \times 414,13 \\ &= 139223231,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_r &= \phi \times M_n \\
 &= 0,9 \times 139223232 \\
 &= 125300908,5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

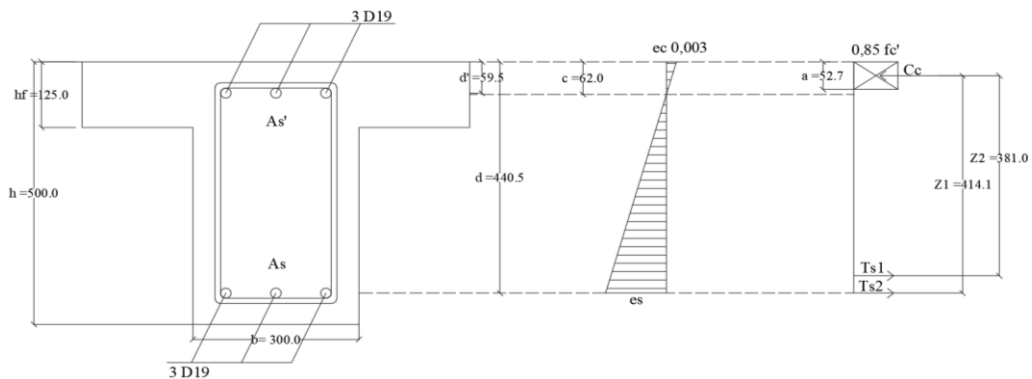
Kontrol :

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &> M_u \\
 125300909 &> 1730000 \quad \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

b. Kontrol Momen Positif Lapangan (Bawah)

Tulangan Tarik (atas) A_s : 3 D 19 = 850,2

Tulangan Tekan (bawah) A_s' : 3 D 19 = 850,2



Gambar 4.35 Penampang balok dan diagram tegangan momen negatif lapangan bawah

1) Perhitungan luas tulangan tarik (A_s)

$$\begin{aligned}
 A_s1 &= n \times \text{Luas tulangan} \\
 &= 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\
 &= 850,2 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

2) Perhitungan luas tulangan tarik (As')

$$\begin{aligned}
 A_s' &= n \times \text{Luas tulangan} \\
 &= 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 19^2 \\
 &= 850,2 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

3) Perhitungan titik berat tulangan

Tulangan tekan (As')

$$\begin{aligned}
 d' &= s_b + D.\text{tul.senggang} + \left[\frac{1}{2} \times D.\text{tul.pokok} \right] \\
 &= 40 + 10 + \left[0,5 \times 19 \right] \\
 &= 59,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan tarik (As)

$$\begin{aligned}
 d &= h - s_b - D.\text{TulanganSenggang} - \frac{1}{2} D.\text{tulangan Pokok} \\
 &= 500 - 40 - 10 - \left[0,5 \times 19 \right] \\
 &= 440,5
 \end{aligned}$$

Jika dimisalkan garis netral $> d'$ maka perhitungan garis netral harus dicari menggunakan persamaan :

$$C_c + C_s = T_s$$

$$C_c = 0,85 \times f_c' \times a \times b$$

$$\epsilon_c = 0,003$$

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

$$0,85 \times f_c' \times a \times b + A_s' \times f_s' = A_s \times f_y$$

Substitusi nilai f_s' :

$$\frac{f_s'}{\epsilon_c} = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c \times E_s$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c \times E_s$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \times 0,003 \times 200000$$

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \times 600$$

$$0,85 \times f_c' \times a \times b + A_s' \times \left(\frac{c-d'}{c} \right) \times 600 = A_s \times f_y \times c$$

$$0,85 \times f_c' \times a \times b \times c + A_s' \times 600 \times c - A_s' \times 600 \times d' = A_s \times f_y \times c$$

Substitusi nilai $a = \beta_1 \times c$

$$0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times c \times b \times c + A_s' \times 600 \times c - A_s' \times 600 \times d' = A_s \times f_y \times c$$

$$0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times b \times c^2 + A_s' \times 600 \times c - A_s' \times 600 \times d' = A_s \times f_y \times c$$

$$0,85 \times 25 \times 0,85 \times 300 \times c^2 + 850,2 \times 600 \times c - 850,2 \times 600 \times 60 = 850,2 \times 420 \times c$$

$$5418,75 \times c^2 + 510093 \times c - 30350534 = 357065 \times c$$

$$5418,75 \times c^2 + 153028 \times c - 30350534 = 0$$

Menghitung nilai C dengan rumus abc :

$$a = 5418,75$$

$$b = 153028$$

$$c = -30350534$$

$$C_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$C_{1,2} = \frac{-153028 \pm \sqrt{153027,9^2 - 4 \times 5418,75 \times -30350534}}{2 \times 5418,75}$$

$$C_1 = \frac{-153028 + \sqrt{681265351791}}{10837,5}$$

$$= 62,04$$

$$C_2 = \frac{-153027,90 - \sqrt{681265351791}}{10837,5}$$

$$= -90,28$$

$$5418,75 c^2 + 153027,9 c - 30350534 = 0$$

$$\left[5418,75 \times 62,04 \right]^2 + \left[153027,9 \times 62,04 \right] - 30350534 = 0$$

$$0 = 0$$

Maka dipakai nilai $c = 62,04 > 59,5 \rightarrow$ **OK**

Dari perhitungan nilai c ternyata lebih besar dari d' , maka dilanjutkan menghitung nilai a :

Menghitung tinggi balok tegangan

$$a = \beta_1 \times c$$

$$= 0,85 \times 62,04$$

$$= 52,734 \text{ mm}$$

Menghitung regangan tulangan

Regangan tulangan ulir

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$= \frac{420}{200000}$$

$$= 0,0021$$

Regangan tulangan tekan

$$\epsilon_{s'} = \frac{c - d'}{c} \times \epsilon_c$$

$$= \frac{62,04 - 59,5}{62,04} \times 0,003$$

$$= 0,00012 < \epsilon_y = 0,0021 \rightarrow$$
 Tulangan belum leleh

Regangan tulangan tarik

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \frac{d - c}{c} \times \epsilon_c \\ &= \frac{441 - 62,04}{62,04} \times 0,003 \\ &= 0,0183 > \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{Tulangan sudah leleh}\end{aligned}$$

Perhitungan nilai tegangan

$$\begin{aligned}f_s' &= \epsilon_s' \times E_s \\ &= 0,000 \times 200000 \\ &= 24,566 \text{ MPa} < 420 \text{ MPa} \longrightarrow \text{Maka dipakai } f_s' = 24,566 \text{ MPa} \\ f_s &= \epsilon_s \times E_s \\ &= 0,0183 \times 200000 \\ &= 3660,1 \text{ MPa} > 420 \text{ MPa} \longrightarrow \text{Maka dipakai } f_s' = 420 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Menentukan nilai ϕ dari penampang yang terkendali tarik :

Karena nilai ϵ_s sesudah leleh = $0,0183 > 0,005$ (SNI 2847:2019 tabel 21.2.2)

Maka diambil $\phi = 0,9$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$\begin{aligned}C_c &= 0,85 \times f_c' \times a \times b \\ &= 0,85 \times 25 \times 52,734 \times 300 \\ &= 336180,05 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_s &= A_s' \times f_s' \\ &= 850,2 \times 24,566 \\ &= 20885,05 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_s &= A_s \times f_y \\ &= 850,2 \times 420 \\ &= 357065 \text{ N}\end{aligned}$$

Cek syarat kesetimbangan

$$\begin{aligned} C_c + C_s &= T_s \\ 336180,05 + 20885,05 &= 357065 \\ 357065 &= 357065 \quad \text{(Kondisi Seimbang Terpenuhi)} \end{aligned}$$

Menghitung jarak Ts terhadap Cc

$$\begin{aligned} Z1 &= d - \frac{1}{2} \times a \\ &= 440,5 - \frac{1}{2} \times 52,734 \\ &= 414,133 \quad \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z2 &= d - d' \\ &= 441 - 59,5 \\ &= 381 \quad \text{mm} \end{aligned}$$

Momen nominal (Mnb)

$$\begin{aligned} M_n &= \left[C_c \times Z1 \right] + \left[T_s \times Z2 \right] \\ &= \left[336180,05 \times 414,13 \right] + \left[357065 \times 381 \right] \\ &= 275265034,8 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_r &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 275265035 \\ &= 247738531,3 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol :

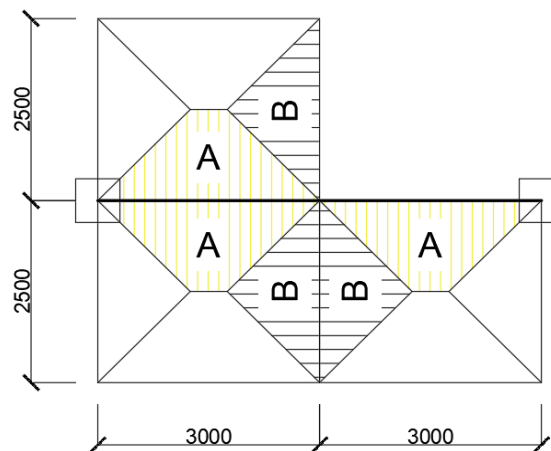
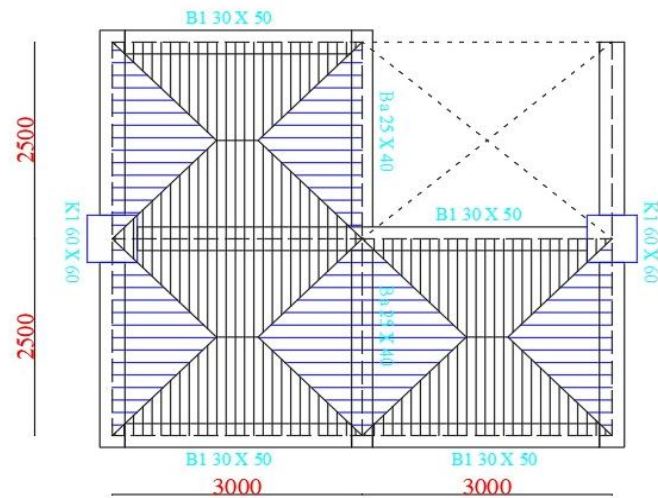
$$\begin{aligned} \phi M_n &> M_u \\ 247738531 &> 96042000 \quad \text{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Tabel 4.47 Penulangan Balok

Lokasi		Mn	Kebutuhan Tulangan	As Pasang	Mu	Kontrol Mn>Mu
Tump.	Kan. -	217016038	5 D 19	1416,9	200548000	OKE
	kan. +	246330887	3 D 19	1416,9	101075000	OKE
	kiri. -	217016037,6	5 D 19	1416,9	157146000	OKE
	Kiri. +	143185838	3 D 19	1416,9	50395000	OKE
Lap.	+	247738531	3 D 19	850,2	96042000	OKE
	-	125300909	3 D 19	850,2	1730000	OKE

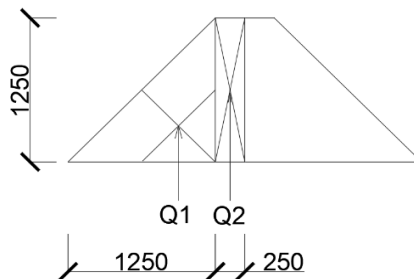
4.11.2 Perhitungan Beban yang Bekerja Pada Balok 30/50

1. Perhitungan Perataan Beban



Gambar 4.36 Perataan Beban

a) Perataan Beban Tipe A



$$\begin{aligned}
 Q1 &= \frac{1}{2} \times 1,25 \times 1,25 \\
 &= 0,78 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q2 &= b \times h \\
 &= 0,25 \times 1,25 \\
 &= 0,313 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 RAV &= Q1 \times Q2 \\
 &= 0,78 \times 0,31 \\
 &= 1,094 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

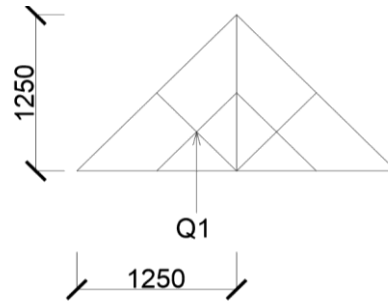
$$\begin{aligned}
 M1 &= RAV \times 1,50 - \left[Q1 \times \left(\frac{1}{3} \times 1,25 \right) \right. \\
 &\quad \left. + 0,25 \times \left(0,31 \times \left(\frac{1}{2} \times 0,25 \right) \right) \right] \\
 &= 1,09 \times 1,50 - \left[0,78 \times \left(\frac{1}{3} \times 1,25 \right) \right. \\
 &\quad \left. + 0,25 \times \left(0,31 \times \left(\frac{1}{2} \times 0,25 \right) \right) \right] \\
 &= 1,08
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M2 &= \frac{1}{8} \times h \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times h \times 3 \\
 &= 1,125 \text{ h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M1 &= M2 \times h \\
 1,081 &= 1,125 \text{ h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{M1}{M2} \\
 &= \frac{1,081}{1,125} = 0,961 < 1,250 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

b) Perataan beban B



Gambar 4.78 Perataan beban balok 30/60

$$\begin{aligned}
 Q1 &= \frac{1}{2} \times 1,25 \times 1,25 \\
 &= 0,78 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 RAV &= RBV = Q1 \\
 &= 0,78 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M1 &= RAV \times \text{jarak} - Q1 \times \frac{1}{3} \times 1,25 \\
 &= 0,78 \times 1,25 - 0,78 \times \frac{1}{3} \times 1,25 \\
 &= 0,65
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M2 &= \frac{1}{8} \times h \times L^2 \\
 &= \frac{1}{8} \times h \times 2,5^2 \\
 &= 0,78 \text{ h}
 \end{aligned}$$

$$M1 = M2$$

$$0,65 = 0,78 \quad h$$

$$h = \frac{0,65}{0,78}$$

$$h = 0,8333 < 1,25 \quad \text{OK}$$

2. Perhitungan beban yang bekerja pada balok induk (B 30/50)

Beban Mati

a. Beban sendiri balok

$$\begin{aligned} \text{Luas balok} &= \left\{ \begin{array}{l} b \quad \times \quad hf \\ 0,3 \quad \times \quad 0,5 \end{array} \right\} - \text{Tebal pelat} \\ &= \left\{ \begin{array}{l} 0,3 \quad \times \quad 0,5 \\ 0,3 \quad \times \quad 0,5 \end{array} \right\} - 0,125 \\ &= 0,113 \quad \text{m}^2 \end{aligned}$$

$$B_j \text{ beton} = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Berat} &= \text{Luas} \times B_j \text{ beton} \\ &= 0,113 \times 24 \\ &= 2,7 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

b. Beban mati tambahan (akibat dinding)

$$\begin{aligned} \text{SIDL} &= \left\{ \begin{array}{l} \text{Tinggi lantai} - h.\text{balok} \\ 4,5 \quad - \quad 0,5 \end{array} \right\} \times \text{Berat bata ringan} \\ &= \left\{ \begin{array}{l} 4,5 \quad - \quad 0,5 \\ 4,5 \quad - \quad 0,5 \end{array} \right\} \times 1,39 \\ &= 5,56 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

c. Berat pelat akibat perataan beban (h)

$$\begin{aligned} q_D \text{ pelat} &= h \times hf \times B_j \times \text{Jumlah perataan beban} \\ &= 0,96 \times 0,125 \times 24 \times 1,5 \\ &= 4,3229 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Total beban mati

$$q_D \text{ total (DL)} = \text{Berat sendiri balok} + \text{SIDL} + \text{Berat perataan beban}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,7 + 5,56 + 4 \\
 &= 11,23 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Beban hidup (LL) akibat perataan beban

$$\begin{aligned}
 LL &= h \times \text{berat fungsi ruangan} \times \text{jumlah perataan beban} \\
 &= 0,96 \times 2,4 \times 1,5 \\
 &= 3,4583 \text{ kN/m} \\
 \text{WU Komb} &= \left[1 \times DL \right] + \left[1 \times LL \right] \\
 &= \left[1 \times 11,23 \right] + \left[1 \times 3,4583 \right] \\
 &= 16,93 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan beban yang bekerja akibat balok anak

Beban Mati

a. Beban sendiri balok anak

$$\begin{aligned}
 \text{Luas balok} &= \left\{ b \times hf \right\} - \text{Tebal pelat} \\
 &= \left\{ 0,25 \times 0,4 \right\} - 0,125 \\
 &= 0,069 \text{ m}^2 \\
 \text{Bj beton} &= 24 \text{ kN/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat} &= \text{Luas} \times \text{Bj beton} \\
 &= 0,069 \times 24 \\
 &= 1,65 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

b. Berat pelat akibat perataan beban (h)

$$\begin{aligned}
 qD \text{ pelat} &= h \times hf \times BJ \times \text{Jumlah perataan beban} \\
 &= 0,8 \times 0,125 \times 24 \times 1,5 \\
 &= 3,75 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Total beban mati

$$\begin{aligned}
 qD \text{ total (DL)} &= \text{Berat sendiri balok anak} + \text{Berat pelat akibat} \\
 &\quad \text{perataan beban} \\
 &= 1,65 + 3,75 \\
 &= 5,40 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Beban Hidup (LL) akibat perataan beban

$$\begin{aligned} LL &= h \times \text{berat fungsi ruangan} \times \text{jumlah perataan beban} \\ &= 0,8 \times 2,4 \times 1,5 \\ &= 3 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{WU Komb} &= \left[1 \times \text{DL} \right] + \left[1 \times \text{LL} \right] \\ &= \left[1 \times 5,40 \right] + \left[1 \times 3 \right] \\ &= 9,48 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u &= \frac{W_u}{2} \\ &= \frac{9,48}{2} \\ &= 4,74 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.11.3 Perhitungan Penulangan Geser Balok

Balok yang di analisa dengan data sebagai berikut :

Lebar Balok (bw)	=	300	mm
Tinggi Balok (h)	=	500	mm
Selimut Beton (cb)	=	40	mm
Mutu Beton (fc')	=	25	Mpa
fy ulir	=	420	Mpa
fy sengkang ulir	=	280	Mpa
Diameter Tul. Pokok(D)	=	19	mm
Diameter Tul. Sengkang (d)	=	10	mm
L Balok	=	6000	mm
Es baja	=	200000	MPa
Ln Balok Bersih	=	5400	
Pu balok dari tributari beban area pelat	=	4,74	kN
Wu balok dari tributari beban area pelat	=	16,93	kN/m

1. Menghitung Mpr (Momen pada ujung balok)

- a. Kapasitas momen ujung balok akibat struktur bergoyang ke kiri

$$\begin{aligned} \text{Mpr1 (-)} &= \text{Mpr (-) Tumpuan Kiri} \\ &= 196432500,00 \quad \text{Nmm} \\ &= 196,43 \quad \text{kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mpr4 (+)} &= \text{Mpr (+) Tumpuan Kanan} \\ &= 126343750,00 \quad \text{Nmm} \\ &= 126,34 \quad \text{kNm} \end{aligned}$$

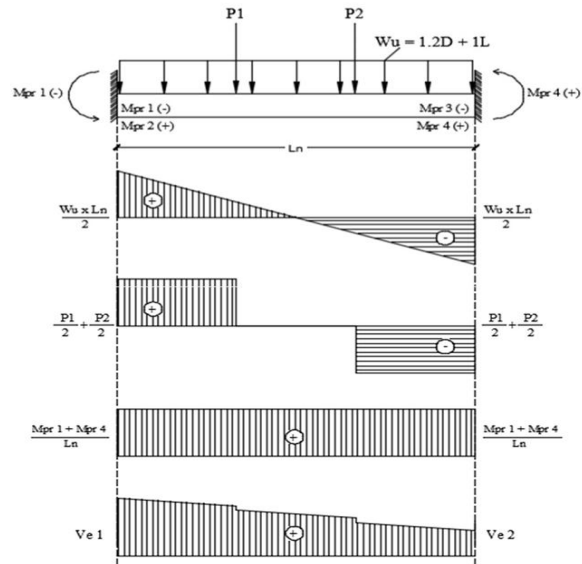
- b. Kapasitas momen ujung balok akibat struktur bergoyang ke kanan

$$\begin{aligned} \text{Mpr3 (-)} &= \text{Mpr (-) Tumpuan kanan} \\ &= 250730000,00 \quad \text{Nmm} \\ &= 250,73 \quad \text{kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mpr2 (+)} &= \text{Mpr (+) Tumpuan Kiri} \\ &= 62993750,00 \quad \text{Nmm} \\ &= 62,99 \quad \text{kNm} \end{aligned}$$

2. Menghitung Mpr gaya geser setiap kondisi

- a. Perhitungan gaya geser desain apabila struktur bergoyang ke kiri



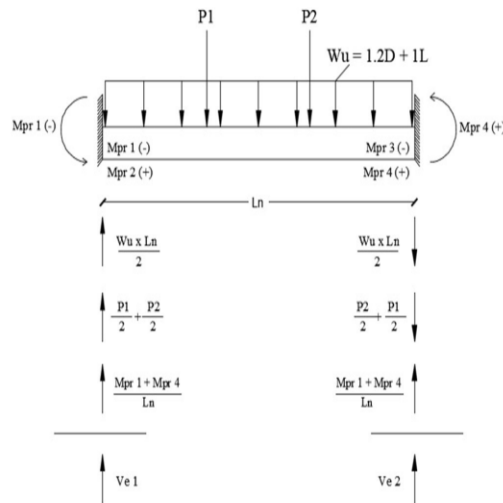
Gambar 4.37 Skema gaya geser balok apabila struktur bergoyang ke kiri

- Gaya geser akibat beban gravitasi

$$\begin{aligned}
 Vq \text{ kiri} &= \frac{Wu \times Ln + P}{2} \\
 &= \frac{16,93 \times 5,40 + 4,74}{2} \\
 &= 48,09 \text{ kN} \\
 &= 48089,19 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Vq \text{ kanan} &= \frac{Wu \times Ln + P}{2} \\
 &= \frac{16,93 \times 5,40 + 4,74}{2} \\
 &= 48,09 \text{ kN} \\
 &= 48089,19 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Gaya geser akibat momen ujung apabila bergoyang ke kiri



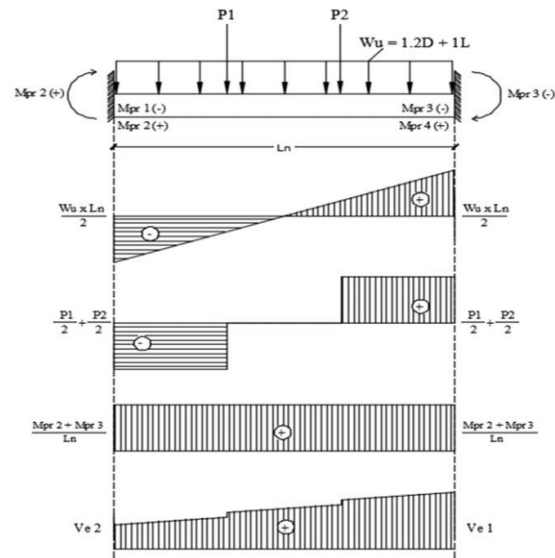
$$\begin{aligned}
 V_n &= \frac{M_{pr 1} + M_{pr 4}}{L_n} \\
 &= \frac{196,43 + 62,99}{5,40} \\
 &= 48,0418981 \text{ kN} \\
 &= 48041,89815 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Gaya geser desain akibat struktur bergoyang ke kiri

$$\begin{aligned}
 V_{e1} &= V_n + V_q \text{ kiri} \\
 &= 48041,89815 + 48089,190 \\
 &= 96131,088 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{e2} &= V_n - V_q \text{ kanan} \\
 &= 48041,89815 - 48089,190 \\
 &= 47,292 \text{ N}
 \end{aligned}$$

b. Menghitung probable capacities (Mpr) akibat goyangan ke kanan



Gambar 4.38 Skema gaya geser balok apabila struktur bergoyang ke kanan

- Gaya geser akibat beban gravitasi

$$\begin{aligned}
 V_q \text{ kiri} &= \frac{W_u \times L_n + P}{2} \\
 &= \frac{16,93 \times 5,40 + 4,74}{2} \\
 &= 48,089 \text{ kN} \\
 &= 48089,190 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_q \text{ kiri} &= \frac{W_u \times L_n + P}{2} \\
 &= \frac{16,933 \times 5,40 + 4,74}{2} \\
 &= 48,089 \text{ kN} \\
 &= 48089,190 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Gaya geser akibat momen ujung apabila bergoyang ke kanan

$$\begin{aligned}
 V_n &= \frac{M_{pr2} + M_{pr3}}{L_n} \\
 &= \frac{62,99 + 250,73}{5,40}
 \end{aligned}$$

$$= 58,10 \quad \text{kN}$$

$$= 58096,99 \quad \text{N}$$

- Gaya geser desain akibat struktur bergoyang ke kanan

$$V_{e1} = V_n - V_q \text{ kiri}$$

$$= 58096,99 - 48089,190$$

$$= 10007,801 \quad \text{N}$$

$$V_{e2} = V_n + V_q \text{ kanan}$$

$$= 58096,99 + 48089,190$$

$$= 106186,181 \quad \text{N}$$

3. Menghitung Kebutuhan Tulangan Geser pada daerah Sendi Plastis

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.6.5.2 halaman 382 menyatakan bahwa untuk daerah sendi plastis sepanjang $2h$ dari muka kolom, maka kontribusi beton dalam menahan geser, $V_c = 0$ apabila (a) dan (b) terjadi :

- a. Gaya geser yang ditimbulkan gempa dihitung dengan Pasal 18.6.5.1 mewakili $1/2$ atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam panjang tersebut
- b. Gaya tekan terfaktor (P_u) termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g \times f_c'/20$

Syarat 1

Tabel 4.48 Syarat Kekuatan Geser Balok

Arah Gempa	Geser Gempa	Tumpuan Kiri		Cek syarat
	V_n (N)	V_e (N)	$1/2 V_e$ (N)	$V_n \geq 0.5 V_e$
Kiri	48041,90	96131,09	48065,5441	Bed
Kanan	58096,99	47,29	23,65	Memenuhi

Arah Gempa	Geser Gempa	Tumpuan Kanan		Cek syarat
	V_n (N)	V_e (N)	$1/2 V_e$ (N)	$V_n \geq 0.5 V_e$
Kiri	48041,90	10007,80	5003,90	Memenuhi
Kanan	58096,99	106186,18	53093,0904	Memenuhi

Syarat 2



$$\begin{aligned} P_u &= 0 \text{ kN} \\ &= 0 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= 1 \times P_u \\ &= 1 \times 0 \\ &= 0 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_n < \frac{A_g \times f_c'}{20}$$

$$0 < \frac{132150 \times 25}{20}$$

$$0 < 165188 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi, Maka } V_c = 0)$$

Karena kedua syarat diatas terpenuhi maka V_c atau gaya geser yang diakibatkan

4. Perhitungan Tulangan Geser Pada Daerah sendi Plastis Tumpuan Kanan

Kekuatan geser nominal tulangan geser

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_e}{0,75} - V_c \\ &= \frac{106186,181}{0,75} - 0 \\ &= 141581,57 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ max} &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\
 &= 0,66 \times \sqrt{25} \times 300 \times 440,50 \\
 &= 436095 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}
 V_s &< V_s \text{ maks} \\
 141581,57 &< 436095 \quad \mathbf{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Dicoba menggunakan sengkang 3 kaki D10, sehingga luasan sengkang adalah :

$$\begin{aligned}
 A_v &= 3 \times \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\
 &= 235,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4 hal. 381 menyatakan bahwa sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi nilai yang terkecil dari persamaan a, b, dan c

$$\text{a. } \frac{1}{4} \times d = \frac{1}{4} \times 441 = 110 \text{ mm}$$

$$\text{b. } 6 \times D = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

$$\text{c. } 150 \text{ mm}$$

Sehingga jarak maksimum sengkang (S_{mak}) = 114 mm

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\
 &= \frac{235,5 \times 280 \times 441}{141581,57} \\
 &= 205,16
 \end{aligned}$$

$$= 100 \text{ mm} < 114 \text{ mm} \quad \text{Memenuhi}$$

Sehingga digunakan tulangan sengkang D10 - 100

$$V_s \text{ ada} = \frac{A_{sv} \times f_y \times d}{S}$$

$$= \frac{235,5 \times 280 \times 440,50}{100}$$

$$= 290465,70 \text{ N}$$

$$V_n = V_c + V_s \text{ ada}$$

$$= 0 + 290465,7$$

$$= 290465,70 \text{ N}$$

$$\phi V_n = \phi \times V_n$$

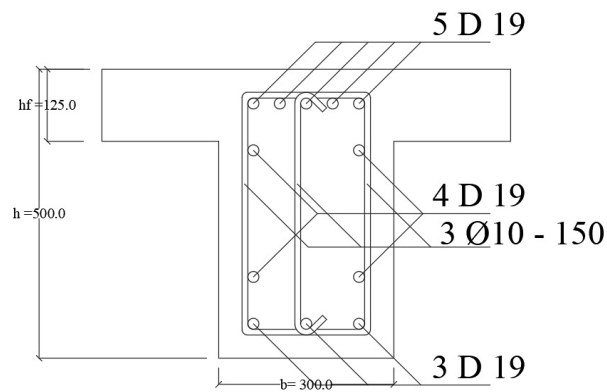
$$= 0,75 \times 290465,70$$

$$= 217849,275 \text{ N}$$

Kontrol :

$$\phi V_n > V_e$$

$$217849,275 > 106186,181 \quad \text{Memenuhi}$$



Gambar 4.39 Detail tulangan transversal daerah sendi plastis tumpuan kanan

5) Menghitung Kebutuhan Tulangan Geser Daerah Sendi Plastis Tumpuan Kiri

Kekuatan geser nominan tulangan geser

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_e}{0,75} - V_c \\ &= \frac{96131,088}{0,75} - 0 \\ &= 128174,78 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ max} &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{25} \times 300 \times 440,5 \\ &= 436095 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} V_s &< V_s \text{ maks} \\ 128174,78 &< 436095 \quad \textbf{Memenuhi} \end{aligned}$$

Dicoba menggunakan sengkang 3 kaki D10, sehingga luasan sengkang adalah :

$$\begin{aligned} A_v &= 3 \times \frac{1}{4} \pi D_{10}^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 235,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.4 hal. 381 menyatakan bahwa sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm muka komponen struktur penumpu.

Spasi sengkang tertutup tidak boleh melebihi nilai yang terkecil dari persamaan a, b, dan c.

$$\text{a. } \frac{1}{4} \times d = \frac{1}{4} \times 440,5 = 110 \text{ mm}$$

$$\text{b. } 6 \times D = 6 \times 19 = 114 \text{ mm}$$

$$\text{c. } 150 \text{ mm}$$

Sehingga jarak maksimum sengkang (S_{maks}) = 114 mm

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s} \\
 &= \frac{235,5 \times 280 \times 441}{128174,78} \\
 &= 226,62 = 100 \text{ mm} < 150 \text{ mm} \quad \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan sengkang D13 - 100

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ ada} &= \frac{A_{sv} \times f_y \times d}{S} \\
 &= \frac{235,5 \times 280 \times 440,5}{100}
 \end{aligned}$$

$$= 290465,70 \text{ N}$$

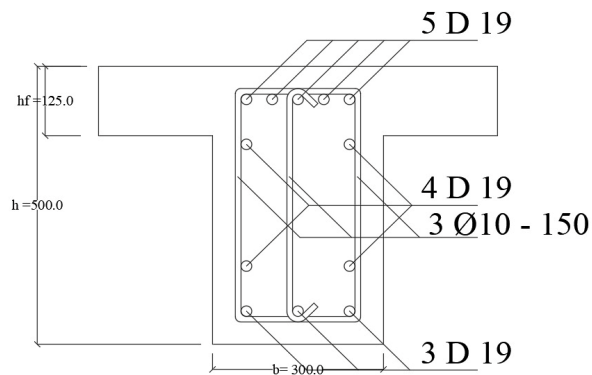
$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \text{ ada} \\
 &= 0 + 290465,7 \\
 &= 290465,70 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= \phi \times V_n \\
 &= 0,75 \times 290465,7 \\
 &= 217849,275 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\phi V_n > V_e$$

$$217849,275 > 96131,088 \quad \text{Memenuhi}$$



Gambar 4.40 Detail tulangan transversal daerah sendi plastis tumpuan kiri

6) Perhitungan Tulangan Geser Pada Daerah Luar Sendi Plastis Tumpuan Kiri

Panjang Sendi Plastis

$$2h = 2 \times 500$$

$$= 1000 \text{ mm}$$

$$L_n = 5400 \text{ mm}$$

Untuk daerah diluar sendi plastis beton dianggap mampu menahan gaya geser (V_c)

$$\frac{L_n - 2h}{L_n} = \frac{V_e \text{ Lapangan}}{V_e \text{ kiri} - V_e \text{ kanan}}$$

$$\begin{aligned} V_{e_{Lap}} &= \frac{(L_n - 2h) \cdot (V_e \text{ kiri} - V_e \text{ kanan})}{L_n} \\ &= \frac{5400 - 1000 \times 96131,088 - 47,29}{5400} \\ &= 78290,501 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c} \times b \times d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 300 \times 440,5 \\ &= 112327,5 \text{ N} \\ &= 112,328 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_e \text{ lapangan}}{\phi} - V_c \\ &= \frac{78290,501}{0,75} - 112327,500 \\ &= -7940,1658 \text{ N} \\ &= -7,9402 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ maks} &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times 1 \times \sqrt{25} \times 300 \times 440,5 \\ &= 436095 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} V_s &< V_s \text{ maks} \\ -7940,1658 &< 436095 \quad \mathbf{Memenuhi} \end{aligned}$$

Dicoba sengkang 3 kaki D13, sehingga luas sengkang adalah :

$$\begin{aligned} A_{sv} &= n \times 1/4 \pi \times D^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 10^2 \\ &= 235,71 \end{aligned}$$

Jarak maksimum tulangan transversal pada daerah luar sendi plastis sesuai SNI 2847 2019 pasal 18.6.4.6, yaitu :

$$\frac{d}{2} = \frac{440,5}{2} = 220,25 \text{ mm}$$

Sehingga jarak maksimum sengkang (S maks) = 220,25 mm

$$\begin{aligned} S &= \frac{A_{sv} \times f_y \times d}{V_s} \\ &= \frac{235,71 \times 280 \times 440,5}{-7940,165752} \\ &= 3661,5 \text{ mm} = 150 \text{ mm} < 220,25 \text{ mm} \quad \mathbf{Memenuhi} \end{aligned}$$

Sehingga digunakan tulangan sengkang D10 - 150

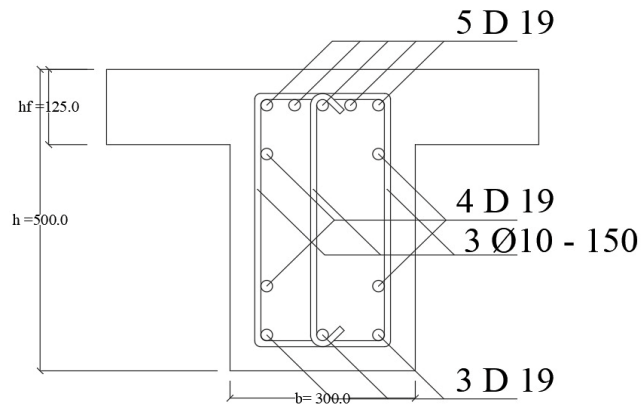
$$\begin{aligned} V_s \text{ ada} &= \frac{A_{sv} \times f_y \times d}{S} \\ &= \frac{235,71 \times 280 \times 440,5}{150} \\ &= 193820 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \\ &= 112327,5 + 193820 \\ &= 306147,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= \phi \times V_n \\
 &= 0,75 \times 306147,5 \\
 &= 229610,625 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &> V_e \text{ lapangan} \\
 229610,625 &> 78290,501 \quad \mathbf{Memenuhi}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.41 Detail tulangan transversal daerah luar sendi plastis tumpuan kiri

7) Perhitungan Tulangan Geser Pada Daerah Luar Sendi Plastis Tumpuan Kanan

Panjang Sendi Plastis

$$\begin{aligned}
 2h &= 2 \times 500 \\
 &= 1000 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$L_n = 5400 \text{ mm}$$

Untuk daerah diluar sendi plastis beton dianggap mampu menahan gaya geser (V_c)

$$\begin{aligned}
 \frac{L_n - 2h}{L_n} &= \frac{V_e \text{ Lapangan}}{V_e \text{ kanan} - V_e \text{ kiri}} \\
 V_{e_{Lap}} &= \frac{(L_n - 2h) \cdot (V_e \text{ kanan} - V_e \text{ kiri})}{L_n} \\
 &= \frac{5400 - 1000 \times 106186,18 - 10007,80}{5400} \\
 &= 78367,569
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_c &= 0.17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
&= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 300 \times 440,5 \\
&= 112327,5 \text{ N} \\
&= 112,328 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_s &= \frac{V_e \text{ lapangan} - V_c}{\phi} \\
&= \frac{78367,569 - 112,328}{0,75} \\
&= 104377,764 \text{ N} \\
&= 104,3778 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_s \text{ maks} &= \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
&= 0,66 \times 1 \times \sqrt{25} \times 300 \times 440,5 \\
&= 436095 \text{ N}
\end{aligned}$$

Kontrol

$$V_s < V_s \text{ maks}$$

$$104377,764 < 436095 \quad \text{Memenuhi}$$

Dicoba sengkang 3 kaki D 13, sehingga luas sengkang adalah :

$$\begin{aligned}
A_{sv} &= n \times \frac{1}{4} \pi \times D^2 \\
&= 3 \times \frac{1 \times 3,14 \times 10^2}{4} \\
&= 235,71
\end{aligned}$$

Jarak maksimum tulangan transversal pada daerah luar sendi plastis sesuai

SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.6, yaitu :

$$\frac{d}{2} = \frac{440,5}{2} = 220,25 \text{ mm}$$

Sehingga jarak maksimum sengkang (S maks) = 220,25 mm

$$\begin{aligned}
S &= \frac{A_{sv} \times f_y \times d}{V_s} \\
&= \frac{235,71 \times 280 \times 440,5}{104377,7644}
\end{aligned}$$

$$= 278,54 \text{ mm} = 150 \text{ mm} < 220,25 \text{ mm} \quad \text{Memenuhi}$$

Sehingga digunakan tulangan sengkang D13 - 150

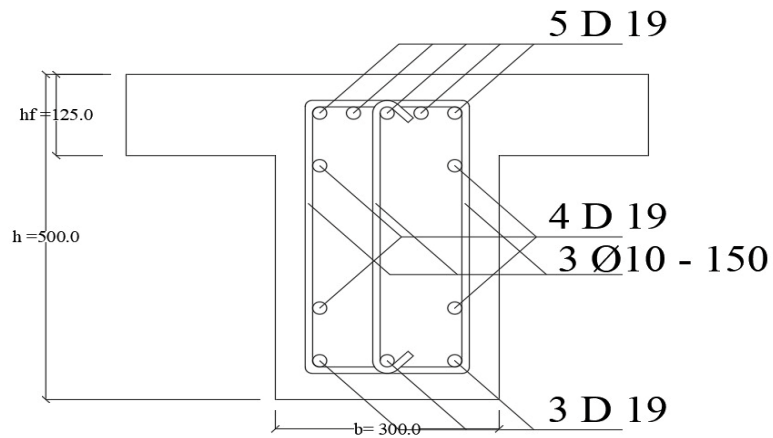
$$\begin{aligned} V_s \text{ ada} &= \frac{A_{sv} \times f_y \times d}{S} \\ &= \frac{235,71 \times 280 \times 440,5}{150} \\ &= 193820 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \text{ ada} \\ &= 112327,5 + 193820 \\ &= 306147,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \times V_n \\ &= 0,75 \times 306147,5 \\ &= 229610,625 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} \phi V_n &> V_e \text{ lapangan} \\ 229610,625 &> 78367,569 \quad \text{Memenuhi} \end{aligned}$$



Gambar 4.42 Detail tulangan transversal daerah luar sendi plastis tumpuan kanan

Dari hasil perhitungan desain tulangan geser diatas, maka dipasang tulangan sebagai berikut :

Daerah Sendi Plastis Tumpuan Kiri	= 3 kaki D 13 - 100 mm
Daerah Sendi Plastis Tumpuan Kanan	= 3 kaki D 13 - 100 mm
Daerah Luar Sendi Plastis Tumpuan Kiri	= 3 kaki D 13 - 150 mm
Daerah Luar Sendi Plastis Tumpuan Kanan	= 3 kaki D 13 - 150 mm

4.12.2 Kontrol Penulangan Torsi Balok

Berdasarkan (SNI 2847:2019) pasal 22.7.1.1 halaman 509 dijelaskan bahwa pasal ini harus diterapkan pada komponen struktur jika $T_u > \phi T_{th}$. Dan jika $T_u < \phi T_{th}$ maka diperbolehkan untuk mengabaikan pengaruh torsi. Momen torsi yang tidak melampaui batas ambang torsi tidak akan mengakibatkan penurunan kapasitas lentur maupun geser yang signifikan sehingga dapat diabaikan.

1) Kontrol Pengaruh torsi Pada Penampang Balok

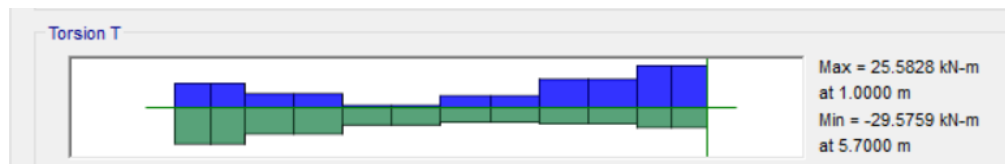
$$\phi T_{th} = \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}$$

Luas penampang :

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 300 \times 500 \\ &= 150000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang

$$\begin{aligned} P_{cp} &= \left(2 \times b \right) + \left(2 \times h \right) \\ &= \left(2 \times 300 \right) + \left(2 \times 500 \right) \\ &= 1600 \text{ mm} \end{aligned}$$



Jika $T_u < T_{th}$, maka tulangan torsi diabaikan

$$\begin{aligned} T_u &= 29,5759 \text{ kNm} \text{ (Output Etabs 2022)} \\ &= 29575900 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi T_{th} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \\ &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times \frac{150000^2}{1600} \\ &= 4376953,13 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$T_u < \phi T_{th}$$

$$29575900 > 4376953,13 \quad \text{Perlu penulangan torsi}$$

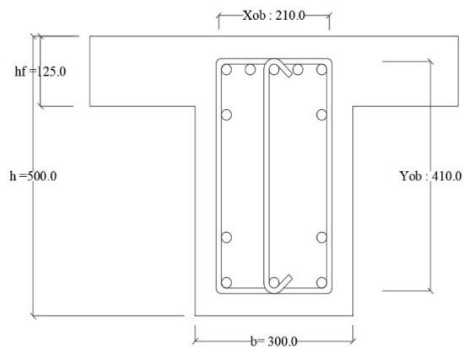
Retak Akibat Torsi

Berdasarkan (SNI 2847:2019) pasal 22.7.3.2 halaman 510 dijelaskan bahwa momen torsi bisa direduksi dengan redistribusi gaya internal setelah retak (22.7.3.2) jika torsi terjadi dari komponen struktur terpuntir untuk mempertahankan kompatibilitas deformasi. Torsi jenis ini disebut torsi kompatibilitas. Pada struktur statis tak tentu dimana $T_u > \phi T_{cr}$,

Kekuatan torsi dapat direduksi menggunakan ϕT_{cr}

$$\begin{aligned} \phi T_{cr} &= \phi \times 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \\ &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{25} \times \frac{150000^2}{1600} \\ &= 17402343,8 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

2) Kontrol Batasan Penampang



Gambar. 4.43 Skema Xob dan Yob

Lebar daerah tertutup dari garis pusat tulangan transversal

$$\begin{aligned}
 X_{ob} &= b - \left(2 \times cb \right) - 2 \times \left(\frac{1}{2} \times D \right) \\
 &= 300 - \left(2 \times 40 \right) - 2 \times \left(\frac{1}{2} \times 10 \right) \\
 &= 210 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tinggi daerah tertutup dari garis pusat tulangan transversal

$$\begin{aligned}
 Y_{ob} &= h - \left(2 \times cb \right) - 2 \times \left(\frac{1}{2} \times D \right) \\
 &= 500 - \left(2 \times 40 \right) - 2 \times \left(\frac{1}{2} \times 10 \right) \\
 &= 410 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tinggi daerah tertutup dari garis pusat tulangan transversal

$$\begin{aligned}
 Ph &= 2 \times \left\{ X_{ob} + Y_{ob} \right\} \\
 &= 2 \times \left\{ 210 + 410 \right\} \\
 &= 1240 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas daerah tertutup dari garis pusat tulangan transversal

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= X_{ob} \times Y_{ob} \\
 &= 210 \times 410 \\
 &= 86100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_o &= 0,9 \times A_{oh} \\
 &= 0,9 \times 86100 \\
 &= 73185 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Pemeriksaan kecukupan penampang solid (SNI 2847:2019 pasal 22.7.7.1 halaman 516)

$$= \sqrt{\left(\frac{V_u}{bxd}\right)^2 + \left(\frac{T_u \times Ph}{1.7 \times A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{bxd}\right) + 0.66\sqrt{f_c'}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{116193,981}{300 \times 440,5}\right)^2 + \left(\frac{17402343,75 \times 1240}{1,7 \times 86100^2}\right)^2} \leq 0,75 \left(\frac{112327,5}{300 \times 440,5}\right) + 0,66\sqrt{25}$$

$$= 1,9248 \leq 4,2525 \quad \text{Memenuhi}$$

dimana :

$$\begin{aligned} V_u &= V_{e1} + V_{e2} \\ &= 10008 + 106186,18 \\ &= 116193,981 \text{ N} \\ V_c &= 112327,5 \text{ N} \\ T_u &= 17402343,8 \text{ N} \\ b &= 300 \text{ mm} \\ d &= 440,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

3) Desain Penulangan Torsi

Berdasarkan (SNI 2847:2019) pasal 22.7.6.1 dijelaskan bahwa untuk komponen struktur prategang dan non prategang, nilai T_n diambil dari nilai terkecil antara poin dibawah ini. Dimana A_t adalah luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan torsi;

A_l adalah luas tulangan longitudinal torsi. Luas satu kaki sengkang tertutup

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times 3,1429 \times 10^2 \\ &= 78,571 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan longitudinal torsi

$$\begin{aligned} A_l &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \times 3,1429 \times 19^2 \\ &= 314,285714 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Ketahanan torsi terhadap sengkang tutup

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{2 \times A_o \times A_t \times f_{yt} \times \cot \theta}{S} \\
 &= \frac{2 \times 73185 \times 78,571 \times 420 \times \cot 45}{100} \\
 &= 48302100 \text{ Nmm} \quad \textbf{Persamaan 1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{2 \times A_o \times A_l \times f_{yt} \times \cot \theta}{S} \\
 &= \frac{2 \times 73185 \times 314,29 \times 420 \times \cot 45}{100} \\
 &= 193208400 \text{ Nmm} \quad \textbf{Persamaan 2}
 \end{aligned}$$

Sehingga dalam perhitungan diatas ketahanan torsi dipakai yang terkecil yaitu persamaan 1 yaitu:

$$\begin{aligned}
 T_n &= 48302100 \text{ Nmm} \\
 \phi T_n &= \phi \times T_n \\
 &= 0,75 \times 193208400 \\
 &= 144906300 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek kekuatan tulangan torsi

$$\begin{aligned}
 \phi T_n &> T_u \\
 144906300 &> 17402343,8 \quad \textbf{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan (SNI 2847:2019) pasal 9.6.4.2 halaman 193 dijelaskan bahwa tulangan torsi diperlukan, tulangan transversal harus lebih besar tulangan transversal minimum.

Luas satu kaki sengkang tertutup per jarak sengkang

$$\begin{aligned}
 \frac{A_t}{s} &= \frac{1 \times \pi \times D^2}{4 \times S} \\
 &= \frac{1 \times \pi \times 10^2}{4 \times 100} \\
 &= 0,7857 \text{ mm}^2/\text{mm/satu kaki}
 \end{aligned}$$

Luas sengkang yang berdekatan dengan sisi balok

$$\begin{aligned} A_{sv} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times 3,1429 \times 19^2 \\ &= 567,285714 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas dua kaki sengkang tertutup

$$\begin{aligned} \frac{A_v}{s} &= \frac{A_{sv}}{S} \\ &= \frac{567,29}{100} \\ &= 5,6729 \text{ mm}^2/\text{mm/satu kaki} \end{aligned}$$

Luas tulangan transversal

$$\begin{aligned} \frac{A_{vt}}{s} &= \frac{A_v}{s} + \frac{2A_t}{s} \\ &= 5,6729 + 2 \times 0,7857 \\ &= 7,2443 \text{ mm}^2/\text{mm/satu kaki} \end{aligned}$$

Luas tulangan transversal minimum

$$\begin{aligned} \frac{A_{vt \text{ min}}}{s} &= 0,0062 \times \sqrt{f_c'} \times \frac{b_w}{f_{yt}} \\ &= 0,0062 \times \sqrt{25} \times \frac{300}{420} \\ &= 0,0221 \text{ mm}^2/\text{mm/satu kaki} \end{aligned}$$

atau,

$$\begin{aligned} \frac{A_{vt \text{ min}}}{s} &= 0,35 \times \frac{b_w}{f_{yt}} \\ &= 0,35 \times \frac{300}{420} \\ &= 0,25 \text{ mm}^2/\text{mm/satu kaki} \end{aligned}$$

Maka, dipakai $A_v = 0,0221 \text{ mm}^2/\text{mm}/\text{satu kaki}$

Cek :

$A_v > A_{v \text{ min}}$

$7,24428571 > 0,02214286$ **Memenuhi**

Berdasarkan (SNI 2847:2019) pasal 9.6.4.2 halaman 193 dijelaskan bahwa tulangan torsi

diperlukan, tulangan longitudinal harus lebih besar tulangan longitudinal minimum.

$$\begin{aligned} A_{l \text{ min}} &= 0,42 \times \sqrt{f_c'} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - \frac{A_t}{s} \times Ph \times \frac{f_{yt}}{f_y} \\ &= 0,42 \times \sqrt{25} \times \frac{150000}{420} - \frac{78,571}{100} \times 1240 \times \frac{420}{420} \\ &= 224,29 \text{ mm}^2 \quad \text{Persamaan 1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{l \text{ min}} &= 0,42 \times \sqrt{f_c'} \times \frac{A_{cp}}{f_y} - \frac{0,175 b \times Ph}{f_y} \times \frac{f_{yt}}{f_y} \\ &= 0,42 \times \sqrt{25} \times \frac{150000}{420} - \frac{0,2 \times \#\#}{420} \times 1240 \times \frac{420}{420} \\ &= 595,00 \text{ mm}^2 \quad \text{Persamaan 2} \end{aligned}$$

$A_{l \text{ min}}$ dipilih yang terbesar = $595,000 \text{ mm}^2$

Maka perlu dicek tulangan longitudinal masing-masing sisi samping balok apakah sudah mencukupi kebutuhan untuk tulangan torsi.

Tulangan longitudinal torsi direncanakan D 19

$$\begin{aligned} A_t &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \times 3,1429 \times 19^2 \\ &= 1134,57143 > 595 \quad \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

Maka, tulangan longitudinal torsi d 4 D 19

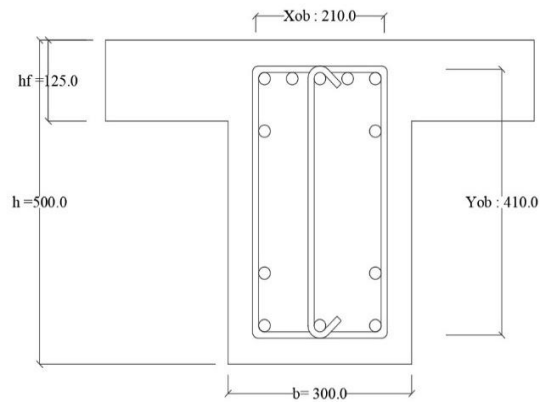
Detail Tulangan Torsi

Jarak maksimum spasi tulangan transversal torsi.

Berdasarkan (SNI 2847:2019) pasal 9.7.5.1 dijelaskan jika tulangan torsi diperlukan, tulangan torsi longitudinal harus didistribusikan di sekeliling sisi sengkang tertutup dengan spasi tidak lebih dari 300 mm.

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks}} &= \frac{ph}{8} \text{ atau } 300 \text{ mm} \\
 &= \frac{1240}{8} \text{ atau } 300 \\
 &= 155 = 200 \text{ mm atau } 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, jarak spasi maksimum adalah 200 mm



Gambar 4.44 Detail Penulangan Momen Torsi

4.12.3 Pendetailan Penulangan Balok

1) Panjang Penyaluran dalam kondisi tarik

SNI 2847 2019 pasal 25.4.2.3 hal. 567 mensyaratkan bahwa panjang penyaluran dalam kondisi tarik harus memenuhi.

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1.1 \lambda x \sqrt{f_c'}} \times \frac{\Psi_t x \Psi_e x \Psi_s}{\left[\frac{cb + Ktr}{db} \right]} \right) \times$$

$$l_d = 566,22 \text{ mm} = 710 \text{ mm}$$

Panjang penyaluran sendiri tarik di 600 mm

dimana :

$$\lambda = 1 \quad \text{SNI 2847 2019 tabel 25.4.2.4 hal. 568}$$

$$\Psi_t = 1 \quad \text{SNI 2847 2019 tabel 25.4.2.4 hal. 568}$$

$$\Psi_e = 1 \quad \text{SNI 2847 2019 tabel 25.4.2.4 hal. 568}$$

$$\Psi_s = 1 \quad \text{SNI 2847 2019 tabel 25.4.2.4 hal. 568}$$

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

$$c_b = 40 \text{ mm}$$

(Jarak dari pusat batang tulangan atau kawat ke permukaan beton terdekat)

$$f_c' = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$K_{tr} = 0 \quad \text{SNI 2847 2019 pasal 25.4.2.3 hal. 567}$$

Sesuai dengan SNI 2847 2019 pasal 25.4.2.1 hal. 565 Panjang penyaluran l_d untuk batang

ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik yang terbesar dari :

- a. Panjang yang dihitung sesuai dengan 25.4.2.2 atau 25.4.2.3 dengan menggunakan

faktor modifikasi yang berlaku pada 25.4.2.4

- b. $l_d \text{ min} = 300 \text{ mm}$

Cek :

$$l_d > \text{min}$$

$$600 > 300 \quad \text{Memenuhi}$$

2) Panjang Penyaluran dalam Kondisi Tekan

SNI 2847 2019 pasal 25.4.9.2 hal. 567 mensyaratkan bahwa panjang penyaluran dalam

kondisi tekan harus memenuhi.

$$l_{dc} = \left(\frac{0.24 \times f_y \times \Psi_r}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \right) \times d_b$$

$$= \left(\frac{0.24 \times 420 \times 1}{1 \times \sqrt{30}} \right) \times 25$$

$$= 349,67 \text{ mm}$$

atau

$$l_{dc} = 0,043 \times f_y \times \Psi_r \times d_b$$

$$= 0,043 \times 420 \times 1 \times 25$$

$$= 343,14 \text{ mm}$$

$$\lambda = 1 \quad \text{SNI 2847 2019 tabel 25.4.2.4 hal. 568}$$

$$\Psi_r = 1 \quad \text{SNI 2847 2019 tabel 25.4.9.33 hal. 582}$$

$$d_b = 19 \quad \text{mm}$$

$$f_c' = 25 \quad \text{Mpa}$$

$$f_y = 420 \quad \text{Mpa}$$

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tekan $l_{dc} = 349,67 = 350 \quad \text{mm}$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 25.4.9.1 hal. 565 Panjang penyaluran l_{dc} untuk batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tekan yang terbesar dari :

a. Panjang yang dihitung berdasarkan 25.4.9.2 modifikasi yang berlaku pada 25.4.2.4

b. $l_{dc} \text{ min} = 200 \text{ mm}$

Chek :

$l_{dc} > l_{dc} \text{ min}$

$$350 > 200 \quad \text{mm} \quad \text{Memenuhi}$$

3) Panjang Kait Standart Tulangan Tarik

$$\lambda = 1 \quad (\text{SNI 2847 2019 tabel 25.4.3.2 hal. 570})$$

$$\Psi_e = 1 \quad (\text{SNI 2847 2019 tabel 25.4.3.2 hal. 570})$$

$$\Psi_c = 1 \quad (\text{SNI 2847 2019 tabel 25.4.3.2 hal. 570})$$

$$\Psi_r = 1 \quad (\text{SNI 2847 2019 tabel 25.4.3.2 hal. 570})$$

Maka,

$$l_{dh} = \frac{.24 \times f_y \times \Psi_e \times \Psi_c \times \Psi_x}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \quad d_b$$

$$= \frac{0 \times 420 \times 1 \times 1 \times 1 \times 19}{1 \times 25}$$

$$= 306,432 \quad \text{mm}$$

atau

$$l_{dh} = 8 \times d_b$$

$$= 8 \times 19$$

$$= 152 \quad \text{mm} \quad \text{mm}$$

atau

$$ldh = 150$$

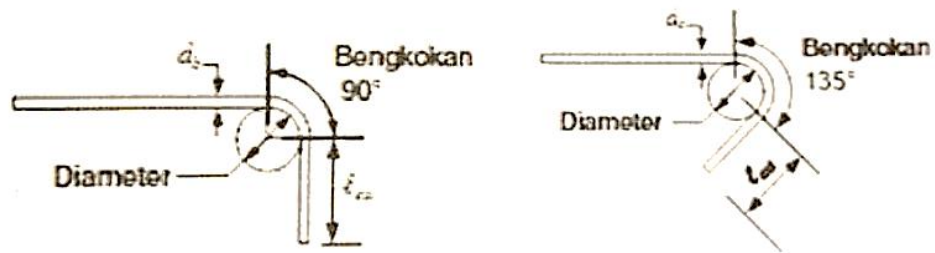
Sehingga panjang penyaluran tarik dipilih terbesar dari perhitungan ldh

$$= 306,4 \text{ mm}$$

$$= 350 \text{ mm}$$

4) Panjang tekuk dan perpanjangan lurus

Geometri kait standar untuk penyaluran batang ulir pada kondisi tarik untuk bengkokan 90° dan 135°



4.12 Penulangan Kolom 60 x 60 cm

A. Data Perencanaan

Data perencanaan :

Lebar kolom (bw)	=	600	mm		
Tinggi kolom (h)	=	600	mm		
Selimut beton (sb)	=	40	cm		
Mutu beton f_c'	=	25	MPa		
f_y ulir	=	420	MPa		
f_y ulir sengkang	=	280	MPa		
Modulus Elastisitas Baja (E_s)	=	200000	MPa		
Diameter Tul. Pokok	=	22	mm		
Diameter Tul. Sengkang	=	13	mm		
Tinggi Lantai (h lantai)	=	4500	mm		
Tinggi Balok (h balok)	=	500	mm		
Tinggi Bersih Kolom (h_n)	=	4000	mm		
M_{ux}	=	239,0437	kNm	<i>Output etabs</i>	<i>M3</i>
M_{uy}	=	266,5601	kNm	<i>Output etabs</i>	<i>M2</i>
P_u max	=	4177,991	kN	<i>Output etabs</i>	<i>P</i>
V_{ux}	=	74,7853	kN	<i>Output etabs</i>	<i>V3</i>
V_{uy}	=	66,6755	kN	<i>Output etabs</i>	<i>V2</i>
Menentukan nilai β_1					
β_1	=	0,850			

B. Desain Pendahuluan Longitudinal

1. Desain Pendahuluan

Tinggi efektif

Direncanakan kolom dengan tulangan 20D25 (6 lapis)

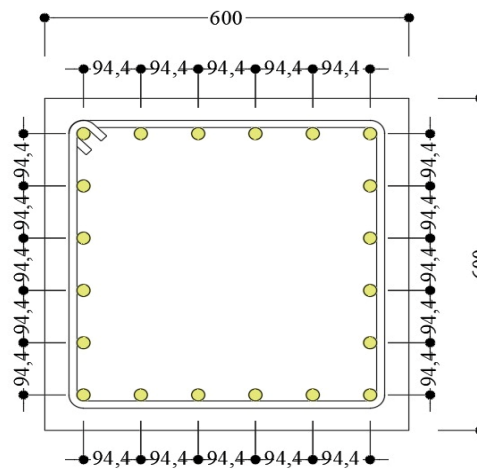
$$\begin{aligned}
 d &= h - sb - D. \text{ sengkang} - \left(\begin{array}{l} 1/2 \quad \times \quad D. \text{ tulangan pokok} \\ 0,5 \quad \times \quad 22 \end{array} \right) \\
 &= 600 - 40 - 13 - \left(\begin{array}{l} 1/2 \quad \times \quad D. \text{ tulangan pokok} \\ 0,5 \quad \times \quad 22 \end{array} \right) \\
 &= 536 \quad \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= h - d \\
 &= 600 - 536
 \end{aligned}$$

$$= 64,0 \text{ mm}$$

Jarak penulangan

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{\text{Jarak antar tulangan tepi}}{n \text{ tulangan yg ditinjau} - 1} \\
 &= \frac{h - \left(2 \times d' \right)}{n - 1} \\
 &= \frac{600 - \left(2 \times 64,0 \right)}{6 - 1} \\
 &= 94,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.45 Jarak tulangan longitudinal K1 60 x 60

Luas penampang kolom (A_g)

$$\begin{aligned}
 A_g &= b \times h \\
 &= 600 \times 600 \\
 &= 360000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas tulangan yang diperlukan

$$\begin{aligned}
 A_{st} &= n \text{ tulangan} \times \text{luas 1 tulangan} \\
 &= 20 \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 20 \times 0,25 \times 3,14 \times 22^2 \\
 &= 7598,8 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Menurut SNI 2847-2019 Pasal 18.7.4.1 luas tulangan memanjang (longitudinal),
Ast, tidak boleh kurang dari 0.01 Ag atau lebih dari 0.06 Ag.

Periksa rasio tulangan memanjang (ρ_g) :

$$0.01 A_g < A_{st} < 0.06 A_g$$

$$3600 < 7598,8 < 21600 \quad \text{AMAN}$$

Perhitungan luas tulangan (A_s) tiap baris untuk sumbu X :

Luas tulangan baris 1 (A_{s1})

$$\begin{aligned} A_{s1} &= n \text{ tulangan} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 6 \times 0,25 \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 2279,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan baris 2 (A_{s2})

$$\begin{aligned} A_{s2} &= n \text{ tulangan} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 759,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan baris 3 (A_{s3})

$$\begin{aligned} A_{s3} &= n \text{ tulangan} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 759,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan baris 4 (A_{s4})

$$\begin{aligned} A_{s4} &= n \text{ tulangan} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 759,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan baris 5 (A_{s5})

$$\begin{aligned} A_{s5} &= n \text{ tulangan} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 759,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan baris 6 (As 6)

$$\begin{aligned}As_6 &= n \text{ tulangan} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 6 \times 0,25 \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 2279,6 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

2. Kondisi Sentris

Beban sentris (P_o)

$$\begin{aligned}P_o &= 0,85 \times f_c' \left[A_g - A_{st} \right] + \left[f_y \times A_{st} \right] \\ &= 0,85 \times 25 \left[360000 - 7598,8 \right] + \left[420 \times 7598,8 \right] \\ &= 10680021,5 \text{ N} \\ &= 10680,022 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_n &= 0,8 \times P_o \\ &= 0,8 \times 10680,02 \\ &= 8544,02 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi P_n &= 0,65 \times P_n \\ &= 0,65 \times 8544,02 \\ &= 5553,61 \text{ kN}\end{aligned}$$

3. Kondisi Seimbang (cb)

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

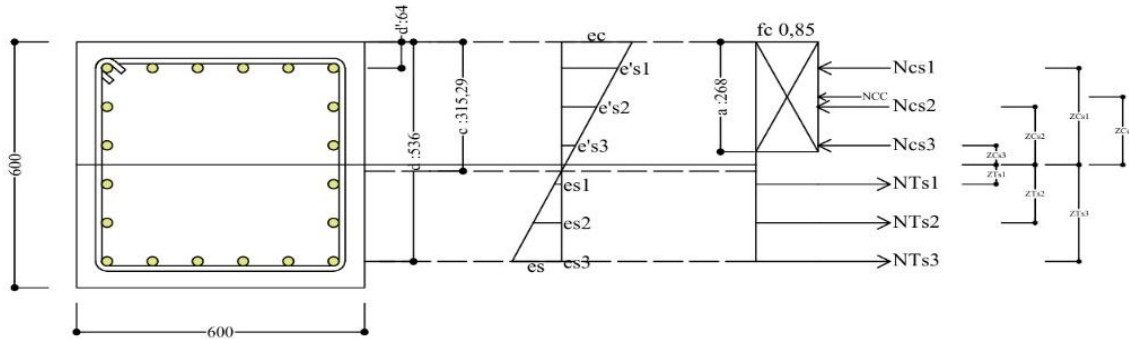
Tinggi garis netral kondisi seimbang

$$\begin{aligned}cb &= \frac{600 \times d}{600 + f_y} \\ &= \frac{600 \times 536}{600 + 420} \\ &= 315,29 \text{ mm}\end{aligned}$$

Tinggi daerah tekan beton

$$\begin{aligned} ab &= cb \times \beta_1 \\ &= 315,29 \times 0,85 \\ &= 268,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

KONDISI SEIMBANG (cb)



Gambar 4.46 Diagram Regangan dan Tegangan Kondisi Seimbang

Menghitung regangan tulangan

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{420}{200000} \\ &= 0,0021 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon's_1 &= \left(\frac{cb - d'}{cb} \right) \times \epsilon_c \\ &= \left(\frac{315,29 - 64,0}{315,29} \right) \times 0,003 \\ &= 0,0024 \text{ mm} > \epsilon_y = 0,0021 \rightarrow \text{dipakai } f_y \text{ ulir} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon's_2 &= \left(\frac{cb - d' + x}{cb} \right) \times \epsilon_c \\ &= \left(\frac{315,29 - 64,0 + 94,4}{315,29} \right) \times 0,003 \\ &= 0,00149 \text{ mm} < \epsilon_y = 0,0021 \rightarrow \text{dipakai nilai } f_s' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon'_{s3} &= \left(\frac{cb - d' + 2x}{cb} \right) \times \varepsilon_c \\
&= \left(\frac{315,29 - 64 + 188,8}{315,29} \right) \times 0,003 \\
&= 0,00059 \text{ mm} < \varepsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{dipakai nilai } fs'
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{s1} &= \left(\frac{d' + 3x - cb}{cb} \right) \times \varepsilon_c \\
&= \left(\frac{64 + 3 \cdot 94,4 - 315,29}{315,29} \right) \times 0,003 \\
&= 0,00030 \text{ mm} < \varepsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{dipakai nilai } fs'
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{s1} &= \left(\frac{d' + 4x - cb}{cb} \right) \times \varepsilon_c \\
&= \left(\frac{64,0 + 4 \cdot 94,4 - 315,29}{315,29} \right) \times 0,003 \\
&= 0,00120 \text{ mm} < \varepsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{dipakai nilai } fs'
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{s2} &= \left(\frac{d' + 5x - cb}{cb} \right) \times \varepsilon_c \\
&= \left(\frac{64,0 + 5 \cdot 94,4 - 315,29}{315,29} \right) \times 0,003 \\
&= 0,0021 \text{ mm} = \varepsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{dipakai } fy \text{ ulir}
\end{aligned}$$

Menghitung tegangan pada tulangan

$$\begin{aligned}
fs'1 &= fy \text{ ulir} \\
&= 420 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
fs'2 &= \varepsilon'_{s2} \times Es \\
&= 0,00149 \times 200000 \\
&= 298,57 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs'3 &= \epsilon's3 \times Es \\
 &= 0,00059 \times 200000 \\
 &= 118,93 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs4 &= \epsilon s1 \times Es \\
 &= 0,00030 \times 200000 \\
 &= 60,72 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs5 &= \epsilon s2 \times Es \\
 &= 0,00120 \times 200000 \\
 &= 240,36 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs6 &= fy \text{ ulir} \\
 &= 420 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$\begin{aligned}
 NCc &= 0,85 \times fc' \times ab \times b \\
 &= 0,85 \times 25 \times 268,0 \times 600 \\
 &= 3417000 \text{ N} \\
 &= 3417,0 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 NCs1 &= As1 \times fs'1 \\
 &= 2279,6 \times 420 \\
 &= 957448,8 \text{ N} \\
 &= 957,45 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 NCs2 &= As2 \times fs'2 \\
 &= 759,88 \times 298,57 \\
 &= 226875,217 \text{ N} \\
 &= 226,88 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
NCs3 &= As3 \times fs3 \\
&= 759,88 \times 118,93 \\
&= 90369,0125 \text{ N} \\
&= 90,37 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
NTs1 &= As4 \times fs4 \\
&= 759,88 \times 60,72 \\
&= 46137,1916 \text{ N} \\
&= 46,14 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
NTs2 &= As5 \times fs5 \\
&= 759,88 \times 240,36 \\
&= 182643,396 \text{ N} \\
&= 182,64 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
NTs3 &= As6 \times fs6 \\
&= 2279,6 \times 420 \\
&= 957449 \text{ N} \\
&= 957,4 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Menghitung jarak gaya terhadap h/2 :

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$h/2 = 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
ZCc &= \frac{h}{2} - \frac{ab}{2} \\
&= 300 - \frac{268,0}{2} \\
&= 166 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZCs1 &= \frac{h}{2} - d' \\
&= 300 - 64,0 \\
&= 236,0 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZCs2 &= \frac{h}{2} - d' - x \\
&= 300 - 64 - 94,4 \\
&= 141,6 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZCs3 &= \frac{h}{2} - d' - 2x \\
&= 300 - 64 - 188,8 \\
&= 47,2 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZTs1 &= d' + 3x - \frac{h}{2} \\
&= 64 + 283,2 - 300 \\
&= 47,2 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZTs2 &= d' + 4x - \frac{h}{2} \\
&= 64 + 377,6 - 300 \\
&= 141,6 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZTs3 &= d' + 5x - \frac{h}{2} \\
&= 64 + 472 - 300 \\
&= 236,0 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Tabel Perhitungan Regangan dan Tegangan Kondisi Seimbang

No	d	Es	fs	As	Cs	Ts
1	64	0,0024	420	2279,64	957449	-
2	158,4	0,0015	298,57	759,88	226875,22	-
3	252,8	0,0006	118,93	759,88	90369,0	-
4	347,2	0,0003	60,72	759,88	-	46137,19164
5	441,6	0,0012	240,36	759,88	-	182643,40
6	536,0	0,0021	420	2279,64	-	957449
JUMLAH					1274693	1186229,4

Tabel Perhitungan Regangan dan Tegangan Kondisi Seimbang

No	Cs	Ts	Jarak (Z)	Cs x Z	Ts x Z
Cc	3417000	-	166	567222000	-
1	957449	-	236	225957916,8	-
2	226875,22	-	141,6	32125530,69	-
3	90369,01	-	47,2	4265417,392	-
4	-	46137,19	47,2	-	2177675,45
5	-	182643,40	141,6	-	25862304,8
6	-	957449	236,0	-	225957916,8
JUMLAH				262348865	253997897
				Nmm	Nmm

Menghitung Pnb pada kondisi seimbang

$$\begin{aligned}
 P_{nb} &= N_{Cc} + N_{Cs1} + N_{Cs2} + N_{Cs3} - N_{Ts1} - \\
 &\quad N_{Ts2} - N_{Ts3} \\
 &= 3417,0 + 957,4 + 226,88 + 90,37 - 46,14 - \\
 &\quad 182,64 - 957,4 \\
 &= 3505,46 \text{ kN} \\
 &= 3505463,64 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Menghitung gaya aksial rencana kondisi seimbang

$$\begin{aligned} P_{nb} &= C_c + \sum C_s - \sum T_s \\ &= 3417000 + 1274693 - 1186229,4 \\ &= 3505463,64 \quad \text{N} \end{aligned}$$

Menghitung ϕP_{nb} pada kondisi seimbang

$$\begin{aligned} \phi P_{nb} &= 0,65 \times P_{nb} \\ &= 0,65 \times 3505464 \\ &= 2278551,4 \quad \text{N} \\ &= 2278,55 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

Menghitung momen nominal (M_{nb}) pada kondisi seimbang

$$\begin{aligned} M_{Cc} &= N_{Cc} \times Z_{Cc} \\ &= 3417000 \times 166 \\ &= 567222000 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Cs1} &= N_{Cs1} \times Z_{Cs1} \\ &= 957449 \times 236 \\ &= 225957916,8 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Cs2} &= N_{Cs2} \times Z_{Cs2} \\ &= 226875,22 \times 141,6 \\ &= 32125530,69 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Cs3} &= N_{Cs3} \times Z_{Cs3} \\ &= 90369,01 \times 47,2 \\ &= 4265417,392 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ts1} &= N_{Ts1} \times Z_{Ts1} \\ &= 46137,19 \times 47,2 \\ &= 2177675,445 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MTs2 &= NTs2 \quad x \quad ZTs2 \\
 &= 182643,40 \quad x \quad 141,6 \\
 &= 25862304,85 \quad Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MTs4 &= NTs3 \quad x \quad ZTs3 \\
 &= 957449 \quad x \quad 236 \\
 &= 225957917
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum Mn &= MCc \quad + \quad \sum MCs \quad + \quad \sum MTs \\
 &= 567222000 \quad + \quad 262348865 \quad + \quad 253997897,1 \\
 &= 1083568762 \quad Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi Mnb &= 0,65 \quad x \quad \sum Mn \\
 &= 0,65 \quad x \quad 1083568761,97 \\
 &= 704319695,3 \quad Nmm \\
 &= 704,32 \quad kNm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 eb &= \frac{Mnb}{Pnb} \\
 &= \frac{704,32}{2278,55} \\
 &= 0,31 \quad m
 \end{aligned}$$

4. Kondisi Seimbang (1,25 x Fy)

$$\begin{aligned}
 1,25 \cdot fy &= 1,25 \quad x \quad 420 \\
 &= 525 \quad MPa
 \end{aligned}$$

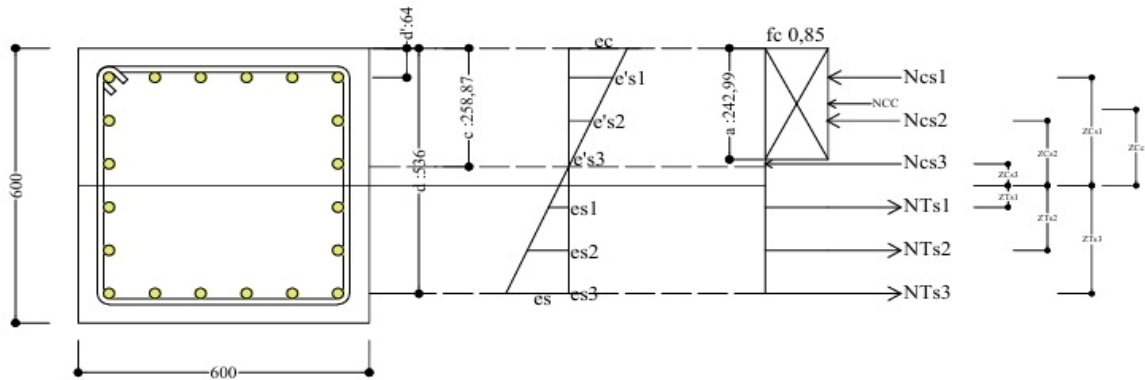
Tinggi garis netral kondisi seimbang

$$\begin{aligned}
 cb &= \frac{600 \quad x \quad d}{600 \quad + \quad fy} \\
 &= \frac{600 \quad x \quad 536}{600 \quad + \quad 525}
 \end{aligned}$$

$$= 285,87 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} ab &= cb \times \beta_1 \\ &= 285,87 \times 0,85 \\ &= 242,99 \text{ mm} \end{aligned}$$

KONDISI SEIMBANG (1,25 x Fy)



Gambar 4.47 Diagram Regangan dan Tegangan Kondisi Seimbang (1,25 x fy)

Menghitung regangan tulangan

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$= \frac{525}{200000}$$

$$= 0,0026 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon'_{s1} &= \left(\frac{cb - d'}{cb} \right) \times \epsilon_c \\ &= \left(\frac{285,87 - 64}{285,87} \right) \times 0,003 \end{aligned}$$

$$= 0,0023 \text{ mm} < \epsilon_y = 0,0026 \rightarrow \text{dipakai nilai } \epsilon'_s$$

$$\epsilon'_{s2} = \left(\frac{cb - d' + x}{cb} \right) \times \epsilon_c$$

$$= \left(\frac{285,87 - 64 + 94,4}{285,87} \right) \times 0,003$$

$$= 0,0013 \text{ mm} < \epsilon_y = 0,0026 \rightarrow \text{dipakai nilai } fs'$$

$$\epsilon's3 = \left(\frac{cb - d' + 2x}{cb} \right) \times \epsilon_c$$

$$= \left(\frac{285,87 - 64 + 188,8}{285,87} \right) \times 0,003$$

$$= 0,00035 \text{ mm} < \epsilon_y = 0,0026 \rightarrow \text{dipakai nilai } fs'$$

$$\epsilon s1 = \left(\frac{d' + 3x - cb}{cb} \right) \times \epsilon_c$$

$$= \left(\frac{64 + 3 \cdot 94,4 - 285,87}{285,87} \right) \times 0,003$$

$$= 0,00064 \text{ mm} < \epsilon_y = 0,0026 \rightarrow \text{dipakai nilai } fs'$$

$$\epsilon s2 = \left(\frac{d' + 4x - cb}{cb} \right) \times \epsilon_c$$

$$= \left(\frac{64 + 4 \cdot 94,4 - 285,87}{285,87} \right) \times 0,003$$

$$= 0,00163 \text{ mm} < \epsilon_y = 0,0026 \rightarrow \text{dipakai nilai } fs'$$

$$\epsilon s3 = \left(\frac{d' + 5x - cb}{cb} \right) \times \epsilon_c$$

$$= \left(\frac{64 + 5 \cdot 94,4 - 285,87}{285,87} \right) \times 0,003$$

$$= 0,00263 \text{ mm} < \epsilon_y = 0,0026 \rightarrow \text{dipakai nilai } fs'$$

Menghitung tegangan pada tulangan

$$fs'1 = \epsilon's1 \times Es$$

$$= 0,00233 \times 200000$$

$$= 465,67 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 fs'2 &= \epsilon's2 \quad x \quad Es \\
 &= 0,00134 \quad x \quad 200000 \\
 &= 267,54 \quad \text{MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs'3 &= \epsilon's3 \quad x \quad Es \\
 &= 0,00035 \quad x \quad 200000 \\
 &= 69,40 \quad \text{MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs4 &= \epsilon's1 \quad x \quad Es \\
 &= 0,00064 \quad x \quad 200000 \\
 &= 128,73 \quad \text{MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs5 &= \epsilon's2 \quad x \quad Es \\
 &= 0,00163 \quad x \quad 200000 \\
 &= 326,87 \quad \text{MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs6 &= \epsilon's3 \quad x \quad Es \\
 &= 0,00263 \quad x \quad 200000 \\
 &= 525 \quad \text{MPa}
 \end{aligned}$$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$\begin{aligned}
 NCc &= 0,85 \quad x \quad fc' \quad x \quad ab \quad x \quad b \\
 &= 0,85 \quad x \quad 25 \quad x \quad 242,99 \quad x \quad 600 \\
 &= 3098080 \quad \text{N} \\
 &= 3098,1 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 NCs1 &= As1 \quad x \quad fs'1 \\
 &= 2279,6 \quad x \quad 465,67 \\
 &= 1061563,7 \quad \text{N} \\
 &= 1061,56 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
NCs2 &= As2 \times fs'2 \\
&= 759,88 \times 267,54 \\
&= 203296,254 \text{ N} \\
&= 203,30 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
NCs3 &= As3 \times fs'3 \\
&= 759,9 \times 69,40 \\
&= 52737,9403 \text{ N} \\
&= 52,74 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
NTs1 &= As4 \times fs4 \\
&= 759,88 \times 128,73 \\
&= 97820,3731 \text{ N} \\
&= 97,82 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
NTs2 &= As5 \times fs5 \\
&= 759,88 \times 326,87 \\
&= 248378,687 \text{ N} \\
&= 248,38 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
NTs3 &= As6 \times fs6 \\
&= 2279,6 \times 525 \\
&= 1196811 \text{ N} \\
&= 1196,81 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Menghitung jarak gaya terhadap h/2 :

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$h/2 = 300 \text{ mm}$$

$$ZCc = \frac{h}{2} - \frac{ab}{2}$$

$$= 300 - \frac{242,99}{2}$$

$$= 178,51 \text{ mm}$$

$$\text{ZCs1} = \frac{h}{2} - d'$$

$$= 300 - 64$$

$$= 236 \text{ mm}$$

$$\text{ZCs2} = \frac{h}{2} - d' - x$$

$$= 300 - 64 - 94,4$$

$$= 141,60 \text{ mm}$$

$$\text{ZCs3} = \frac{h}{2} - d' - 2x$$

$$= 300 - 64 - 188,8$$

$$= 47,20 \text{ mm}$$

$$\text{ZTs1} = d' + 3x - \frac{h}{2}$$

$$= 64 + 283,2 - 300$$

$$= 47,20 \text{ mm}$$

$$\text{ZTs2} = d' + 4x - \frac{h}{2}$$

$$= 64 + 377,6 - 300$$

$$= 141,60 \text{ mm}$$

$$\text{ZTs3} = d' + 5x - \frac{h}{2}$$

$$= 64 + 472 - 300$$

$$= 236,00 \text{ mm}$$

Tabel Perhitungan Regangan dan Tegangan Kondisi Seimbang (1,25 x fy)

No	d	Es	fs	As	Cs	Ts
1	64	0,0023	465,67	2279,64	1061563,70	-
2	158,4	0,0013	267,54	759,88	203296,25	-
3	252,8	0,0003	69,40	759,88	52737,94	-
4	347,2	0,0006	128,73	759,88	-	97820,37
5	441,6	0,0016	326,87	759,88	-	248378,69
6	536	0,0026	525	2279,64	-	1196811,00
JUMLAH					1317598	1543010,1

Tabel Perhitungan Regangan dan Tegangan Kondisi Seimbang (1,25 x fy)

No	Cs	Ts	Jarak (Z)	Cs x Z	Ts x Z
Cc	3098080	-	178,51	553027933,9	-
1	1061564	-	236	250529033,6	-
2	203296,25	-	141,60	28786749,53	-
3	52737,94	-	47,20	2489230,782	-
5	-	97820,37	47,20	-	4617121,61
6	-	248378,69	141,60	-	35170422,02
8	-	1196811	236,0	-	282447396
JUMLAH				281805014	322234940
				Nmm	Nmm

Menghitung Pnb pada kondisi seimbang (1,25 x fy)

$$\begin{aligned}
 Pnb &= N_{Cc} + N_{Cs1} + N_{Cs2} + N_{Cs3} - N_{Ts1} - \\
 & N_{Ts2} - N_{Ts3} \\
 &= 3098,1 + 1061,6 + 203,30 + 52,74 - 97,82 - \\
 & 248,38 - 1196,81 \\
 &= 2872,67 \quad \text{kN} \\
 &= 2872667,84 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

Menghitung gaya aksial rencana kondisi seimbang (1,25 x fy)

$$\begin{aligned}
 P_{nb} &= C_c + \sum C_s - \sum T_s \\
 &= 3098080 + 1317598 - 1543010,1 \\
 &= 2872667,84 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

Menghitung ϕP_{nb} pada kondisi seimbang (1,25 x fy)

$$\begin{aligned}
 \phi P_{nb} &= 0,65 \times P_{nb} \\
 &= 0,65 \times 2872668 \\
 &= 1867234,1 \quad \text{N} \\
 &= 1867,23 \quad \text{kN}
 \end{aligned}$$

Menghitung momen nominal (M_{nb}) pada kondisi seimbang (1,25 x fy)

$$\begin{aligned}
 M_{Cc} &= N_{Cc} \times Z_{Cc} \\
 &= 3098080 \times 178,51 \\
 &= 553027933,9 \quad \text{Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Cs1} &= N_{Cs1} \times Z_{Cs1} \\
 &= 1061564 \times 236 \\
 &= 250529033,6 \quad \text{Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Cs2} &= N_{Cs2} \times Z_{Cs2} \\
 &= 203296,25 \times 141,60 \\
 &= 28786749,53 \quad \text{Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Cs3} &= N_{Cs3} \times Z_{Cs3} \\
 &= 52737,94 \times 47,20 \\
 &= 2489230,782 \quad \text{Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Ts1} &= N_{Ts1} \times Z_{Ts1} \\
 &= 97820,37 \times 47,20 \\
 &= 4617121,612 \quad \text{Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MTs2 &= NTs2 \quad x \quad ZTs2 \\
 &= 248378,69 \quad x \quad 141,60 \\
 &= 35170422,02 \quad Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MTs3 &= NTs3 \quad x \quad ZTs3 \\
 &= 1196811,0 \quad x \quad 236,00 \\
 &= 282447396 \quad Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum Mn &= MCc \quad + \quad \sum MCs \quad + \quad \sum MTs \\
 &= 553027934 \quad + \quad 281805014 \quad + \quad 322234939,6 \\
 &= 1157067887 \quad Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi Mn_b &= 0,65 \quad x \quad \sum Mn \\
 &= 0,65 \quad x \quad 1157067887,36 \\
 &= 752094126,8 \quad Nmm \\
 &= 752,09 \quad kNm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_b &= \frac{Mnb}{Pnb} \\
 &= \frac{752,09}{1867,23} \\
 &= 0,40 \quad m
 \end{aligned}$$

5. Kondisi Patah Desak ($c > c_b$)

$$f_y = 420 \quad \text{MPa}$$

$$\begin{aligned}
 c_b &= \frac{600 \quad x \quad d}{600 \quad + \quad f_y} \\
 &= \frac{600 \quad x \quad 536}{600 \quad + \quad 420} \\
 &= 315,29 \quad \text{mm}
 \end{aligned}$$

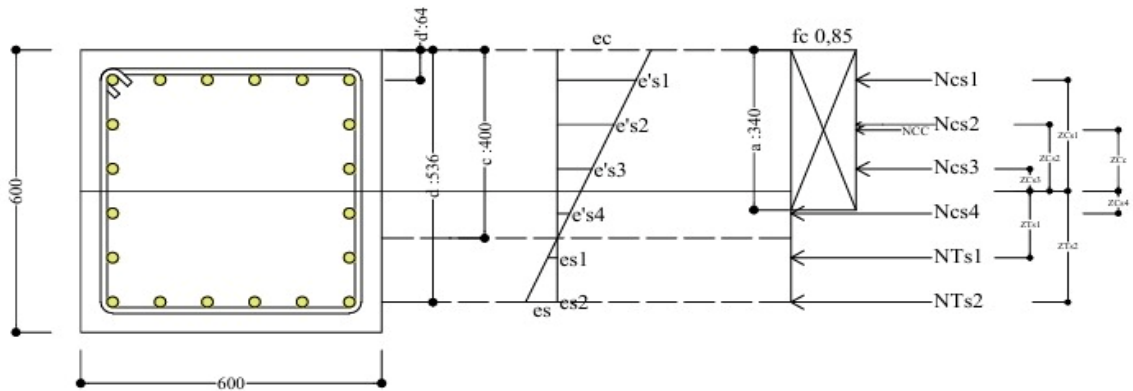
Karena kondisi patah desak $c > c_b$, maka digunakan nilai c sebagai berikut :

$$c = 400$$

Tinggi daerah tekan beton

$$\begin{aligned} ab &= cb \times \beta_1 \\ &= 400 \times 0,85 \\ &= 340,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

KONDISI PATAH DESAK ($c > c_b$)



Gambar 4.48 Diagram Regangan dan Tegangan Kondisi Patah Desak ($c > c_b$)

Menghitung regangan tulangan

$$\begin{aligned} \epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{420}{200000} \\ &= 0,0021 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{s1} &= \left(\frac{cb - d'}{cb} \right) \times \epsilon_c \\ &= \left(\frac{400 - 64}{400} \right) \times 0,003 \\ &= 0,0025 \text{ mm} > \epsilon_y = 0,0021 \rightarrow \text{dipakai } f_y \text{ ulir} \end{aligned}$$

$$\epsilon_{s2} = \left(\frac{cb - d' + x}{cb} \right) \times \epsilon_c$$

$$= \left(\frac{400 - 64 + 94,4}{400} \right) \times 0,003$$

$$= 0,00181 \text{ mm} < \epsilon_y = 0,0021 \rightarrow \text{dipakai nilai } fs'$$

$$\epsilon's3 = \left(\frac{cb - d' + 2x}{cb} \right) \times \epsilon_c$$

$$= \left(\frac{400 - 64 + 188,8}{400} \right) \times 0,003$$

$$= 0,00110 \text{ mm} < \epsilon_y = 0,0021 \rightarrow \text{dipakai nilai } fs'$$

$$\epsilon's4 = \left(\frac{cb - d' + 3x}{cb} \right) \times \epsilon_c$$

$$= \left(\frac{400 - 64 + 283,2}{400,00} \right) \times 0,003$$

$$= 0,00040 \text{ mm} < \epsilon_y = 0,0021 \rightarrow \text{dipakai nilai } fs'$$

$$\epsilon s1 = \left(\frac{d' + 4x - cb}{cb} \right) \times \epsilon_c$$

$$= \left(\frac{64 + 4 \cdot 94,4 - 400}{400} \right) \times 0,003$$

$$= 0,00031 \text{ mm} < \epsilon_y = 0,0021 \rightarrow \text{dipakai nilai } fs'$$

$$\epsilon s2 = \left(\frac{d' + 5x - cb}{cb} \right) \times \epsilon_c$$

$$= \left(\frac{64 + 5 \cdot 94,4 - 400}{400,00} \right) \times 0,003$$

$$= 0,00102 \text{ mm} < \epsilon_y = 0,0021 \rightarrow \text{dipakai nilai } fs'$$

Menghitung tegangan pada tulangan

$$fs'1 = fy \text{ ulir}$$

$$= 420 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 fs'2 &= \epsilon's2 \times Es \\
 &= 0,00181 \times 200000 \\
 &= 362,40 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs'3 &= \epsilon's3 \times Es \\
 &= 0,00110 \times 200000 \\
 &= 220,80 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs'4 &= \epsilon's4 \times Es \\
 &= 0,00040 \times 200000 \\
 &= 79,20 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs5 &= \epsilon's1 \times Es \\
 &= 0,00031 \times 200000 \\
 &= 62,40 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs6 &= \epsilon's2 \times Es \\
 &= 0,0010 \times 200000 \\
 &= 204,00 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$\begin{aligned}
 NCc &= 0,85 \times fc' \times ab \times b \\
 &= 0,85 \times 25 \times 340 \times 600 \\
 &= 4335000 \text{ N} \\
 &= 4335,0 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 NCs1 &= As1 \times fs'1 \\
 &= 2279,6 \times 420 \\
 &= 957448,8 \text{ N} \\
 &= 957,45 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NCs2} &= A_{s2} \times f_s^2 \\
 &= 759,88 \times 362,40 \\
 &= 275380,512 \text{ N} \\
 &= 275,38 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NCs3} &= A_{s3} \times f_s^3 \\
 &= 759,88 \times 220,80 \\
 &= 167781,504 \text{ N} \\
 &= 167,78 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NCs4} &= A_{s4} \times f_s^4 \\
 &= 759,88 \times 79,20 \\
 &= 60182,496 \text{ N} \\
 &= 60,18 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NTs1} &= A_{s5} \times f_s^5 \\
 &= 759,88 \times 62,40 \\
 &= 47416,512 \text{ N} \\
 &= 47,42 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NTs2} &= A_{s6} \times f_s^6 \\
 &= 2279,6 \times 204,00 \\
 &= 465046,56 \text{ N} \\
 &= 465,05 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Menghitung jarak gaya terhadap h/2 :

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$h/2 = 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{Cc} &= \frac{h}{2} - \frac{ab}{2} \\
 &= 300 - \frac{340}{2} = 130 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ZCs1} &= \frac{h}{2} - d' \\
 &= 300 - 64 \\
 &= 236 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ZCs2} &= \frac{h}{2} - d' - x \\
 &= 300 - 64 + 94,4 \\
 &= 141,60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ZCs3} &= \frac{h}{2} - d' - 2x \\
 &= 300 - 64 - 188,8 \\
 &= 47,20 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ZCs4} &= \frac{h}{2} - d' - 3x \\
 &= 300 - 64 - 283,2 \\
 &= -47,20 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ZTs1} &= d' + 4x - \frac{h}{2} \\
 &= 64 + 377,6 - 300 \\
 &= 141,60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ZTs2} &= d' + 5x - \frac{h}{2} \\
 &= 64 + 472 - 300 \\
 &= 236,00 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tabel Perhitungan Regangan dan Tegangan Kondisi Patah Desak ($c > c_b$)

No	d	Es	fs	As	Cs	Ts
1	64	0,0025	420	2279,64	957449	-
2	158,4	0,0018	362,40	759,88	275380,51	-
3	252,8	0,0011	220,80	759,88	167781,50	-
4	347,2	0,0004	79,20	759,88	60182,50	-
5	441,6	0,0003	62,40	759,88	-	47416,51
6	536	0,0010	204	2279,64	-	465047
JUMLAH					1460793	512463,1

Tabel Perhitungan Regangan dan Tegangan Kondisi Patah Desak ($c > c_b$)

No	Cs	Ts	Jarak (Z)	Cs x Z	Ts x Z
Cc	4335000	-	130,00	563550000	-
1	957449	-	236	225957916,8	-
2	275380,51	-	141,6	38993880,5	-
3	167781,50	-	47,2	7919286,989	-
4	60182,50	47416,512	-47,2	-2840613,811	-
5	-	465046,56	141,6	-	65850592,90
6	-	512463,072	236	-	120941285
JUMLAH				270030470	186791878
				Nmm	Nmm

Menghitung Pnb pada kondisi patah desak ($c > c_b$)

$$\begin{aligned}
 P_{nb} &= N_{Cc} + N_{Cs1} + N_{Cs2} + N_{Cs3} + N_{Cs4} - \\
 &\quad N_{Ts1} - N_{Ts2} \\
 &= 4335,0 + 957,4 + 275,38 + 167,78 + 60,18 - \\
 &\quad 47,42 - 465,05 \\
 &= 5283,33 \quad \text{kN} \quad 270030470,5 \\
 &= 5283330,24 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

Menghitung gaya aksial rencana kondisi patah desak ($c > c_b$)

$$\begin{aligned}
 P_{nb} &= C_c + \sum C_s - \sum T_s \\
 &= 4335000 + 1460793 - 512463,1
 \end{aligned}$$

$$= 5283330,24 \quad \text{N}$$

Menghitung ϕP_{nb} pada kondisi patah desak ($c > c_b$)

$$\begin{aligned} \phi P_{nb} &= 0,65 \quad x \quad P_{nb} \\ &= 0,65 \quad x \quad 5283330 \\ &= 3434164,7 \quad \text{N} \\ &= 3434,16 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

Menghitung momen nominal (M_{nb}) pada kondisi patah desak ($c > c_b$)

$$\begin{aligned} MC_c &= NC_c \quad x \quad ZC_c \\ &= 4335000 \quad x \quad 130 \\ &= 563550000 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MC_{s1} &= NC_{s1} \quad x \quad ZC_{s1} \\ &= 957449 \quad x \quad 236 \\ &= 225957916,8 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MC_{s2} &= NC_{s2} \quad x \quad ZC_{s2} \\ &= 275380,51 \quad x \quad 141,60 \\ &= 38993880,5 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MC_{s3} &= NC_{s3} \quad x \quad ZC_{s3} \\ &= 167781,50 \quad x \quad 47,20 \\ &= 7919286,989 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MC_{s4} &= NC_{s4} \quad x \quad ZC_{s4} \\ &= 60182,50 \quad x \quad -47,20 \\ &= -2840613,811 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MT_{s1} &= NT_{s1} \quad x \quad ZT_{s2} \\ &= 47416,51 \quad x \quad 141,60 \\ &= 6714178,099 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 MTs2 &= NTs2 \quad x \quad ZTs2 \\
 &= 465046,6 \quad x \quad 236,00 \\
 &= 109750988,2 \quad Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum Mn &= MCc \quad + \quad \sum MCs \quad + \quad \sum MTs \\
 &= 563550000 \quad + \quad 270030470 \quad + \quad 186791877,9 \\
 &= 1020372348 \quad Nmm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi Mn_b &= 0,65 \quad x \quad \sum Mn \\
 &= 0,65 \quad x \quad 1020372348 \\
 &= 663242026,4 \quad Nmm \\
 &= 663,24 \quad kNm
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 eb &= \frac{Mnb}{Pnb} \\
 &= \frac{663,24}{3434,16} \\
 &= 0,19 \quad m
 \end{aligned}$$

6. Kondisi Patah Tarik ($c < cb$)

$$f_y = 420 \quad MPa$$

Tinggi garis netral kondisi seimbang

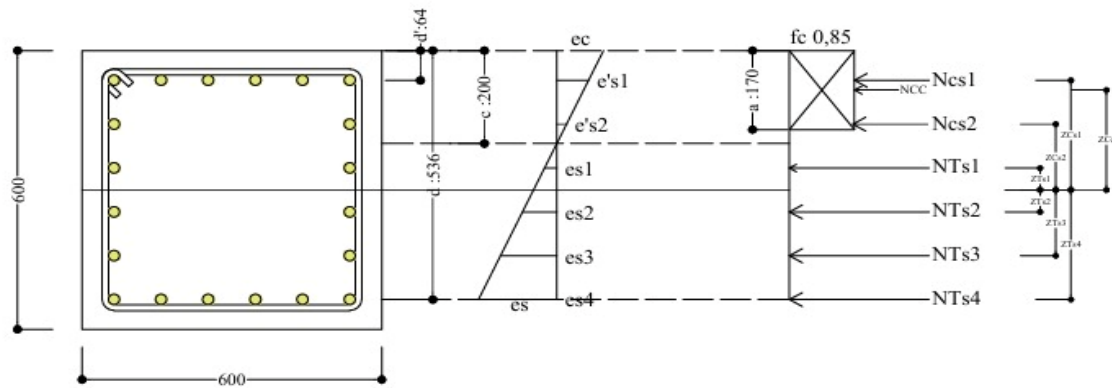
$$\begin{aligned}
 cb &= \frac{600 \quad x \quad d}{600 \quad + \quad f_y} \\
 &= \frac{600 \quad x \quad 536}{600 \quad + \quad 420} \\
 &= 315,3 \quad mm
 \end{aligned}$$

Karena kondisi patah tarik $c < cb$, maka digunakan nilai c sebagai berikut :

$$c = 200$$

$$\begin{aligned}
 ab &= c \times \beta_1 \\
 &= 200 \times 0,85 \\
 &= 170 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

KONDISI PATAH TARIK ($c < cb$)



Gambar 4.49 Diagram Regangan dan Tegangan Kondisi Patah Tarik $c < cb$

Menghitung regangan tulangan

$$\begin{aligned}
 \epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\
 &= \frac{420}{200000} \\
 &= 0,0021 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon'_{s1} &= \left(\frac{cb - d'}{cb} \right) \times \epsilon_c \\
 &= \left(\frac{315,29 - 64}{315,29} \right) \times 0,003 \\
 &= 0,0024 \text{ mm} > \epsilon_y = 0,0021 \rightarrow \text{dipakai } f_y \text{ ulir}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon'_{s2} &= \left(\frac{cb - d' + x}{cb} \right) \times \epsilon_c \\
 &= \left(\frac{315,29 - 64 + 94,4}{315,29} \right) \times 0,003
 \end{aligned}$$

$$= 0,00149 \text{ mm} < \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{dipakai nilai } f_s'$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{s1} &= \left(\frac{d' + 2x - cb}{cb} \right) \times \epsilon_c \\ &= \left(\frac{64 + 2 \cdot 94,4 - 315,29}{315,29} \right) \times 0,003 \\ &= -0,00059 \text{ mm} < \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{dipakai nilai } f_s' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{s2} &= \left(\frac{d' + 3x - cb}{cb} \right) \times \epsilon_c \\ &= \left(\frac{64 + 3 \cdot 94,4 - 315,29}{315,29} \right) \times 0,003 \\ &= 0,00030 \text{ mm} < \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{dipakai nilai } f_s' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{s3} &= \left(\frac{d' + 4x - cb}{cb} \right) \times \epsilon_c \\ &= \left(\frac{64 + 4 \cdot 94,4 - 315,29}{315,29} \right) \times 0,003 \\ &= 0,00120 \text{ mm} < \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{dipakai nilai } f_s' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{s4} &= \left(\frac{d' + 5x - cb}{cb} \right) \times \epsilon_c \\ &= \left(\frac{64 + 5 \cdot 94,4 - 315,29}{315,29} \right) \times 0,003 \\ &= 0,00210 \text{ mm} < \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{dipakai nilai } f_s' \end{aligned}$$

Menghitung tegangan pada tulangan

$$\begin{aligned} f_{s'1} &= f_y \text{ ulir} \\ &= 420 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{s'2} &= \epsilon_{s2} \times E_s \\ &= 0,00149 \times 200000 = 298,57 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs'3 &= \epsilon_{s1} \times E_s \\
 &= -0,00059 \times 200000 \\
 &= -118,93 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs4 &= \epsilon_{s2} \times E_s \\
 &= 0,00030 \times 200000 \\
 &= 60,72 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs5 &= \epsilon_{s3} \times E_s \\
 &= 0,00120 \times 200000 \\
 &= 240,36 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fs6 &= \epsilon_{s4} \times E_s \\
 &= 0,00210 \times 200000 \\
 &= 420 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$\begin{aligned}
 NCc &= 0,85 \times f_c' \times ab \times b \\
 &= 0,85 \times 25 \times 170 \times 600 \\
 &= 2167500 \text{ N} \\
 &= 2167,5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 NCs1 &= A_{s1} \times fs'1 \\
 &= 2279,6 \times 420 \\
 &= 957448,8 \text{ N} \\
 &= 957,45 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 NCs2 &= A_{s2} \times fs'2 \\
 &= 759,88 \times 298,57 \\
 &= 226875,217 \text{ N} \\
 &= 226,88 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
NTs1 &= As3 \times fs3 \\
&= 759,88 \times -118,9 \\
&= -90369,013 \text{ N} \\
&= -90,37 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
NTs2 &= As4 \times fs4 \\
&= 759,88 \times 60,7 \\
&= 46137,1916 \text{ N} \\
&= 46,14 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
NTs3 &= As5 \times fs5 \\
&= 759,88 \times 240,36 \\
&= 182643,396 \text{ N} \\
&= 182,64 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
NTs4 &= As6 \times fs6 \\
&= 2279,6 \times 420 \\
&= 957448,8 \text{ N} \\
&= 957,45 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Menghitung jarak gaya terhadap h/2 :

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$h/2 = 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
ZCc &= \frac{h}{2} - \frac{ab}{2} \\
&= 300 - \frac{170}{2} \\
&= 215 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZCs1 &= \frac{h}{2} - d' \\
&= 300 - 64 = 236 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZCs2 &= \frac{h}{2} - d' - x \\
&= 300 - 64 - 94,4 \\
&= 141,60 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZTs1 &= d' + 2x - \frac{h}{2} \\
&= 64 + 188,8 - 300 \\
&= -47,20 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZTs2 &= d' + 3x - \frac{h}{2} \\
&= 64 + 283,2 - 300 \\
&= 47,20 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZTs3 &= d' + 4x - \frac{h}{2} \\
&= 64 + 377,6 - 300 \\
&= 141,60 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
ZTs4 &= d' + 5x - \frac{h}{2} \\
&= 64 + 472 - 300 \\
&= 236,00 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Tabel Perhitungan Regangan dan Tegangan Kondisi Patah Tarik $c < cb$

No	d	Es	fs	As	Cs	Ts
1	64	0,0024	420	2279,64	957449	-
2	158,4	0,0015	298,6	759,88	226875,22	-
3	252,8	-0,0006	-118,9	759,88	-	-90369,01254
4	347,2	0,0003	60,7	759,88	-	46137,19
5	441,6	0,0012	240,4	759,88	-	182643,40
6	536	0,0021	420	2279,64	-	957449
JUMLAH					1184324	1095860,4

Tabel Perhitungan Regangan dan Tegangan Kondisi Patah Tarik $c < cb$

No	Cs	Ts	Jarak (Z)	Cs x Z	Ts x Z
Cc	2167500	-	215,00	466012500	-
1	957449	-	236	225957916,8	-
2	226875	-90369,0	141,6	32125530,69	-
3	-	46137,2	-47,2	-	-2177675,45
4	-	182643,4	47,2	-	8620768,28
5	-	957449	141,6	-	135574750,1
6	-	1095860,4	236	-	258623048
JUMLAH				258083447	400640891
				Nmm	Nmm

Menghitung Pnb pada kondisi patah tarik $c < cb$

$$\begin{aligned}
 P_{nb} &= N_{Cc} + N_{Cs1} + N_{Cs2} - N_{Ts1} - N_{Ts2} - \\
 & N_{Ts3} - N_{Ts4} \\
 &= 2168 + 957,4 + 226,88 - -90,4 - 46,14 - \\
 & 182,64 - 957,4 \\
 &= 2255,96 \quad \text{kN} \\
 &= 2255963,64 \quad \text{N}
 \end{aligned}$$

Menghitung gaya aksial rencana kondisi patah tarik $c < cb$

$$\begin{aligned}
 P_{nb} &= C_c + \sum C_s - \sum T_s \\
 &= 2167500 + 1184324 - 1095860,4
 \end{aligned}$$

$$= 2255964 \quad \text{N}$$

Menghitung ϕP_{nb} pada kondisi patah tarik $c < c_b$

$$\begin{aligned} \phi P_{nb} &= 0,65 \quad x \quad P_{nb} \\ &= 0,65 \quad x \quad 2255964 \\ &= 1466376,4 \quad \text{N} \\ &= 1466,38 \quad \text{kN} \end{aligned}$$

Menghitung momen nominal (M_{nb}) pada kondisi patah tarik $c < c_b$

$$\begin{aligned} M_{Cc} &= N_{Cc} \quad x \quad Z_{Cc} \\ &= 2167500 \quad x \quad 215 \\ &= 466012500 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Cs1} &= N_{Cs1} \quad x \quad Z_{Cs1} \\ &= 957449 \quad x \quad 236 \\ &= 225957916,8 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Cs2} &= N_{Cs2} \quad x \quad Z_{Cs2} \\ &= 226875,22 \quad x \quad 141,60 \\ &= 32125530,69 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ts1} &= N_{Ts1} \quad x \quad Z_{Ts1} \\ &= -90369,01 \quad x \quad -47,20 \\ &= 4265417,392 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ts2} &= N_{Ts2} \quad x \quad Z_{Ts2} \\ &= 46137,19 \quad x \quad 47,20 \\ &= 2177675,445 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ts3} &= N_{Ts3} \quad x \quad Z_{Ts3} \\ &= 182643,40 \quad x \quad 141,60 \\ &= 25862304,85 \quad \text{Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
MTs4 &= NTs4 \times ZTs4 \\
&= 957448,8 \times 236,00 \\
&= 225957916,8 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sum Mn &= MCc + \sum MCs + \sum MTs \\
&= 466012500 + 258083447 + 400640891,4 \\
&= 1124736839 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi Mnb &= 0,65 \times \sum Mn \\
&= 0,65 \times 1124736838,89 \\
&= 731078945,3 \text{ Nmm} \\
&= 731,08 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
eb &= \frac{Mnb}{Pnb} \\
&= \frac{731,08}{1466,38} \\
&= 0,50 \text{ m}
\end{aligned}$$

7. Kondisi Lentur Murni

Dicoba pemasangan tulangan sebagai berikut :

$$\text{Tulangan tarik (As)} = 6 \text{ D } 22 = 2279,6$$

$$\text{Tulangan Tekan (As')} = 6 \text{ D } 22 = 2279,6$$

$$\begin{aligned}
d &= h - sb - D. \text{ sengkang} - 1/2 \times D. \text{ Tulangan Tarik} \\
&= 600 - 40 - 13 - 1/2 \times 25 \\
&= 536 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
d' &= h - d \\
&= 600 - 536 \\
&= 64 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Dimisalkan garis netral (c) dihitung berdasarkan $d' < c < y_2$. Maka garis netral dicari menggunakan persamaan berikut:

$$C_c + C_s = T_s$$

$$\left[0,85 \times f_c' \times a \times b \right] + \left[A_s' \times f_s' \right] = A_s \times f_y \text{ ulir}$$

Substitusi nilai f_s' :

$$\frac{f_s'}{\epsilon_c} = \frac{c - d}{c} \times \epsilon_c \times E_s$$

$$f_s' = \frac{c - d}{c} \times \epsilon_c \times E_s$$

$$f_s' = \frac{c - d}{c} \times 0,003 \times 200000$$

$$f_s' = \frac{c - d}{c} \times 600 \quad f_s' = A_s \times f_y \text{ ulir}$$

$$0,85 \times f_c' \times a \times b + A_s' \left(\frac{c - d}{c} \times 600 \right) = A_s \times f_y \quad c$$

$$0,85 \times f_c' \times a \times b \times c + 600 \times c - A_s' \times 600 \quad d' = A_s \times f_y \times c$$

Substitusikan nilai $a = \beta_1 \times c$

$$0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times c \times b \times c + A_s' \times 600 \times c - A_s' \times 600 \times d' = A_s \times f_y \times c$$

$$0,85 \times f_c' \times \beta_1 \times b \times c^2 + A_s' \times 600 \times c - A_s' \times 600 \times d' = A_s \times f_y \times c$$

$$0,85 \times 25 \times 0,85 \times 600 \times c^2 + 2279,6 \times 600 \times c - 2279,6 \times 600 \times 64 = 2279,6 \times 420 \times c$$

$$10838 \quad c^2 + 1367784 \quad c - 87538176 = 957448,8 \quad c$$

$$10838 \quad c^2 + 1367784 \quad c - 957448,8 \quad c - 87538176 = 0$$

$$10838 \quad c^2 + 410335,2 \quad c - 87538176 = 0$$

Dihitung dengan rumus ABC

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$c = \frac{-410335 \pm \sqrt{410335^2 - 4 \times 10838 \times (-87538176)}}{2 \times 10838}$$

$$c+ = \frac{-410335,2 + \sqrt{3963154905959}}{21675}$$

$$= 72,915$$

$$c- = \frac{-410335 - \sqrt{3963154905959}}{21675}$$

$$= -110,8$$

$$\left[10837,5 \times 5316,6 \right] + \left[410335 \times 72,915 \right] - \left[87538176 \right] = 0$$

$$0 = 0$$

Maka, dipakai nilai $c = 72,91$

Cek asumsi $d' < c$

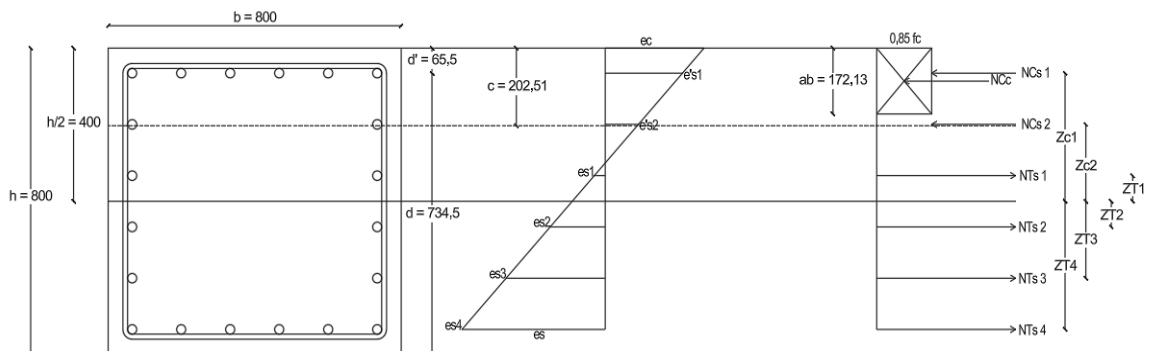
$$d' < c \rightarrow 64 < 72,91 \quad \mathbf{OK}$$

Dari nilai c (garis netral) ternyata lebih besar dari d' , maka dilanjutkan menghitung nilai a :

$$ab = \beta_1 \times c$$

$$= 0,85 \times 72,915$$

$$= 61,98 \text{ mm}$$



Gambar 4.50 Diagram Regangan dan Tegangan Kondisi Lentur Murni

Menghitung regangan tulangan

$$\begin{aligned}\epsilon_y &= \frac{f_y}{E_s} \\ &= \frac{420}{200000} \\ &= 0,0021 \quad \text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon'_{s1} &= \left(\frac{cb - d'}{cb} \right) \times \epsilon_c \\ &= \left(\frac{72,91 - 64}{72,91} \right) \times 0,003 \\ &= 0,0004 \quad \text{mm} < \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{dipakai nilai } f_s'\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_{s1} &= \left(\frac{d' + 2x - cb}{cb} \right) \times \epsilon_c \\ &= \left(\frac{64,0 + 2 \cdot 94,4 - 72,91}{72,91} \right) \times 0,003 \\ &= 0,00740 \quad \text{mm} < \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{dipakai } f_y \text{ ulir}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_{s2} &= \left(\frac{d' + 2x - cb}{cb} \right) \times \epsilon_c \\ &= \left(\frac{64,0 + 2 \cdot 94,4 - 72,91}{72,91} \right) \times 0,003 \\ &= 0,00740 \quad \text{mm} < \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{dipakai } f_y \text{ ulir}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_{s3} &= \left(\frac{d' + 3x - cb}{cb} \right) \times \epsilon_c \\ &= \left(\frac{64 + 3 \cdot 94,4 - 72,91}{72,91} \right) \times 0,003 \\ &= 0,01129 \quad \text{mm} > \epsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{dipakai } f_y \text{ ulir}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{s4} &= \left(\frac{d' + 4x - cb}{cb} \right) \times \varepsilon_c \\
&= \left(\frac{64 + 4 \cdot 94,4 - 72,91}{72,91} \right) \times 0,003 \\
&= 0,0152 \text{ mm} > \varepsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{dipakai } f_y \text{ ulir}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_{s5} &= \left(\frac{d' + 5x - cb}{cb} \right) \times \varepsilon_c \\
&= \left(\frac{64 + 5 \cdot 94,4 - 72,91}{72,91} \right) \times 0,003 \\
&= 0,01905 \text{ mm} > \varepsilon_y = 0,0021 \longrightarrow \text{dipakai } f_y \text{ ulir}
\end{aligned}$$

Menghitung tegangan pada tulangan

$$\begin{aligned}
f_{s'1} &= \varepsilon'_{s1} \times E_s \\
&= 0,0004 \times 200000 \\
&= 73,36 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_{s'2} &= f_y \text{ ulir} \\
&= 420,00 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_{s3} &= f_y \text{ ulir} \\
&= 420,00 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_{s4} &= f_y \text{ ulir} \\
&= 420 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_{s5} &= f_y \text{ ulir} \\
&= 420 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_{s6} &= f_y \text{ ulir} \\
&= 420 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Menghitung gaya tekan dan tarik

$$\begin{aligned} \text{NCc} &= 0,85 \times f_c' \times ab \times b \\ &= 0,85 \times 25 \times 61,98 \times 600 \\ &= 790216,1082 \text{ N} \\ &= 790,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NCs1} &= A_{s1} \times f_{s'1} \\ &= 2280 \times 73 \\ &= 167232,692 \text{ N} \\ &= 167,23 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NCs2} &= A_{s2} \times f_{s'2} \\ &= 759,88 \times 420,00 \\ &= 319149,6 \text{ N} \\ &= 319,15 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NTs1} &= A_{s3} \times f_{s3} \\ &= 759,88 \times 420,00 \\ &= 319149,6 \text{ N} \\ &= 319,15 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NTs2} &= A_{s4} \times f_{s4} \\ &= 759,88 \times 420 \\ &= 319149,6 \text{ N} \\ &= 319,15 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NTs3} &= A_{s5} \times f_{s5} \\ &= 2279,6 \times 420 \\ &= 957448,8 \text{ N} \\ &= 957,45 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 NTs4 &= A_s6 \times f_s6 \\
 &= 2279,6 \times 420 \\
 &= 957448,8 \text{ N} \\
 &= 957,45 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Menghitung jarak gaya terhadap h/2 :

$$\begin{aligned}
 h &= 600 \text{ mm} \\
 h/2 &= 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ZCc &= \frac{h}{2} - \frac{ab}{2} \\
 &= 300 - \frac{61,98}{2} \\
 &= 269,01 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ZCs1 &= \frac{h}{2} - d' \\
 &= 300 - 64 \\
 &= 236 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ZCs2 &= \frac{h}{2} - d' - x \\
 &= 300 - 64 - 94,4 \\
 &= 141,60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ZTs1 &= d' + 2x - \frac{h}{2} \\
 &= 64 + 188,8 - 300 \\
 &= -47,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ZTs2 &= d' + 3x - \frac{h}{2} \\
 &= 64 + 283,2 - 300 = 47,20 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ZTs3 &= d' + 4x - \frac{h}{2} \\
 &= 64 + 377,6 - 300 \\
 &= 141,60 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ZTs4 &= d' + 5x - \frac{h}{2} \\
 &= 64 + 472 - 300 \\
 &= 236,00 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tabel Perhitungan Regangan dan Tegangan Kondisi Lentur Murni

No	d	Es	fs	As	Cs	Ts
1	64	0,0004	73	2279,64	167233	-
2	158,4	0,00740	420,00	759,88	319149,60	-
3	252,8	0,0074	420,00	759,88	-	319149,6
4	347,2	0,0113	420	759,88	-	319150
5	441,6	0,0152	420	759,88	-	957449
6	536,0	0,0191	420	2279,64	-	957449
JUMLAH					486382	2553196,8

Tabel Perhitungan Regangan dan Tegangan Kondisi Lentur Murni

No	Cs	Ts	Jarak (Z)	Cs x Z	Ts x Z
Cc	790216	-	269,01	212576930,6	-
1	167233	-	236	39466915,27	-
2	319149,60	-	141,6	45191583,36	-
3	-	319149,60	-47,2	-	-
4	-	319150	47,2	-	15063861,1
5	-	957449	141,6	-	135574750,1
6	-	957449	236,0	-	225957916,8
JUMLAH				84658499	376596528
				Nmm	Nmm

Menghitung momen nominal (Mnb) pada kondisi lentur murni

$$\begin{aligned} MCc &= NCc \quad x \quad ZCc \\ &= 790216 \quad x \quad 269,01 \\ &= 212576930,6 \quad Nmm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MCs1 &= NCs1 \quad x \quad ZCs1 \\ &= 167233 \quad x \quad 236 \\ &= 39466915,27 \quad Nmm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MCs2 &= NCs2 \quad x \quad ZCs2 \\ &= 319149,60 \quad x \quad 141,60 \\ &= 45191583,36 \quad Nmm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MTs1 &= NTs1 \quad x \quad ZTs1 \\ &= 319149,60 \quad x \quad -47,2 \\ &= -15063861,12 \quad Nmm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MTs2 &= NTs2 \quad x \quad ZTs2 \\ &= 319150 \quad x \quad 47,20 \\ &= 15063861,12 \quad Nmm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MTs3 &= NTs3 \quad x \quad ZTs3 \\ &= 957449 \quad x \quad 141,60 \\ &= 135574750,1 \quad Nmm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MTs4 &= NTs4 \quad x \quad ZTs4 \\ &= 957449 \quad x \quad 236,00 \\ &= 225957916,8 \quad Nmm \end{aligned}$$

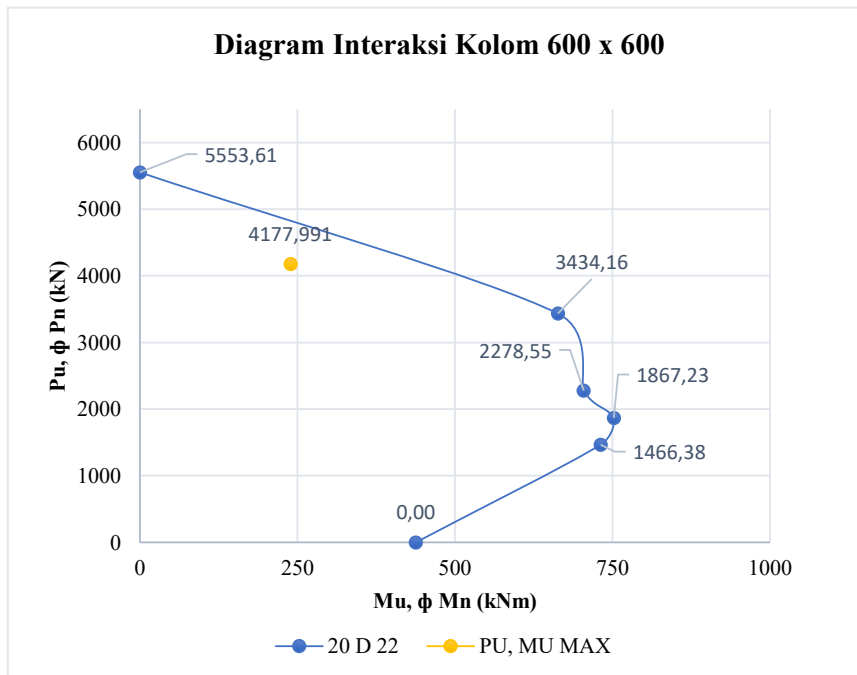
$$\begin{aligned} \sum M_n &= MCc \quad + \quad \sum MCs \quad + \quad \sum MTs \\ &= 212576931 \quad + \quad 84658499 \quad + \quad 376596528,0 \\ &= 673831957 \quad Nmm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_{nb} &= 0,65 \times \sum M_n \\
 &= 0,65 \times 673831957,2 \\
 &= 437990772,2 \text{ Nmm} \\
 &= 437,99 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah rekapitulasi hasil perhitungan dengan formasi tulangan yang simetris yaitu : 20 D 22

Tabel 4.49 Rekapitulasi Aksial dan Momen Rencana Kolom K1 (60/60)

Kondisi	20 D 22	
	ϕP_n (Kn)	ϕM_n (Kn)
Sentris	5553,611	0
Patah Desak	3434,16	663,242
Balance	2278,551	704,32
Balance (1,25 fy)	1867,234	752,09
Patah Tarik	1466,376	731,079
Lentur Murni	0	437,991

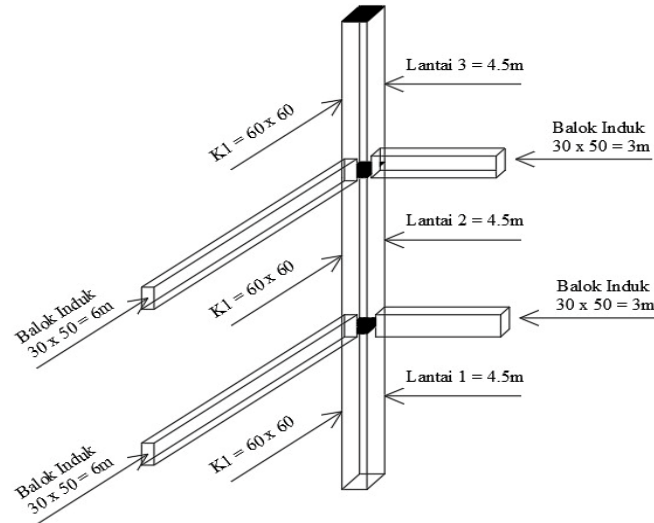


Gambar 4.51 Diagram Interaksi Kolom

4.12.1 Perhitungan Pembesaran Momen Kolom

1) Pengaruh Kelangsingan Kolom

Berdasarkan (SNI 2847:2019) pasal 6.2.5 halaman 91 dijelaskan bahwa pengaruh kelangsingan kolom boleh diabaikan jika poin tersebut terpenuhi.



Gambar 4.52 Skema Perhitungan Pengaruh Kelangsingan Kolom

a. Rasio gaya geser balok β_d

- Rasio gaya geser balok B69 Lantai 1

$V_1 = 110,5826$ kN (Output Etabs 2022), Gaya geser maksimum pada tingkat 1

$V_2 = 116,5838$ kN (Output Etabs 2022), Gaya geser maksimum semua tingkat

$$\begin{aligned}\beta_d &= \frac{V_1}{V_2} \\ &= \frac{110,5826}{116,5838} \\ &= 0,9485\end{aligned}$$

- Rasio gaya geser balok B69 Lantai 2

$V_1 = 110,2626$ kN (Output Etabs 2022), Gaya geser maksimum pada tingkat 2

$V_2 = 116,5838$ kN (Output Etabs 2022), Gaya geser maksimum semua tingkat

$$\beta_d = \frac{V_1}{V_2}$$

$$= \frac{110,2626}{116,5838}$$

$$= 0,9458$$

- Rasio gaya geser balok B4 Lantai 1

V1 = 44,0238 kN (Output Etabs 2022), Gaya geser maksimum pada tingkat 1

V2 = 116,5838 kN (Output Etabs 2022), Gaya geser maksimum semua tingkat

$$\beta_d = \frac{V1}{V2}$$

$$= \frac{44,0238}{116,5838}$$

$$= 0,3776$$

- Rasio gaya geser balok B4 Lantai 2

V1 = 44,6847 kN (Output Etabs 2022), Gaya geser maksimum pada tingkat 2

V2 = 116,5838 kN (Output Etabs 2022), Gaya geser maksimum semua tingkat

$$\beta_d = \frac{V1}{V2}$$

$$= \frac{44,6847}{116,5838}$$

$$= 0,3833$$

b. Rasio gaya β_d geser kolom

- Rasio gaya geser kolom C1 Lantai 1

V1 = 74,9901 kN (Output Etabs 2022), Gaya geser maksimum pada tingkat 1

V2 = 156,4474 kN (Output Etabs 2022), Gaya geser maksimum semua tingkat

$$\beta_d = \frac{V1}{V2}$$

$$= \frac{74,9901}{156,4474}$$

$$= 0,4793$$

- Rasio gaya geser kolom C2 Lantai 2

$$V1 = 48,7742 \text{ kN (Output Etabs 2022), Gaya geser maksimum pada tingkat 2}$$

$$V2 = 156,4474 \text{ kN (Output Etabs 2022), Gaya geser maksimum semua tingkat}$$

$$\beta_d = \frac{V1}{V2}$$

$$= \frac{48,7742}{156,4474}$$

$$= 0,3118$$

- Rasio gaya geser kolom C3 Lantai 3

$$V1 = 40,8781 \text{ kN (Output Etabs 2022), Gaya geser maksimum pada tingkat 3}$$

$$V2 = 156,4474 \text{ kN (Output Etabs 2022), Gaya geser maksimum semua tingkat}$$

$$\beta_d = \frac{V1}{V2}$$

$$= \frac{40,8781}{156,4474}$$

$$= 0,2613$$

Modulus Elastis beton ($f_c' 25 \text{ Mpa}$)

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f_c'}$$

$$= 4700 \times \sqrt{25}$$

$$= 23500$$

Momen inersia kolom:

Momen Inersia kolom C1 Lantai 1

$$I_c = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= \frac{600 \times 600^3}{12}$$

$$= 10800000000 \text{ mm}^4$$

Momen Inersia kolom C2 Lantai 2

$$I_c = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= \frac{600 \times 600^3}{12}$$

$$= 10800000000 \text{ mm}^4$$

Momen Inersia kolom C3 Lantai 3

$$I_c = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= \frac{600 \times 600^3}{12}$$

$$= 10800000000 \text{ mm}^4$$

Momen Inersia Balok

Arah X

Momen Inersia Balok kanan B69 Lantai 1

$$I_b = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= \frac{300 \times 500^3}{12} = 3125000000 \text{ mm}^4$$

Momen Inersia Balok kanan B69 Lantai 2

$$I_b = \frac{b \times h^3}{12}$$

$$= \frac{300 \times 500^3}{12}$$

$$= 3125000000 \text{ mm}^4$$

Arah Z

Momen Inersia Balok belakang B4 Lantai 1

$$\begin{aligned} I_b &= \frac{b \times h^3}{12} \\ &= \frac{300 \times 500^3}{12} \\ &= 3125000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Momen Inersia Balok depan B4 Lantai 2

$$\begin{aligned} I_b &= \frac{b \times h^3}{12} \\ &= \frac{300 \times 500^3}{12} \\ &= 3125000000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

C. Menghitung Kekakuan Kolom

Kolom C1 Lantai 1

$$\begin{aligned} E_{lc} &= \frac{0,7 \times E_c \times I_c}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,7 \times 23500 \times 10800000000}{1 + 0,4793} \\ &= 120094820778828,0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Kolom C2 Lantai 2

$$\begin{aligned} E_{lc} &= \frac{0,7 \times E_c \times I_c}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,7 \times 23500 \times 10800000000}{1 + 0,3118} \\ &= 135436255657299,0 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Kolom C3 Lantai 3

$$E_{lc} = \frac{0,7 \times E_c \times I_c}{1 + \beta d}$$

$$= \frac{0,7 \times 23500 \times 10800000000}{1 + 0,2613}$$

$$= 140855819871228,0 \text{ N/mm}^2$$

d. Menghitung Kekakuan Balok

Arah X

Balok kanan B69 Lantai 1

$$EI_b = \frac{0,35 \times E_c \times I_b}{1 + \beta d}$$

$$= \frac{0,35 \times 23500 \times 3125000000}{1 + 0,9485}$$

$$= 13191070441645,40 \text{ N/mm}^2$$

Balok kanan B69 Lantai 2

$$EI_b = \frac{0,35 \times E_c \times I_b}{1 + \beta d}$$

$$= \frac{0,35 \times 23500 \times 3125000000}{1 + 0,3776}$$

$$= 18657697296858,90 \text{ N/mm}^2$$

Arah Z

Balok belakang B4 Lantai 1

$$EI_b = \frac{0,35 \times E_c \times I_b}{1 + \beta d}$$

$$= \frac{0,35 \times 23500 \times 3125000000}{1 + 0,3776}$$

$$= 18657697296858,90 \text{ N/mm}^2$$

Balok depan B4 Lantai 2

$$EI_b = \frac{0,35 \times E_c \times I_b}{1 + \beta d}$$

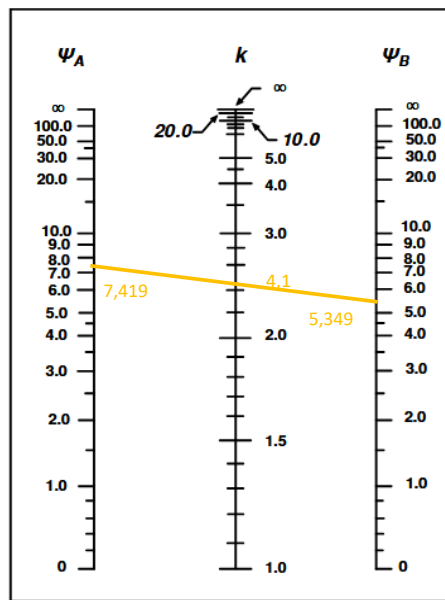
$$= \frac{0,35 \times 23500 \times 3125000000}{1 + 0,3833}$$

$$= 1858123544294,10 \text{ N/mm}^2$$

Faktor Panjang efektif, k

$$\begin{aligned} \Psi_B = \text{Elb} &= \frac{\text{Elc/L}}{\text{Elb/L}} \\ &= \frac{\frac{120094820778828}{4500} + \frac{135436255657299}{4500}}{\frac{13191070441645}{3000} + \frac{18657697296859}{3000}} \\ &= 5,349 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Psi_A = \text{Elb} &= \frac{\text{Elc/L}}{\text{Elb/L}} \\ &= \frac{\frac{135436255657299}{4500} + \frac{140855819871228}{4500}}{\frac{18657697296859}{4500} + \frac{1858123544294}{4500}} \\ &= 7,419 \end{aligned}$$



(b) Rangka bergoyang

Gambar 4.53 Nilai K Rangka Bergoyang

$$K = 4,10$$

Menghitung nilai radius girasi

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{\frac{I_c}{A_g}} \\ &= \sqrt{\frac{10800000000}{600 \times 600}} \\ &= 173,205081 \text{ mm} \quad (1) \end{aligned}$$

Atau

$$\begin{aligned} r &= 0,3 \times h \\ &= 0,3 \times 600 \\ &= 180 \text{ mm} \quad (2) \end{aligned}$$

Sehingga nilai radius girasi dipilih terkecil dari 2 persamaan diatas yaitu $r = 173,21 \text{ mm}$

Maka:

$$M1 = 10,2956 \text{ kNm (Output Etabs 2022, kombinasi 1,4D)}$$

$$M2 = 11,954 \text{ kNm (Output Etabs 2022, Kombinasi 1,2D + 1,6L)}$$

Pengaruh kelangsingan

$$\begin{aligned} \frac{k \times l_u}{r} &\leq 34 + 12 \frac{10,2956}{11,954} \\ \frac{4,10 \times 4500}{173,2050808} &\leq 34 + 12 \frac{10,2956}{11,954} \\ &= 106,5211247 \leq 44,3354777 \quad \text{Persamaan 1} \end{aligned}$$

Atau

$$\begin{aligned} \frac{k \times l_u}{r} &\leq 40 \\ 106,5211247 &\leq 40 \quad \text{Persamaan 2} \end{aligned}$$

e. Properti Stabilitas

Indeks stabilitas untuk satu tingkat Q, (SNI 2847:2019 pasal 6.6.4.4.4 halaman 106)

Diketahui:

$$\sum p_u = 68340,44 \text{ kN (Output Etabs 2019, Story Force Lt. 1 komb. Layan)}$$

$$\Delta = 15,22 \text{ mm}$$

$$V_{us} = 2650,91 \text{ kN}$$

$$I_c = 4500 \text{ mm}$$

Maka

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\sum p_u \times \Delta}{V_{us} \times I_c} \\ &= \frac{68340,44 \times 15,222}{2650,9 \times 4500,00} \\ &= 0,087205205 \end{aligned}$$

Beban tekuk kritis P_c , (SNI 2847:2019 pasal 6.6.4.4.2 hal. 107) Momen inersia efektif kolom

Momen Inersia Kolom K1

$$\begin{aligned} EI(\text{eff}) &= \frac{0,4 \times E_c \times I_c}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,4 \times 23500 \times 10800000000}{1 + 0,479331072} \\ &= 68625611873616 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Momen Inersia Kolom K2

$$\begin{aligned} EI(\text{eff}) &= \frac{0,4 \times E_c \times I_c}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,4 \times 23500 \times 10800000000}{1 + 0,3118} \\ &= 77392146089885 \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Momen Inersia Kolom K3

$$\begin{aligned} EI(\text{eff}) &= \frac{0,4 \times E_c \times I_c}{1 + \beta d} \\ &= \frac{0,4 \times 23500 \times 10800000000}{1 + 0,2613} \end{aligned}$$

$$= 80489039926416 \text{ Nmm}^2$$

Beban tekuk kritis kolom k1

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 \times EI(\text{eff})}{K \times l_u^2} \\ &= \frac{\pi^2 \times 68625611873616}{4,10 \times 4500^2} \\ &= 8149606,538 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban tekuk kritis total pada lantai 1

$$\begin{aligned} \sum P_c &= n \times P_c \text{ Kolom k1} \\ &= 40 \times 8149606,54 \\ &= 325984262 \text{ kN} \end{aligned}$$

f. Pengaruh kelangsingan sepanjang kolom

Berdasarkan (SNI 2847:2019) pasal 6.6.4.6 hal. 110 dijelaskan bahwa metode pembesaran momen untuk rangka bergoyang harus dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$\begin{aligned} \delta_s &= \frac{1}{1 - Q} \geq 1 \\ &= \frac{1}{1 - 0,0872052} \geq 1 \\ &= 1,09553648 \end{aligned}$$

Atau

$$\begin{aligned} \delta_s &= \frac{1}{1 - \frac{\sum P_u}{0,75 \times \sum P_c}} \geq 1 \\ &= \frac{1}{1 - \frac{68340,44}{0,75 \times 325984261,5}} \geq 1 \\ &= 1 \end{aligned}$$

Maka dipakai nilai $\delta_s = 1,0955$

Nilai momen setiap kombinasi setelah dilakukan pembesaran momen

Momen order kedua (*second order*)

$$M_u = 10,2956 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_c &= \delta_s \times M_u \\ &= 1,09553648 \times 10,30 \\ &= 11,2792054 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_1 &= \delta_s \times M_u \\ &= 1,4 \times 10,30 \\ &= 14,41384 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Cek pasal 6.2.6 halaman 94

$$\begin{aligned} M_c &< 1,4 M_u \\ 11,2792054 &< 14,41384 \quad \textbf{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

Tabel 4.50 Momen setelah pembesaran

No	Kombinasi	Momen Sblm Pembesaran			Momen Sesudah Pembesaran		
		Pu (kN)	M2 (kNm)	M3 (kNm)	Pu (kN)	Mc (M2)	Mc (M3)
1	Kombinasi 1	677,601	10,2956	10,2956	677,6013	11,2792	11,2792
2	Kombinasi 2	695,3	29,6119	11,9537	695,3004	32,4409	13,0957
3	Kombinasi 3	616,582	25,5805	9,8026	616,5821	28,0244	10,7391
4	Kombinasi 4	616,582	25,5805	9,8026	616,5821	28,0244	10,7391
5	Kombinasi 5	859,008	239,044	35,9182	859,0078	261,881	39,3497
6	Kombinasi 6	999,659	204,491	120,041	999,6589	224,028	131,509
7	Kombinasi 7	233,505	153,33	100,436	233,5054	167,979	110,031
8	Kombinasi 8	374,157	187,883	55,5233	374,1565	205,832	60,8278
9	Kombinasi 9	661,163	135,912	241,35	661,1627	148,897	264,408
10	Kombinasi 10	1179,73	36,4538	282,981	1179,7278	39,9365	310,016
11	Kombinasi 11	53,4365	14,7071	263,376	53,4365	16,1122	288,538
12	Kombinasi 12	883,661	85,6913	261,979	883,6608	93,8779	287,007
13	Kombinasi 13	678,026	231,274	39,1022	678,0264	253,369	42,8379
14	Kombinasi 14	818,678	196,722	116,857	818,6775	215,516	128,021
15	Kombinasi 15	52,5241	161,1	103,62	52,5241	176,491	113,519
16	Kombinasi 16	193,175	195,652	52,3393	193,1752	214,344	57,3396
17	Kombinasi 17	168,522	129,083	245,558	168,5221	141,415	269,017
18	Kombinasi 18	998,746	28,6844	279,797	998,7464	31,4248	306,528
19	Kombinasi 19	127,545	6,9376	266,56	127,5448	7,60039	292,026
20	Kombinasi 20	492,552	57,9062	263,854	492,5523	63,4384	289,062

4.12.2 Desain Penulangan Transversal Kolom

$$\begin{aligned}V_{ux} &= 74,7853 \text{ kN} \\ &= 74785,3 \text{ N} \\ V_{uy} &= 66,6755 \text{ kN} \\ &= 66675,5 \text{ N} \\ P_u &= 158,0474 \text{ kN} \\ &= 158047,4 \text{ N}\end{aligned}$$

Momen ujung kolom sumbu X (Mpr x)

$$\begin{aligned}M_{pr x} &= 1,25 \times M_n \\ &= 1,25 \times 738,24 \\ &= 922,80 \text{ kNm} \\ &= 922795925 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Momen ujung kolom sumbu Y (Mpr y)

$$\begin{aligned}M_{pr y} &= 1,25 \times M_n \\ &= 1,25 \times 738,2 \\ &= 922,80 \text{ kNm} \\ &= 922795925 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Gaya geser akibat momen ujung kolom

$$\begin{aligned}h_n &= 3900 \text{ mm} \\ V_{ex} &= \frac{2 \times M_{pr x}}{h_n} \\ &= \frac{2 \times 922795925}{3900} \\ &= 473228,679 \text{ N} \\ V_{ey} &= \frac{2 \times M_{pr y}}{h_n} \\ &= \frac{2 \times 922795925}{3900} \\ &= 473228,679 \text{ N}\end{aligned}$$

Menghitung Kebutuhan Tulangan Geser

a. Menghitung kebutuhan tulangan geser di daerah sendi plastis

Sesuai SNI 2874 : 2019 pasal 18.7.6.2 hal.392 menyatakan bahwa untuk daerah sendi plastis sepanjang l_0 dari muka kolom, maka kontribusi beton dalam menahan geser, $V_c = 0$ apabila syarat 1 dan 2 terjadi:

1. Gaya geser yang ditimbulkan gempa yang dihitung pada pasal 18.7.6.1 mewakili $1/2$ atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam l_0
2. Gaya tekan aksial terfaktor (P_u), termasuk pengaruh gempa kurang dari $A_g f_c' / 10$

Cek kedua persyaratan di atas :

Syarat 1

Sumbu X

$$\frac{1}{2} V_{ex} > V_{ux}$$
$$\frac{1}{2} 473228,679 > 74785,30$$
$$236614,3396 > 74785,30 \quad \text{Memenuhi}$$

Sumbu Y

$$\frac{1}{2} V_{ey} > V_{uy}$$
$$\frac{1}{2} 473228,679 > 66675,50$$
$$236614,3396 > 66675,50 \quad \text{Memenuhi}$$

Syarat 2

$$P_u < \frac{A_g \times f_c'}{10}$$
$$158047,4 < \frac{360000 \times 25}{10}$$
$$158047,4 < 900000 \quad \text{Memenuhi}$$

Tulangan transversal yang disyaratkan dalam 18.7.5.2 sampai 18.7.5.4 harus dipasang sepanjang l_o setiap muka joint dan kedua sisi seberang penampang dimana pelelehan lentur sepertinya terjadi sebagai akibat dari perpindahan lateral inelastis rangka. Panjang l_o tidak boleh kurang dari persamaan 1,2, dan 3

Tinggi komponen struktur h , pada muka joint atau penampang dimana pelelehan lentur
1. sepertinya terjadi

$$h = 600 \text{ mm}$$

2. $\frac{1}{6} \times$ bentang bersih komponen struktur

$$6$$

$$\frac{1}{6} \times 3400 = 566,67$$

3. 450 mm

Dari hasil perhitungan diatas, panjang daerah sendi plastis (l_o) kolom diambil nilai serbesar yaitu sepanjang 600 mm dari muka tumpuan.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.3 hal. 389, spasi tulangan transversal sepanjang l_o komponen struktur tidak boleh melebihi yang terkecil dari persamaan 1,2, dan 3

$$1 \frac{1}{4} \times 600 = 150$$

2 $6 \times$ diameter batang tuangan longitudinal terkecil

$$= 6 \times 22$$

$$= 132 \text{ mm}$$

3 S_o , seperti yang di definisikan oleh persamaan

$$\begin{aligned} S_o &= 100 + \frac{350 - h_x}{3} \\ &= 100 + \frac{350 - 79,00}{3} \\ &= 190,333 \text{ mm} \longrightarrow 100 \text{ mm } \textbf{(Pakai)} \end{aligned}$$

Catatan:

Nilai S_o , tidak boleh lebih dari 150 mm dan tidak boleh kurang dari 100 mm. Maka spasi (s) tulangan transversal sepanjang l_o sebesar = 100 mm. Jumlah tulangan transversal harus dihitung sesuai 18.7.5.4 halaman 389

$$\begin{aligned}
 P_u &< 0,3 \times A_g \times f_c \\
 158047,40 &< 0,3 \times 360000 \times 25 \\
 158047,40 &< 2700000
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah tulangan transversal minimum harus terpenuhi sesuai dengan (SNI 2847:2019) tabel 18.7.5.4.

$$\begin{aligned}
 A_{ch} &= \left(h \text{ kolom} - 2 \times s_b \right) \times \left(b \text{ kolom} - 2 \times s_b \right) \\
 &= \left(600 - 2 \times 40 \right) \times \left(600 - 2 \times 40 \right) \\
 &= 270400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

atau

Menurut SNI 2847 – 2019 Pasal 18.7.5.4 Halaman 389:

$$\begin{aligned}
 k_f &= \frac{f_c}{175} + 0,6 \geq 1 \\
 &= \frac{25}{175} + 0,6 \geq 1 \\
 &= 0,74285714 < 1 \quad (\text{Diambil } k_f = 1,0)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k_n &= \frac{n_l}{(n_l - 2)} \\
 &= \frac{20}{20 - 2} \\
 &= 1,11111111
 \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned}
 b_c \times &= h \text{ kolom} - \left(2 \times d' \right) \\
 &= 600 - \left(2 \times 64 \right) \\
 &= 472 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 bc_y &= h_{\text{kolom}} - (2 \times d') \\
 &= 600 - (2 \times 64) \\
 &= 472 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{s_{\min}}}{sbc} &= 0,3 \times \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \times \frac{f_c'}{f_{yt}} \\
 &= 0,3 \times \left(\frac{360000}{270400} - 1 \right) \times \frac{25}{280} \\
 &= 0,00887574 \longrightarrow 0,89\% \quad \text{Persamaan 1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{s_{\min}}}{sbc} &= 0,09 \times \frac{f_c'}{f_{yt}} \\
 &= 0,09 \times \frac{25}{280} \\
 &= 0,008035714 \longrightarrow 0,80\% \quad \text{Persamaan 2}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas jumlah tulangan transversal minimum = 0,89%

1. Perhitungan tulangan transversal rencana arah X

$$\begin{aligned}
 Ash_x &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 4 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\
 &= 530,66 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{Ash_x}{sbc} &= \frac{Ash_x}{s \times bc_x} \\
 &= \frac{530,66}{100 \times 472} \\
 &= 0,0112428 \longrightarrow 1,12\%
 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\frac{Ash_x}{sbc} > \frac{A_{s_{\min}}}{sbc}$$

$$1,12\% > 0,89\% \text{ mm}^2 \quad \text{Memenuhi}$$

2. Perhitungan tulangan transversal rencana arah Y

$$\begin{aligned} \text{Ashy} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\ &= 530,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\text{Ashy}}{\text{sbc}} &= \frac{\text{Ash y}}{s \times \text{bcy}} \\ &= \frac{530,66}{100 \times 472} \\ &= 0,011243 \longrightarrow 1,12\% \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} \frac{\text{Ashy}}{\text{sbc}} &> \frac{\text{Asmin}}{\text{sbc}} \\ 1,12\% &> 0,89\% \text{ mm}^2 \quad \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

3. Menghitung kekuatan geser kolom rencana

Arah Sumbu X

$$\begin{aligned} V_s \text{ ada} &= \frac{\text{Ashx} \times f_{yt} \times d}{s} \\ &= \frac{530,66 \times 280 \times 536,0}{100} \\ &= 796414,528 \text{ N} \\ &= 796,414528 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan transversal

$$\begin{aligned} V_n &= V_c + V_s \text{ ada} \\ &= 0 + 796415 \\ &= 796414,528 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi V_n &= \phi \times V_n \\
&= 0,75 \times 796414,528 \\
&= 597310,896 \text{ N} \\
&= 597,310896 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\phi V_n > V_e$$

$$597310,896 > 473228,679$$

Memenuhi

Sehingga tulangan transversal daerah sendi plastis arah X 4 kaki D13 - 100 mm

Sumbu Y

$$\begin{aligned}
V_s \text{ ada} &= \frac{A_{hsy} \times f_{yt} \times d}{s} \\
&= \frac{531 \times 280 \times 536,0}{100} \\
&= 796414,528 \text{ N} \\
&= 796,414528 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_n &= V_c + V_s \text{ ada} \\
&= 0 + 796414,528 \\
&= 796414,528 \text{ N}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\phi V_n &= \phi \times V_n \\
&= 0,75 \times 796414,528 \\
&= 597310,896 \text{ N} \\
&= 597,310896 \text{ kN}
\end{aligned}$$

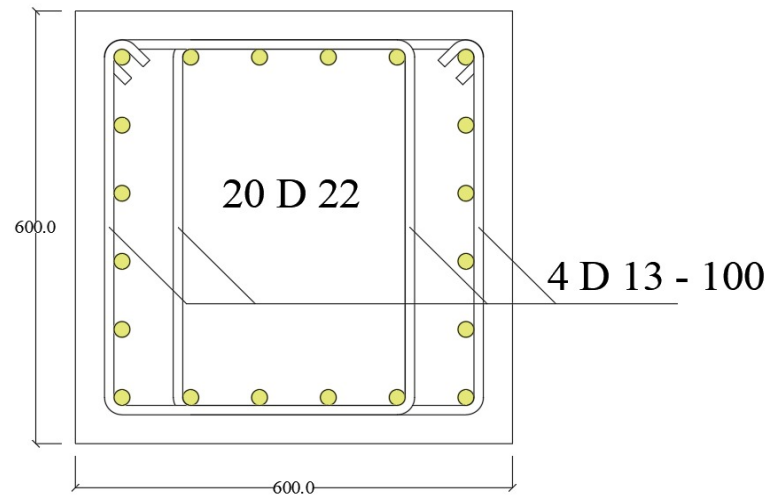
Kontrol

$$\phi V_n > V_e$$

$$597311 > 473228,679$$

Memenuhi

Sehingga tulangan transversal daerah sendi plastis arah Y 4 kaki D13 - 100 mm



Gambar 4.54 Penulangan transversal kolom daerah sendi plastis

b. Menghitung kebutuhan tulangan geser di daerah luar sendi plastis

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.5, spasi maksimum untuk tulangan transversal

(sengkag) diluar sendi plastis tidak melebihi yang terkecil dari

1. $6 \times D = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$
2. 150 mm

Dari hasil perhitungan diatas s_{max} dipakai $= 150 \text{ mm}$

1. Menghitung kekuatan geser kolom rencana arah X

Sehingga tulangan transversal daerah luar sendi plastis arah x 3 kaki D13 - 150 mm

$$\begin{aligned}
 A_{shx} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\
 &= 398 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s \text{ ada} &= \frac{A_{shx} \times f_{yt} \times d}{s} \\
 &= \frac{398 \times 280 \times 536,0}{150} \\
 &= 398207,264 \text{ N} = 398,207264 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Vc dihitung sesuai SNI 2847:2019 pasal 22.5.6.1 hal 486

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \left(1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right) \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\
 &= 0,17 \times \left(1 + \frac{5553611,18}{14 \times 360000} \right) \times \sqrt{25} \times 600 \times 536 \\
 &= 574577,2921 \text{ N} \\
 &= 574,5772921 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \text{ ada} \\
 &= 574577,3 + 398207,264 \\
 &= 972784,556 \text{ N} \\
 \phi V_n &= \phi \times V_n \\
 &= 0,75 \times 972784,556 \\
 &= 729588,417 \text{ N} \\
 &= 729,588417 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &> V_e \\
 729588,417 &> 473228,679 && \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Sehingga tulangan transversal daerah luar sendi plastis arah X 3 kaki D13 - 150 mm

2. Menghitung kekuatan geser kolom rencana arah Y

Sehingga tulangan transversal daerah luar sendi plastis arah y 3 kaki D13 - 150 mm

$$\begin{aligned}
 A_{shx} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2 \\
 &= 398 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$V_s \text{ ada} = \frac{A_{shy} \times f_{yt} \times d}{s}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{398 \times 280 \times 536}{150} \\
 &= 398207,264 \text{ N} \\
 &= 398,207264 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Vc dihitung sesuai SNI 2847:2019 pasal 22.5.6.1 hal 486

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \left\{ 1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right\} \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \\
 &= 0,17 \times \left\{ 1 + \frac{5553611,18}{14 \times 360000} \right\} \times \sqrt{25} \times 600 \times 536 \\
 &= 574577,2921 \text{ N} \\
 &= 574,5772921 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

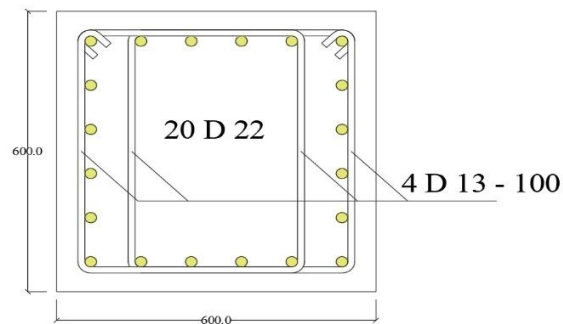
$$\begin{aligned}
 V_n &= V_c + V_s \text{ ada} \\
 &= 574577,292 + 398207,264 \\
 &= 972784,556 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= \phi \times V_n \\
 &= 0,75 \times 972784,556 \\
 &= 729588,417 \text{ N} \\
 &= 729,588417 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &> V_e \\
 729588,417 &> 473228,679 \quad \textbf{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

Sehingga tulangan transversal daerah luar sendi plastis arah Y 3 kaki D13 - 100 mm



Gambar 4.55 Penulangan transversal kolom daerah luar sendi plastis

4.12.3 Pendetailan Penulangan Kolom

1) Panjang Penyaluran dalam Kondisi Tarik

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.3 hal.385 sambungan lewatan diizinkan hanya dalam daerah tengah tinggi kolom dan harus didesain sebagai sambungan pasal 25.4.2.3 hal 567 dijelaskan bahwa panjang penyaluran dalam kondisi tarik harus memenuhi:

dimana:

$$\lambda = 1$$

$$\psi_t = 1$$

$$\psi_e = 1$$

$$\psi_s = 1$$

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$s_b = 40 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} c_b &= s_b + d_s + \frac{1}{2} \times d_b \\ &= 40 + 12 + \frac{1}{2} \times 22 \\ &= 63 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$f_c' = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$K_{tr} = 0 \quad (\text{SNI 2847:2019 pasal 25.4.2.3 hal.567})$$

$$\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \leq 2,5$$

$$\frac{63 + 0}{22} \leq 2,5$$

$$2,863636364 \leq 2,5$$

Karena nilai $\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} > 2,5$ maka dipakai nilai = 2,5

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 L_d &= \left(\frac{f_y}{1 \times \lambda} \times \frac{\psi_t \times \psi_e \times \psi_s}{2,5} \right) \times d_b \\
 &= \left(\frac{420}{1 \times 1 \times 5} \times \frac{1 \times 1 \times 1}{2,5} \right) \times 22 \\
 &= 672,00 \text{ mm} \rightarrow 650 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sesuai SNI 2847:2019 pasal 25.5.2.1 hal. 586 panjang minimum sambungan untuk lewatan tarik

kolom harus memenuhi

Panjang yang dihitung sesuai dengan pasal 25.4.2.2 atau 25.4.3.2 dengan menggunakan

a.

faktor modifikasi yang berlaku pada pasal 25.4.2.4

b. $I_d \text{ min}$

$$L_d > I_d \text{ min}$$

$$650 > 300 \text{ mm} \quad \text{Memenuhi}$$

Maka panjang penyaluran dalam kondisi tarik dipakai adalah $L_d = 650 \text{ mm}$

Spasi sengkang disepanjang sambungan tidak boleh melebihi yang lebih kecil dari SNI 2847

2019 pasal 18.6.3.3 hal.379

2) Panjang Penyaluran Kait Standar Tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 L_{dh} &= \left(\frac{0,24 \times f_y \times \psi_e \times \psi_c \times \psi_r}{\lambda \times \sqrt{f_c}} \right) \times d_b \\
 &= \left(\frac{0,24 \times 420 \times 1 \times 1 \times 1}{1 \times \sqrt{25}} \right) \times 22 \\
 &= 404,877 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned}
 L_{dh} &= 8 \times d_b \\
 &= 8 \times 22 \\
 &= 176 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

atau

$$L_{dh} = 150 \text{ mm}$$

$$\lambda = 1 \quad (\text{SNI 1847 2019 tabel 25.4.2.4 hal.568})$$

$$\psi_r = 1 \quad (\text{SNI 2847 2019 tabel 25.4.9.3 hal.582})$$

$$d_b = 22 \text{ mm}$$

$$f_c' = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

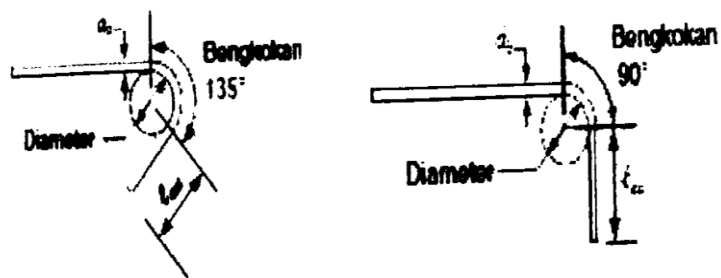
Sehingga panjang penyaluran tarik dipilih terbesar dari perhitungan L_{dh}

$$L_{dh} = 404,877 \text{ mm}$$

$$= 400 \text{ mm}$$

3) Panjang Penyaluran Kait Standar Tulangan Tekan

Geometri kait standar bengkokan 90° dan 135°



Gambar 4.56 Panjang Penyaluran

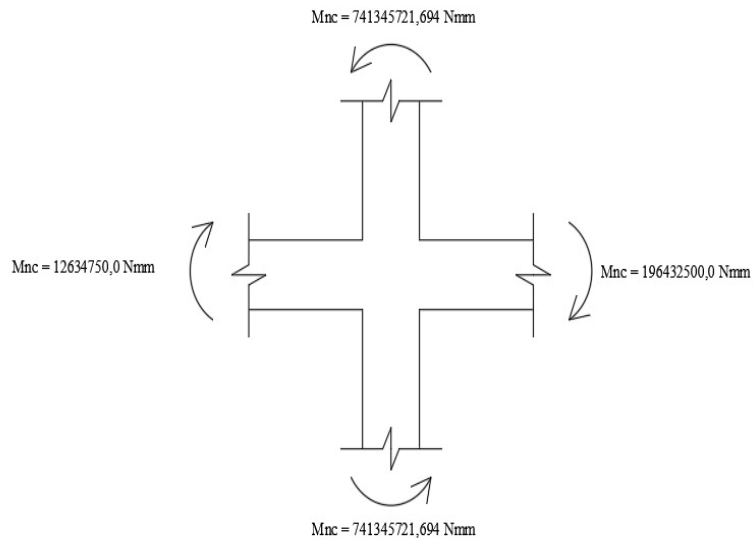
Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 4.51 Detail Bengkokan Tulangan Kolom

Tulangan	D	Ket.	Diameter		D	Perpanjangan urus		l _{ext}
			tekuk			(l _{ext})		
	mm	4db	8db	desain	6db atau 75	12db	desain	
Kait standar long	22	90°	-	176	200	-	264	300
Senggang	12	135°	48	-	48	75	-	75
Cross Ties	12	135°	48	-	48	75	-	75

4.15 Persyaratan Strong Column Weak Beam (SCWB)

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2, kekuatan lentur kolom harus memenuhi $\Sigma M_{nc} \geq 1.2 \Sigma M_{nb}$. Kekuatan lentur kolom (M_{nc}) harus dicari dari gaya aksial terfaktor yang konsisten terhadap arah gempa yang ditinjau yang menghasilkan kekuatan lentur terendah.



Gambar 4.57 Hubungan Balok dan Kolom

1) Kontrol Kekuatan HBK Sumbu X

$$\begin{aligned} M_{nc} &= 741345721,694 \text{ Nmm} \\ \Sigma M_{nc} &= 2 \times M_{nc} \\ &= 2 \times 741345721,7 \\ &= 1482691443,39 \text{ Nmm} \\ &= 1482,69 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen ujung balok

$$\begin{aligned} M_{pr} \text{ kiri} &= 126343750,00 \text{ Nmm} \\ M_{pr} \text{ kanan} &= 196432500,00 \text{ Nmm} \\ \Sigma M_{prb} &= 1,2 \left[M_{pr} \text{ kiri} + M_{pr} \text{ kanan} \right] \\ &= 1,2 \left[126343750,00 + 196432500,00 \right] \\ &= 387331500,000 \text{ Nmm} \\ &= 387,332 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Cek persyaratan

$$\begin{array}{rclclcl} \Sigma M_{nc} & & > & \Sigma M_{prb} & & \\ 1482691443,4 & \text{Nmm} & > & 387331500,000 & \text{Nmm} & \\ 1482,7 & \text{kNm} & > & 387,3315 & \text{kNm} & \text{Memenuhi} \end{array}$$

2) Kontrol Kekuatan HBK Sumbu Y

$$M_{nc} = 741345721,6941 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_{nc} &= 2 \times M_{nc} \\ &= 2 \times 741345721,6941 \\ &= 1482691443 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen ujung balok

$$M_{pr \text{ kiri}} = 126343750,00 \text{ Nmm}$$

$$M_{pr \text{ kan}} = 196432500,00 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_{prb} &= 1,2 \left[M_{pr \text{ kiri}} + M_{pr \text{ kanan}} \right] \\ &= 1,2 \left[126343750,00 + 196432500,00 \right] \\ &= 387331500,000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek persyaratan

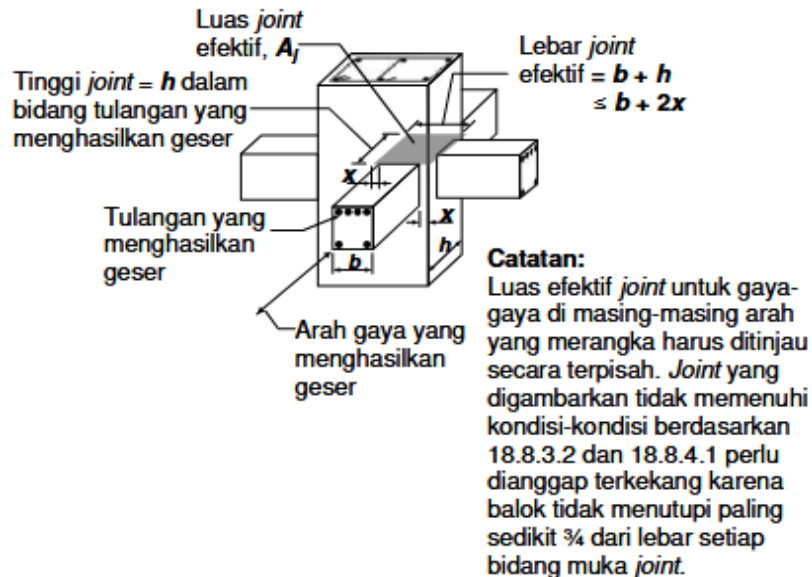
$$\begin{array}{rclclcl} \Sigma M_{nc} & & > & \Sigma M_{prb} & & \\ 1482691443 & \text{Nmm} & > & 387331500,000 & \text{Nmm} & \\ 1482,69144 & \text{kNm} & > & 387,3315 & \text{kNm} & \text{Memenuhi} \end{array}$$

4.13 Penulangan Hubungan Balok Kolom

Data Perencanaan

Lebar kolom (b_w)	=	600	mm
Tinggi kolom (h)	=	600	mm
Mutu Beton (f_c')	=	25	Mpa
f_y ulir	=	420	MPa
Diameter Tul.pokok	=	22	mm
Selimut beton (s_b)	=	40	mm
Tinggi Lantai (h_l)	=	4500	mm
Lebar balok	=	300	mm
Tinggi balok (h_b)	=	500	mm
Tinggi bersih kolom (h_n)	=	4000	mm
Momen ujung balok kiri (+)	=	126343750,00	Nmm
Momen ujung balok kanan(-)	=	196432500,000	Nmm
Momen ujung balok kiri (-)	=	250730000,00	Nmm
Momen ujung balok kanan(+)	=	62993750,000	Nmm
N_u (Aksial Terfaktor Maks)	=	5868733,416	N

2) Syarat Luasan Join (A_j)



Gambar 4.58 Luas Hubungan Balok Kolom (Joint) Efektif

Berdasarkan pasal 18.8.4.3 Luas penampang efektif dalam suatu joint, A_j , harus tinggi joint kali lebar joint efektif. Tinggi joint harus sebesar lebar kolom, h_j .

$$\text{Tinggi joint } (h_j) = 600 \text{ mm}$$

Lebar joint efektif harus sebesar kolom, kecuali bila ada balok yang merangka ke dalam kolom dihitung dari yang lebih lebar, lebar joint efektif tidak boleh melebihi nilai terkecil dari a) dan b): Lebar joint efektif (b_j) = 600 mm

$$a) \quad b_j < b_w + h_j$$

$$600 < 300 + 600$$

$$600 < 900 \quad \text{Memenuhi}$$

b) $b_j < 2 \times$ Dua kali jarak tegak lurus yang lebih kecil dari sumbu longitudinal balok ke sisi kolom.

$$b_j < b_w + 2 \left(d' + \frac{h_j - b_w}{2} \right)$$

$$600 < 300 + 2 \left(55,5 + \frac{600 - 300}{2} \right)$$

$$600 < 711 \text{ mm} \quad \text{Memenuhi}$$

3) Kuat Geser Nominal pada Joint Arah X

Menurut SNI 2847 2019 pasal 18.8.2.1 hal.392, gaya-gaya yang bekerja pada tulangan balok longitudinal di muka joint harus ditentukan dengan mengasumsikan bahwa tegangan pada tulangan tarik lentur $1.25 f_y$.

Luas Tulangan Atas

$$\begin{aligned} A_{s1} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 1899,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas Tulangan Bawah

$$A_{s2} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2$$

$$= 1139,82 \text{ mm}^2$$

Gaya yang bekerja pada tulangan atas (T1) pada balok HBK

$$T1 = 1,25 \times A_{s1} \times f_y$$

$$= 1,25 \times 1899,7 \times 420$$

$$= 997342,5 \text{ N}$$

Gaya yang bekerja pada beton HBK (C1)

$$C1 = T1$$

$$= 997342,5 \text{ N}$$

Gaya yang bekerja pada tulangan bawah (T2) pada balok HBK

$$T2 = 1,25 \times A_{s2} \times f_y$$

$$= 1,25 \times 1139,8 \times 420$$

$$= 598405,5 \text{ N}$$

Gaya yang bekerja pada beton HBK C2

$$C2 = T2$$

$$= 598405,5 \text{ N}$$

Momen kolom (Mc)

$$M_c = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{2}$$

$$= \frac{126343750,00 + 196432500,000}{2}$$

$$= 161388125,00 \text{ Nmm}$$

Gaya geser kolom

$$V_h = \frac{2}{h_n} \times M_c$$

$$= \frac{2 \times 161388125,000}{4000}$$

$$= 80694,0625 \text{ N}$$

Keseimbangan gaya

$$V_{jh} = T1 + C2 - Vh$$

$$= 997342,5 + 598405,5 - 80694,0625$$

$$= 1515053,938 \text{ N}$$

Kuat geser nominal

$$V_n = 1,7 \times f_c' \times A_j$$

$$= 1,7 \times f_c' \times h \text{ kolom} \times b \text{ kolom}$$

$$= 1,7 \times 25 \times 600 \times 600$$

$$= 15300000 \text{ N}$$

$$\phi V_n = \phi \times V_n > V_{jh}$$

$$= 0,75 \times 15300000 > 1515053,94$$

$$= 11475000 > 1515053,94 \text{ N} \quad \text{Memenuhi}$$

4) Penulangan Geser Horizontal pada Joint Arah X

Kekuatan geser horizontal nominal yang disediakan beton

$$\frac{N_u}{A_g} > 0,1 \times f_c'$$

A_g

$$\frac{N_u}{b \times h} > 0,1 \times 25$$

$$\frac{5868733,4}{600 \times 600} > 2,5$$

$$16,3020373$$

$$16,3020373 > 2,5 \text{ Mpa} \quad \text{Memenuhi}$$

$$V_{c,h} = \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{N_u}{b \times h} - 0,1 \times f_c'} \times A_g$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{2}{3} \times \sqrt{16,302 - 0,1 \times 25} \times (600 \times 600) \\
&= 891626,237 \text{ N}
\end{aligned}$$

Kekuatan geser nominal penulangan horizontal

$$\begin{aligned}
V_{s,h} &= V_{j,h} - V_{c,h} \\
&= 1515053,94 - 891626,237 \\
&= 623427,7
\end{aligned}$$

Kekuatan geser nominal penulangan horizontal

$$\begin{aligned}
A_{j,h} &= \frac{V_{s,h}}{f_y} \\
&= \frac{623427,7}{420} \\
&= 1484,35167 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Luas tulangan geser rencana **4 kaki D12 (5 lapis)**

Dicoba pemasangan tulangan geser horizontal sebanyak **5 Lapis 4 kaki D12**

$$\begin{aligned}
A_s &= n_{tul.} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n_{lapis} \\
&= 4 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 144 \times 4 \\
&= 1808,64 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Perhitungan jarak antar lapis tulangan

$$\begin{aligned}
s &= \frac{h_{balok} - \left[\frac{2 \times s_b}{n} - \frac{1}{n} \right] - D_{sengkang}}{4 - 1} \\
&= \frac{500 - \left[\frac{2 \times 40}{4} - \frac{1}{4} \right] - 12}{4 - 1} \\
&= 136 \text{ mm}^2 \rightarrow 100 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$A_s > A_{jh}$$

$$1808,64 \text{ mm}^2 > 1484,35167 \text{ mm}^2 \quad \text{AMAN}$$

5) Penulangan Geser Vertikal Pada Joint Arah X

Kekakuan geser vertikal di daerah HBK

$$V_{j,v} = \frac{h_j}{b_j} \times V_{j,h}$$

$$= \frac{600}{600} \times 1515053,938$$

$$= 1515053,938 \text{ N}$$

Kekuatan geser vertikal nominal yang disediakan beton

$$V_{c,v} = \frac{A_{s2} \cdot V_{j,v}}{A_{s1}} \times 0,6 \times \frac{N_{u,k}}{A_g \cdot F_c'}$$

$$= \frac{1139,82}{1899,7} \times 1515053,94 \times 0,6 \times \frac{5868733,416}{360000 \times 25}$$

$$= 355657,9068 \text{ N}$$

Kekuatan geser nominal penulangan vertikal

$$V_{s,v} = V_{j,v} - V_{c,v}$$

$$= 1515053,94 - 355657,907$$

$$= 1159396,031 \text{ N}$$

Luas tulangan geser vertikal perlu pada HBK

$$A_{j,v} = \frac{V_{s,v}}{f_y}$$

$$= \frac{1159396,03}{420}$$

$$= 2760,46674 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan longitudinal kolom **(24 D 22)**

$$A_{s,v} = n \times l \times \pi \times d^2$$

Luas Tulangan Atas

$$\begin{aligned}As1 &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 5 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 1899,7 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Luas Tulangan Baawah

$$\begin{aligned}As2 &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 22^2 \\ &= 1139,82 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Gaya yang bekerja pada tulangan atas (T1) pada balok HBK

$$\begin{aligned}T1 &= 1,25 \times As1 \times fy \\ &= 1,25 \times 1899,7 \times 420 \\ &= 997342,5 \text{ N}\end{aligned}$$

Gaya yang bekerja pada beton HBK (C1)

$$\begin{aligned}C1 &= T1 \\ &= 997342,5 \text{ N}\end{aligned}$$

Gaya yang bekerja pada tulangan bawah (T2) pada balok HBK

$$\begin{aligned}T2 &= 1,25 \times As2 \times fy \\ &= 1,25 \times 1139,8 \times 420 \\ &= 598405,5 \text{ N}\end{aligned}$$

Gaya yang bekerja pada beton HBK (C2)

$$\begin{aligned}C2 &= T2 \\ &= 598405,5 \text{ N}\end{aligned}$$

Momen Kolom (Mc)

$$\begin{aligned} Mc &= \frac{M_{pr\ 1} + M_{pr\ 2}}{2} \\ &= \frac{250730000,0 + 62993750,00}{2} \\ &= 156861875 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Gaya geser kolom

$$\begin{aligned} V_h &= \frac{2 \times Mc}{h_n} \\ &= \frac{2 \times 156861875}{4000} \\ &= 78430,9375 \text{ N} \end{aligned}$$

Keseimbangan gaya

$$\begin{aligned} V_{jh} &= T_1 + C_2 - V_h \\ &= 997342,5 + 598405,5 - 78430,9375 \\ &= 1517317,063 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser nominal

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \times f_c' \times A_j \\ &= 1,7 \times f_c' \times \\ &= 1,7 \times 25 \times 600 \times 600 \\ \phi V_n &= 15300000 \text{ N} \\ &= \phi \times V_n > V_{jh} \\ &= 0,75 \times 15300000 > 1517317,06 \\ &= 11475000 > 1517317,06 \quad \text{Memenuhi} \end{aligned}$$

7) Penulangan Geser Horizontal pada Joint Arah Y

Kekuatan geser horizontal nominal yang disediakan beton

$$\frac{N_u}{A_g} > 0,1 \times f_c'$$

A_g

$$\frac{N_u}{b \cdot h} > 0,1 \times 25$$

$b \cdot h$

$$\frac{5868733,416}{600 \times 600} > 0,1 \times 25$$

$$16,30203727 > 3 \text{ Mpa} \quad \text{Memenuhi}$$

$$V_{c,h} = \frac{2}{3} \times \sqrt{\frac{N_u}{b \times h} - 0,1 \times f_c'} \times A_g$$

$$= \frac{2}{3} \times \sqrt{16,302 - 0,1 \times 25} \times (600 \times 600)$$

$$= 891626,237 \text{ N}$$

Kekuatan geser nominal penulangan horizontal

$$V_{s,h} = V_{j,h} - V_{c,h}$$

$$= 1517317,06 - 891626,237$$

$$= 625690,825 \text{ N}$$

Luas tulangan geser horizontal perlu pada HBK

$$A_{j,h} = \frac{V_{s,h}}{f_y}$$

$$= \frac{625690,825}{420}$$

$$= 1489,74006 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan geser rencana **4 kaki D12 (5 lapis)**

Dicoba pemasangan tulangan geser horizontal sebanyak **5 Lapis 4 kaki D12**

$$A_s = n_{tul.} \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times n_{lapis}$$

$$= 4 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 144 \times 5$$

$$= 2260,8 \text{ mm}^2$$

Perhitungan jarak antar lapis tulangan

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{h_{\text{balok}} - \left[\frac{2}{n} \times sb \right] - D_{\text{sengkang}}}{5 - 1} \\
 &= \frac{500 - \left[\frac{2}{5} \times 40 \right] - 12}{5 - 1} \\
 &= 102 \text{ mm} \rightarrow 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$A_s > A_{jh}$$

$$2260,8 \text{ mm}^2 > 1489,74006 \text{ mm}^2 \quad \text{AMAN}$$

8) Penulangan Geser Vertikal Pada Joint Arah Y

kekuatan geser Vertikal didaerah HBK

$$\begin{aligned}
 V_{j,v} &= \frac{h_j}{b_j} \times V_{j,h} \\
 &= \frac{600}{600} \times 1517317,06 \\
 &= 1517317,06 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kekuatan geser vertikal nominal yang disediakan beton

$$\begin{aligned}
 V_{c,v} &= \frac{A_{s2} \cdot V_{j,v}}{A_{s1}} \times 1 \times \frac{N_{u,k}}{A_g \cdot F_c'} \\
 &= \frac{2454,369}{4908,739} \cdot 1517317,06 \times 0,6 \times \frac{5868733,416}{360000 \cdot 25} \\
 &= 296824,2511 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kekuatan geser nominal penulangan vertikal

$$\begin{aligned}
 V_{s,v} &= V_{j,v} - V_{c,v} \\
 &= 1517317,06 - 296824,2511 \\
 &= 1220492,8089 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan geser vertikal perlu pada HBK

$$A_{j,v} = \frac{V_{s,v}}{f_y}$$

$$= \frac{1161659,16}{420}$$

$$= 2765,85513 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan longitudinal kolom (24 D 22)

$$A_{s,v} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= 24 \times \frac{1}{4} \times 3,14 \times 25^2$$

$$= 11775,000 \text{ mm}^2$$

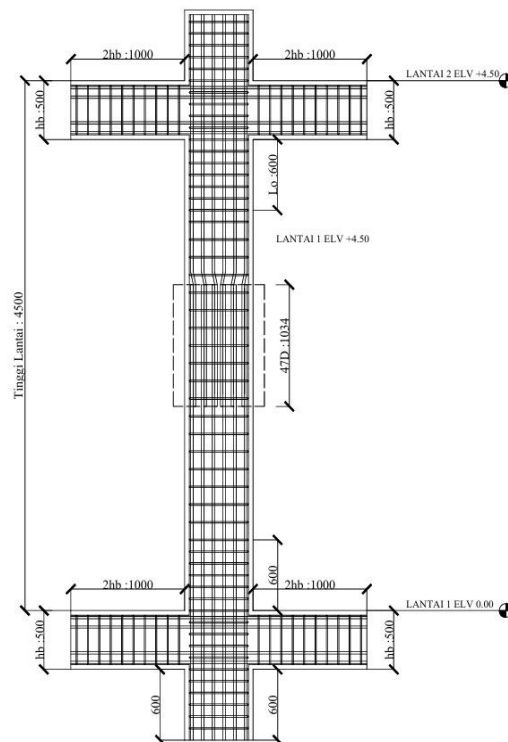
Kontrol

$$A_{s,v} > A_{j,v}$$

$$11775,000 > 2765,85513$$

Memenuhi

Maka penambahan tulangan geser vertikal tidak diperlukan karena tulangan longitudinal sudah mampu menahan gaya geser vertikal didaerah HBK



Gambar 4.60 Gambar penulangan HBK arah Y

4.14 Perhitungan Panjang Angkur Base Isolator HDRB

Data Diketahui : (Tipe A, HH080X4S)

Jumlah ankur	=	12	buah
Diameter ankur	=	30	mm
Tinggi base isolator	=	422,2	mm
Diameter pelat penyambung	=	1150	mm
Luas ankur (Ab)	=	$\frac{1}{4} \times \pi \times \varnothing^2$	
	=	706,5	mm ²
Luas pelat dasar	=	$\frac{1}{4} \times \pi \times \varnothing^2$	
	=	$\frac{1}{4} \times 3,14 \times D. \text{ flange}$	
	=	$1 \times 3,14 \times 1150$	
	=	902,75	mm ²
Diameter luar	=	800	mm
fc	=	25	MPa
fy	=	250	MPa
fu	=	410	MPa

Baut ankur yang digunakan :

Diameter Angkur (D)	=	30	mm
Luas Angkur (Ab)	=	$1/4 \times \pi \times \varnothing^2 = 706,50$	mm ²
Mutu Angkur	=	ASTM A449	
fua (tegangan tarik ankur)	=	758	MPa
fya (tegangan leleh ankur)	=	586	MPa
Mutu pelat ujung base plate	=	BJ55	
fyp	=	410	Mpa
fup	=	550	Mpa

Hasil Analisa dari program bantu Etabs

$$\begin{aligned}
 P_u \text{ tekan} &= 504,0481 \text{ kN} \\
 V_n &= 0,6 \times f_y \times A_w \times C_v \\
 &= 0,6 \times f_y \times t_w \times h_e \times C_v \\
 &= 0,6 \times 250 \times 30 \times 422,2 \times 1 \\
 &= 1899900 \text{ N}
 \end{aligned}$$

a Perencanaan Untuk Tekan

Direncanakan pelat dasar langsung pada balok

maka luas bidang pelat dasar perlu (A1):

$$\begin{aligned}
 A_1 &= \frac{P_u}{\phi \times 0,85 \times f_c} \\
 &= \frac{504048,1}{0,65 \times 0,85 \times 25} \\
 &= 36492,17014 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dipakai Dimensi beton = 1300 x 1300 mm

$$A_1 = 1690000 \geq 36492,1701 \text{ mm}^2 \quad \text{Oke}$$

Kontrol terhadap tekan :

$$\begin{aligned}
 \phi P_p &\geq P_u \\
 \phi (0,85 \times f_c \times A_1) &\geq P_u \\
 0,65 (0,85 \times 25 \times 1690000) &\geq 504048,1 \\
 23343125 &\geq 504048,1 \quad \text{Oke}
 \end{aligned}$$

Luas pelat dasar harus lebih besar dari luas profil kolom. Luas profil Base Isolator

$$A_2 = 902,75 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \Delta &= \frac{0,95 \times d - 0,8 \times b_f}{2} \\
 &= \frac{0,95 \times 800 - 0,8 \times 1150}{2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 80 \text{ mm} \\
 N &= \sqrt{A_1 + \Delta} \\
 &= \sqrt{36492,1701 + 80} \\
 &= 271,029239 \text{ mm} \approx 1300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$B = \frac{A1}{N} = \frac{36492,1701}{1300} = 28,0709001 \approx 1300 \text{ mm}$$

Sehingga dimensi pelat dasar yang dipakai 1300 x 1300 mm

b Perencanaan Baut Angkur Untuk Geser

Digunakan baut angkur mutu tinggi A36 dimana kekuatan tarik minimumnya (f_u) adalah sebesar :

$$f_u = 758 \text{ MPa}$$

Kuat nominal baut dalam geser :

$$R_n = \phi \times r_i \times f_u \times m \times A_b$$

Dimana:

ϕ : 0,75 faktor reduksi kekuatan untuk fraktur

f_u : kekuatan tarik baut

r_i : 0,4 untuk baut denan ulir pada bidang geser

m : jumlah bidang geser (irisan tunggal = 1)

A_b : luas bruto penampang baut (direncanakan gunakan baut diameter 30 mm)

Maka :

$$\begin{aligned} R_n &= \phi \times r_i \times f_u \times m \times A_b \\ &= 0,75 \times 0,4 \times 758 \times 1 \times 706,50 \\ &= 160658,1 \text{ N/baut} \end{aligned}$$

• Jumlah Angkur = 12 buah

• Gaya Geser yang Diterima Angkur

$$V_u = 1899900 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{baut}} &= \frac{V_u}{n} = \frac{1899900}{12} \\ &= 158325 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol Akibat Gaya Geser

$$\begin{aligned} \phi R_n &> V_{\text{baut}} \\ 160658,1 &> 158325 \quad \text{Oke} \end{aligned}$$

c Menghitung jarak baut

- Jarak angkur ke tepi pelat (st)

Mengacu pada SNI 1729:2020 tabel J3.4M hal 130 yaitu:

untuk baut diameter 30 mm, maka :

$$38 \text{ mm} \leq St \leq 150 \text{ mm}$$

$$38 \text{ mm} \leq 50 \leq 150 \text{ mm}$$

$$\text{Digunakan St} = 50 \text{ mm}$$

- Jarak antar angkur (S)

Mengacu pada SNI 1729:2020 tabel J3.3M yaitu:

$$3 d \leq S \leq 300 \text{ mm}$$

$$90 \leq 150 \leq 300 \text{ mm}$$

$$\text{Digunakan S} = 150,0 \text{ mm}$$

d Kuat Desain Tekan dan Tarik Las Fillet

$$\text{Mutu Las} = E60$$

$$\text{Dicoba las fillet } 1/2 \text{ inch electrode} = 60 \text{ Ksi}$$

$$F_{exx} = 60 \times 6,985$$

$$= 419,1 \text{ Mpa}$$

$$\text{tebal las rencana (a)} = 8 \text{ mm}$$

$$\text{tebal efektif (te)} = a \times \cos 45^\circ$$

$$= 8 \times 0,7071$$

$$= 5,6569 \text{ mm}$$

Base isolator umumnya menggunakan sistem sambungan baut (*bolted connection*) pada bagian flange-nya. Pada model HH080X4S, base isolator memiliki *Diameter of flange* sebesar 1150 mm. Jika pelat flange ini harus dilas keliling ke pelat dasar tambahan, maka panjang las an (Lw) adalah keliling lingkaran tersebut:

$$L_w = \pi \times \text{Diameter pelat penyambung}$$

$$= 3,14 \times 1150$$

$$= 3611 \text{ mm}$$

Luas Efektif Las

$$\begin{aligned} A_{we} &= L_w \times t_e \\ &= 3611,00 \times 5,6569 \\ &= 20426,9007 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tegangan nominal las per mm^2 (SNI 1729 ; 2020 tebal J2-5 Lanjutan):

$$\begin{aligned} f_{nw} &= 0,6 \times F_{exx} \\ &= 0,6 \times 419,1 \\ &= 251,46 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Kekuatan desain Las (ϕP_n , Menurut SNI 1729 : 2020 Pasal J2.4(a) kuat nominal las, yaitu:

$$\begin{aligned} P_n &= f_{nw} \times A_{we} \\ &= 251,46 \times 20426,9007 \\ &= 5136548,449 \text{ N} \\ \phi P_n &= 0,75 \times 5136548,449 \\ &= 3852411,337 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya yang bekerja pada kolom

$$\begin{aligned} P_n &= 0,5040481 \text{ kN} \\ &= 504,0481 \text{ N} \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} \phi P_n &\geq P_u \\ 3852411,337 &\geq 504048,10 \quad \text{Oke} \end{aligned}$$

e Kontrol Panjang Angkur

Berdasarkan Manual AISC LRFD, panjang minimum angkur untuk baja mutu ASTM A449 dengan diameter antara 1/2 in hingga 1 in ditetapkan sebesar 17D, dengan D merupakan diameter angkur.

$$\begin{aligned} L_{min} &= 17 \times D \\ &= 17 \times 30,00 \\ &= 510 \text{ mm} \end{aligned}$$

Untuk mencegah terjadinya kegagalan pecah beton (*concrete breakout*) akibat gaya tarik yang bekerja pada baut angkur, perlu ditentukan kedalaman penanaman efektif (*hef*). Kedalaman ini dihitung berdasarkan luas proyeksi kerucut kegagalan beton (*Acp*) yang dibutuhkan untuk menahan beban tersebut, sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2019 Pasal 17.4.2.1. Berdasarkan geometri kegagalan beton tunggal yang membentuk piramida persegi, maka hubungan antara luas proyeksi dan kedalaman efektif didefinisikan sebagai berikut.

$$A_{cp} = 9 \times \text{hef}^2$$

Syarat kekuatan beton :

$$\text{hef} = \sqrt{\frac{A_{cp}}{9}} \quad (\text{SNI 2847 : 2019 pasal 17.4.2.1})$$

$$\begin{aligned} \text{Dimana } A_{cp} &= \frac{T_n}{\phi \times \sqrt{f_c}} = \frac{f_u a \times A_b}{0,75 \times \sqrt{f_c}} \\ &= \frac{758 \times 706,50}{0,75 \times \sqrt{25}} \\ &= \frac{535527}{3,75} \\ &= 142807,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{hef} &= \sqrt{\frac{142807,2}{9}} \\ &= 125,966133 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Syarat kekuatan beton} = 126 \text{ mm}$$

Panjang penanaman angkur yang diperlukan (*L*)

$$\begin{aligned} L &= \frac{f_u a \times D}{4 \times \sqrt{f_c}} \\ &= \frac{758 \times 30,00}{4 \times \sqrt{25}} \\ &= 1137 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena $L_{\text{perlu}} > L_{\text{min}}$ dan $L_{\text{perlu}} > h_{\text{ef}}$
 $1137 > 510$ dan $1137 > 126$ **Oke**

Untuk Panjang Tekukan yaitu

$$\begin{aligned} L &> 4 \times D_{\text{angkur}} \\ &> 4 \times 30,00 \\ &> 120 = 120 \text{ mm} \end{aligned}$$