

BAB V

PERENCANAAN PORTAL

5.1 Uraian Umum

Struktur portal adalah sistem konstruksi yang terdiri atas bagian-bagian struktur bangunan yang saling terhubung satu sama lain dengan fungsi sebagai penahan beban struktur yang bekerja padanya. Dalam perencanaan gedung perkantoran berlantai 3 ini, portal yang direncanakan terdiri dari kolom yang diperkuat dengan balok-balok yang dicor secara monolit untuk menahan beban akibat gravitasi dan gempa. Balok-balok tersebut terdiri dari balok induk, balok anak, ring balok dan sloof. Perencanaan portal ini terdiri dari dua bagian, yaitu perencanaan portal melintang dan perencanaan portal memanjang. Perencanaan portal ini menggunakan mutu beton $f_c' = 25$ Mpa dan mutu baja $f_y = 240$ Mpa.

5.2 Pedoman Perencanaan

Pedoman yang digunakan dalam perhitungan perencanaan pelat lantai adalah sebagai berikut :

1. Standar tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (SK SNI 03-2847-2002).
2. Standar tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (SK-SNI-T-15-1991-03).
3. Pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung (PPURG 1987).
4. Buku “Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang” yang disusun oleh Ir. W.C. Vis dan Ir. Gideon Kusuma M.Eng.

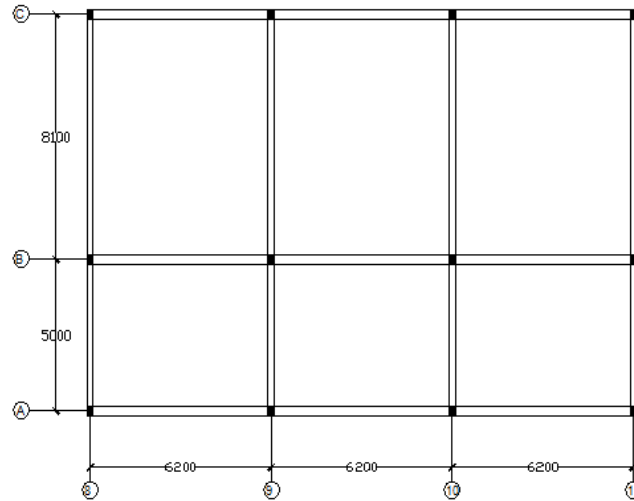
5.3 Konsep Perencanaan

Struktur portal terdiri dari balok dan kolom yang dibebani muatan di atasnya dimana muatan tersebut akan menimbulkan lenturan pada balok dan kemudian gaya-gaya dari muatan tersebut akan diteruskan pada kolom yang dapat berupa gaya normal. Dari hasil analisa portal akan diperoleh gaya-gaya dalam pada elemen-elemen balok yang kemudian dapat digunakan untuk melakukan proses desain terutama desain penulangan. Tahapan perencanaan portal diawali dengan perencanaan balok terlebih dahulu, dan kemudian dilanjutkan dengan perencanaan kolom.

5.4 Analisa Perencanaan Balok

5.4.1 Menghitung Dimensi Balok Pradesain

Secara umum pradesain tinggi balok direncanakan dengan $L/10 - L/15$, dan lebar balok diambil $1/2 H - 2/3 H$ dimana H adalah tinggi balok (*CUR 1 hal. 104*)



Gambar 5.1 Denah Balok

Arah Melintang

- a. Balok Ring → As 8AB, 11AB

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

- Balok Ring → As 8BC, 11BC

$$h = 70 \text{ cm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

- b. Balok Pada Pelat Lantai (Balok Induk) → As 9AB, 10AB

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

- Balok Pada Pelat Lantai (Balok Induk) → As 9BC, 10BC

$$h = 70 \text{ cm}$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

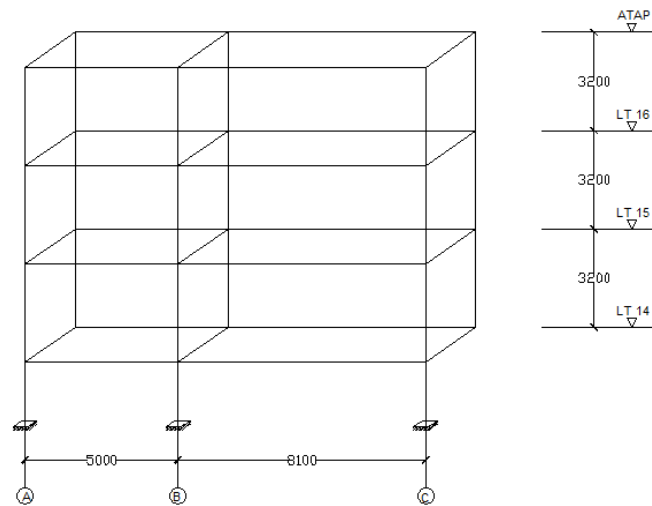
Arah Memanjang

- a. Balok Ring → As A89, A910, A1011 dan C89, C910, C1011

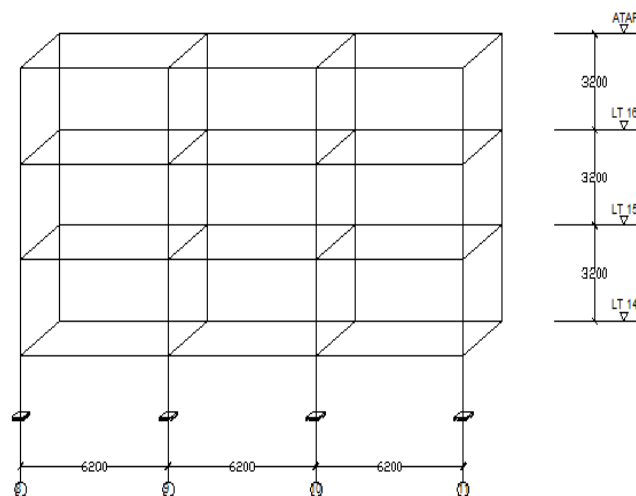
$$h = 50 \text{ cm}$$

- $b = 30 \text{ cm}$
- b. Balok Pada Pelat Lantai (Balok Induk) → As B89, B910, B1011
- $h = 50 \text{ cm}$
- $b = 30 \text{ cm}$

Hasil perhitungan diatas merupakan dimensi balok pradesain pada lantai 1,2,3 maupun atap gedung. Kesamaan dimensi balok pradesain pada setiap lantai dipengaruhi oleh panjang bentang yang *typical*.



Gambar 5.2 Portal Arah Melintang



Gambar 5.3 Portal Arah Memanjang

5.4.2 Menghitung Pembebanan

1. Data Pembebanan

1. Pembebanan pada Balok (SK-SNI 03-2847-2002 Pasal 11.2.1)

Arah Melintang

- 1) Balok Ring

$$\text{Dimensi} = 30/50 \text{ cm} \rightarrow \text{As } 8\text{AB}, 11\text{AB}$$

$$W = 0,30 \times 0,50 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 3,6 \text{ kN/m}$$

$$W_D = W \times 1,4 = 3,6 \times 1,4 = \mathbf{5,04 \text{ kN/m}}$$

$$\text{Dimensi} = 30/70 \text{ cm} \rightarrow \text{As } 8\text{BC}, 11\text{BC}$$

$$W = 0,30 \times 0,70 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 5,04 \text{ kN/m}$$

$$W_D = W \times 1,4 = 5,04 \times 1,4 = \mathbf{7,056 \text{ kN/m}}$$

- 2) Balok Pada Pelat Lantai (Balok Induk)

$$\text{Dimensi} = 30/50 \text{ cm} \rightarrow \text{As } 9\text{AB}, 10\text{AB}$$

$$W = 0,30 \times 0,50 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 3,6 \text{ kN/m}$$

$$W_D = W \times 1,4 = 3,6 \times 1,4 = \mathbf{5,04 \text{ kN/m}}$$

$$\text{Dimensi} = 30/70 \text{ cm} \rightarrow \text{As } 9\text{BC}, 10\text{BC}$$

$$W = 0,30 \times 0,70 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 5,04 \text{ kN/m}$$

$$W_D = W \times 1,4 = 5,04 \times 1,4 = \mathbf{7,056 \text{ kN/m}}$$

Arah Memanjang

- 1) Balok Ring

$$\text{Dimensi} = 30/50 \text{ cm} \rightarrow \text{As } A89, A910, A1011 \text{ \& } C89, C910, C1011$$

$$W = 0,30 \times 0,50 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 3,6 \text{ kN/m}$$

$$W_D = W \times 1,4 = 3,6 \times 1,4 = \mathbf{5,04 \text{ kN/m}}$$

- 2) Balok Pada Pelat Lantai (Balok Induk)

$$\text{Dimensi} = 30/50 \text{ cm} \rightarrow \text{As } B89, B910, B011$$

$$W = 0,30 \times 0,50 \times 24 \text{ kN/m}^3 = 3,6 \text{ kN/m}$$

$$W_D = W \times 1,4 = 3,6 \times 1,4 = \mathbf{5,04 \text{ kN/m}}$$

2. Pembebanan pada Pelat Atap

Berdasarkan perhitungan yang lalu yaitu pada Bab III Perencanaan Pelat Atap 3.5.3 didapatkan beban berfaktor (W_u) = $\mathbf{5,56 \text{ KN/ m}^2}$

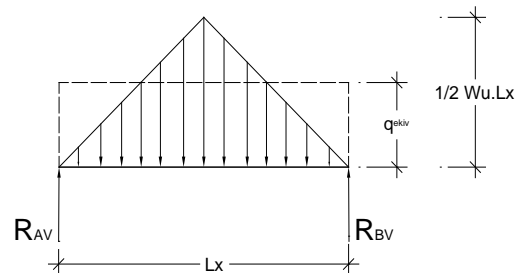
3. Pembebanan pada Pelat Lantai

Bedasarkan perhitungan yang lalu yaitu pada Bab IV Perencanaan Pelat Lantai 4.5.3 didapatkan beban berfaktor (W_u) = **8,464 KN/m²**

2. Analisa Pemerataan Beban Pelat

Pemerataan beban pelat dilakukan dengan menggunakan metode amplop. Metode amplop merupakan metode yang digunakan sebagai pendistribusian beban gravitasi pelat menuju balok. Prinsip penggunaannya adalah reaksi dengan perletakan trapesium digunakan untuk tepi bentang panjang sedangkan reaksi perletakan segitiga digunakan untuk tepi bentang pendek. Berikut merupakan analisisnya.

a. Pembebanan Segitiga



Gambar 5.4 Ilustrasi Pembebanan Segitiga

$$\begin{aligned} R_A = R_B &= \frac{1}{2} \cdot [(q \cdot l_x \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}) + (q \cdot l_x \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2})] \\ &= \frac{1}{2} \cdot [(q \cdot l_x \cdot \frac{1}{4}) + (q \cdot l_x \cdot \frac{1}{4})] \\ &= \frac{1}{4} \cdot q \cdot l_x \end{aligned}$$

Jika $q = \frac{1}{2} \cdot W_u \cdot l_x$, maka:

$$R_A = R_B = \frac{1}{4} (\frac{1}{2} \cdot W_u \cdot l_x) \cdot l_x = \frac{1}{8} \cdot W_u \cdot l_x^2$$

M_{max} segitiga ditengah bentang :

$$M_{max} = R_A \cdot \frac{1}{2} \cdot l_x - [(q \cdot l_x \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}) \cdot (l_x \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3})]$$

$$= R_A \cdot \frac{1}{2} \cdot l_x - [(\frac{q \cdot l_x^2}{24})]$$

Jika $R_A = \frac{1}{8} \cdot W_u \cdot l_x^2$ dan $q = \frac{1}{2} \cdot W_u \cdot l_x$, Maka :

$$M_{max} = (\frac{1}{8} \cdot W_u \cdot l_x^2) \cdot \frac{1}{2} \cdot l_x - (\frac{1}{2} \cdot W_u \cdot l_x \cdot l_x^2 / 24)$$

$$= \frac{1}{16} \cdot W_u \cdot l_x^3 - \frac{1}{48} \cdot W_u \cdot l_x^3$$

$$\boxed{M_{max} = \frac{1}{24} \cdot W_u \cdot l_x^3}$$

Beban segitiga tersebut diekuivalensikan menjadi beban persegi sehingga

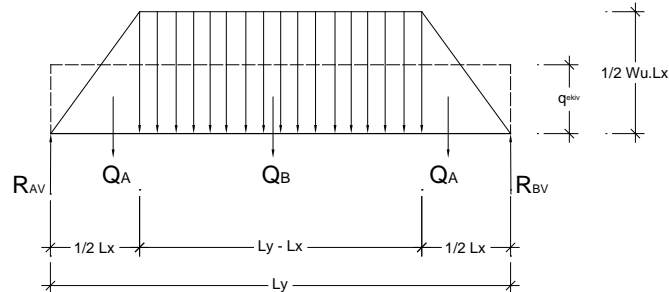
$$M_{\max} = \frac{1}{8} \cdot q_{\text{eq}} \cdot l x^2$$

$$M_{\max \text{ segitiga}} = M_{\max \text{ persegi}}$$

$$\frac{1}{24} \cdot W_U \cdot l x^3 = \frac{1}{8} \cdot q_{\text{eq}} \cdot l x^2$$

$$q_{\text{ekuivalen}} = \frac{1}{3} \cdot W_U \cdot l x$$

b. Pembebanan Trapesium



Gambar 5.5 Ilustrasi Pembebanan Trapesium

Dimana:

$$R_{AV} = R_{BV} = q \cdot (l - a) / 2 \quad q = \frac{1}{2} \cdot W_U \cdot l x$$

$$l = l_y \quad a = \frac{1}{2} \cdot l x$$

maka :

$$R_A = R_B = \frac{\frac{1}{2} \cdot W_U \cdot l x \cdot (l_y - \frac{1}{2} l x)}{2}$$

$$= \frac{1}{8} \cdot W_U \cdot l x \cdot (2 l_y - l x)$$

$$M_{\max} = \frac{1}{24} \cdot W_U \cdot (3 \cdot l_y^2 - 4 a^2)$$

$$= \frac{1}{24} \cdot W_U \cdot l x \cdot (3 \cdot l_y^2 - 4 \cdot \frac{1}{4} \cdot l x^2)$$

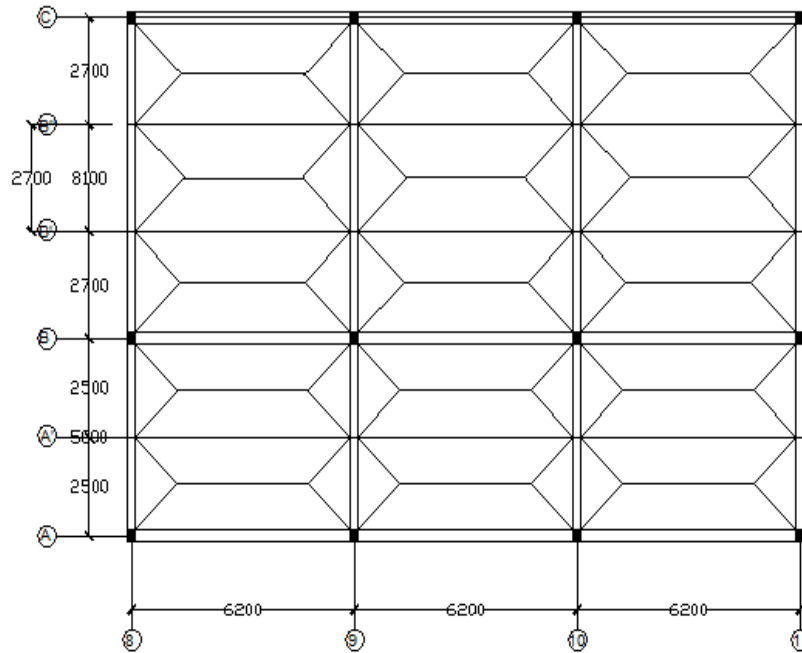
$$= \frac{1}{48} \cdot W_U \cdot l x \cdot (3 \cdot l_y^2 - l x^2)$$

$$M_{\max \text{ persegi}} = M_{\max \text{ Trapesium}}$$

$$\frac{1}{8} \cdot q_{\text{ek}} \cdot l_y^2 = \frac{1}{48} \cdot W_U \cdot l x \cdot (3 \cdot l_y^2 - l x^2)$$

$$q_{\text{ek}} = \frac{1}{6} \cdot W_U \cdot l x \cdot (3 - (l x / l_y)^2)$$

Berdasarkan analisa diatas, maka dapat dihitung pemerataan beban pelat pada denah berikut ini.



Gambar 5.6 Denah Pelat dengan Ilustrasi Metode Amplop

Pemerataan pembebanan pelat atap

a. Pembebanan segitiga

Balok As 8AA', 8A'B, 9AA', 9A'B, 10AA', 10A'B, 11AA', 11A'B

$$W_{U \text{ atap}} = 5,56 \text{ kN/m}^2, L_x = 2,50 \text{ m}$$

$$q_{\text{ekuiavlenn}} = 1/3 \cdot W_u \cdot L_x = 1/3 \cdot (5,56) \cdot 2,50 = \mathbf{4,630 \text{ kN/m}}$$

b. Pembebanan segitiga

Balok As 8BB', 8B'B'', 8B''C, 9BB'', 9B'B'', 9B''C, 10BB', 10B'B'', 10B''C, 11BB', 11B'B'', 11B''C

$$W_{U \text{ atap}} = 5,56 \text{ kN/m}^2, L_x = 2,70 \text{ m}$$

$$q_{\text{ekuiavlenn}} = 1/3 \cdot W_u \cdot L_x = 1/3 \cdot (5,56) \cdot 2,70 = \mathbf{5,004 \text{ kN/m}}$$

c. Pembebanan trapesium

Balok As A89, A910, A1011, A'89, A'910, A'1011, B89, B910, B1011

$$W_{U \text{ atap}} = 5,56 \text{ kN/m}^2, L_x = 2,50 \text{ m}, L_y = 6,20 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} q_{\text{ekuiavlenn}} &= 1/6 \cdot W_u \cdot L_x \cdot (3 - (L_x/L_y)^2) \\ &= 1/6 \cdot (5,56) \cdot (2,50) \cdot (3 - (2,50/6,2)^2) = \mathbf{6,573 \text{ kN/m}} \end{aligned}$$

d. Pembebanan trapesium

Balok As B'89, B'910, B'1011, B''89, B''910, B''1011, C89, C910, C1011

$$W_U \text{ atap} = 5,56 \text{ kN/m}^2, L_x = 2,70 \text{ m}, L_y = 6,20 \text{ m}$$

$$q_{\text{ekuiवलन}} = 1/6 \cdot W_u \cdot L_x \cdot (3 - (L_x/L_y)^2) \\ = 1/6 \cdot (5,56) \cdot (2,70) \cdot (3 - (2,70/6,2)^2) = \mathbf{7,032 \text{ kN/m}}$$

Pemerataan pembebanan pelat lantai

a. Pembebanan segitiga

Balok As 8AA', 8A'B, 9AA', 9A'B, 10AA', 10A'B, 11AA', 11A'B

$$W_U \text{ lantai} = 8,644 \text{ kN/m}, L_x = 2,50 \text{ m}$$

$$q_{\text{ekuiवलन}} = 1/3 \cdot W_u \cdot L_x = 1/3 \cdot (8,644) \cdot 2,50 = \mathbf{7,203 \text{ kN/m}}$$

b. Pembebanan segitiga

Balok As 8BB', 8B'B'', 8B''C, 9BB'', 9B'B'', 9B''C, 10BB', 10B'B'', 10B''C, 11BB', 11B'B'', 11B''C

$$W_U \text{ lantai} = 8,644 \text{ kN/m}, L_x = 2,7 \text{ m}$$

$$q_{\text{ekuiवलन}} = 1/3 \cdot W_u \cdot L_x = 1/3 \cdot (8,644) \cdot 2,7 = \mathbf{7,780 \text{ kN/m}}$$

b. Pembebanan trapesium

Balok As A89, A910, A1011, A'89, A'910, A'1011, B89, B910, B1011

$$W_U \text{ lantai} = 8,644 \text{ kN/m}, L_x = 2,5 \text{ m}, L_y = 6,20 \text{ m}$$

$$q_{\text{ekuiवलन}} = 1/6 \cdot W_u \cdot L_x \cdot (3 - (L_x/L_y)^2) \\ = 1/6 \cdot (8,644) \cdot (2,5) \cdot (3 - (2,5/6,2)^2) = \mathbf{10,219 \text{ kN/m}}$$

c. Pembebanan trapesium

Balok As B'89, B'910, B'1011, B''89, B''910, B''1011, C89, C910, C1011

$$W_U \text{ lantai} = 8,644 \text{ kN/m}, L_x = 2,7 \text{ m}, L_y = 6,20 \text{ m}$$

$$q_{\text{ekuiवलन}} = 1/6 \cdot W_u \cdot L_x \cdot (3 - (L_x/L_y)^2) \\ = 1/6 \cdot (8,644) \cdot (2,7) \cdot (3 - (2,7/6,2)^2) = \mathbf{10,932 \text{ kN/m}}$$

3. Analisa Berat yang diterima Balok

a. Arah Melintang Balok

Berat yang diterima Balok pada Pelat Atap → As 9AA'B, 9BB'B'' C(L_{atap})

$$\text{Beban segitiga} = 2 \times (9,634) = 19,268 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban sendiri balok} = (7,056) = 7,056 \text{ kN/m} +$$

$$\mathbf{Q = 26,324 \text{ kN/m}}$$

Berat yang diterima Balok pada Pelat Lantai → As 9AA'B, 9BB'B''C (L14)

$$\text{Beban segitiga} = 2 \times (14,983) = 29,966 \text{ kN/m}$$

Berat sendiri balok = (7,056) = 7,056 kN/m +
 $Q = 37,022 \text{ kN/m}$

b. Arah Memanjang Balok

Berat yang diterima Balok pada Pelat Atap → As B8-11 (L_{atap})

Beban trapesium = 2 x (13, 605) = 27,210 kN/m

Berat sendiri balok = (5,04) = 5,04 kN/m +

$Q = 32,250 \text{ kN/m}$

Berat yang diterima Balok pada Pelat Lantai → As B8-11 (L14)

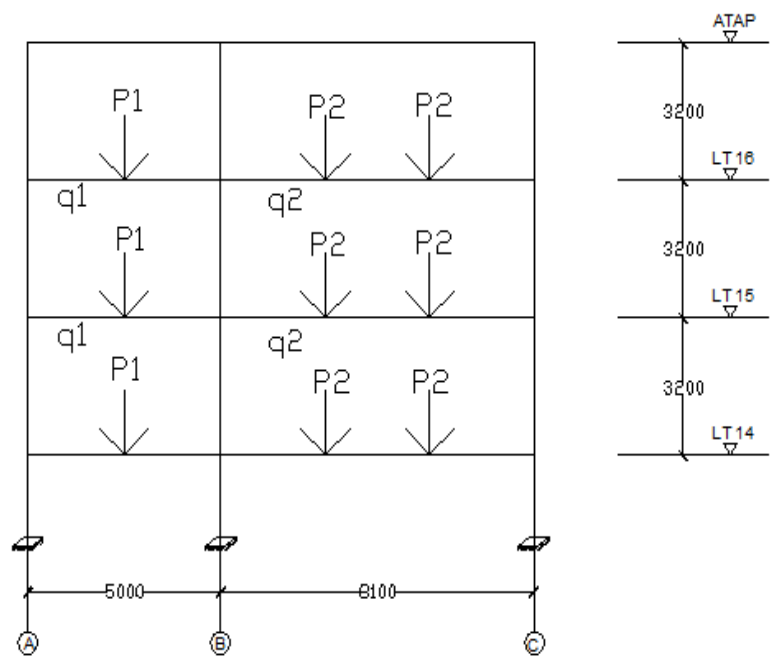
Beban trapesium = 2 x (21,151) = 42,303 kN/m

Berat sendiri balok = (5,04) = 10,08 kN/m +

$Q = 47,343 \text{ kN/m}$

5.4.3 Menghitung Momen Maksimal (M_{lap}) dan Gaya Lintang

1. Arah Melintang Balok Portal



Gambar 5.7 Potongan Melintang Portal As B

Menghitung Modulus Elastisitas (E) Arah Melintang

Berdasarkan SK SNI 03-2847-2002 Pasal 10.5

$$E = 4700\sqrt{f_c} = 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ Mpa} \approx 25,74296 \cdot 10^6 \text{ kN}$$

Menghitung Momen Inersia (I) Arah Melintang

a. Kolom 50/80 cm → Lantai 16

$$I_{\text{kolom}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,50 \cdot (0,80)^3 = 0,0213 \text{ m}^4$$

b. Kolom 50/90 cm → Lantai 15

$$I_{\text{kolom}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,50 \cdot (0,90)^3 = 0,0304 \text{ m}^4$$

c. Kolom 60/90 cm → Lantai 14

$$I_{\text{kolom}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,60 \cdot (0,90)^3 = 0,0360 \text{ m}^4$$

d. Balok Induk 30/70 cm

→ As 2A-B dan 2B-C Lantai 14,15,16 dan Atap

$$I_{\text{balokInd}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,30 \cdot (0,70)^3 = 8,575 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

Menghitung Nilai EI/L Arah Melintang

a. Kolom 50/80 cm → Lantai 16 (H = 3,2 m)

$$EI_{\text{kolom}}/L = (25,74296 \cdot 10^6 \times 0,0214) / 3,20 = 172156,045 \text{ kNm}^3$$

b. Kolom 50/90 cm → Lantai 15 (H = 3,2 m)

$$EI_{\text{kolom}}/L = (25,74296 \cdot 10^6 \times 0,0304) / 3,20 = 244558,12 \text{ kNm}^3$$

c. Kolom 60/90 cm → Lantai 14 (H = 3,2 m)

$$EI_{\text{kolom}}/L = (25,74296 \cdot 10^6 \times 0,0360) / 3,20 = 289608,3 \text{ kNm}^3$$

d. Balok Induk 30/70 cm (L = 5,00 m)

As → 2A-B dan 2B-C Lantai 14,15,16 dan Atap

$$EI_{\text{balokInd}}/L = (25,74296 \cdot 10^6 \times 8,575 \cdot 10^{-3}) / 5,00 = 44149,176 \text{ kNm}^3$$

Menghitung Faktor Distribusi (DF) Arah Melintang

Berikut merupakan sampel perhitungan faktor distribusi yang dimulai dari titik 9A-L14.

DF_(9A-L14 - 9A-L15)

$$= (EI/L_{(9A-L14 - 9A-L15)}) / \{ (EI/L_{(9A-L14 - 9A-L15)}) + (EI/L_{(9A-L14 - 9B-L14)}) \}$$

$$= (289608,3) / \{ (289608,3) + (44149,176) \}$$

$$= 0,868$$

$$DF_{(9A-L14 - 9B-L14)}$$

$$= (EI/L_{(9A-L14 - 9B-L14)}) / \{(EI/L_{(9A-L14 - 9A-L15)}) + (EI/L_{(9A-L14 - 9B-L14)})\}$$

$$= (44149,176) / \{(289608,3) + (44149,176)\}$$

$$= 0,132$$

$$\text{Cek} \rightarrow DF_{(9A-L14 - 9A-L15)} + DF_{(9A-L14 - 9B-L14)} = 1$$

$$0,868 + 0,132 = 1 \dots\dots\dots (\text{OK})$$

Sesuai dengan contoh perhitungan diatas, maka didapatkan Tabel 5.1 Rekapitulasi Faktor Distribusi.

BUHUL	BATANG	DF	CEK
9A-L14	9A-L14 - 9A-L15	0.868	1.00
	9A-L14 - 9B-L14	0.132	
9B-L14	9B-L14 - 9B-L15	0.766	1.00
	9B-L14 - 9A-L14	0.117	
	9B-L14 - 9C-L14	0.117	
9C-L14	9C-L14 - 9C-L15	0.868	1.00
	9C-L14 - 9B-L14	0.132	
9A-L15	9A-L15 - 9A-L16	0.423	1.00
	9A-L15 - 9A-L14	0.501	
	9A-L15 - 9B-L15	0.076	
9B-L15	9B-L15 - 9B-L16	0.393	1.00
	9B-L15 - 9B-L14	0.465	
	9B-L15 - 9A-L15	0.071	
	9B-L15 - 9C-L15	0.071	
9C-L15	9C-L15 - 9C-L16	0.423	1.00
	9C-L15 - 9C-L14	0.501	
	9C-L15 - 9B-L15	0.076	

BUHUL	BATANG	DF	CEK
9A-L16	9A-L16 - 9A-LATAP	0.374	1.00
	9A-L16 - 9A-L15	0.531	
	9A-L16 - 9B-L16	0.096	
9B-L16	9B-L16 - 9B-LATAP	0.341	1.00
	9B-L16 - 9B-L15	0.484	
	9B-L16 - 9A-L16	0.087	
	9B-L16 - 9C-L16	0.087	
9C-L16	9C-L16 - 9C-LATAP	0.374	1.00
	9C-L16 - 9C-L15	0.531	
	9C-L16 - 9B-L16	0.096	
9A-LATAP	9A-LATAP - 9A-L16	0.796	1.00
	9A-LATAP - 9B-LATAP	0.204	
9B-LATAP	9A-LATAP - 9B-L16	0.661	1.00
	9B-LATAP - 9A-LATAP	0.170	
	9B-LATAP - 9C-LATAP	0.170	
9C-LATAP	9C-LATAP - 9C-L16	0.796	1.00
	9C-LATAP - 9B-LATAP	0.204	

Tabel 5.1 Rekapitulasi Faktor Distribusi (DF) Portal Arah Melintang

Menghitung Momen Ujung Jepit (FEM) Arah Melintang

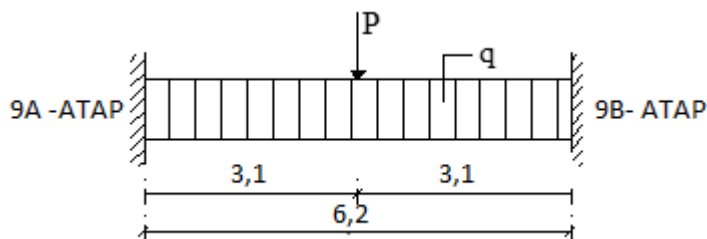
Berikut merupakan sampel perhitungan momen ujung jepit (FEM) pada pelat atap As 9A-B.

Data : $q = 26,324 \text{ kN/m}$, $L = 6,2 \text{ m}$

Maka $P = q \cdot L$

$$= 26,324 \cdot 6,2$$

$$= 163,209 \text{ Kn}$$



Gambar 5.8 Ilustrasi Terjadinya Momen Ujung Jepit pada Balok As 9A-B Pelat Atap Sehingga dapat dihitung

$$\begin{aligned} M_{9A-ATAP-9B-ATAP} &= (q \cdot L^2) + \{(P \cdot a \cdot b^2) / L^2\} \\ &= (26,324 \cdot 6,2^2) + \{(163,209 \cdot 3,1 \cdot (3,1)^2) / 6,2^2\} \\ &= 1138,382 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{9B-ATAP-9A-ATAP} &= -(q \cdot L^2) + \{(P \cdot a \cdot b^2) / L^2\} \\ &= -(26,324 \cdot 6,2^2) + \{(59,180 \cdot 3,1 \cdot (3,1)^2) / 6,2^2\} \\ &= -1138,382 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Sesuai dengan contoh perhitungan diatas, maka didapatkan tabel rekapitulasi momen ujung jepit As 9.

BATANG	M (kNm)	BATANG	M (kNm)
9A-L14 - 9B-L14	1601.016	9A-L16 - 9B-L16	1601.016
9B-L14 - 9A-L14	-1601.016	9B-L16 - 9A-L16	-1601.016
9B-L14 - 9C-L14	1601.016	9B-L16 - 9C-L16	1601.016
9C-L14 - 9B-L14	-1601.016	9C-L16 - 9B-L16	-1601.016
9A-L15 - 9B-L15	1601.016	9A-ATAP - 9B-ATAP	1138.381
9B-L15 - 9A-L15	-1601.016	9B-ATAP - 9A-ATAP	-1138.381
9B-L15 - 9C-L15	1601.016	9B-ATAP - 9C-ATAP	1138.381
9C-L15 - 9B-L15	-1601.016	9C-ATAP - 9B-ATAP	-1138.381

Tabel 5.2 Rekapitulasi Momen Ujung Jepit As B Portal Arah Melintang

Menghitung Distribusi Momen (Metode Cross) Arah Melintang

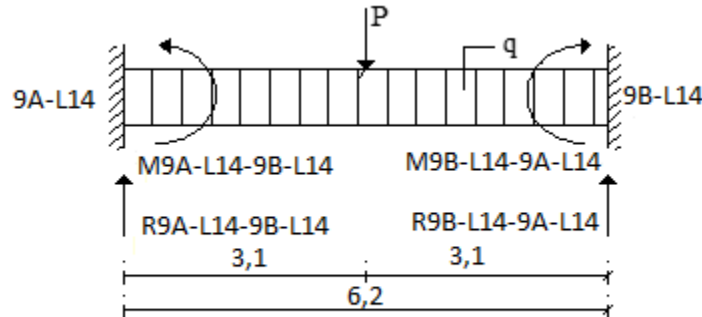
Metode distribusi momen atau metode *cross* merupakan metode yang dipakai untuk analisis struktur balok menerus dan portal statis tak tentu. Dalam proses analisis, metode ini melakukan distribusi momen dan induksi (*Carry Over*) terhadap momen primer (*Fixed End Moment*) sebanyak beberapa putaran guna mendapatkan keseimbangan disetiap titik simpul dengan cara momen-momen primer ditiap simpul melakukan distribusi (pembagian) sampai jumlah momen primer dimasing-masing simpul sama dengan nol. Hal ini dilakukan karena momen-momen primer yang bekerja disetiap tumpuan maupun simpul suatu struktur tidak sama besarnya, sehingga simpul tidak seimbang. Perhitungan distribusi momen arah melintang ini dapat dilihat pada Lampiran 5.1. Berikut merupakan tabel rekapitulasi distribusi momen dari Lampiran 5.1.

BATANG	M (kNm)	BATANG	M (kNm)
M 9A-L14 - 9A-L15	1412.657	M 9A-L16 - 9A-ATAP	777.077
M B9AL14 - 9B-L14	-1412.657	M 9A-L16 - 9A-L15	721.194
M 9B-L14 - 9B-L15	0.000	M 9A-L16 - 9B-L16	-1497.190
M 9B-L14 - 9A-L14	1695.202	M 9B-L16 - 9B-ATAP	0.000
M 9B-L14 - 9C-L14	-1695.202	M 9B-L16 - 9B-L15	0.000
M 9C-L14 - 9C-L15	-1412.657	M 9B-L16 - 9A-L16	1652.931
M 9C-L14 - 9B-L14	1412.657	M 9B-L16 - 9C-L16	-1652.931
M 9A-L15 - 9A-L16	580.937	M 9C-L16 - 9C-ATAP	-777.077
M 9A-L15 - 9A-L14	967.295	M 9C-L16 - 9C-L15	-721.194
M 9A-L15 - 9B-L15	-1548.233	M 9C-L16 - 9B-L16	1497.190
M 9B-L15 - 9B-L16	0.000	M 9A-ATAP - 9A-L13	947.411
M 9B-L15 - 9B-L14	0.000	M 9A-ATAP - 9B-ATAP	-947.411
M 9B-L15 - 9A-L15	1627.410	M 9B-ATAP - 9B-L6	0.000
M 9B-L15 - 9C-L15	-1627.410	M 9B-ATAP - 9A-ATAP	1233.868
M 9C-L15 - 9C-L16	-580.937	M 9B-ATAP - 9C-ATAP	-1233.868
M 9C-L15 - 9C-L14	-967.295	M 9C-ATAP - 9C-L16	-947.411
M 9C-L15 - 9B-L15	1548.233	M 9C-ATAP - 9B-ATAP	947.411

Tabel 5.3 Tabel Rekapitulasi Distribusi Momen (*Metode Cross*) Portal Arah Melintang

Menghitung Reaksi Perletakan Arah Melintang

Berikut merupakan sampel perhitungan reaksi perletakan pada bidang 9A-L14 – 9B-L14



Gambar 5.9 Ilustrasi Reaksi Perletakan Bidang 9A-L14 – 9B-L14

Data :

$$q = 37,022 \text{ kNm} \quad M_{2A-L14-2B-L14} = -1412,657 \text{ kNm}$$

$$L = 6,2 \text{ m} \quad M_{2B-L14-2A-L14} = 1695,202 \text{ kNm}$$

$$P = 229,536 \text{ kN}$$

Menurut Teori dari Mekanika Rekayasa 1, perhitungan reaksi tumpuan $R_{B1-L1-B2-L1}$ pada balok 9A-L14- 9B-L14 dapat dicari dengan memisalkan $\sum M_{B2-L1} = 0$. Syaratnya, gaya-gaya yang bekerja pada balok tersebut bernilai positif (+) untuk searah jarum jam dan negatif (-) untuk gaya yang berlawanan arah jarum jam. Sehingga dengan demikian dapat dicapai keseimbangan reaksi pada portal.

$$\sum M_{2B-L14} = 0$$

$$\Leftrightarrow (R_{9A-L14-9B-L14} \cdot L) - (0,5 \cdot q \cdot L^2) - (0,5 \cdot P \cdot L) + M_{9A-L14-9B-L14} + M_{9B-L14-9A-L14} = 0$$

$$\Leftrightarrow R_{9A-L14-9B-L14} \cdot 6,2 - 0,5 \cdot 37,022 \cdot 6,2^2 - 0,5 \cdot 229,536 \cdot 6,2 + (-1412,657) + 1695,202 = 0$$

$$\Leftrightarrow 6,2 R_{9A-L14-9B-L14} - 711,563 - 711,562 + (-1412,657) + 1695,202 = 0$$

$$\Leftrightarrow R_{2A-L14-2B-L14} = 183,965 \text{ Kn}$$

$$\sum M_{9A-L14} = 0$$

$$\Leftrightarrow -(R_{9B-L14-9A-L14} \cdot L) + (0,5 \cdot q \cdot L^2) + (0,5 \cdot P \cdot L) + M_{9A-L14-9B-L14} + M_{9B-L14-9A-L14} = 0$$

$$\Leftrightarrow -R_{9B-L14-9A-L14} \cdot 6,2 + 0,5 \cdot 37,022 \cdot 6,2^2 + 0,5 \cdot 229,536 \cdot 6,2 + (-1412,657) + 1695,202 = 0$$

$$\Leftrightarrow -6,2 R_{9B-L14-9A-L14} + 711,563 + 711,562 + (-1412,657) + 1695,202 = 0$$

$$\Leftrightarrow R_{9B-L14-9A-L14} = 275,108 \text{ kN}$$

Cek :

$$-(q \cdot L) - P + R_{9A-L14-9B-L14} + R_{9B-L14-9A-L14} = 0$$

$$-229,536 - 229,536 + 183,965 + 275,108 = 0 \dots\dots\dots (OK)$$

Berdasarkan dengan sampel perhitungan diatas, maka didapatkan perhitungan reaksi perletakan (R1 dan R2) yang terlampir pada tabel 5.4 berikut.

BIDANG <i>FREE BODY</i>	L	Q	Q	P	M1	M2	R1	R2	CEK
	m	kN/m	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	
9A-L14 - 9B-L14	6.20	37.022	229.536	229.536	-1412.657	1695.202	183.395	275.108	0.00
9B-L14 - 9C-L14	6.20	37.022	229.536	229.536	-1695.202	1412.657	275.108	183.965	0.00
9A-L15 - 9B-L15	6.20	37.022	229.536	229.536	-1548.233	1627.410	216.766	242.307	0.00
9B-L15 - 9C-L15	6.20	37.022	229.536	229.536	-1627.410	1548.233	242.307	216.766	0.00
9A-L16 - 9B-L16	6.20	37.022	229.536	229.536	-1497.190	1652.931	204.417	254.656	0.00
9B-L16 - 9C-L16	6.20	37.022	229.536	229.536	-1652.931	1497.190	254.656	204.417	0.00
9A-ATAP - 9B-ATAP	6.20	26.324	163.209	163.209	-947.411	1233.868	117.006	209.412	0.00
9B-ATAP - 9C-ATAP	6.20	26.324	163.209	163.209	-1233.868	947.411	209.412	117.006	0.00

Tabel 5.4 Rekapitulasi Reaksi Tumpuan Portal Arah Melintang

Menghitung Momen Maksimal (M_{lap}) dan Gaya Lintang Arah Melintang

Berikut merupakan sampel perhitungan momen maksimal dan gaya lintang pada bidang 9A-L14 – 9B-L14.

Data :

$$L = 6,20 \text{ m}$$

$$M_{9A-L14-9B-L14} = -1412,657 \text{ kNm}$$

$$q = 37,022 \text{ kN/m}$$

$$M_{9B-L14-9A-L14} = 1695,202 \text{ kNm}$$

$$R_{9A-L14-9B-L14} = 183,965 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 M_{lap} &= R_{9A-L14-9B-L14} \cdot 0,5 \cdot L - 0,125 \cdot q \cdot L^2 + M_{9A-L14 - 9B-L14} + M_{9B-L14 - 9A-L14} \\
 &= 183,965 \cdot 0,5 \cdot 6,2 - 0,125 \cdot 37,022 \cdot 6,2^2 + (-1412,657) + 1695,202 \\
 &= 674,946 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

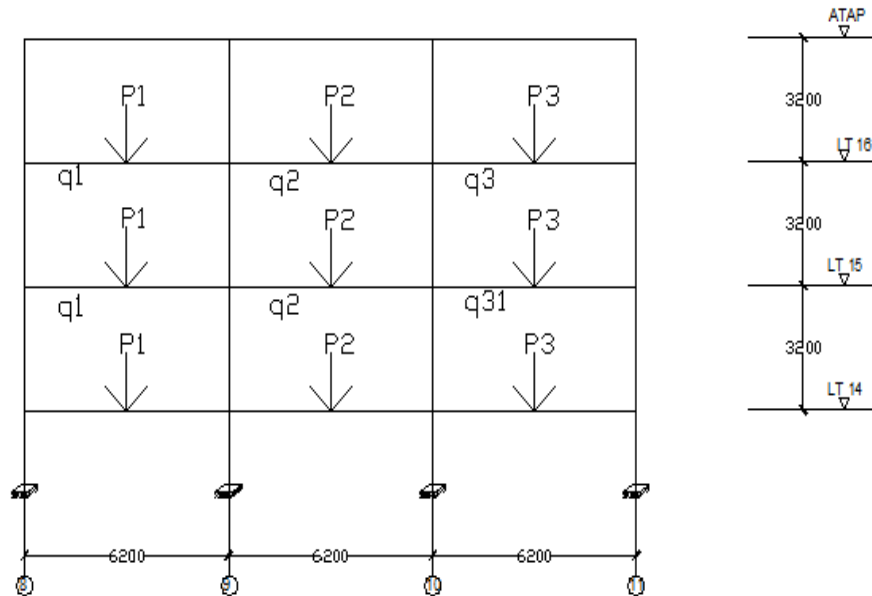
$$\begin{aligned}
 V_u &= 0,5 \cdot W_u \cdot L \Leftrightarrow 0,5 (q \cdot L) L \\
 &= 0,5 (37,022 \cdot 6,2) \cdot 6,2 = 711,563 \text{ Kn}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan dengan sampel perhitungan diatas, maka didapatkan perhitungan momen maksimal (M_{lap}) dan gaya lintang seperti yang terlampir pada tabel 5.5 berikut.

BALOK	L	q	Wu	M1	M2	Rv	M _{LAP}	Vn
	m	kN/m	kN	kNm	kNm	kN	kNm	kN
9A-L14 - 9B-L14	6.20	37.022	229.536	-1412.657	1695.202	183.395	674.945	711.56
9B-L14 - 9C-L14	6.20	37.022	229.536	-1695.202	1412.657	275.108	392.399	711.56
9A-L15 - 9B-L15	6.20	37.022	229.536	-1548.233	1627.410	216.766	573.261	711.56
9B-L15 - 9C-L15	6.20	37.022	229.536	-1627.410	1548.233	242.307	494.084	711.56
9A-L16 - 9B-L16	6.20	37.022	229.536	-1497.190	1652.931	204.417	611.543	711.56
9B-L16 - 9C-L16	6.20	37.022	229.536	-1652.931	1497.190	254.656	455.802	711.56
9A-ATAP - 9B-ATAP	6.20	26.324	163.209	-947.411	1233.868	117.006	522.689	505.95
9B-ATAP - 9C-ATAP	6.20	26.324	163.209	-1233.868	947.411	209.412	236.233	505.95

Tab 5.5 Rekapitulasi Momen Maksimal (M_{lap}) dan Gaya Lintang Portal Arah Melintang

2. Arah Memanjang Balok Portal



Gambar 5.10 Potongan Memanjang Portal As 2

Menghitung Modulus Elastisitas (E) Arah Memanjang

$$E = 4700\sqrt{f_c} = 4700\sqrt{30} = 25742,96 \text{ Mpa} \approx 25,74296 \cdot 10^6 \text{ kN}$$

Menghitung Momen Inersia Arah Memanjang

e. Kolom 50/80 cm → Lantai 16

$$I_{\text{kolom}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,50 \cdot (0,80)^3 = 0,0213 \text{ m}^4$$

f. Kolom 50/90 cm → Lantai 15

$$I_{\text{kolom}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,50 \cdot (0,90)^3 = 0,0304 \text{ m}^4$$

g. Kolom 60/90 cm → Lantai 14

$$I_{\text{kolom}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,60 \cdot (0,90)^3 = 0,0360 \text{ m}^4$$

h. Balok Induk 30/50 cm

→ As B1-2 dan B2-3 Lantai 14,2,3 dan Atap

$$I_{\text{balokInd}} = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1/12 \cdot 0,30 \cdot (0,50)^3 = 0,00375 \text{ m}^4$$

Menghitung Nilai EI/L Arah Memanjang

- i. Kolom 50/80 cm → Lantai 16 (H = 3,2 m)
 $EI_{\text{kolom}}/L = (25,74296 \cdot 10^6 \times 0,0214) / 3,20 = 172156,045 \text{ kNm}^3$
- j. Kolom 50/90 cm → Lantai 15 (H = 3,2 m)
 $EI_{\text{kolom}}/L = (25,74296 \cdot 10^6 \times 0,0340) / 3,20 = 244558,12 \text{ kNm}^3$
- k. Kolom 60/90 cm → Lantai 14 (H = 3,2 m)
 $EI_{\text{kolom}}/L = (25,74296 \cdot 10^6 \times 0,0460) / 3,20 = 289608,3 \text{ kNm}^3$
- l. Balok Induk 30/50 cm (L = 6,2 m)
 As → Lantai 14,15,16 dan Atap
 $EI_{\text{balokInd}}/L = (25,74296 \cdot 10^6 \times 0,0375) / 6,20 = 155703,387 \text{ kNm}^3$

Menghitung Faktor Distribusi Arah Memanjang

Berikut merupakan sampel perhitungan faktor distribusi yang dimulai dari titik 9A-L14.

$$\begin{aligned} DF_{(8B-L14 - 8B-L15)} &= (EI/L_{(8B-L14 - 8B-L15)}) / \{(EI/L_{(8B-L14 - 8B-L15)}) + (EI/L_{(8B-L14 - 9B-L14)})\} \\ &= (289608,3) / \{(289608,3) + (155703,387)\} = 0,650 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DF_{(8B-L14 - 9B-L14)} &= (EI/L_{(8B-L14 - 9B-L14)}) / \{(EI/L_{(8B-L14 - 8B-L15)}) + (EI/L_{(9B-L114 - 9B-L14)})\} \\ &= (155703) / \{(28960,3) + (155703,387)\} \\ &= 0,350 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cek} \rightarrow DF_{(9A-L14 - 9A-L15)} + DF_{(9A-L14 - 9B-L14)} &= 1 \\ 0,650 + 0,350 &= 1 \end{aligned}$$

$$1 = 1 \dots \dots \dots \text{(OK)}$$

Sesuai dengan contoh perhitungan diatas, maka didapatkan tabel rekapitulasi faktor distribusi

BUHUL	BATANG	DF	CEK
8B-L14	8B-L14 - 8B-L15	0.650	1.00
	8B-L14 - 9B-L14	0.350	
9B-L14	9B-L14 - 9B-L15	0.482	1.00
	9B-L14 - 8B-L14	0.259	
	9B-L14 - 10B-L14	0.259	
10B-L14	10B-L14 - 10B-L15	0.482	1.00
	10B-L14 - 9B-L14	0.259	
	10B-L14 - 11B-L14	0.259	
11B-L14	11B-L14 - 11B-L15	0.650	1.00
	11B-L14 - 10B-L14	0.350	
8B-L15	8B-L15 - 8B-L16	0.354	1.00
	8B-L15 - 8B-L14	0.420	
	8B-L15 - 9B-L15	0.226	
9B-L15	9B-L15 - 9B-L16	0.289	1.00
	9B-L15 - 9B-L14	0.342	
	9B-L15 - 8B-L15	0.184	
	9B-L15 - 10B-L15	0.184	
10B-L15	10B-L15 - 10B-L16	0.289	1.00
	10B-L15 - 10B-L14	0.342	
	10B-L15 - 9B-L15	0.184	
	10B-L15 - 11B-L15	0.184	
11B-L15	11B-L15 - 11B-L16	0.354	1.00
	11B-L15 - 11B-L14	0.142	
	11B-L15 - 10B-L15	0.226	

BUHUL	BATANG	DF	CEK
8B-L16	8B-L16 - 8B-ATAP	0.301	1.00
	8B-L16 - 8B-L15	0.427	
	8B-L16 - 9B-L16	0.272	
9B-L16	9B-L16 - 9B-ATAP	0.236	1.00
	9B-L16 - 9B-L15	0.336	
	9B-L16 - 8B-L16	0.214	
	9B-L16 - 10B-L16	0.214	
10B-L16	10B-L16 - 10B-ATAP	0.236	1.00
	10B-L16 - 10B-L15	0.336	
	10B-L16 - 9B-L16	0.214	
	10B-L16 - 11B-L16	0.214	
11B-L16	11B-L16 - 11B-ATAP	0.301	1.00
	11B-L16 - 11B-L15	0.427	
	11B-L16 - 10B-L16	0.272	
8B-ATAP	8B-ATAP - 8B-L16	0.525	1.00
	8B-ATAP - 9B-ATAP	0.475	
9B-ATAP	9B-ATAP - 9B-L16	0.356	1.00
	9B-ATAP - 8B-ATAP	0.322	
	9B-ATAP - 10B-ATAP	0.322	
10B-ATAP	10B-ATAP - 10B-L16	0.356	1.00
	10B-ATAP - 9B-ATAP	0.322	
	10B-ATAP - 11B-ATAP	0.322	
11B-ATAP	11B-ATAP - 11B-L16	0.525	1.00
	11B-ATAP - 10B-ATAP	0.475	

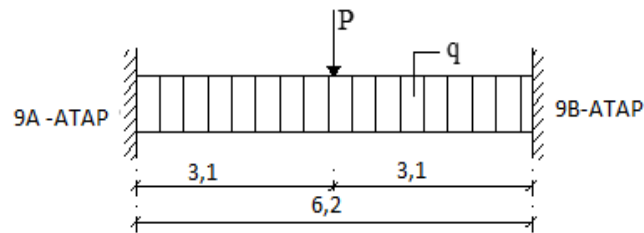
Tabel 5.6 Rekapitulasi Faktor Distribusi (DF) Portal Arah Melintang

Menghitung Momen Ujung Jepit (FEM) Arah Memanjang

Berikut merupakan sampel perhitungan momen ujung jepit (FEM) pada pelat atap As 9A-B.

Data : $q = 32,250 \text{ kN/m}$, $L = 6,20 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Maka } P &= q \cdot L \\ &= 32,250 \cdot 6,20 \\ &= 199,950 \text{ Kn} \end{aligned}$$



Gambar 5.11 Ilustrasi Terjadinya Momen Ujung Jepit pada Balok As 9A-9B Pelat Atap

Sehingga dapat dihitung

$$\begin{aligned} M_{8A-ATAP-9B-ATAP} &= (q \cdot L^2) + \{(P \cdot a \cdot b^2) / L^2\} \\ &= (32,250 \cdot 6,2^2) + \{(199,950 \cdot 3,1 \cdot (3,1)^2) / 6,2^2\} \\ &= 1394,651 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{9B-ATAP-8B-ATAP} &= -(1/12 \cdot Q \cdot L^2) + \{(P \cdot a \cdot b^2) / L^2\} \\ &= -\{(32,250 \cdot 6,2^2) + \{(199,950 \cdot 3,1 \cdot (3,1)^2) / 6,2^2\}\} \\ &= -1394,651 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Sesuai dengan contoh perhitungan diatas, maka didapatkan tabel rekapitulasi momen ujung jepit As 2.

BATANG		M (kNm)	BATANG		M (kNm)		
8B-L14	-	9B-L14	2047.348	8B-L16	-	9B-L16	2047.348
9B-L14	-	8B-L14	-2047.348	9B-L16	-	8B-L16	-2047.348
9B-L14	-	10B-L14	2047.348	9B-L16	-	10B-L16	2047.348
10B-L14	-	9B-L14	-2047.348	10B-L16	-	9B-L16	-2047.348
10B-L14	-	11B-L14	2047.348	10B-L16	-	11B-L16	2047.348
11B-L14	-	10B-L14	-2047.348	11B-L16	-	10B-L16	-2047.348
8B-L15	-	9B-L15	2047.348	8B-ATAP	-	9B-ATAP	1394.651
9B-L15	-	8B-L15	-2047.348	9B-ATAP	-	8B-ATAP	-1394.651
9B-L15	-	10B-L15	2047.348	9B-ATAP	-	10B-ATAP	1394.651
10B-L15	-	9B-L15	-2047.348	10B-ATAP	-	9B-ATAP	-1394.651
10B-L15	-	11B-L15	2047.348	10B-ATAP	-	11B-ATAP	1394.651
11B-L15	-	10B-L15	-2047.348	11B-ATAP	-	10B-ATAP	-1394.651

Tabel 5.7 Rekapitulasi Momen Ujung Jepit As 2 Portal Arah Memanjang

Menghitung Distribusi Momen (Metode Cross) Arah Memanjang

Metode distribusi momen atau metode *cross* merupakan metode yang dipakai untuk analisis struktur balok menerus dan portal statis tak tentu. Dalam proses analisis, metode ini melakukan distribusi momen dan induksi (*Carry Over*) terhadap momen primer (*Fixed End Moment*) sebanyak beberapa putaran guna mendapatkan keseimbangan disetiap titik simpul dengan cara momen-momen primer ditiap simpul melakukan distribusi (pembagian) sampai jumlah momen primer dimasing-masing simpul sama dengan nol. Hal ini dilakukan karena momen-momen primer yang bekerja disetiap tumpuan maupun simpul suatu struktur tidak sama besarnya, sehingga simpul tidak seimbang. Perhitungan distribusi momen arah melintang ini dapat dilihat pada Lampiran 5.2.

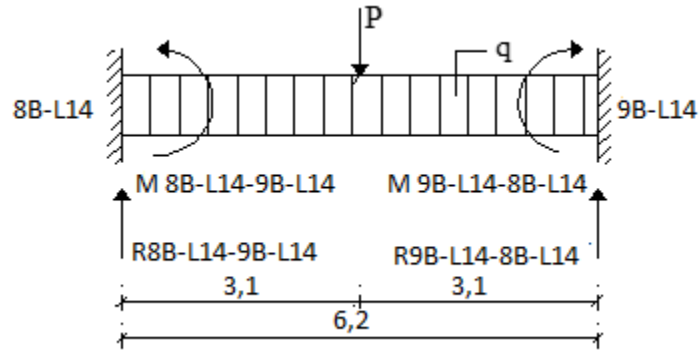
Berikut merupakan tabel rekapitulasi distribusi momen dari Lampiran 5.2.

BATANG		M (kNm)	BATANG		M (kNm)
8B-L14	- 8B-L15	1444.453	8B-L16	- 8B-ATAP	784.687
8B-L14	- 9B-L14	-1444.465	8B-L16	- 8B-L15	859.307
9B-L14	- 9B-L15	-180.820	8B-L16	- 9B-L16	-1644.009
9B-L14	- 8B-L14	2276.458	9B-L16	- 9B-ATAP	-97.301
9B-L14	- 10B-L14	-2095.642	9B-L16	- 9B-L15	-58.617
10B-L14	- 10B-L15	180.820	9B-L16	- 8B-L16	2221.608
10B-L14	- 9B-L14	2095.642	9B-L16	- 10B-L16	-2065.694
10B-L14	- 11B-L14	-2276.458	10B-L16	- 10B-ATAP	97.301
11B-L14	- 11B-L15	-1444.453	10B-L16	- 10B-L15	58.617
11B-L14	- 10B-L14	1444.465	10B-L16	- 9B-L16	2065.694
8B-L15	- 8B-L16	725.123	10B-L16	- 11B-L16	-2221.608
8B-L15	- 8B-L14	1072.125	11B-L16	- 11B-ATAP	-784.687
8B-L15	- 9B-L15	-1797.261	11B-L16	- 11B-L15	-859.307
9B-L15	- 9B-L16	-30.959	11B-L16	- 10B-L16	1644.009
9B-L15	- 9B-L14	-92.364	8B-ATAP	- 8B-L16	870.009
9B-L15	- 8B-L15	2171.395	8B-ATAP	- 9B-ATAP	-870.013
9B-L15	- 10B-L15	-2048.085	9B-ATAP	- 9B-L16	-133.868
10B-L15	- 10B-L16	30.959	9B-ATAP	- 8B-ATAP	1579.896
10B-L15	- 10B-L14	92.364	9B-ATAP	- 10B-ATAP	-1446.034
10B-L15	- 9B-L15	2048.085	10B-ATAP	- 10B-L16	133.868
10B-L15	- 11B-L15	-2171.395	10B-ATAP	- 9B-ATAP	1446.034
11B-L15	- 11B-L16	-725.123	10B-ATAP	- 11B-ATAP	-1579.896
11B-L15	- 11B-L14	-1072.125	11B-ATAP	- 11B-L16	-870.009
11B-L15	- 10B-L15	1797.261	11B-ATAP	- 10B-ATAP	870.013

Tabel 5.8 Tabel Rekapitulasi Distribusi Momen (*Metode Cross*) Portal Arah Memanjang

Menghitung Reaksi Perletakan Arah Memanjang

Berikut merupakan sampel perhitungan reaksi perletakan pada bidang 8B-L14 – 9B-L14.



Gambar 5.12 Ilustrasi Reaksi Perletakan Bidang 8B-L14 – 9B-L14

Data :

$$\begin{aligned}
 q &= 47,343 \text{ kNm} & M_{8B-L14-9B-L14} &= -1444,453 \text{ kNm} \\
 L &= 6,20 \text{ m} & M_{9B-L14-8B-L14} &= 2276,458 \text{ kNm} \\
 P &= 293,527 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Menurut Teori dari Mekanika Rekayasa 1, perhitungan reaksi tumpuan $R_{8B-L14-9B-L14}$ pada balok 8B-L14–9B-L14 dapat dicari dengan memisalkan $\sum M_{9B-L14} = 0$.

Syaratnya, gaya-gaya yang bekerja pada balok tersebut bernilai positif (+) untuk searah jarum jam dan negatif (-) untuk gaya yang berlawanan arah jarum jam.

Sehingga dengan demikian dapat dicapai keseimbangan reaksi pada portal.

$$\begin{aligned}
 \sum M_{9B-L14} &= 0 \\
 \Leftrightarrow (R_{8B-L14-9B-L14} \cdot L) - (0,5 \cdot q \cdot L^2) - (0,5 \cdot P \cdot L) + M_{8B-L14-9B-L14} + M_{9B-L14-8B-L14} &= 0 \\
 \Leftrightarrow R_{8B-L14-9B-L14} \cdot 6,2 - 0,5 \cdot 47,343 \cdot 6,2^2 - 0,5 \cdot 293,527 \cdot 6,2 + (-1444,453) + & \\
 2276,458 &= 0 \\
 \Leftrightarrow 6,2 R_{8B-L14-9B-L14} - 909,932 - 909,934 + (-1444,453) + 2276,485 &= 0 \\
 \Leftrightarrow R_{8B-L14-9B-L14} &= 159,332 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$\Leftrightarrow -(R_{9B-L14-8B-L14} \cdot L) + (0,5 \cdot q \cdot L^2) + (0,5 \cdot P \cdot L) + M_{8B-L14-9B-L14} + M_{9B-L14-8B-L14} = 0$$

$$\Leftrightarrow -R_{9B-L14-8B-L14} \cdot 6,2 + 0,5 \cdot 47,343 \cdot 6,2^2 + 0,5 \cdot 293,527 \cdot 6,2 + (-1444,453) + 2276,458 = 0$$

$$\Leftrightarrow -6,2 R_{9B-L14-8B-L14} + 909,932 + 909,934 + (-1444,453) + 2276,458 = 0$$

$$\Leftrightarrow R_{9B-L14-8B-L14} = 427,721 \text{ kN}$$

Cek :

$$-(q \cdot L) - P + R_{8B-L14-9B-L14} + R_{9B-L14-8B-L14} = 0$$

$$-293,527 - 293,527 + 159,332 + 427,721 = 0 \dots\dots\dots (OK)$$

Sehingga sesuai dengan sampel perhitungan diatas, didapatkan perhitungan reaksi perletakan (R1 dan R2) seperti pada tabel berikut.

BIDANG <i>FREE BODY</i>	L	Q	Q	P	M1	M2	R1	R2	CEK
	m	kN/m	kN	kN	kNm	kNm	kN	kN	
8B-L14 - 9B-L14	6.20	47.343	293.527	293.527	-1444.453	2276.458	159.332	427.721	0.00
9B-L14 - 10B-L14	6.20	47.343	293.527	293.527	-2095.642	2095.642	293.527	293.527	0.00
10B-L14 - 11B-L14	6.20	47.343	293.527	293.527	-2276.458	1444.465	427.719	159.334	0.00
8B-L15 - 9B-L15	6.20	47.343	293.527	293.527	-1797.261	2171.395	233.183	353.871	0.00
9B-L15 - 10B-L15	6.20	47.343	293.527	293.527	-2048.085	2048.085	293.527	293.527	0.00
10B-L15 - 11B-L15	6.20	47.343	293.527	293.527	-2171.395	1797.261	353.871	233.183	0.00
8B-L16 - 9B-L16	6.20	47.343	293.527	293.527	-1644.009	2221.608	200.366	386.688	0.00
9B-L16 - 10B-L16	6.20	47.343	293.527	293.527	-2065.694	2065.694	293.527	293.527	0.00
10B-L16 - 11B-L16	6.20	47.343	293.527	293.527	-2221.608	1644.009	386.688	200.366	0.00
8B-ATAP - 9B-ATAP	6.20	32.250	199.950	199.950	-870.013	1579.896	85.453	314.447	0.00
9B-ATAP - 10B-ATAP	6.20	32.250	199.950	199.950	-1446.034	1446.034	199.950	199.950	0.00
10B-ATAP - 11B-ATAP	6.20	32.250	199.950	199.950	-1579.896	870.043	314.442	85.458	0.00

Tabel 5.9 Rekapitulasi Reaksi Tumpuan Arah Portal Memanjang

Menghitung Momen Maksimal (Mlap) dan Gaya Lintang Arah Memanjang

Berikut merupakan sampel perhitungan momen maksimal dan gaya lintang pada bidang 8B-L14 – 9B-L14.

Data :

$$L = 6,20 \text{ m}$$

$$M_{8B-L14-9B-L14} = -1444,453 \text{ kNm}$$

$$q = 47,343 \text{ kN/m}$$

$$M_{9B-L14-8B-L14} = 2276,458 \text{ kNm}$$

$$R_{8B-L14-9B-L14} = 159,332 \text{ kN}$$

$$M_{lap} = R_{8B-L14-9B-L14} \cdot 0,5 \cdot L - 0,125 \cdot q \cdot L^2 + M_{8B-L14-9B-L14} + M_{9B-L14-8B-L14}$$

$$= 159,332 \cdot 0,5 \cdot 6,2 - 0,125 \cdot 47,343 \cdot 6,2^2 + (-1444,453) + 2276,458$$

$$= 1098,451 \text{ kNm}$$

$$V_u = 0,5 \cdot W_u \cdot L = 0,5 (q \cdot L) L = 0,5(47,343 \cdot 6,2)6,2 = 909,932 \text{ kN}$$

Berdasarkan dengan sampel perhitungan diatas, maka didapatkan perhitungan momen maksimal (M_{lap}) dan gaya lintang seperti yang terlampir pada tabel 5.10 berikut.

BALOK	L	q	Wu	M1	M2	Rv	M _{LAP}	Vn
	m	kN/m	kN	kNm	kNm	kN	kNm	kN
8B-L14 - 9B-L14	6.20	47.343	293.527	-1444.453	2276.458	159.332	1098.451	909.93
9B-L14 - 10B-L14	6.20	47.343	293.527	-2095.642	2095.642	293.527	682.450	909.93
10B-L14 - 11B-L14	6.20	47.343	293.527	-2276.458	1444.465	427.719	266.452	909.93
8B-L15 - 9B-L15	6.20	47.343	293.527	-1797.261	2171.395	233.183	869.518	909.93
9B-L15 - 10B-L15	6.20	47.343	293.527	-2048.085	2048.085	293.527	682.450	909.93
10B-L15 - 11B-L15	6.20	47.343	293.527	-2171.395	1797.261	353.871	495.383	909.93
8B-L16 - 9B-L16	6.20	47.343	293.527	-1644.009	2221.608	200.366	971.250	909.93
9B-L16 - 10B-L16	6.20	47.343	293.527	-2065.694	2065.694	293.527	682.450	909.93
10B-L16 - 11B-L16	6.20	47.343	293.527	-2221.608	1644.009	386.688	393.650	909.93
8B-ATAP - 9B-ATAP	6.20	32.250	199.950	-870.013	1579.896	85.453	819.826	619.85
9B-ATAP - 10B-ATAP	6.20	32.250	199.950	-1446.034	1446.034	199.950	464.884	619.85
10B-ATAP - 11B-ATAP	6.20	32.250	199.950	-1579.896	870.043	314.442	109.956	619.85

Tabel 5.10 Rekapitulasi Momen Maksimal (M_{lap}) dan Gaya Lintang Portal Arah Memanjang

5.4.4 Menghitung Penulangan Balok

1. Arah Melintang

Direncanakan :

Dimensi balok = 30 / 50 cm Diameter tul. utama = 22 mm

Beton *decking* = 50 mm Diameter tul. sekanng = 10 mm

Maka, dapat dihitung D_{eff}

$D_{eff} = h - p - \emptyset \text{ tul. sengkang} - 0,5 \emptyset \text{ tul. utama}$

$$= 5000 - 50 - 10 - (0,5 \cdot 22) = 4840 \text{ mm} \approx 4,84 \text{ m}$$

Berikut merupakan sampel analisa perhitungan tulangan pada balok 9A-L14 – 9B-L14.

Menghitung Tulangan Lapangan

$$M_{lap} = 674,945 \text{ kNm}$$

$$k = (M_U \times \phi) / (bd^2) = (674,945 \times 0,8) / (0,3 \cdot 4,84^2) \\ = 76,833 \text{ kN/m}^2 \approx 0,076 \text{ Mpa}$$

Menurut tabel A-10 Rasio Penulangan (ρ) vs Koefisien Tahanan (k) berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 untuk $f_c' = 30 \text{ Mpa}$ dan $f_y = 400 \text{ Mpa}$, $k = 0,076 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho = 0,00350$

$$\text{Sehingga } A_s = \rho \times b \times d = 0,00350 \times 0,3 \times 4,84 \times 10^6 = 5082 \text{ mm}^2$$

Menurut tabel A-4 Luas Penampang Tulangan Baja berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 untuk $A_s = 5082 \text{ mm}^2$ dengan diameter tulangan utama D22, maka dicari luas yang mendekati yaitu **8D29 dengan $A_s = 5284,0 \text{ mm}^2$ untuk tulangan lapangan.**

Menghitung Tulangan Geser (Sengkang)

$$W_U = 229,536 \text{ kN}, V_n = 711,560 \text{ kN}$$

$$\text{Untuk } f_c' = 30 \text{ Mpa}, \phi = 0,5$$

$$\phi \cdot V_c = \phi \cdot b \cdot d' = 0,5 \cdot 300 \cdot 0,484 = 72,6 \text{ kN}$$

$$y = (V_u - \phi \cdot V_c) / W_U = (711,560 - 72,6) / 229,536 = 2,784 \text{ m} \approx 2784$$

$$A_s \text{ sengkang} = (b \cdot y) / (3 \cdot f_y) = (300 \cdot 2784) / (3 \cdot 400) = 696 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ sengkang} / \text{m} = A_s \text{ sengkang} / y = 696 / 2,784 = 250 \text{ mm}^2$$

Menurut tabel A-5 Luas Penampang Tulangan Baja Per Meter Panjang Pelat berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 untuk $A_s = 250 \text{ mm}^2$ dengan diameter tulangan utama $\emptyset 10$, maka dicari luas yang mendekati yaitu **$\emptyset 10$ -300 dengan $A_s = 261,8 \text{ mm}^2$**

untuk tulangan sengkang lapangan sedangkan untuk tulangan sengkang tumpuan digunakan $\emptyset 10-250$ dengan $A_s = 314,2 \text{ mm}^2$

2. Arah Memanjang

Direncanakan :

Dimensi balok = 30 / 50 cm Beton *decking* = 50 mm

Diameter tul. utama = 22 mm Diameter tul. sengkang = 10 mm

Maka, dapat dihitung D_{eff}

$$D_{\text{eff}} = h - p - \emptyset \text{ tul. sengkang} - 0,5 \emptyset \text{ tul. utama}$$

$$= 6200 - 50 - 10 - (0,5 \cdot 22) = 6040 \text{ mm} \approx 6,04 \text{ m}$$

Menghitung Tulangan Lapangan

$M_{\text{lap}} = 1098,451 \text{ kNm}$

$$k = (M_U \times \phi) / (bd^2)$$

$$= (1098,451 \times 0,8) / (0,3 \cdot 6,04^2)$$

$$= 80,293 \text{ kN/m}^2 \approx 0,081 \text{ Mpa}$$

Menurut tabel A-10 Rasio Penulangan (ρ) vs Koefisien Tahanan (k) berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 untuk $f_c' = 30 \text{ Mpa}$ dan $f_y = 400 \text{ Mpa}$, $k = 0,081 \text{ Mpa}$ didapatkan nilai $\rho = 0.00350$

$$\text{Sehingga } A_s = \rho \times b \times d = 0.00350 \times 0,3 \times 6,04 \times 10^6 = 6342 \text{ mm}^2$$

Menurut tabel A-4 Luas Penampang Tulangan Baja berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 untuk $A_s = 6342 \text{ mm}^2$ dengan diameter tulangan utama D22, maka dicari luas yang mendekati yaitu **8D32 dengan $A_s = 6434 \text{ mm}^2$ untuk tulangan lapangan.**

Menghitung Tulangan Geser (Sengkang)

$W_U = 293,527 \text{ kN}$, $V_n = 909,930 \text{ kN}$

Untuk $f_c' = 30 \text{ Mpa}$, $\phi = 0,5$

$$\phi.V_c = \phi \cdot b \cdot d' = 0,5 \cdot 300 \cdot 0,604 = 90,6 \text{ kN}$$

$$y = (V_u - \phi.V_c) / W_U = (909,930 - 90,6) / 293,527 = 2,791 \text{ m} \approx 2791 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ sengkang} = (b \cdot y) / (3 \cdot f_y) = (300 \cdot 2791) / (3 \cdot 400) = 697,75 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ sengkang} / \text{m} = A_s \text{ sengkang} / y = 697,75 / 2,791 = 250 \text{ mm}^2$$

Menurut tabel A-5 Luas Penampang Tulangan Baja Per Meter Panjang Pelat berdasarkan SK-SNI T-15-1991-03 untuk $A_s = 250 \text{ mm}^2$ dengan diameter tulangan utama $\emptyset 10$, maka dicari luas yang mendekati yaitu **$\emptyset 10-300$ dengan $A_s = 261,8 \text{ mm}^2$ untuk tulangan sengkang lapangan sedangkan untuk tulangan sengkang tumpuan digunakan $\emptyset 10-250$ dengan $A_s = 314,2 \text{ mm}^2$**