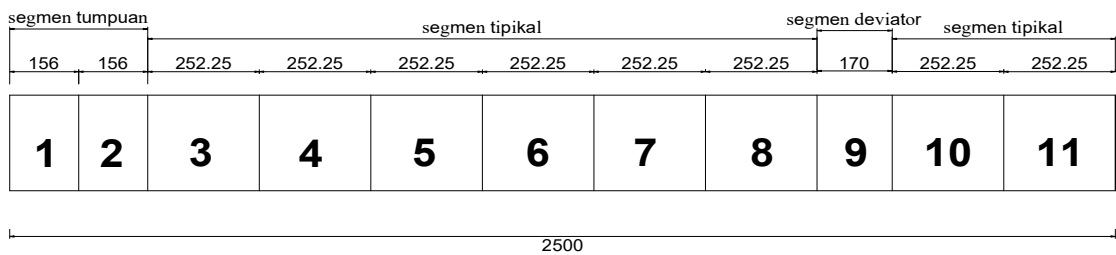


BAB IV

PERMODELAN DAN ANALISA STRUKTUR

4.1 Umum

Desain pada elemen struktur box girder mengacu pada AASHTO-PCI-ASBI, dan peraturan Indonesia (Standar Nasional Indonesia).



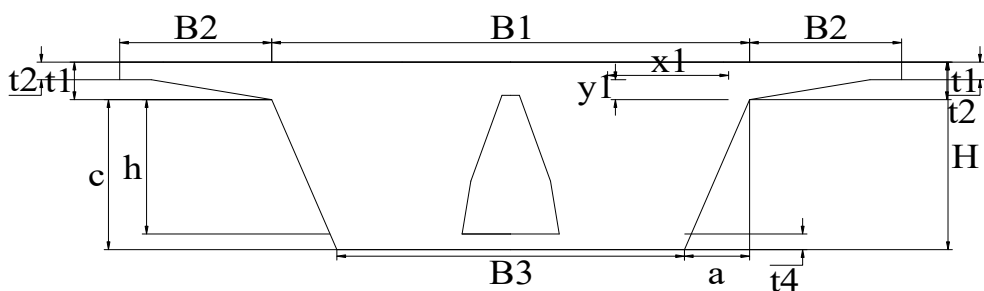
Gambar 4.1 Desain Pembagian Segmen Box Girder Pada Setengah Bentang Jembatan

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Segmen deviator diletakkan pada $\frac{3}{8}$ dan $\frac{5}{8}$ dari panjang bentang, yaitu pada 18,75 m dan 31,25 m.

4.2 Analisa Penampang Box Girder

4.2.1 Segmen Tumpuan



Gambar 4.2 Dimensi Box Girder Segmen Tumpuan

(Sumber : Hasil Perencanaan)

a. Dimensi awal

Dimensi awal *box girder* pada segmen tumpuan sebagai berikut :

1. Slab atas bagian tengah $B1 = 5,50 \text{ m}$; $t1 = 0,48 \text{ m}$

2. Slab atas bagian tepi $B_2 = 1,75 \text{ m}$; $t_2 = 0,23 \text{ m}$

3. Tinggi *box girder* $H = 2,40 \text{ m}$

Dimensi awal *box girder* pada segmen tumpuan sebagai berikut :

4. Slab badan bagian tepi (*web*) $t_3 = 0,35 \text{ m}$

5. Slab bawah $B_4 = 4,26 \text{ m}$; $t_4 = 0,20 \text{ m}$

6. Penebalan pada pertemuan slab atas dan *web*

$x_1 = 1,18 \text{ m}$; $x_2 = 1,26 \text{ m}$

$y_1 = 0,23 \text{ m}$; $y_2 = 0,23 \text{ m}$

7. Lebar total *box girder* $B_{tot} = 9,00 \text{ m}$

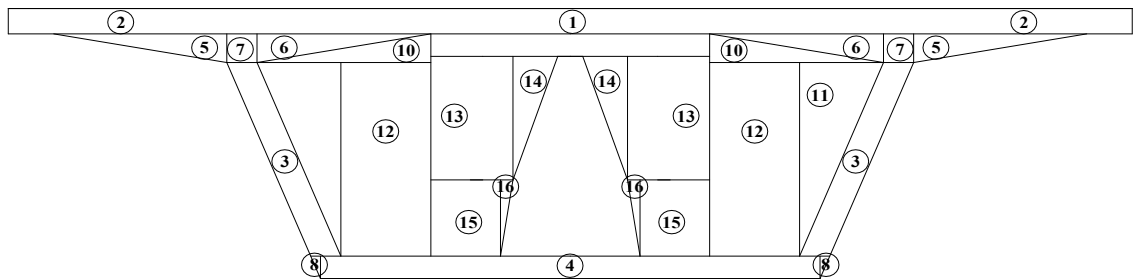
8. Tinggi badan (*web*) $h = 1,72 \text{ m}$; $c = 1,92 \text{ m}$

9. Lebar kemiringan badan (*web*) $a = 0,62 \text{ m}$

10. Panjang segmen $L_1 = 1,56 \text{ m}$

b. Titik berat dan momen inersia

Perhitungan titik berat dan momen inersia pada segmen tumpuan sebagai berikut :



Gambar 4.3 Section Box Girder Segmen Tumpuan

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Tabel 4.1 Perhitungan Titik Berat dan Momen Inersia Pada Segmen Tumpuan

No	Dimensi		n	A	Y	A x Y	Y ²	I _o	A x Y ²	I _x (I _o + A.Y ²)
	b	h								
	m	m								
1	5,50	0,23	1	1,238	2,40	2,97	1,38	0,00522	2,345	2,3500

Tabel 4.1 Perhitungan Titik Berat dan Momen Inersia Pada Segmen Tumpuan

No	Dimensi		n	A	Y	A x Y	Y ²	I _o	A x Y ²	I _x (I _o + A.Y ²)	
	b	h									
	m	m									
2	1,75	0,23	2	0,394	2,29	0,9007	1,26	0,00166	0,629	0,6308	
3	1,85	0,35	2	0,646	1,06	0,68509	0,04	0,0066	0,001	0,0075	
4	4,00	0,20	1	0,800	1,34	1,072	0,32	0,00267	0,080	0,0828	
5	1,39	0,26	2	0,177	2,09	0,36931	1,07	0,00064	0,201	0,2016	
6	1,26	0,26	2	0,160	2,09	0,33528	1,07	0,00058	0,182	0,1830	
7	0,38	0,26	2	0,096	2,05	0,19621	1,02	0,00052	0,100	0,1010	
8	0,78	0,20	2	0,078	0,13	0,01041	0,89	0,0002	0,062	0,0621	
9	2,23	0,20	1	0,446	2,08	0,92632	1,05	0,0005	0,494	0,4941	
10	1,26	0,26	2	0,160	2,01	0,32164	0,98	0,00058	0,155	0,1551	
11	0,67	1,72	2	0,578	1,75	1,01121	0,73	0,09497	0,305	0,4000	
12	0,59	1,72	2	1,008	1,30	1,31097	0,28	0,08287	0,077	0,1600	
13	0,66	1,10	2	0,722	1,89	1,36375	0,87	0,02415	0,542	0,5659	
14	0,36	1,10	2	0,197	1,61	0,31676	0,59	0,01318	0,068	0,0807	
15	0,56	0,68	2	0,378	0,54	0,2034	0,48	0,01444	0,089	0,1032	
16	0,10	0,68	2	0,034	0,65	0,02207	0,37	0,00259	0,005	0,0073	
				$\sum A = 11,7 \text{ m}^2$	$\sum(A \times Y) = 12,0 \text{ m}^3$			$\sum I_x = 5,58 \text{ m}^4$			

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Keterangan :

b = Lebar masing - masing bidang (m)

h = Tinggi masing - masing bidang (m)

n = Jumlah atau banyak bidang

A = Luas penampang masing - masing potongan (m²)

Untuk penampang persegi $A = b \times h$

Untuk penampang persegi panjang $A = b \times h$

Untuk penampang segitiga $A = 0,5 \times b \times h$

Untuk penampang jajargenjang $A = b \times h$

Y = Jarak titik berat bidang terhadap sumbu tinjau (m)

$A \times Y$ = Statis momen (m^3)

Y_2 = Jarak titik berat bidang terhadap CGC atau titik berat segmen

I_o = Momen inersia bentuk geometri dasar

$\sum I_x$ = Momen inersia penampang berlubang

- Perhitungan letak titik berat segmen (CGC)

$$Y_a = \frac{\sum (AxY)}{\sum A} = \frac{12,02 \text{ m}^3}{11,74 \text{ m}^2} = 1,023 \text{ m}$$

$$Y_b = H - Y_a = 2,40 \text{ m} - 1,02 \text{ m} = 1,377 \text{ m}$$

- Perhitungan tahanan momen sisi atas (W_a) dan tahanan momen sisi bawah (W_b)

$$W_a = \frac{\sum I}{Y_b} = \frac{5,58 \text{ m}^4}{1,38 \text{ m}} = 4,06 \text{ m}^3$$

$$W_b = \frac{\sum I_x}{Y_a} = \frac{5,58 \text{ m}^4}{1,02 \text{ m}} = 5,46 \text{ m}^3$$

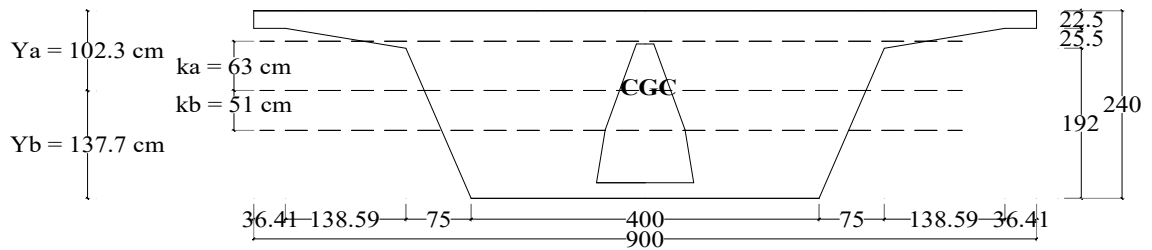
- Perhitungan Jari - jari inersia (i^2)

$$i^2 = \frac{\sum I}{\sum A} = \frac{5,58 \text{ m}^4}{11,74 \text{ m}^2} = 0,48 \text{ m}^2$$

- Perhitungan kern atas (k_a) dan kern bawah (k_b)

$$k_a = \frac{\sum I}{Y_b} = \frac{0,48 \text{ m}^2}{1,38 \text{ m}} = 0,63 \text{ m}$$

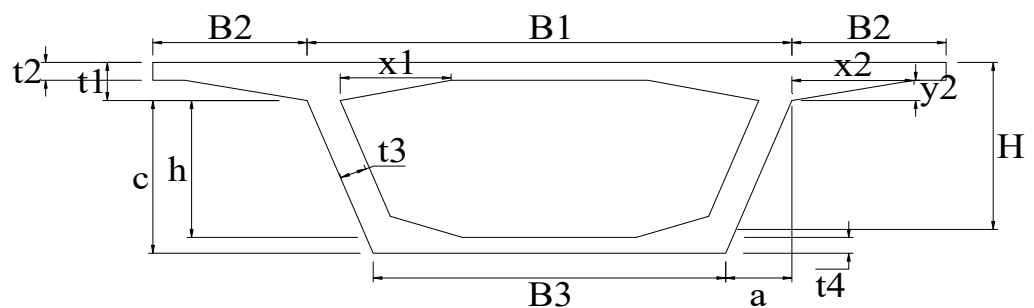
$$k_b = \frac{\sum I}{Y_a} = \frac{0,48 \text{ m}^2}{1,02 \text{ m}} = 0,51 \text{ m}$$



Gambar 4.4 Garis Titik Berat Segmen Tumpuan

(Sumber : Hasil Perencanaan)

4.2.2 Segmen Standar



Gambar 4.5 Dimensi Box Girder Segmen Standar

(Sumber : Hasil Perencanaan)

a. Dimensi awal

Dimensi awal *box girder* pada segmen standar sebagai berikut :

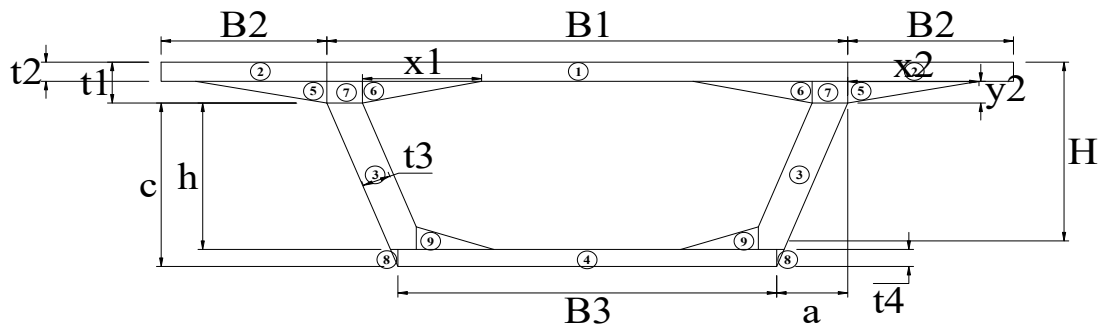
1. Slab atas bagian tengah $B1 = 5,50 \text{ m}$; $t1 = 0,48 \text{ m}$
2. Slab atas bagian tepi $B2 = 1,75 \text{ m}$; $t2 = 0,23 \text{ m}$
3. Tinggi *box girder* $H = 2,40 \text{ m}$
4. Slab badan bagian tepi (*web*) $t3 = 0,35 \text{ m}$
5. Slab bawah $B4 = 4,26 \text{ m}$; $t4 = 0,20 \text{ m}$
6. Penebalan pada pertemuan slab atas dan *web*
 $x1 = 1,18 \text{ m}$; $x2 = 1,26 \text{ m}$
 $y1 = 0,23 \text{ m}$; $y2 = 0,23 \text{ m}$
7. Lebar total *box girder* $B_{tot} = 9,00 \text{ m}$
8. Tinggi badan (*web*) $h = 1,72 \text{ m}$; $c = 1,92 \text{ m}$
9. Lebar kemiringan badan (*web*) $a = 0,62 \text{ m}$

10. Panjang segmen

$$L_2 = 2,52 \text{ m}$$

b. Titik berat dan momen inersia

Perhitungan titik berat dan momen inersia pada segemen standar sebagai berikut :



Gambar 4.6 Section Box Girder Segmen Standar

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Tabel 4.2 Perhitungan Titik Berat dan Momen Inersia Pada Segmen Standar

No	Dimensi		n	A	Y	A x Y	Y ²	I _o	A x Y ²	I _x (I _o + A.Y ²)	
	b	h									
	m	m									
1	5,50	0,23	1	1,238	2,29	2,831	1,22	0,0052	1,846	1,8516	
2	1,75	0,23	2	0,394	2,29	0,901	1,22	0,0017	0,587	0,5891	
3	1,85	0,35	2	0,646	1,06	0,685	0,01	0,0066	0,000	0,0066	
4	4,00	0,20	1	0,800	0,10	0,080	0,97	0,0027	0,747	0,7492	
5	1,39	0,26	2	0,177	2,09	0,369	1,02	0,0006	0,185	0,1859	
6	1,26	0,26	2	0,160	2,09	0,335	1,02	0,0006	0,168	0,1688	
7	0,38	0,26	2	0,096	2,05	0,196	0,98	0,0005	0,092	0,0928	
8	0,78	0,20	2	0,078	0,13	0,010	0,93	0,0002	0,068	0,0681	
9	0,86	0,22	2	0,095	2,88	0,273	1,82	0,0003	0,313	0,3136	
$\Sigma A = 5,33 \text{ m}^2$				$\Sigma(A \times Y) = 5,68 \text{ m}^3$				$\Sigma I_x = 4,03 \text{ m}^4$			

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Keterangan :

b = Lebar masing - masing bidang (m)

h = Tinggi masing - masing bidang (m)

n = Jumlah atau banyak bidang

A = Luas penampang masing - masing potongan (m²)

Untuk penampang persegi $A = b \times h$

Untuk penampang persegi panjang $A = b \times h$

Untuk penampang segitiga $A = 0,5 \times b \times h$

Untuk penampang jajargenjang $A = b \times h$

Y = Jarak titik berat bidang terhadap sumbu tinjau (m)

A x Y = Statis momen (m³)

Y₂ = Jarak titik berat bidang terhadap CGC atau titik berat segmen

I_o = Momen inersia bentuk geometri dasar

$\sum I_x$ = Momen inersia penampang berlubang

- Perhitungan letak titik berat segemen (CGC)

$$Y_a = \frac{\sum (AxY)}{\sum A} = \frac{5,68 \text{ m}^3}{5,33 \text{ m}^2} = 1,066 \text{ m}$$

$$Y_b = H - Y_a = 2,40 \text{ m} - 1,07 \text{ m} = 1,334 \text{ m}$$

- Perhitungan tahanan momen sisi atas (W_a) dan tahanan momen sisi bawah (W_b)

$$W_a = \frac{\sum I_x}{Y_b} = \frac{4,03 \text{ m}^4}{1,33 \text{ m}} = 3,02 \text{ m}^3$$

$$W_b = \frac{\sum I_x}{Y_a} = \frac{4,03 \text{ m}^4}{1,07 \text{ m}} = 3,78 \text{ m}^3$$

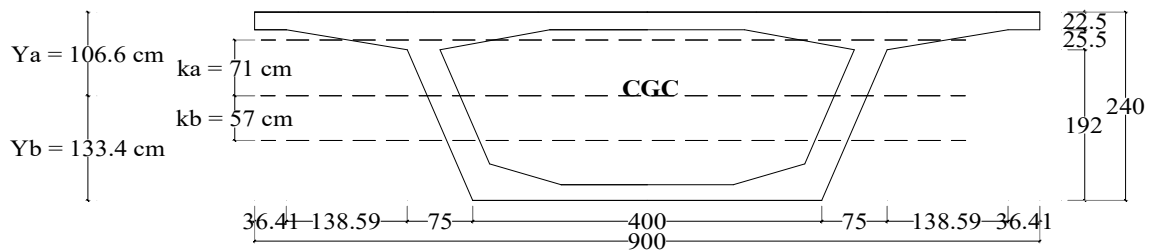
- Perhitungan Jari - jari inersia (i²)

$$i^2 = \frac{\sum I_x}{\sum A} = \frac{4,03 \text{ m}^4}{5,33 \text{ m}^2} = 0,76 \text{ m}^2$$

- Perhitungan kern atas (k_a) dan kern bawah (k_b)

$$k_a = \frac{i^2}{Y_a} = \frac{0,76 \text{ m}^2}{1,07 \text{ m}} = 0,71 \text{ m}$$

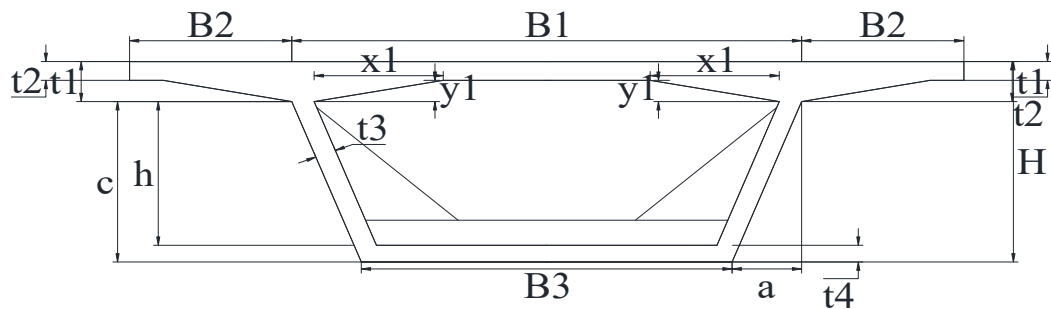
$$k_b = \frac{i^2}{Y_b} = \frac{0,76 \text{ m}^2}{1,33 \text{ m}} = 0,57 \text{ m}$$



Gambar 4.7 Garis Titik Berat Segmen Standar

(Sumber : Hasil Perencanaan)

4.2.3 Segmen Deviator



Gambar 4.8 Dimensi Box Girder Segmen Deviator

(Sumber : Hasil Perencanaan)

a. Dimensi awal

Dimensi awal *box girder* pada segmen deviator sebagai berikut :

- | | | |
|--|------------------------|--------------------------|
| 1. Slab atas bagian tengah | $B_1 = 5,50 \text{ m}$ | ; $t_1 = 0,48 \text{ m}$ |
| 2. Slab atas bagian tepi | $B_2 = 1,75 \text{ m}$ | ; $t_2 = 0,23 \text{ m}$ |
| 3. Tinggi <i>box girder</i> | $H = 2,40 \text{ m}$ | |
| 4. Slab badan bagian tepi (<i>web</i>) | $t_3 = 0,35 \text{ m}$ | |
| 5. Slab bawah | $B_4 = 4,26 \text{ m}$ | ; $t_4 = 0,20 \text{ m}$ |

6. Penebalan pada pertemuan slab atas dan *web*

$$x1 = 1,18 \text{ m} \quad ; \quad x2 = 1,26 \text{ m}$$

$$y1 = 0,23 \text{ m} \quad ; \quad y2 = 0,23 \text{ m}$$

7. Lebar total *box girder*

$$B_{tot} = 9,00 \text{ m}$$

8. Tinggi badan (*web*)

$$h = 1,72 \text{ m} \quad ; \quad c = 1,92 \text{ m}$$

9. Lebar kemiringan badan (*web*)

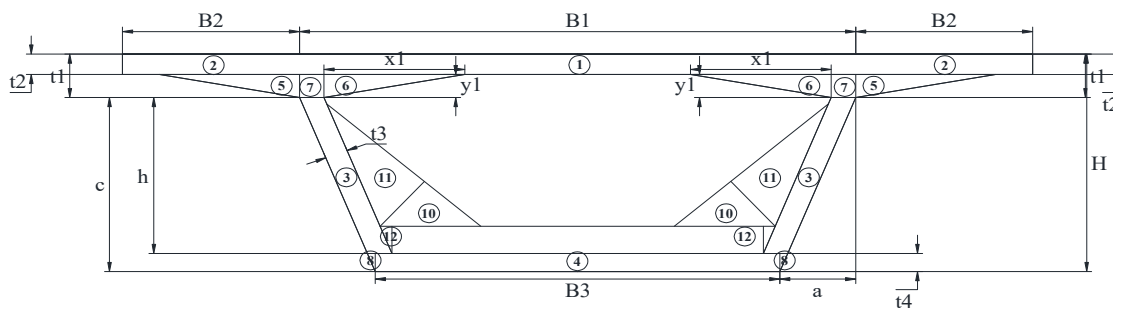
$$a = 0,62 \text{ m}$$

10. Panjang segmen

$$L_3 = 1,700 \text{ m}$$

b. Titik berat dan momen inersia

Perhitungan titik berat dan momen inersia pada segmen deviator sebagai berikut :



Gambar 4.9 Section Box Girder Segmen Deviator

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Tabel 4.3 Perhitungan Titik Berat dan Momen Inersia Pada Segmen Deviator

No	Dimensi		n	A	Y	A x Y	Y ²	I _o	A x Y ²	I _x (I _o + A.Y ²)
	b	h								
	m	m								
1	5,50	0,23	1	1,238	2,29	2,83078	1,51	0,0052	2,832	2,8369
2	1,75	0,23	2	0,394	2,29	0,9007	1,51	0,0017	0,901	0,9026
3	1,85	0,35	2	0,646	1,06	0,68509	0,29	0,0066	0,053	0,0592
4	4,00	0,20	1	0,800	0,10	0,08	0,67	0,0027	0,364	0,3670
5	1,39	0,26	2	0,177	2,09	0,36931	1,32	0,0006	0,306	0,3063
6	1,26	0,26	2	0,160	2,09	0,33528	1,32	0,0006	0,277	0,2781

Tabel 4.3 Perhitungan Titik Berat dan Momen Inersia Pada Segmen Deviator

No	Dimensi		n	A	Y	A x Y	Y ²	I _o	A x Y ²	I _x (I _o + A.Y ²)	
	b	h									
	m	m									
7	0,38	0,26	2	0,096	2,05	0,19621	1,27	0,0005	0,155	0,1557	
8	0,78	0,20	2	0,078	0,13	0,01041	0,64	0,0002	0,032	0,0323	
9	3,40	0,30	1	1,021	0,35	0,35749	0,42	0,0026	0,184	0,1869	
10	0,75	0,66	4	0,247	0,67	0,16411	0,11	0,0060	0,003	0,0090	
11	1,29	0,66	2	0,853	1,12	0,95075	0,34	0,0104	0,099	0,1090	
12	0,12	0,30	2	0,018	0,40	0,00703	0,37	0,0001	0,002	0,0026	
$\Sigma A = 8,89 \text{ m}^2$				$\Sigma(A \times Y) = 6,89 \text{ m}^3$				$\Sigma I_x = 5,25 \text{ m}^4$			

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Keterangan :

b = Lebar masing - masing bidang (m)

h = Tinggi masing - masing bidang (m)

n = Jumlah atau banyak bidang

A = Luas penampang masing - masing potongan (m²)

Untuk penampang persegi $A = b \times h$

Untuk penampang persegi panjang $A = b \times h$

Untuk penampang segitiga $A = 0,5 \times b \times h$

Untuk penampang jajargenjang $A = b \times h$

Y = Jarak titik berat bidang terhadap sumbu tinjau (m)

A x Y = Statis momen (m³)

Y² = Jarak titik berat bidang terhadap CGC atau titik berat segmen

I_o = Momen inersia bentuk geometri dasar

ΣI_x = Momen inersia penampang berlubang

- Perhitungan letak titik berat segemen (CGC)

$$Y_a = \frac{\sum (AxY)}{\sum A} = \frac{6,89 \text{ m}^3}{8,89 \text{ m}^2} = 0,775 \text{ m}$$

$$Y_b = H - Y_a = 2,40 \text{ m} - 0,77 \text{ m} = 1,625 \text{ m}$$

- Perhitungan tahanan momen sisi atas (Wa) dan tahanan momen sisi bawah (Wb)

$$W_a = \frac{\sum I_x}{Y_a} = \frac{5,25 \text{ m}^4}{0,77 \text{ m}} = 6,77 \text{ m}^3$$

$$W_b = \frac{\sum I_x}{Y_b} = \frac{5,25 \text{ m}^4}{1,63 \text{ m}} = 3,23 \text{ m}^3$$

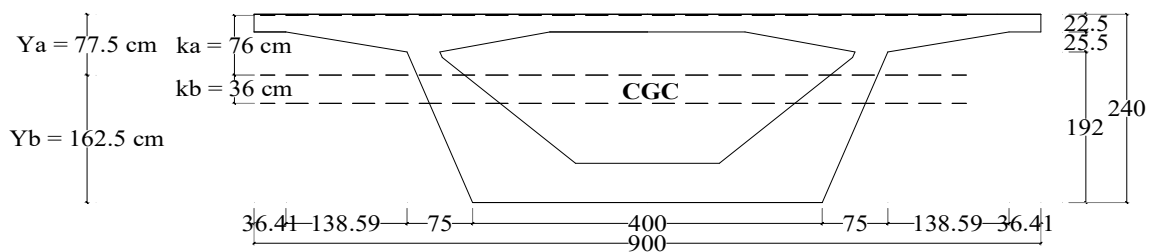
- Perhitungan Jari - jari inersia (i^2)

$$i^2 = \frac{\sum I_x}{\sum A} = \frac{5,25 \text{ m}^4}{8,89 \text{ m}^2} = 0,59 \text{ m}^2$$

- Perhitungan kern atas (ka) dan kern bawah (kb)

$$k_a = \frac{i^2}{Y_a} = \frac{0,59 \text{ m}^2}{0,77 \text{ m}} = 0,76 \text{ m}$$

$$k_b = \frac{i^2}{Y_b} = \frac{0,59 \text{ m}^2}{1,63 \text{ m}} = 0,36 \text{ m}$$

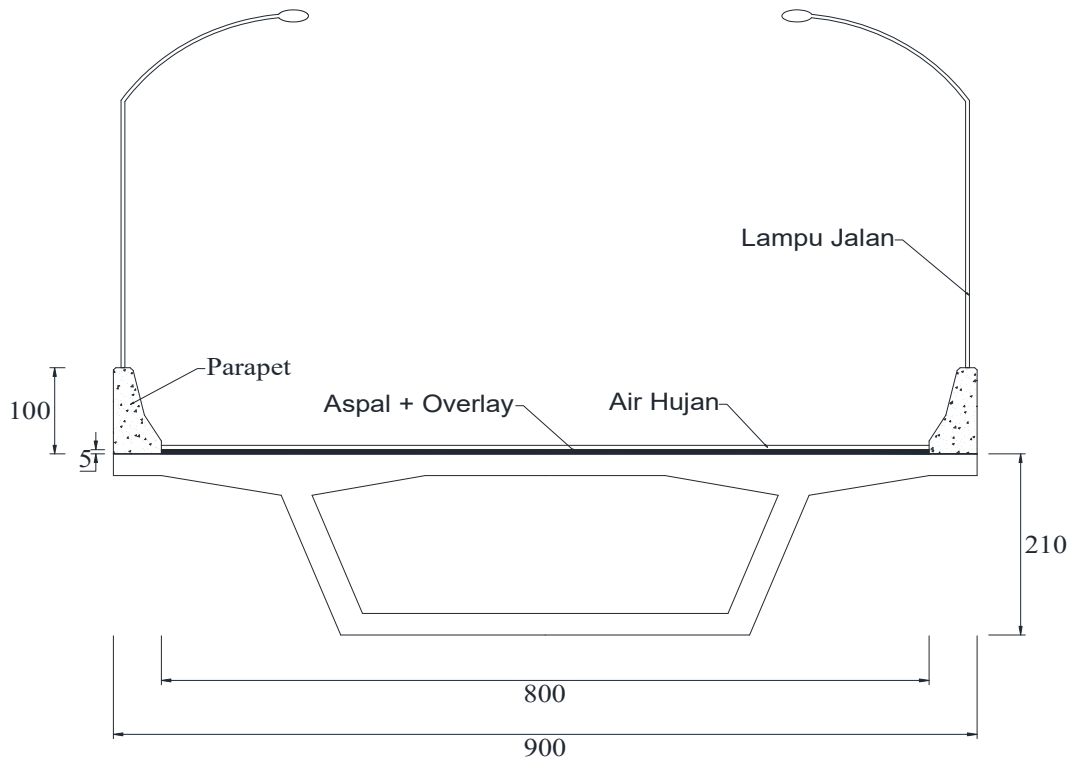


Gambar 4.10 Garis Titik Berat Segmen Deviator

(Sumber : Hasil Perencanaan)

4.3 Pembebanan Struktur Utama

4.3.1 Data Perencanaan



Gambar 4.11 Potongan Melintang Box Girder

(Sumber : Hasil Perencanaan)

- Data Umum

Panjang bentang <i>flyover</i> , L	:	50,00 m
Lebar jalan / lalu lintas	:	8,00 m
Lebar parapet	:	0,50 m
Lebar total <i>flyover</i>	:	9,00 m
Dimensi girder,		
Tinggi girder, h	:	2,40 m
Tebal lapisan aspal + overlay, t_a	:	0,10 m
Tinggi genangan air hujan, t_h	:	0,05 m
Jarak antar lampu jalan	:	5,00 m

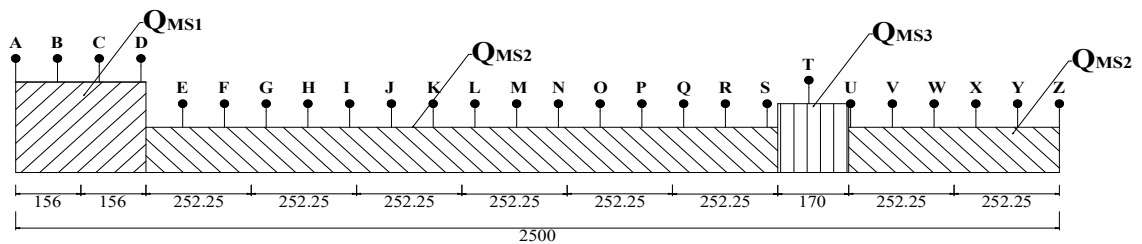
4.3.2 Analisa Pembebanan

Desain pembebanan yang dapat mempengaruhi desain struktur ditentukan sebagai berikut :

4.3.2.1 Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri yang dihitung merupakan berat sendiri dari beberapa jenis penampang box girder. Beberapa data yang digunakan sebagai berikut :

Faktor beban layan, γ^{MS}	=	1
Ditinjau box girder selebar, b	=	1,0 m
Berat jenis beton pracetak, B_j	=	25,0 kN/m ³
Berat jenis beton bertulang, B_j	=	24,0 kN/m ³
Panjang segmen tumpuan, L1	=	156,0 cm
Panjang segmen standar, L2	=	252,3 cm
Panjang segmen deviator, L3	=	170,0 cm



Gambar 4.12 Potongan Mamanjang Pembebanan Akibat Berat Sendiri (MS)

(Sumber : Hasil Perencanaan)

a. Beban merata akibat segmen tumpuan (Q_{MS1})

$$\begin{aligned} \text{Berat box girder} &= \sum A \times B_j \\ \text{(segmen tumpuan)} &= 11,74 \times 25 = 293,48 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat parapet} &= \sum A \times B_j \times n \\ &= 0,41 \times 24 \times 2 = 19,58 \text{ kN/m} \quad + \end{aligned}$$

$$\text{Beban sendiri } Q_{MS1} = 313,07 \text{ kN/m}$$

b. Beban merata akibat segmen standar (Q_{MS2})

$$\begin{aligned} \text{Berat box girder} &= \sum A \times B_j \\ \text{(segmen standar)} &= 5,68 \times 25 = 142,03 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat parapet} &= \sum A \times B_j \times n \\ &= 0,41 \times 24 \times 2 = 19,58 \text{ kN/m} \quad + \end{aligned}$$

$$\text{Beban sendiri } Q_{MS2} = 161,61 \text{ kN/m}$$

c. Beban merata akibat segmen standar (Q_{MS3})

$$\begin{aligned} \text{Berat box girder} &= \sum A \times B_j \\ \text{(segmen standar)} &= 6,89 \times 25 = 172,18 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat parapet} &= \sum A \times B_j \times n \\ &= 0,41 \times 24 \times 2 = 19,58 \text{ kN/m} \quad + \end{aligned}$$

$$\text{Beban sendiri } Q_{MS3} = 191,76 \text{ kN/m}$$

• Reaksi pada masing-masing tumpuan (RA)/(RB)

$$\begin{aligned} RA = RB &= (1/2 \times Q_{MS1} \times \text{jml box} \times L1) + (1/2 \times Q_{MS3} \times \text{jml box} \times L3) \\ &\quad + (1/2 \times Q_{MS2} \times \text{jml box} \times L2) \\ &= (1/2 \times 313,07 \times 4 \times 1,56) + (1/2 \times 191,76 \\ &\quad \times 2 \times 1,70) + (1/2 \times 161,61 \times 20 \times 2,52) \\ &= 5379,47 \text{ kN} \end{aligned}$$

• Perhitungan momen pada tiap titik tertentu (Mx)

$$M_x = (RA \cdot x) - (Q_{MSn} \cdot x \cdot 1/2 \cdot x)$$

Bila $x = 1$, maka besar MB adalah

$$MB = (RA \cdot 1,00) - (Q_{MS1} \cdot 1,00 \cdot 1/2 \cdot 1,00)$$

$$MB = 5222,94 \text{ kNm}$$

Bila $x = 2$, maka besar MC adalah

$$\begin{aligned} MC &= (RA \cdot 2,00) - (Q_{MS1} \cdot 1,56 \cdot (1/2 \cdot 1,56 + 2,52)) \\ &\quad - (Q_{MS2} \cdot 2,52 \cdot 1/2 \cdot 2,52) \end{aligned}$$

$$MC = 10132,82 \text{ kNm}$$

Bila $x = 23$, maka besar MX adalah

$$\begin{aligned}
 MX = & (RA \cdot 23,00) - (Q_{MS1} \cdot 1,56 (1/2 \cdot 1,56 + 16,8 \\
 & - (Q_{MS2} \cdot 15,14 \cdot (1/2 \cdot 15,14 + 1,7)) \\
 & - (Q_{MS3} \cdot 1,70 \cdot (1/2 \cdot 1,70))
 \end{aligned}$$

$$MX = 70650,35 \text{ kNm}$$

Ket :

X = panjang dari ujung ke titik yg ditinjau

Tabel 4.4 Momen Akibat Berat Sendiri

Titik	RA (kN)	x (m)	Q _{MS1} (kN/m)	Q _{MS2} (kN/m)	Q _{MS3} (kN/m)	Momen (kNm)
A	5379,47	0	313,07	161,61	191,76	0
B	5379,47	1,00	313,07	161,61	191,76	5222,94
C	5379,47	2,00	313,07	161,61	191,76	10132,82
D	5379,47	3,00	313,07	161,61	191,76	14729,63
E	5379,47	4,00	313,07	161,61	191,76	19814,35
F	5379,47	5,00	313,07	161,61	191,76	23251,69
G	5379,47	6,00	313,07	161,61	191,76	27269,76
H	5379,47	7,00	313,07	161,61	191,76	31126,22
I	5379,47	8,00	313,07	161,61	191,76	34821,06
J	5379,47	9,00	313,07	161,61	191,76	38354,28
K	5379,47	10,00	313,07	161,61	191,76	41725,90
L	5379,47	11,00	313,07	161,61	191,76	44935,89
M	5379,47	12,00	313,07	161,61	191,76	47984,28
N	5379,47	13,00	313,07	161,61	191,76	50871,05
O	5379,47	14,00	313,07	161,61	191,76	53596,20
P	5379,47	15,00	313,07	161,61	191,76	56159,75
Q	5379,47	16,00	313,07	161,61	191,76	58561,68

Tabel 4.4 Momen Akibat Berat Sendiri

Titik	RA (kN)	x (m)	Q _{MS1} (kN/m)	Q _{MS2} (kN/m)	Q _{MS3} (kN/m)	Momen (kNm)
R	5379,47	17,00	313,07	161,61	191,76	60801,99
S	5379,47	18,00	313,07	161,61	191,76	62880,69
T	5379,47	19,00	313,07	161,61	191,76	64842,63
U	5379,47	20,00	313,07	161,61	191,76	66507,38
V	5379,47	21,00	313,07	161,61	191,76	68049,98
W	5379,47	22,00	313,07	161,61	191,76	69430,97
X	5379,47	23,00	313,07	161,61	191,76	70650,35
Y	5379,47	24,00	313,07	161,61	191,76	71708,11
Z	5379,47	25,00	313,07	161,61	191,76	72604,26

(Sumber : Hasil Perhitungan)

- Perhitungan gaya geser pada tiap titik tertentu (V_n)

Besar V_A adalah

$$V_A = R_A - (Q_{MS1} \cdot x)$$

$$= 5379,47 \text{ kNm}$$

Besar V_B adalah

$$V_B = V_A - (Q_{MS2} \cdot x)$$

$$= 4891,09 \text{ kNm}$$

Ket :

$$X = X_n - X_{(n-1)}$$

n = letak titik yang ditinjau (0, 1, 2, . . . , 20)

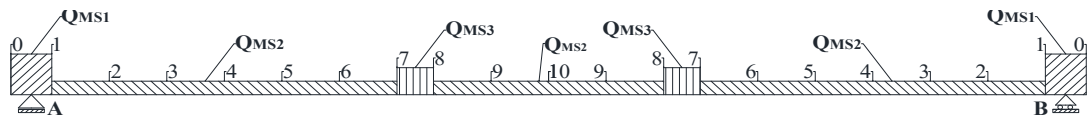
Tabel 4.5 Gaya Geser Akibat Berat Sendiri

Titik	RA (kN)	x (m)	Q _{MS1} (kN/m)	Q _{MS2} (kN/m)	Q _{MS3} (kN/m)	Gaya Geser (kNm)
0	5379,47	0	0,00	0,00	0,00	5379,47

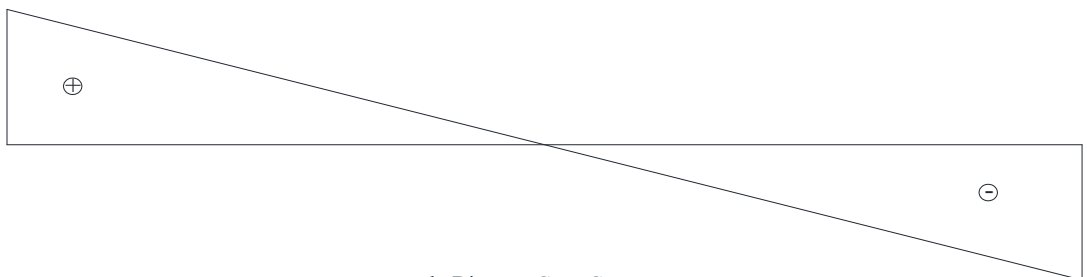
Tabel 4.5 Gaya Geser Akibat Berat Sendiri

Titik	RA (kN)	x (m)	Q _{MS1} (kN/m)	Q _{MS2} (kN/m)	Q _{MS3} (kN/m)	Gaya Geser (kNm)
1	5379,47	1,56	313,07	0,00	0,00	4891,09
2	5379,47	4,08	0,00	161,61	0,00	4483,42
3	5379,47	6,61	0,00	161,61	0,00	4075,75
4	5379,47	9,13	0,00	161,61	0,00	3668,08
5	5379,47	11,65	0,00	161,61	0,00	3260,41
6	5379,47	14,17	0,00	161,61	0,00	2852,74
7	5379,47	16,70	0,00	161,61	0,00	2445,06
8	5379,47	18,40	0,00	0,00	191,76	2119,07
9	5379,47	20,92	0,00	161,61	0,00	1711,40
10	5379,47	23,44	0,00	161,61	0,00	1303,72

(Sumber : Hasil Perhitungan)



a. Diagram Momen



b. Diagram Gaya Geser

Gambar 4.13 (a.) Diagram Momen dan (b.) Diagram Gaya Geser

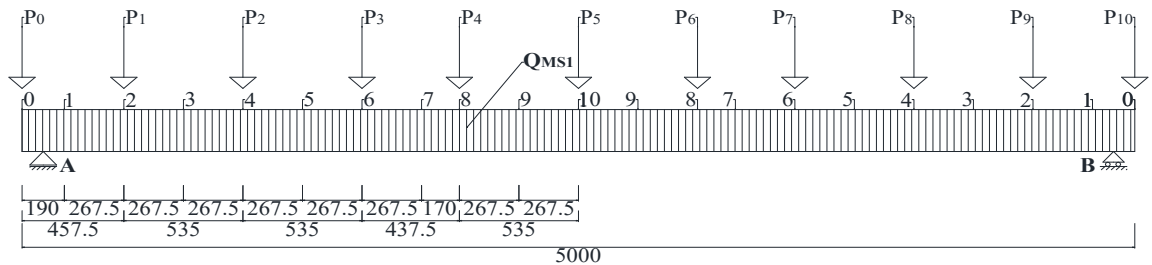
(Sumber : Hasil Perencanaan)

4.3.2.2 Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan yang dihitung merupakan berat dari lapisan aspal dengan overlay dan air hujan yang menjadi beban merata pada struktur.

Beberapa data yang digunakan sebagai berikut :

Faktor beban layan, γ^s_{MA}	=	1
Berat jenis aspal, B_j	=	22,0 kN/m ³
Berat jenis air hujan, B_j	=	9,8 kN/m ³
Berat utilitas & lampu jalan (diambil sebesar 100 kg)	=	0,10 kN



Gambar 4.14 Potongan Memanjang Pembebanan Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

(Sumber : Hasil Perencanaan)

a. Beban merata akibat aspal+overlay dan air hujan (Q_{MA1})

$$\begin{aligned} \text{Beban aspal + overlay} &= b \times t_a \times B_j \\ &= 8,00 \times 0,10 \times 22 = 17,60 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban air hujan} &= b \times t_h \times B_j \\ &= 8,00 \times 0,05 \times 9,8 = 3,92 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{Beban mati tambahan } Q_{MA1} = 21,52 \text{ kN/m}$$

b. Beban terpusat akibat berat utilitas dan lampu jalan (Q_{MA2})

$$\text{Beban mati tambahan } Q_{MA2} = P = 0,10 \text{ kN}$$

• Reaksi pada masing-masing tumpuan (RA)/(RB)

$$\begin{aligned} RA = RB &= \left(\frac{1}{2} \times Q_{MA1} \times L \right) + \left(\sum P \right) \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 21,52 \times 50 \right) + \left(11 \times 0,10 \right) \\ &= 539,10 \text{ KN} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen pada tiap titik tertentu (M n)

$$M_x = (R_A \cdot x) - (Q_{MA1} \cdot x \cdot 1/2 \cdot x)$$

Bila $x = 1$, maka besar MB adalah

$$M_B = (R_A \cdot 1,00) - (Q_{MA1} \cdot 1,00 \cdot 1/2 \cdot 1,00) - (P_0 \cdot 1,00)$$

$$M_B = 528,24 \text{ kNm}$$

Ket :

X = panjang dari ujung ke titik yg ditinjau

- Perhitungan gaya geser pada tiap titik tertentu (V n)

Besar VB adalah

$$V_B = R_A - (Q_{MA1} \cdot x)$$

$$= 517,48 \text{ kNm}$$

Besar VZ adalah

$$V_Z = V_Y - (Q_{MA1} \cdot 25,00) - Q_{MA2}$$

$$= 0,50 \text{ kNm}$$

Ket :

$$X = X_n - X_{(n-1)}$$

n = letak titik yang ditinjau (0, 1, 2, . . . , 20)

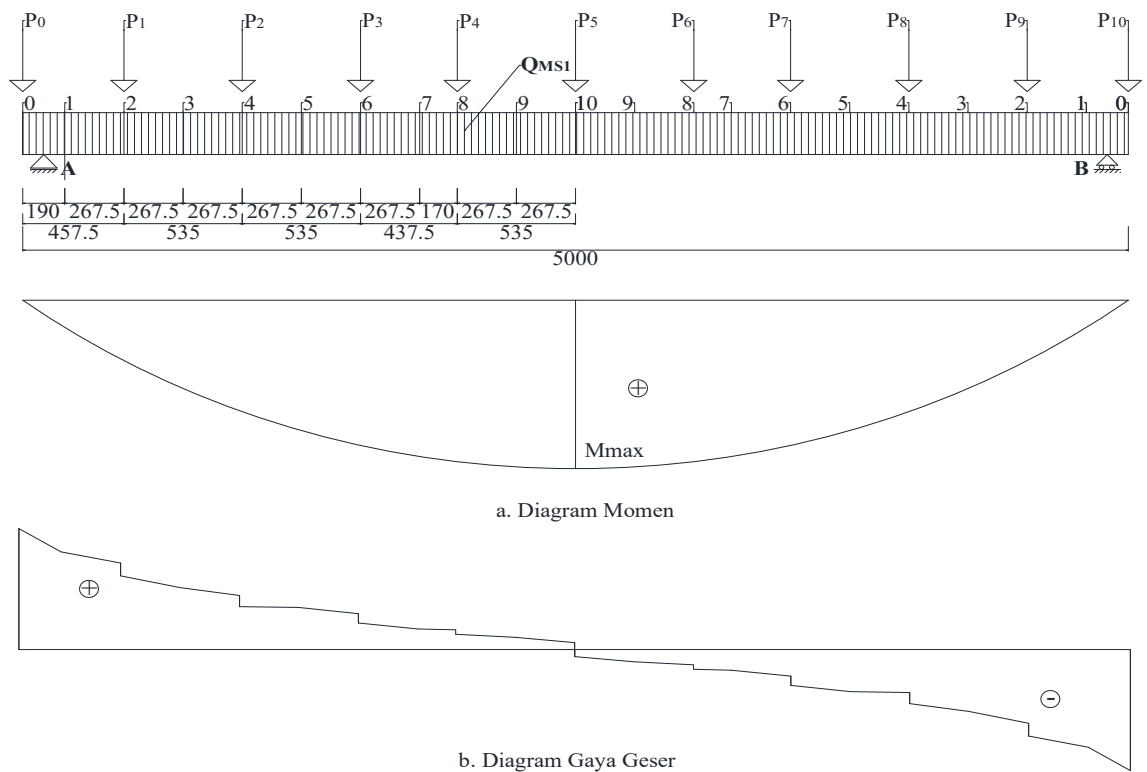
Tabel 4.6 Momen dan Gaya Geser Akibat Beban Mati Tambahan

Titik	RA (kN)	x (m)	Q _{MA1} (kN/m)	Momen (kNm)	Gaya Geser (kN)
A	539,10	0,00	21,52	0	539,00
B	539,10	1,00	21,52	528,24	517,48
C	539,10	2,00	21,52	1034,96	495,96
D	539,10	3,00	21,52	1520,16	474,44
E	539,10	4,00	21,52	1983,84	452,92
F	539,10	5,00	21,52	2425,96	431,30

Tabel 4.6 Momen dan Gaya Geser Akibat Beban Mati Tambahan

Titik	RA (kN)	x (m)	Q_{MA1} (kN/m)	Momen (kNm)	Gaya Geser (kN)
G	539,10	6,00	21,52	2846,50	409,78
H	539,10	7,00	21,52	3245,52	388,26
I	539,10	8,00	21,52	3623,02	366,74
J	539,10	9,00	21,52	3978,99	345,22
K	539,10	10,00	21,52	4313,46	323,60
L	539,10	11,00	21,52	4626,40	302,08
M	539,10	12,00	21,52	4917,82	280,56
N	539,10	13,00	21,52	5187,72	259,04
O	539,10	14,00	21,52	5436,10	237,52
P	539,10	15,00	21,52	5662,96	216,00
Q	539,10	16,00	21,52	5868,27	194,38
R	539,10	17,00	21,52	6051,99	172,86
S	539,10	18,00	21,52	6214,19	151,34
T	539,10	19,00	21,52	6354,87	129,82
U	539,10	20,00	21,52	6474,00	108,20
V	539,10	21,00	21,52	6571,54	86,68
W	539,10	22,00	21,52	6647,56	65,16
X	539,10	23,00	21,52	6702,06	43,64
Y	539,10	24,00	21,52	6735,04	22,12
Z	539,10	25,00	21,52	6746,50	0,50

(Sumber : Hasil Perhitungan)



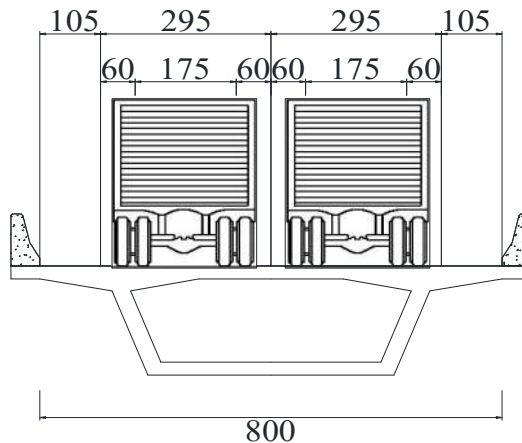
Gambar 4.15 (a.) Diagram Momen dan (b.) Diagram Gaya Geser
(Sumber : Hasil Perencanaan)

4.3.2.3 Beban Lalu Lintas

Beberapa data yang digunakan sebagai berikut :

Faktor beban layan I, $\gamma^{s_{TD}}$	=	1
Faktor beban layan III, $\gamma^{s_{TD}}$	=	0,8
Jumlah lajur lalu lintas rencana	=	2
Lebar lajur rencana	=	2,95 m
Intensitas beban garis terpusat, p	=	49,00 kN/m
Lebar jalur lalu lintas 100%, B1	=	8,00 m

Jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan berdasarkan SNI1725:2016 pasal 8.2 dengan pembagian dari lebar bersih jembatan (w) dengan lebar lajur rencana sebesar 2,95 , m maka ditentukan jumlah lajur lalu lintas rencana sebesar : 2 lajur dengan lebar masing - masing lajur sebesar 4 m.



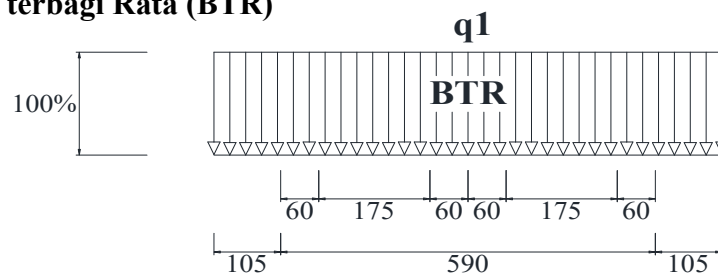
Gambar 4.16 Perencanaan Lajur Lalu Lintas Flyover

(Sumber : Hasil Perencanaan)

1. Beban Lajur "D" (TD)

Beban lajur "D" sesuai dengan yang didefinisikan dalam peraturan SNI 1725:2016 pasal 8.3 terdiri dari beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT).

a.) Beban terbagi Rata (BTR)



Gambar 4.17 Pembebanan Akibat Beban Terbagi Rata

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Besar intensitas BTR (q) tergantung panjang total flyover yang dibebani, untuk bentang $L > 30$ m maka :

$$q = 9,00 \times \left(0,50 + \frac{15}{L} \right)$$

$$= 9,00 \times \left(0,50 + \frac{15}{50,0} \right)$$

$$= 7,20 \text{ kN/m}$$

Beban lajur "D" bekerja pada seluruh lebar jalur rencana kendaraan (tidak termasuk parapet, kerb dan trotoat) dengan intensitas 100% untuk panjang terbebani yang sesuai, maka didapat :

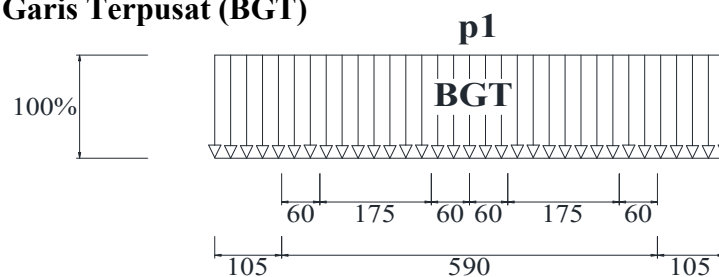
$$q_1 = q \times B_1 \times 100\%$$

$$= 7,20 \times 8,00 \times 100\%$$

$$= 57,60 \text{ kN/m}$$

Sehingga didapat beban terbagi (q) sebesar 57,6 kN/m.

b.) Beban Garis Terpusat (BGT)



Gambar 4.18 Pembebanan Akibat Beban Garis Terpusat

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Besar intensitas BGT (p) pada lajur rencana kendaraan didapat dengan cara sebagai berikut :

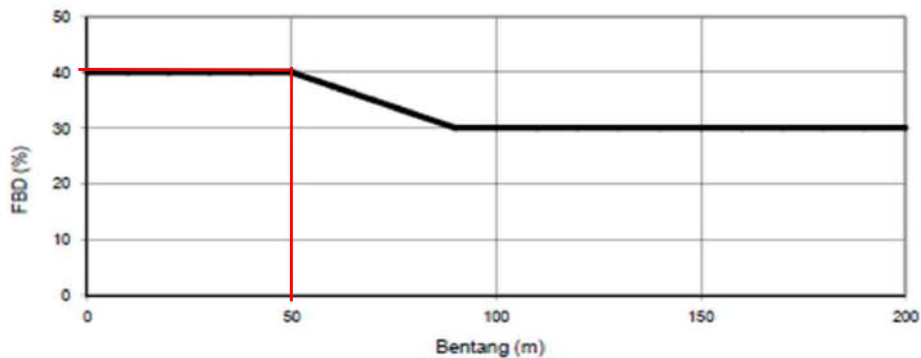
$$p_1 = p \times B_1 \times 100\%$$

$$= 49,00 \times 8,00 \times 100\%$$

$$= 392,00 \text{ kN}$$

• Faktor Beban Dinamis (FBD)

Berdasarkan SNI 1725-2016 pasal 8.6 dan gambar 28 - Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur D, untuk bentang jembatan sebesar 50 m maka nilai FBD dapat ditentukan sebesar 40%



Grafik 4.1 Faktor beban dinamis untuk beban T untuk pembebanan lajur D
(Sumber : SNI 1725-2016 tabel 28)

Sehingga didapat beban garis terpusat total (p) sebesar

$$\begin{aligned}
 p &= 392,00 + (40\% \times 392,00) \\
 &= 548,800 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Beban Truk "T" (TT)

Pada perencanaan jembatan ini diasumsikan menggunakan truk dengan 3 gandar. Berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 8.4.1 pembebanan truk "T" sebesar 500,0 kN

$$\begin{aligned}
 \text{Beban truk "T"} &= T_u \times \text{FBD} \\
 &= 500 \times 40\% \\
 &= 200,0 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dipilih beban terbesar antara beban lajur "D" dan beban truk "T" untuk beban hidup, sehingga dalam perencanaan jembatan ini digunakan beban lajur "D" berupa BTR dan BGT.

Ordinat maximum (Y) dan luas garis pengaruh (A) pada beban lajur "D" dapat diperoleh menggunakan 2 metode, yaitu :

1. Rumus segitiga sebangun

$$Y_x = \frac{(L - x)}{L} \cdot x \qquad A_x = \frac{1}{2} \cdot Y_x \cdot L$$

Perhitungan ordinat maximum (Y_x) dan luas garis pengaruh (A_x)

Bila $x = 1$, maka besar Y_B adalah

$$Y_B = \frac{(50 - 1,00)}{50,00} \cdot 1,00$$

$$Y_B = 0,98 \text{ m}^2$$

Bila $x = 1$, maka besar A_B adalah

$$A_B = \frac{1}{2} \cdot 0,98 \cdot 50,0$$

$$A_B = 24,50 \text{ m}^2$$

Tabel 4.7 Ordinat Maximum (Y_x) dan Luas Garis Pengaruh (A_x)

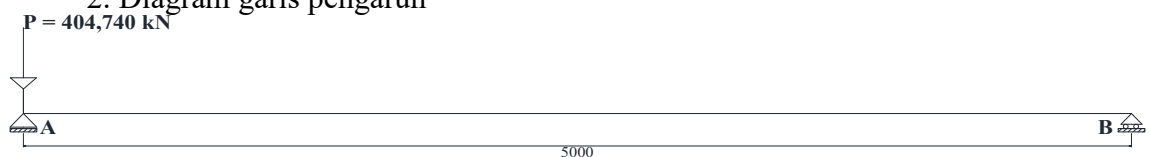
Titik	x (m)	L (m)	Y_x (m^2)	A_x (m^2)
A	0,00	0	0	0
B	1,00	50,0	0,98	24,500
C	2,00	50,0	1,92	48,000
D	3,00	50,0	2,82	70,500
E	4,00	50,0	3,68	92,000
F	5,00	50,0	4,50	112,500
G	6,00	50,0	5,28	132,000
H	7,00	50,0	6,02	150,500
I	8,00	50,0	6,72	168,000
J	9,00	50,0	7,38	184,500
K	10,00	50,0	8,00	200,000
L	11,00	50,0	8,58	214,500
M	12,00	50,0	9,12	228,000
N	13,00	50,0	9,62	240,500
O	14,00	50,0	10,08	252,000

Tabel 4.7 Ordinat Maximum (Y_x) dan Luas Garis Pengaruh (A_x)

Titik	x (m)	L (m)	Y_x (m ²)	A_x (m ²)
P	15,00	50,0	10,50	262,500
Q	16,00	50,0	10,88	272,000
R	17,00	50,0	11,22	280,500
S	18,00	50,0	11,52	288,000
T	19,00	50,0	11,78	294,500
U	20,00	50,0	12,00	300,000
V	21,00	50,0	12,18	304,500
W	22,00	50,0	12,32	308,000
X	23,00	50,0	12,42	310,500
Y	24,00	50,0	12,48	312,000
Z	25,00	50,0	12,50	312,500

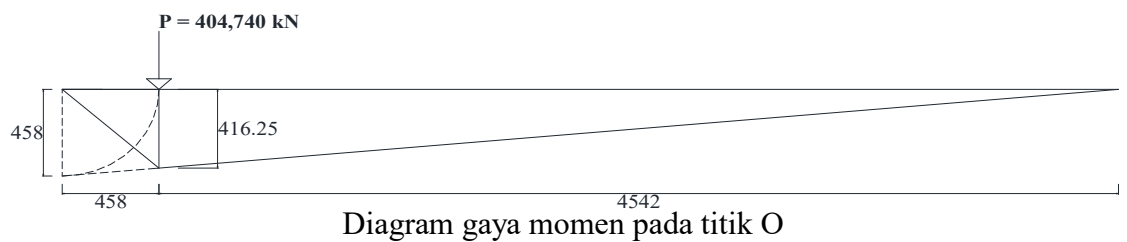
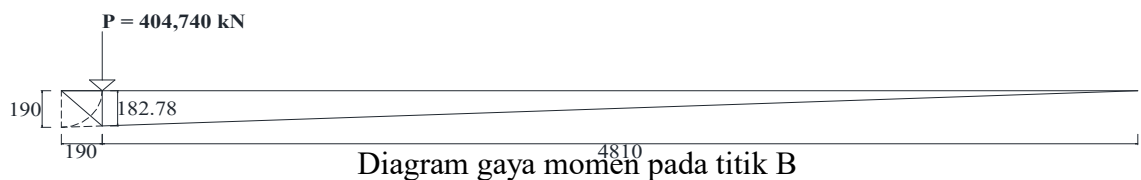
(Sumber : Hasil Perhitungan)

2. Diagram garis pengaruh



Gambar 4.19 Potongan Memanjang Pembebanan Akibat Beban BGT

(Sumber : Hasil Perencanaan)



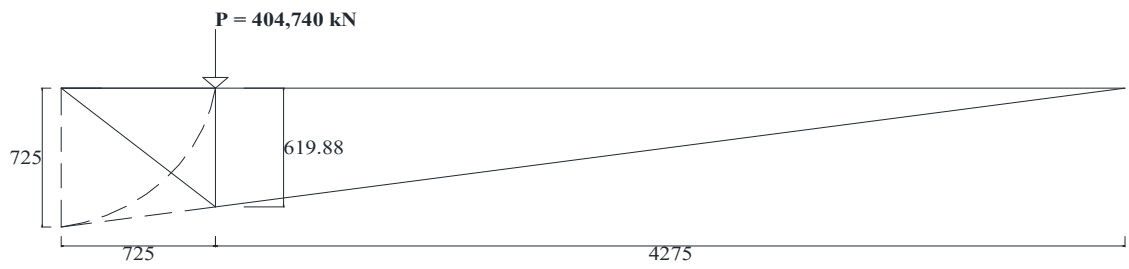


Diagram gaya momen pada titik P

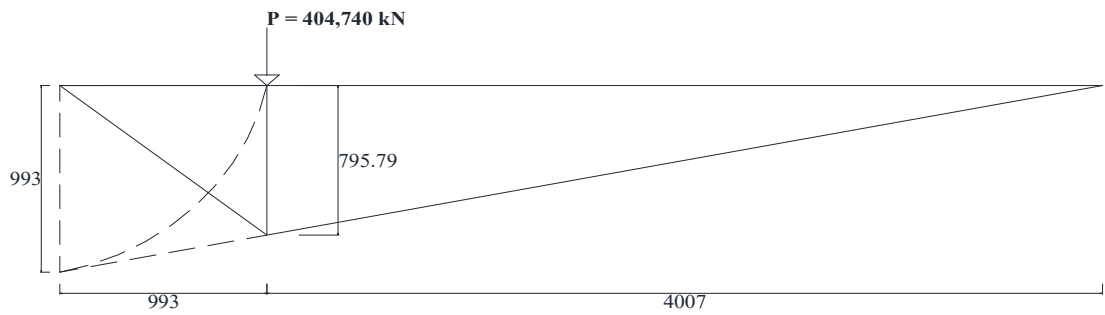


Diagram gaya momen pada titik Q

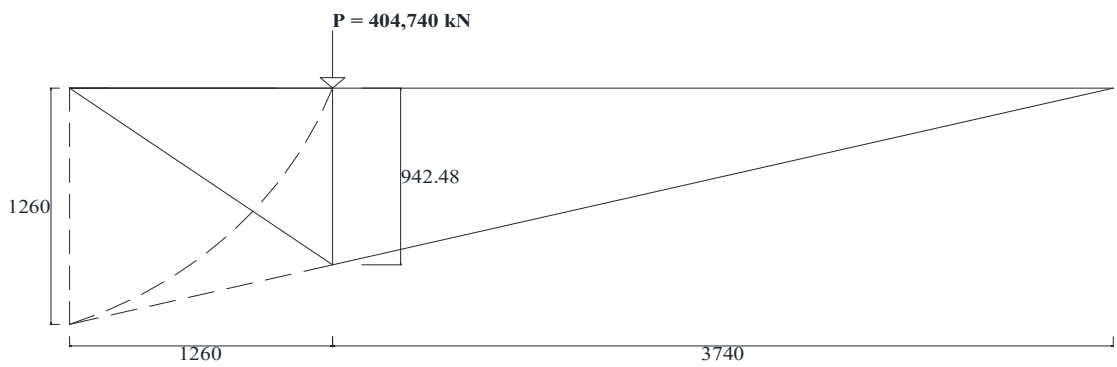


Diagram gaya momen pada titik R

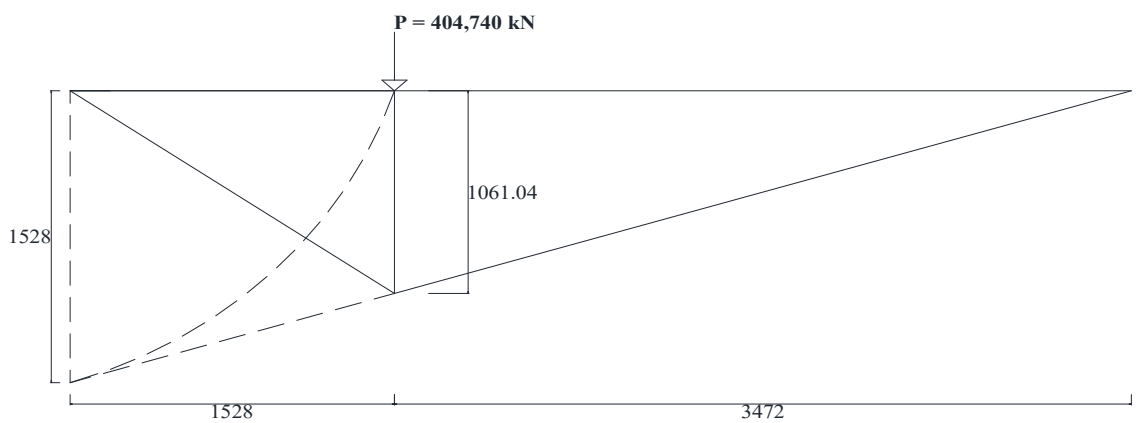


Diagram gaya momen pada titik S

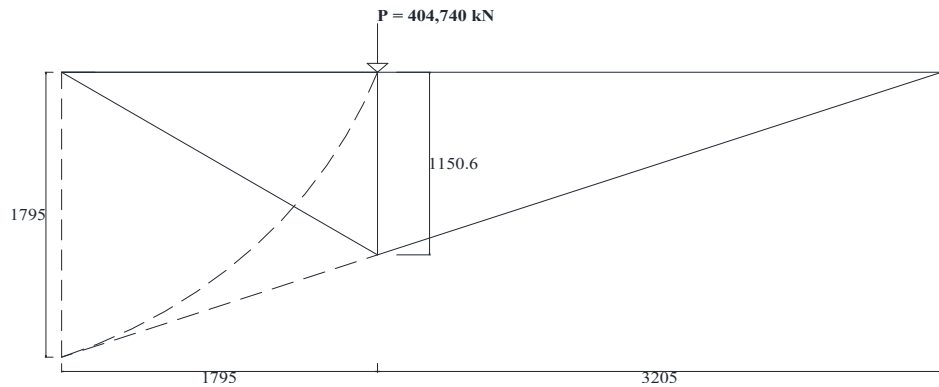


Diagram gaya momen pada titik T

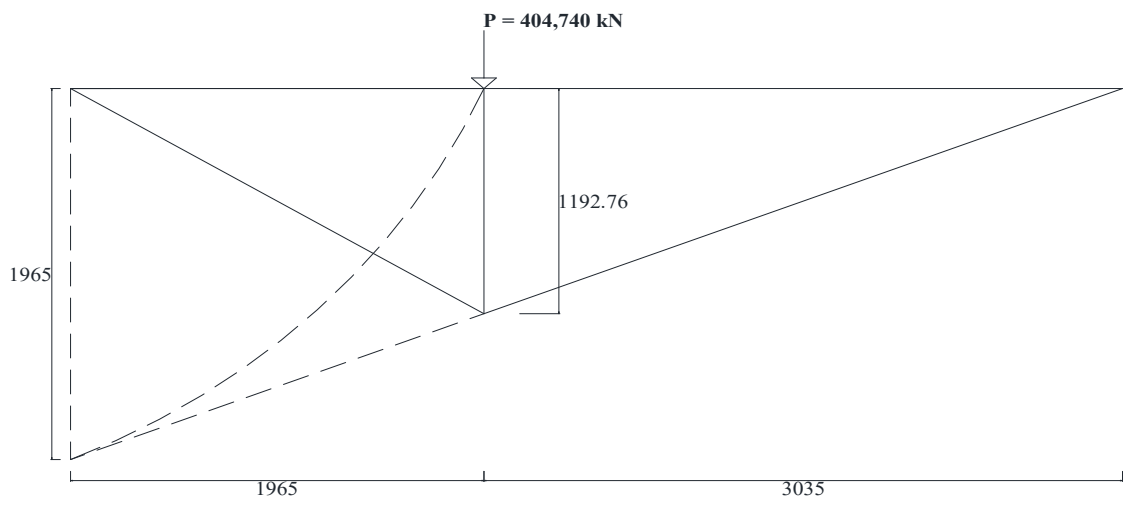


Diagram gaya momen pada titik X

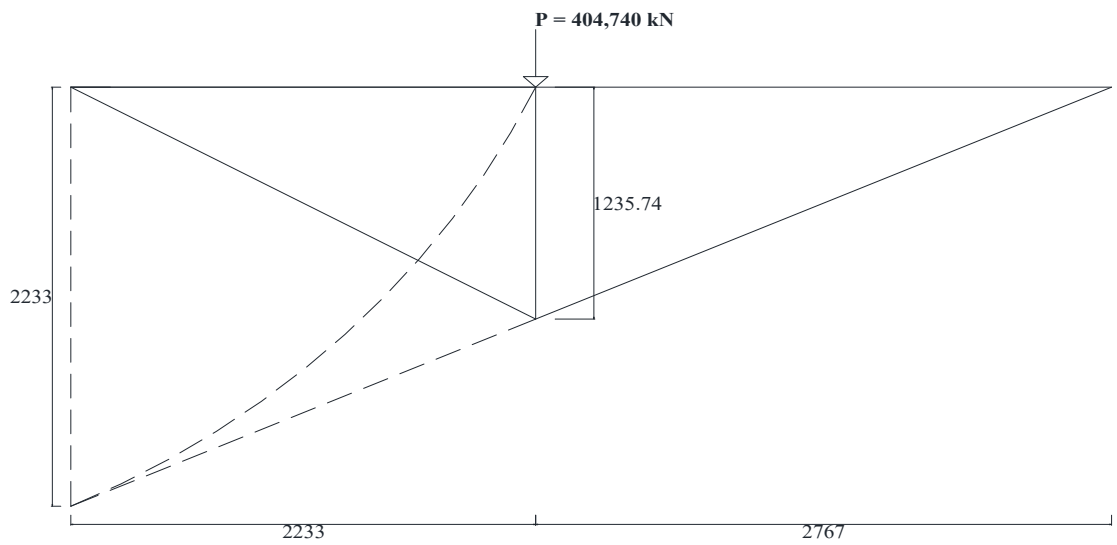
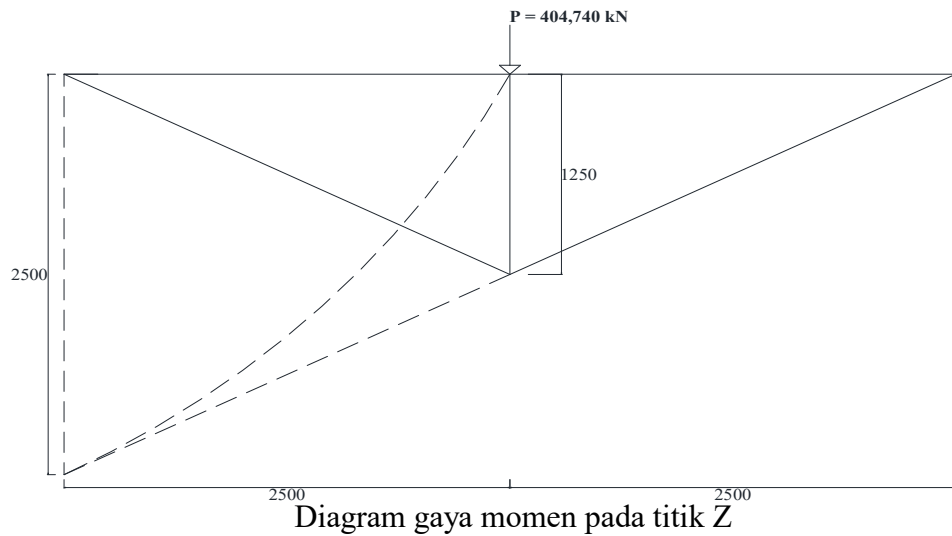


Diagram gaya momen pada titik Y



Gambar 4.20 Diagram Gaya Momen Akibat Beban Bergerak Kendaraan
(Sumber : Hasil Perencanaan)

- Reaksi pada masing-masing tumpuan (RA)/(RB)

$$\begin{aligned}
 RA = RB &= \left(\frac{1}{2} \times q \times L \right) + p \\
 &= \left(\frac{1}{2} \times 57,60 \times 50,0 \right) + 548,80 \\
 &= 1988,80 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan momen akibat beban lajur "D" (M_x)

$$M_x = (Y_x \cdot P) + (A_x \cdot q)$$

Bila $x = 13$, maka besar MN adalah

$$\begin{aligned}
 MN &= (Y_N \cdot p) + (A_N \cdot q) \\
 &= (9,62 \cdot 548,80) + (240,50 \cdot 57,60) \\
 &= 19132,26 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan gaya geser akibat beban lajur "D" (V_x)

$$V_x = RA - (q \cdot x)$$

Bila $x = 0$, maka besar VN adalah

$$\begin{aligned}
 VN &= RA - (q \cdot x_N) \\
 &= 1988,800 - (57,60 \cdot 0,00) \\
 &= 1988,80 \text{ KN}
 \end{aligned}$$

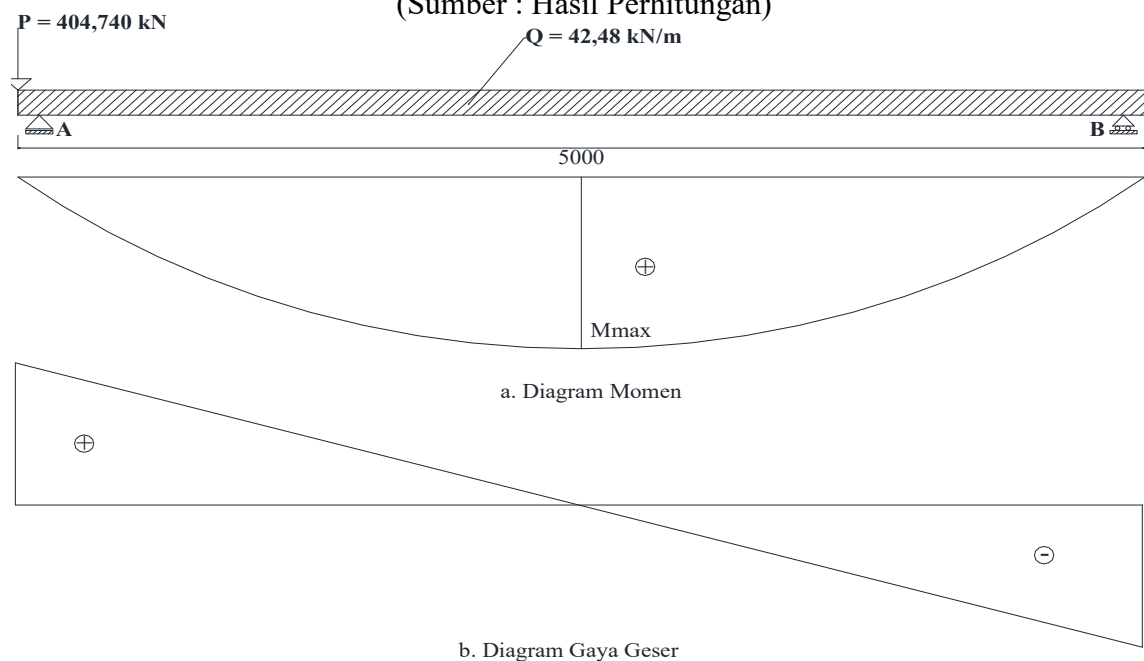
Tabel 4.8 Momen dan Gaya Geser Akibat Beban Lajur D

Titik	x (m)	RA (kN)	Y _x (m)	A _x (m ²)	p (kN)	q (kN/m)	Momen (kNm)	Gaya Geser (kN)
A	0,0	1988,8	0,00	0,0	548,80	57,60	0,00	1988,800
B	1,0	1988,8	0,98	24,5	548,80	57,60	1949,02	1931,200
C	2,0	1988,8	1,92	48,0	548,80	57,60	3818,50	1873,600
D	3,0	1988,8	2,82	70,5	548,80	57,60	5608,42	1816,000
E	4,0	1988,8	3,68	92,0	548,80	57,60	7318,78	1758,400
F	5,0	1988,8	4,50	112,5	548,80	57,60	8949,60	1700,800
G	6,0	1988,8	5,28	132,0	548,80	57,60	10500,86	1643,200
H	7,0	1988,8	6,02	150,5	548,80	57,60	11972,58	1585,600
I	8,0	1988,8	6,72	168,0	548,80	57,60	13364,74	1528,000
J	9,0	1988,8	7,38	184,5	548,80	57,60	14677,34	1470,400
K	10,0	1988,8	8,00	200,0	548,80	57,60	15910,40	1412,800
L	11,0	1988,8	8,58	214,5	548,80	57,60	17063,90	1355,200
M	12,0	1988,8	9,12	228,0	548,80	57,60	18137,86	1297,600
N	13,0	1988,8	9,62	240,5	548,80	57,60	19132,26	1240,000
O	14,0	1988,8	10,08	252,0	548,80	57,60	20047,10	1182,400
P	15,0	1988,8	10,50	262,5	548,80	57,60	20882,40	1124,800
Q	16,0	1988,8	10,88	272,0	548,80	57,60	21638,14	1067,200
R	17,0	1988,8	11,22	280,5	548,80	57,60	22314,34	1009,600
S	18,0	1988,8	11,52	288,0	548,80	57,60	22910,98	952,000
T	19,0	1988,8	11,78	294,5	548,80	57,60	23428,06	894,400
U	20,0	1988,8	12,00	300,0	548,80	57,60	23865,60	836,800
V	21,0	1988,8	12,18	304,5	548,80	57,60	24223,58	779,200
W	22,0	1988,8	12,32	308,0	548,80	57,60	24502,02	721,600
X	23,0	1988,8	12,42	310,5	548,80	57,60	24700,90	664,000

Tabel 4.8 Momen dan Gaya Geser Akibat Beban Lajur D

Titik	x (m)	RA (kN)	Y _x (m)	A _x (m ²)	p (kN)	q (kN/m)	Momen (kNm)	Gaya Geser (kN)
Y	24,0	1988,8	12,48	312,0	548,80	57,60	24820,22	606,400
Z	25,0	1988,8	12,50	312,5	548,80	57,60	24860,00	548,800

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Gambar 4.21 (a.) Diagram Momen dan (b.) Diagram Gaya Geser Akibat Beban Lajur D

(Sumber : Hasil Perencanaan)

4.3.2.4 Gaya Rem (TB)

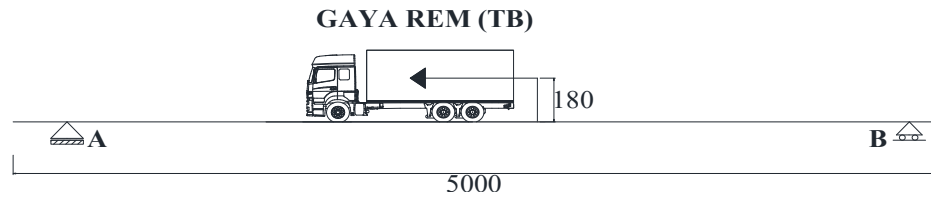
Gaya rem harus bekerja pada disemua lajur lalu lintas yang telah direncanakan dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Data perencanaan yang digunakan sebagai berikut :

$$\text{Berat gandar truk desain} = 500,0 \text{ kN}$$

$$\text{Titik tangkap gaya rem} = 1,8 \text{ m}$$

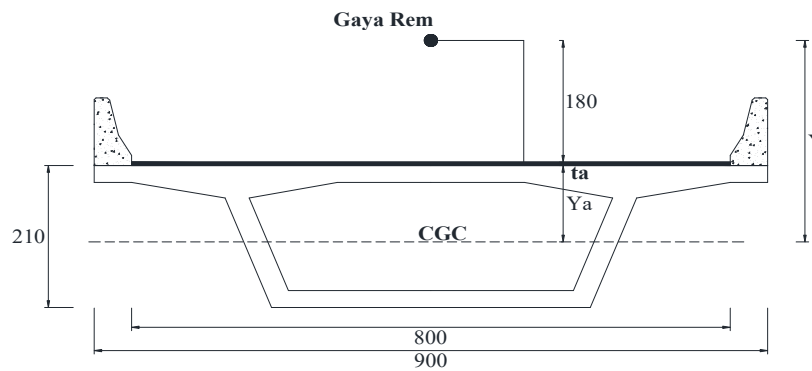
$$\text{Faktor beban layan I, } \gamma^{s_{TB}} = 1$$

$$\text{Faktor beban layan III, } \gamma^{s_{TB}} = 0,8$$



Gambar 4.22 Potongan Memanjang Pembebanan Akibat Gaya Rem (TB)

(Sumber : Hasil Perencanaan)



Gambar 4.23 Potongan Melintang Pengaruh Gaya Rem (TB) pada Box Girder

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Beban rem arah horizontal dengan titik tangkap 1,8 m dari muka lantai kendaraan dan dipilih gaya rem terbesar dari perhitungan berikut ini :

- a. Gaya rem = $25\% \times \text{berat gandar truk desain} \times \text{jumlah lajur}$
 $= 25\% \times 500,0 \times 2$
 $= 250,0 \text{ kN}$
- b. Gaya rem = $5\% \times \text{berat truk rencana} + \text{beban BTR} (q \times L)$
 $\times \text{jumlah lajur}$
 $= 5\% \times 392,0 + (57,60 \times 50) \times 2$
 $= 327,2 \text{ kN}$

Maka, digunakan gaya rem terbesar sebesar 327,2 kN

- Perhitungan momen akibat beban gaya rem (MTB)

$$\begin{aligned}
 \text{MTB} &= \text{Gaya rem} \times (\text{titik tangkap gaya rem} + Y_a + t_a) \\
 &= 327,2 \times (1,8 + 1,63 + 0,10) \\
 &= 1153,442 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan gaya geser akibat beban gaya rem (DTB)

$$\begin{aligned}
 DTB &= \frac{MTB}{L} \\
 &= \frac{1153,442}{50,0} \\
 &= 23,069 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.9 Momen dan Gaya Geser Akibat Gaya Rem

Titik	x (m)	Bentang (L) (m)	Gaya Rem (kN)	Momen (kNm)	Gaya Geser (kN)
A	0,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
B	1,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
C	2,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
D	3,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
E	4,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
F	5,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
G	6,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
H	7,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
I	8,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
J	9,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
K	10,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
L	11,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
M	12,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
N	13,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
O	14,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
P	15,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
Q	16,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
R	17,0	50,0	327,2	1153,442	23,069

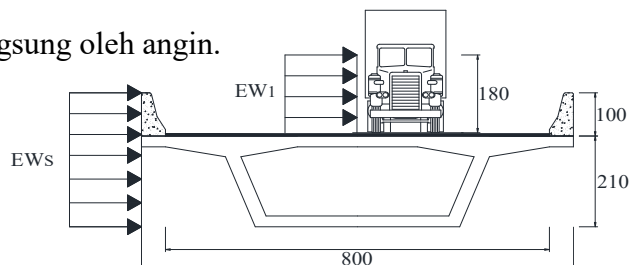
Tabel 4.9 Momen dan Gaya Geser Akibat Gaya Rem

Titik	x (m)	Bentang (L) (m)	Gaya Rem (kN)	Momen (kNm)	Gaya Geser (kN)
S	18,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
T	19,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
U	20,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
V	21,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
W	22,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
X	23,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
Y	24,0	50,0	327,2	1153,442	23,069
Z	25,0	50,0	327,2	1153,442	23,069

(Sumber : Hasil Perhitungan)

4.3.2.5 Beban Angin (EW)

Beban angin yang bekerja harus diasumsikan bekerja merata pada permukaan yang terkena langsung oleh angin.



Gambar 4.24 Potongan Melintang Gaya Tekan Angin pada Struktur Box Girder

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Pada perencanaan Tugas Akhir ini menggunakan 2 macam beban angin yang bekerja pada flyover yaitu : (a.) Beban angin pada struktur (EWS) dan (b.) Beban angin pada kendaraan (EW1)

a. Beban Angin Pada Struktur (EWS)

Pengaruh tekanan angin terhadap struktur ditentukan berdasarkan SNI 1725-2016 pasal 9.6 dan menggunakan data - data sebagai berikut :

$$\text{Kecepatan gesek angin, } V_0 = 19,3 \text{ km/jam}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kecepatan dasar angin, } V_B &= 90,0 \text{ km/jam} \\
\text{Kecepatan angin elv. } \pm 1000 \text{ m, } V_{10} &= 90,0 \text{ km/jam} \\
\text{Panjang gesekan dihulu, } Z_0 &= 2500,0 \text{ mm} \\
\text{Elv. Struktur dari perm. Tanah, } Z &= 15000,0 \text{ mm} \\
\text{Tekanan angin dasar, } P_B &= 0,0024 \text{ MPa} \\
\text{Faktor beban layan I, } \gamma^5 EWS &= 0,3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kecepatan angin rencana, } V_{DZ} &= 2,5 \cdot V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \\
&= 2,5 \cdot 19,3 \left(\frac{90,0}{90,0} \right) \ln \left(\frac{15000}{2500} \right) \\
&= 86,5 \text{ km/jam} = 24,0 \text{ m/detik}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Tekanan angin rencana, } P_D &= P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \\
&= 0,0024 \left(\frac{86,5}{90,0} \right)^2 \\
&= 0,00221 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

Beban angin yang mempengaruhi struktur atas dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
EWS &= P_D \times (\text{tinggi box girder} + \text{tinggi parapet}) \\
&= 0,00221 \times (2400 + 1000) \\
&= 7,529 \text{ N/mm} \\
&= 7,529 \text{ kN/m} > 4,4 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

maka nilai yg digunakan $EWS = 7,5293795809621 \text{ kN/m}$

• Reaksi pada masing-masing tumpuan (RA)/(RB)

$$\begin{aligned}
R_A = R_B &= 1/2 \times EWS \times L \\
&= 1/2 \times 7,529 \times 50,0 \\
&= 188,23 \text{ kN}
\end{aligned}$$

- Perhitungan momen pada tiap titik tertentu (M n)

$$M_x = (RA \cdot x) - (EWS \cdot x \cdot 1/2 \cdot x)$$

Bila $x = 11$, maka besar ML adalah

$$M_B = (RA \cdot 11,0) - (EWS \cdot 11,0 \cdot 1/2 \cdot 11,0)$$

$$M_B = 1615,05 \text{ kNm}$$

Bila $x = 25$, maka besar MZ adalah

$$M_Z = (RA \cdot 25,0) - (EWS \cdot 25,00 \cdot 1/2 \cdot 25,00)$$

$$M_Z = 2352,93 \text{ kNm}$$

Ket :

X = panjang dari ujung ke titik yg ditinjau

- Perhitungan gaya geser pada tiap titik tertentu (V n)

Besar VB adalah

$$V_B = RA - (EWS \cdot 11,0)$$

$$= 105,41 \text{ kNm}$$

Besar V(m) adalah

$$V_Z = V_x - (EWS \cdot 25,00)$$

$$= 0,00 \text{ kNm}$$

Ket :

$$X = X_n - X_{(n-1)}$$

n = letak titik yang ditinjau (0, 1, 2, . . . , 20)

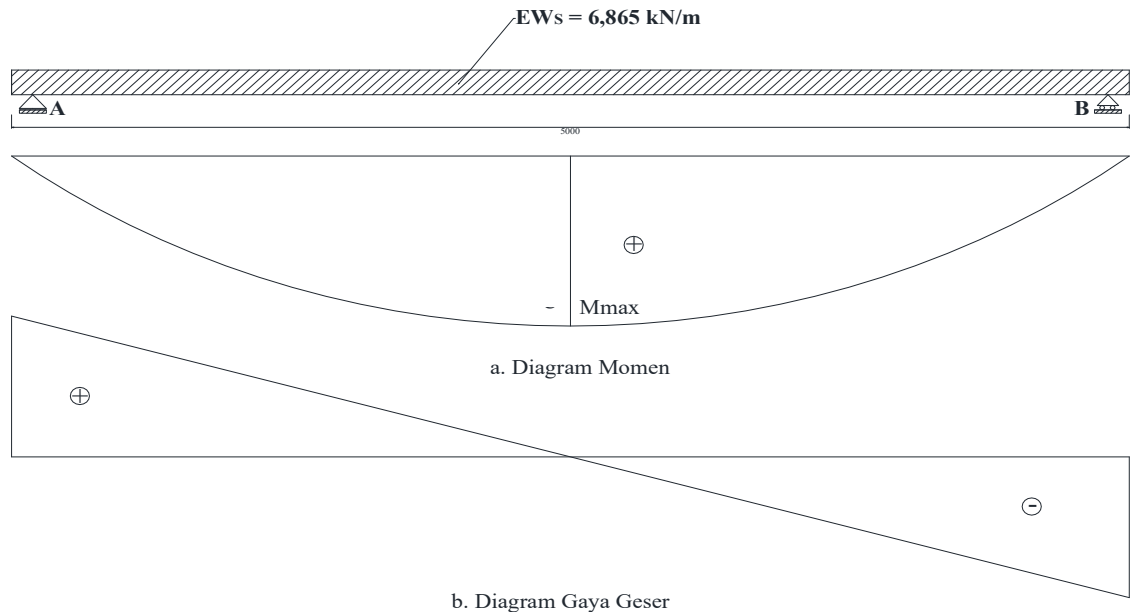
Tabel 4.10 Momen dan Gaya Geser Akibat Beban Angin pada Struktur

Titik	x (m)	RA (kN)	EWS (kN/m)	Momen (kNm)	Gaya Geser (kN)
A	0,0	188,234	7,529	0,000	188,234
B	1,0	188,234	7,529	184,470	180,705
C	2,0	188,234	7,529	361,410	173,176
D	3,0	188,234	7,529	530,821	165,646

Tabel 4.10 Momen dan Gaya Geser Akibat Beban Angin pada Struktur

Titik	x (m)	RA (kN)	EWS (kN/m)	Momen (kNm)	Gaya Geser (kN)
E	4,0	188,234	7,529	692,703	158,117
F	5,0	188,234	7,529	847,055	150,588
G	6,0	188,234	7,529	993,878	143,058
H	7,0	188,234	7,529	1133,172	135,529
I	8,0	188,234	7,529	1264,936	127,999
J	9,0	188,234	7,529	1389,171	120,470
K	10,0	188,234	7,529	1505,876	112,941
L	11,0	188,234	7,529	1615,052	105,411
M	12,0	188,234	7,529	1716,699	97,882
N	13,0	188,234	7,529	1810,816	90,353
O	14,0	188,234	7,529	1897,404	82,823
P	15,0	188,234	7,529	1976,462	75,294
Q	16,0	188,234	7,529	2047,991	67,764
R	17,0	188,234	7,529	2111,991	60,235
S	18,0	188,234	7,529	2168,461	52,706
T	19,0	188,234	7,529	2217,402	45,176
U	20,0	188,234	7,529	2258,814	37,647
V	21,0	188,234	7,529	2292,696	30,118
W	22,0	188,234	7,529	2319,049	22,588
X	23,0	188,234	7,529	2337,872	15,059
Y	24,0	188,234	7,529	2349,166	7,529
Z	25,0	188,234	7,529	2352,931	0,000

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Gambar 4.25 (a.) Diagram Momen dan (b.) Diagram Gaya Geser

(Sumber : Hasil Perencanaan)

b. Beban Angin Pada Kendaraan (EW1)

Tekanan angin rencana pada kendaraan diasumsikan berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 9.6.1.2 sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus, dan bekerja 1,8 m diatas permukaan jalan.

$$\text{Faktor beban layan I, } \gamma^s EWS = 1$$

$$EW_1 = 1,46 \text{ N/mm}$$

- Reaksi pada masing-masing tumpuan (RA)/(RB)

$$\begin{aligned} RA = RB &= 1/2 \times EW_1 \times L \\ &= 1/2 \times 1,460 \times 50,0 \\ &= 36,50 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen pada tiap titik tertentu (M n)

$$M_x = (RA \cdot x) - (EWS \cdot x \cdot 1/2 \cdot x)$$

Bila $x = 11$, maka besar ML adalah

$$MB = (RA \cdot 11,0) - (EWS \cdot 11,0 \cdot 1/2 \cdot 11,0)$$

$$MB = 313,17 \text{ kNm}$$

Bila $x = 25$, maka besar MZ adalah

$$MZ = (RA \cdot 25,0) - (EWS \cdot 25,00 \cdot 1/2 \cdot 25,00)$$

$$MZ = 456,25 \text{ kNm}$$

Ket :

X = panjang dari ujung ke titik yg ditinjau

- Perhitungan gaya geser pada tiap titik tertentu (V n)

Besar VB adalah

$$VB = RA - (EWS \cdot 11,0)$$

$$= 20,44 \text{ kNm}$$

Besar V(m) adalah

$$VZ = Vx - (EWS \cdot 25,00)$$

$$= 0,00 \text{ kNm}$$

Ket :

$$X = X_n - X_{(n-1)}$$

n = letak titik yang ditinjau (0, 1, 2, . . . , 20)

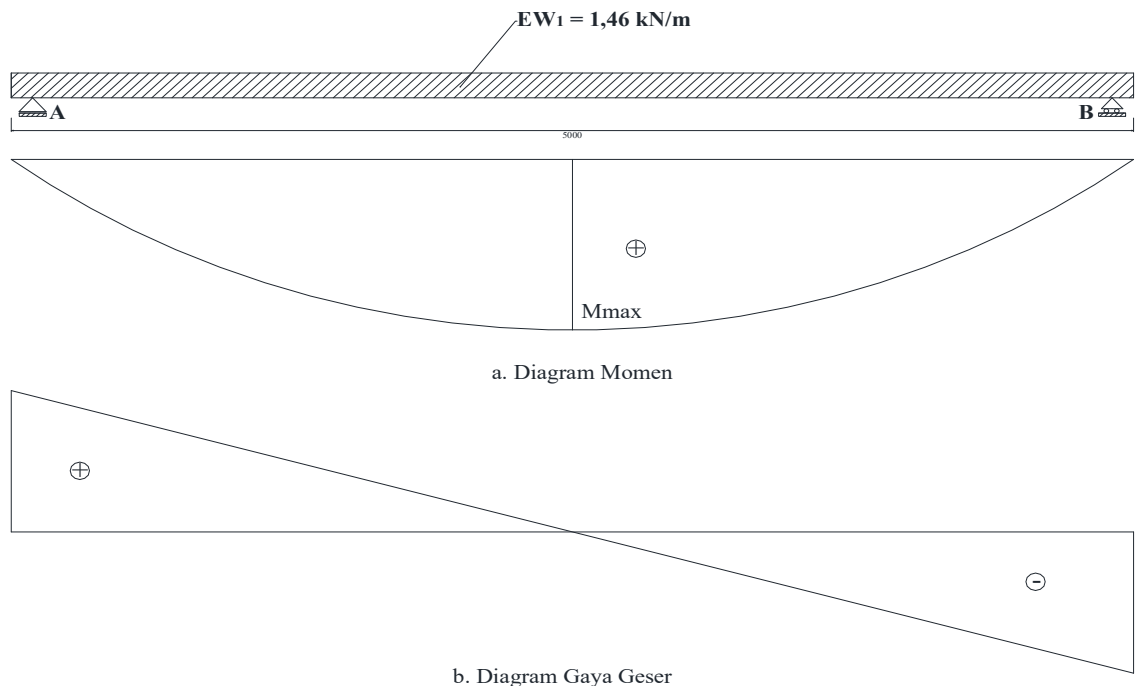
Tabel 4.11 Momen dan Gaya Geser Akibat Beban Angin pada Kendaraan

Titik	x (m)	RA (kN)	EWS (kN/m)	Momen (kNm)	Gaya Geser (kN)
A	0,0	188,234	7,529	0,000	36,500
B	1,0	188,234	7,529	35,770	35,040
C	2,0	188,234	7,529	70,080	33,580
D	3,0	188,234	7,529	102,930	32,120
E	4,0	188,234	7,529	134,320	30,660
F	5,0	188,234	7,529	164,250	29,200
G	6,0	188,234	7,529	192,720	27,740
H	7,0	188,234	7,529	219,730	26,280

Tabel 4.11 Momen dan Gaya Geser Akibat Beban Angin pada Kendaraan

Titik	x (m)	RA (kN)	EWS (kN/m)	Momen (kNm)	Gaya Geser (kN)
I	8,0	188,234	7,529	245,280	24,820
J	9,0	188,234	7,529	269,370	23,360
K	10,0	188,234	7,529	292,000	21,900
L	11,0	188,234	7,529	313,170	20,440
M	12,0	188,234	7,529	332,880	18,980
N	13,0	188,234	7,529	351,130	17,520
O	14,0	188,234	7,529	367,920	16,060
P	15,0	188,234	7,529	383,250	14,600
Q	16,0	188,234	7,529	397,120	13,140
R	17,0	188,234	7,529	409,530	11,680
S	18,0	188,234	7,529	420,480	10,220
T	19,0	188,234	7,529	429,970	8,760
U	20,0	188,234	7,529	438,000	7,300
V	21,0	188,234	7,529	444,570	5,840
W	22,0	188,234	7,529	449,680	4,380
X	23,0	188,234	7,529	453,330	2,920
Y	24,0	188,234	7,529	455,520	1,460
Z	25,0	188,234	7,529	456,250	0,000

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Gambar 4.26 (a.) Diagram Momen dan (b.) Diagram Gaya Geser
(Sumber : Hasil Perencanaan)

4.3.3 Kombinasi Pembebanan

Pada perencanaan struktur flyover ini direncanakan hanya mengalami retak tetapi tidak menyebabkan keruntuhan pada struktur.

Kombinasi Pembebanan yang dipakai pada struktur jembatan ini mengacu pada SNI 1725:2016 pasal 6 dan tabel 1 - Kombinasi beban dan faktor beban, sebagai berikut :

a. Kombinasi pada keadaan batas : Layan (*Service*)

$$\text{Layan I} \quad : \quad 1 \text{ MS} + 1 \text{ MA} + 1 \text{ TD} + 1 \text{ TB} + 0,3 \text{ EWS} + 1 \text{ EW1}$$

$$\text{Layan III} \quad : \quad 1 \text{ MS} + 1 \text{ MA} + 0,8 \text{ TD} + 0,8 \text{ TB}$$

Tabel 4.12 Kombinasi Layan I Momen pada Box Girder. (Terlampir)

Tabel 4.13 Kombinasi Layan III Momen pada Box Girder. (Terlampir)

Tabel 4.14 Kombinasi Layan I Gaya Geser pada Box Girder. (Terlampir)

Tabel 4.15 Kombinasi Layan III Gaya Geser pada Box Girder. (Terlampir)

Berdasarkan hasil perhitungan kombinasi pembebanan diatas, maka didapat hasil sebagai berikut :

- a. Momen akibat beban mati sendiri (MO) : **72604,264 kNm**
- b. Momen akibat beban mati (MDL = MG) : **79350,759 kNm** (Pada Layan I)
- c. Momen akibat kombinasi total (MT) : **106526,330 kNm**

Tabel 4.12 Kombinasi Layan I Momen pada Box Girder

Titik	x (m)	Momen Akibat beban-beban pada Box Girder						Kombinasi Momen		
		1 Mu _{MS} (kNm)	1 Mu _{MA} (kNm)	1 Mu _{TD} (kNm)	1 Mu _{TB} (kNm)	0,3 Mu _{EWS} (kNm)	1 Mu _{EW1} (kNm)	Mo Mu _{MS} (kNm)	MG Mu _{MS} + Mu _{MA} (kNm)	MT Σ Mu (kNm)
A	0,0	0,000	0,000	0,000	1153,442	0,000	0,000	0,000	0,000	1153,442
B	1,0	5222,941	528,240	1949,024	1153,442	55,341	35,770	5222,941	5751,181	8944,757
C	2,0	10132,816	1034,960	3818,496	1153,442	108,423	70,080	10132,816	11167,776	16318,217
D	3,0	14729,626	1520,160	5608,416	1153,442	159,246	102,930	14729,626	16249,786	23273,820
E	4,0	19814,354	1983,840	7318,784	1153,442	207,811	134,320	19814,354	21798,194	30612,550
F	5,0	23251,695	2425,958	8949,600	1153,442	254,117	164,250	23251,695	25677,652	36199,060
G	6,0	27269,763	2846,498	10500,864	1153,442	298,163	192,720	27269,763	30116,260	42261,449
H	7,0	31126,217	3245,518	11972,576	1153,442	339,951	219,730	31126,217	34371,734	48057,433
I	8,0	34821,057	3623,018	13364,736	1153,442	379,481	245,280	34821,057	38444,074	53587,012
J	9,0	38354,283	3978,990	14677,344	1153,442	416,751	269,370	38354,283	42333,273	58850,180
K	10,0	41725,895	4313,458	15910,400	1153,442	451,763	292,000	41725,895	46039,353	63846,957
L	11,0	44935,893	4626,398	17063,904	1153,442	484,516	313,170	44935,893	49562,291	68577,322

Tabel 4.12 Kombinasi Layan I Momen pada Box Girder

Titik	x (m)	Momen Akibat beban-beban pada Box Girder						Kombinasi Momen		
		1 Mu MS (kNm)	1 Mu MA (kNm)	0 Mu TD (kNm)	1 Mu TB (kNm)	0,3 Mu EWS (kNm)	1 Mu EW1 (kNm)	Mo Mu MS (kNm)	MG Mu MS + Mu MA (kNm)	MT Σ Mu (kNm)
M	12,0	47984,278	4917,818	18137,856	1153,442	515,010	332,880	47984,278	52902,095	73041,282
N	13,0	50871,048	5187,718	19132,256	1153,442	543,245	351,130	50871,048	56058,765	77238,838
O	14,0	53596,204	5436,098	20047,104	1153,442	569,221	367,920	53596,204	59032,302	81169,989
P	15,0	56159,747	5662,958	20882,400	1153,442	592,939	383,250	56159,747	61822,704	84834,735
Q	16,0	58561,675	5868,270	21638,144	1153,442	614,397	397,120	58561,675	64429,945	88233,048
R	17,0	60801,990	6051,990	22314,336	1153,442	633,597	409,530	60801,990	66853,980	91364,885
S	18,0	62880,691	6214,190	22910,976	1153,442	650,538	420,480	62880,691	69094,881	94230,316
T	19,0	64842,627	6354,870	23428,064	1153,442	665,221	429,970	64842,627	71197,497	96874,193
U	20,0	66507,378	6473,995	23865,600	1153,442	677,644	438,000	66507,378	72981,373	99116,059
V	21,0	68049,983	6571,535	24223,584	1153,442	687,809	444,570	68049,983	74621,518	101130,922
W	22,0	69430,974	6647,555	24502,016	1153,442	695,715	449,680	69430,974	76078,529	102879,381
X	23,0	70650,351	6702,055	24700,896	1153,442	701,362	453,330	70650,351	77352,406	104361,436

Tabel 4.12 Kombinasi Layan I Momen pada Box Girder

Titik	x (m)	Momen Akibat beban-beban pada Box Girder						Kombinasi Momen		
		1 Mu _{MS} (kNm)	1 Mu _{MA} (kNm)	0 Mu _{TD} (kNm)	1 Mu _{TB} (kNm)	0,3 Mu _{EWS} (kNm)	1 Mu _{EW1} (kNm)	Mo Mu _{MS} (kNm)	MG Mu _{MS} + Mu _{MA} (kNm)	MT Σ Mu (kNm)
Y	24,0	71708,115	6735,035	24820,224	1153,442	704,750	455,520	71708,115	78443,150	105577,085
Z	25,0	72604,264	6746,495	24860,000	1153,442	705,879	456,250	72604,264	79350,759	106526,330
							Momen MAX	72604,264	79350,759	106526,330

Tabel 4.13 Kombinasi Layan III Momen pada Box Girder

Titik	x (m)	Momen Akibat beban-beban pada Box Girder				Kombinasi Momen		
		1 Mu _{MS} (kNm)	1 Mu _{MA} (kNm)	0,8 Mu _{TD} (kNm)	0,8 Mu _{TB} (kNm)	Mo Mu _{MS} (kNm)	MG Mu _{MS} + Mu _{MA} (kNm)	MT Σ Mu (kNm)
A	0,0	0,000	0,000	0,000	922,753	0,000	0,000	922,753
B	1,0	5222,941	528,240	1559,219	922,753	5222,941	5751,181	8233,153
C	2,0	10132,816	1034,960	3054,797	922,753	10132,816	11167,776	15145,326
D	3,0	14729,626	1520,160	4486,733	922,753	14729,626	16249,786	21659,272

Tabel 4.13 Kombinasi Layan III Momen pada Box Girder

Titik	x (m)	Momen Akibat beban-beban pada Box Girder				Kombinasi Momen		
		1 Mu _{MS} (kNm)	1 Mu _{MA} (kNm)	0,8 Mu _{TD} (kNm)	0,8 Mu _{TB} (kNm)	Mo Mu _{MS} (kNm)	MG Mu _{MS} + Mu _{MA} (kNm)	MT Σ Mu (kNm)
E	4,0	19814,354	1983,840	5855,027	922,753	19814,354	21798,194	28575,974
F	5,0	23251,695	2425,958	7159,680	922,753	23251,695	25677,652	33760,085
G	6,0	27269,763	2846,498	8400,691	922,753	27269,763	30116,260	39439,705
H	7,0	31126,217	3245,518	9578,061	922,753	31126,217	34371,734	44872,548
I	8,0	34821,057	3623,018	10691,789	922,753	34821,057	38444,074	50058,616
J	9,0	38354,283	3978,990	11741,875	922,753	38354,283	42333,273	54997,901
K	10,0	41725,895	4313,458	12728,320	922,753	41725,895	46039,353	59690,426
L	11,0	44935,893	4626,398	13651,123	922,753	44935,893	49562,291	64136,167
M	12,0	47984,278	4917,818	14510,285	922,753	47984,278	52902,095	68335,133
N	13,0	50871,048	5187,718	15305,805	922,753	50871,048	56058,765	72287,324
O	14,0	53596,204	5436,098	16037,683	922,753	53596,204	59032,302	75992,738
P	15,0	56159,747	5662,958	16705,920	922,753	56159,747	61822,704	79451,378

Tabel 4.13 Kombinasi Layan III Momen pada Box Girder

Titik	x (m)	Momen Akibat beban-beban pada Box Girder				Kombinasi Momen		
		1 Mu _{MS} (kNm)	1 Mu _{MA} (kNm)	0,8 Mu _{TD} (kNm)	0,8 Mu _{TB} (kNm)	Mo Mu _{MS} (kNm)	MG Mu _{MS} + Mu _{MA} (kNm)	MT Σ Mu (kNm)
Q	16,0	58561,675	5868,270	17310,515	922,753	58561,675	64429,945	82663,214
R	17,0	60801,990	6051,990	17851,469	922,753	60801,990	66853,980	85628,202
S	18,0	62880,691	6214,190	18328,781	922,753	62880,691	69094,881	88346,415
T	19,0	64842,627	6354,870	18742,451	922,753	64842,627	71197,497	90862,702
U	20,0	66507,378	6473,995	19092,480	922,753	66507,378	72981,373	92996,606
V	21,0	68049,983	6571,535	19378,867	922,753	68049,983	74621,518	94923,138
W	22,0	69430,974	6647,555	19601,613	922,753	69430,974	76078,529	96602,895
X	23,0	70650,351	6702,055	19760,717	922,753	70650,351	77352,406	98035,876
Y	24,0	71708,115	6735,035	19856,179	922,753	71708,115	78443,150	99222,082
Z	25,0	72604,264	6746,495	19888,000	922,753	72604,264	79350,759	100161,512
Momen MAX						72604,264	79350,759	100161,512

Tabel 4.14 Kombinasi Layan III Gaya Geser pada Box Girder

Titik	x (m)	Gaya Geser Akibat beban-beban pada Box Girder				Kombinasi Geser
		1 Vu MS (kN)	1 Vu MA (kN)	0,8 Vu TD (kN)	0,8 Vu TB (kN)	V _T Σ Vu (kN)
A	0,0	5379,474	539,000	1591,040	18,455	7527,969
B	1,0	5066,408	517,480	1544,960	18,455	7147,303
C	2,0	4768,488	495,960	1498,880	18,455	6781,783
D	3,0	4606,874	474,440	1452,800	18,455	6552,569
E	4,0	4445,260	452,920	1406,720	18,455	6323,355
F	5,0	4283,646	431,300	1360,640	18,455	6094,041
G	6,0	4122,032	409,780	1314,560	18,455	5864,827
H	7,0	3960,418	388,260	1268,480	18,455	5635,613
I	8,0	3798,804	366,740	1222,400	18,455	5406,399
J	9,0	3637,190	345,220	1176,320	18,455	5177,185
K	10,0	3475,576	323,600	1130,240	18,455	4947,871
L	11,0	3313,962	302,080	1084,160	18,455	4718,657

Tabel 4.14 Kombinasi Layan III Gaya Geser pada Box Girder

Titik	x	Gaya Geser Akibat beban-beban pada Box Girder				Kombinasi Geser
		1 Vu MS	1 Vu MA	0,8 Vu TD	0,8 Vu TB	VT Σ Vu
M	12,0	3152,348	280,560	1038,080	18,455	4489,443
N	13,00	2990,734	259,040	992,000	18,455	4260,229
O	14,00	2829,120	237,520	945,920	18,455	4031,016
P	15,00	2667,506	216,000	899,840	18,455	3801,802
Q	16,00	2505,893	194,380	853,760	18,455	3572,488
R	17,00	2344,279	172,860	807,680	18,455	3343,274
S	18,00	2181,157	151,340	761,600	18,455	3112,552
T	19,00	1989,394	129,820	715,520	18,455	2853,189
U	20,00	1808,183	108,200	669,440	18,455	2604,278
V	21,00	1646,569	86,680	623,360	18,455	2375,064
W	22,00	1484,955	65,160	577,280	18,455	2145,850
X	23,00	1323,341	43,640	485,120	18,455	1870,556
Y	24,00	1161,727	22,120	485,120	18,455	1687,422

Tabel 4.14 Kombinasi Layan III Gaya Geser pada Box Girder

Titik	x	Gaya Geser Akibat beban-beban pada Box Girder				Kombinasi Geser	
		1 Vu MS	1 Vu MA	0,8 Vu TD	0,8 Vu TB	V _T Σ Vu	
Z	25,00	1000,113	0,500	439,040	18,455	1458,108	
						Geser MIN	4947,871
						Geser MAX	7527,969

Tabel 4.15 Kombinasi Layan I Gaya Geser pada Box Girder

Titik	x (m)	Gaya Geser Akibat beban-beban pada Box Girder						Kombinasi Geser
		1 Vu MS (kN)	1 Vu MA (kN)	1 Vu TD (kN)	1 Vu TB (kN)	0,3 Vu EWS (kN)	1 Vu EW1 (kN)	V _T Σ Vu (kN)
0	0	5379,474	539,000	1988,800	23,069	56,470	36,500	8023,313
1	1,56	4891,092	517,480	1240,000	23,069	31,623	20,440	6723,704
2	4,08	4483,420	495,960	1182,400	23,069	29,365	18,980	6233,194
3	6,61	4075,749	474,440	952,000	23,069	27,106	17,520	5569,884
4	9,13	3668,078	452,920	894,400	23,069	24,847	16,060	5079,374

Tabel 4.15 Kombinasi Layan I Gaya Geser pada Box Girder

Titik	x (m)	Gaya Geser Akibat beban-beban pada Box Girder						Kombinasi Geser
		1 Vu MS (kN)	1 Vu MA (kN)	1 Vu TD (kN)	1 Vu TB (kN)	0,3 Vu EWS (kN)	1 Vu EW1 (kN)	V _T Σ Vu (kN)
5	11,65	3260,407	172,860	836,800	23,069	22,588	14,600	4330,324
6	14,17	2852,736	151,340	779,200	23,069	9,035	5,840	3821,220
7	16,70	2445,064	129,820	721,600	23,069	6,776	4,380	3330,710
8	18,40	2119,067	43,640	664,000	23,069	4,518	2,920	2857,214
9	20,92	1711,396	22,120	606,400	23,069	2,259	1,460	2366,704
10	23,44	1303,725	0,500	548,800	23,069	0,000	0,000	1876,094
							Geser MIN	1876,094
							Geser MAX	8023,313

4.4 Tegangan Izin pada Beton Prategang

4.4.1 Tegangan Izin Beton

Beton yang digunakan dalam perencanaan ini adalah beton segar dengan spesifikasi data sebagai berikut :

- a. Mutu beton, K : K-600
- b. Kuat tekan rencana, $f'c$: 48,9 MPa
- c. Massa jenis, Wc : 2500,0 kg/m³
- c. Modulus Elastisitas, Ec : $Wc^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f'c} = 37568,83$ MPa

Menurut SNI 7833-2012 pasal 6.4.1 dan pasal 6.4.2 mengenai syarat kemampuan layan komponen struktur lentur, tegangan beton pada beberapa keadaan tidak boleh melebihi nilai berikut :

1. Kuat tekan beton saat pemberian prategang awal, $f'ci$

$$\begin{aligned} f'ci &= 0,8 \times f'c \\ &= 0,8 \times 48,85 = 39,08 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Keadaan awal beton segera sesudah penyaluran prategang. (sebelum kehilangan gaya prategang)

Tabel 4.16 Tegangan Izin Beton pada Keadaan Awal

Bagian Struktur	Tekan Terluar $0,6 \times f'ci$	Tarik Terluar $0,25 \times \sqrt{f'ci}$
Beton prategang	23,45 MPa	1,56 MPa

(Sumber : Hasil Perhitungan)

3. Keadaan akhir beton saat beban layan dan setelah kehilangan gaya prategang.

Tabel 4.17 Tegangan Izin Beton pada Keadaan Akhir

Bagian Struktur	Tekan Terluar $0,45 \times f'ci$	Tarik Terluar $0,50 \times \sqrt{f'ci}$
Beton prategang	17,59 MPa	3,13 MPa

(Sumber : Hasil Perhitungan)

4.4.2 Tegangan Izin Baja Prategang

Kabel prategang yang digunakan adalah tendon VSL *type GC Grade 270, low relaxation strand* berdasarkan ASTM A416-06 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Diameter strand, d	=	15,2 mm
Luas nominal 1 strand, A_{st}	=	140,0 mm ²
Jumlah kawat untai, $Strands\ cable$	=	35 kawat untai/tendon
Luas penampang tendon, A_t	=	6370,0 mm ²
Modulus elastisitas, E_c	=	195000,0 MPa
Beban nominal 1 strand, F_{pu}	=	260,70 kN (100%)
	=	208,56 kN (80%)
Beban nominal 1 tendon, F_{pu}	=	208,56 kN x 35
	=	7299,60 kN = 7299600,0 N
Beban leleh 10%, F_{py}	=	0,8 x F_{pu}
	=	5839680,0 N
Tegangan putus tendon, f_{pu}	=	$\frac{F_{pu}}{A_t}$
	=	1145,93 MPa
Tegangan leleh, f_{py}	=	$\frac{F_{py}}{A_t}$
	=	916,75 MPa

Menurut SNI 7833-2012 pasal 6.5.1 mengenai syarat kemampuan layan komponen struktur lentur, tegangan tarik pada baja prategang harus :

1. Akibat gaya pangangkuran (*jacking*), tendon tidak boleh melebihi nilai :

$$\begin{aligned} f_{jacking} &= 0,94 \times f_{py} \\ &= 0,94 \times 916,747 \\ &= 861,74 \text{ MPa} \end{aligned}$$

, dan harus lebih kecil dari nilai :

$$\begin{aligned} f_{\text{jacking}} &= 0,80 \times f_{pu} \\ &= 0,80 \times 1145,934 \\ &= 916,75 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Segera setelah penyaluran gaya prategang, tendon tidak boleh melebihi nilai :

$$\begin{aligned} f_{\text{jacking}} &= 0,82 \times f_{py} \\ &= 0,82 \times 916,747 \\ &= 751,73 \text{ MPa} \end{aligned}$$

, dan harus lebih kecil dari nilai :

$$\begin{aligned} f_{\text{jacking}} &= 0,74 \times f_{pu} \\ &= 0,74 \times 1145,934 \\ &= 847,99 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Tendon pasca tarik, pada perangkat angkur, sesaat setelah tranfer gaya :

$$\begin{aligned} f_{\text{jacking}} &= 0,70 \times f_{pu} \\ &= 0,70 \times 1145,934 \\ &= 802,15 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4.4.3 Modulus Elastisitas

Pada perencanaan ini menggunakan beton dengan masa jenis 2500 kg/m³, sehingga berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 8.5.1 digunakanlah modulus elastisitas sebesar berikut :

Tabel 4.18 Modulus Elastisitas (E_c) pada Beton

	Kuat tekan rencana, f'_c	E_c $W_c^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c}$
Beton prategang	48,85 MPa	37568,83 MPa

(Sumber : Hasil Perhitungan)

4.5 Gaya Prategang Teton

4.5.1 Desain Penampang Penahan Lenturan

Dari hasil analisa statis diperoleh nilai maksimum pada kombinasi I untuk setengah bentang jembatan (25 m) didapat :

- a. Momen akibat beban mati, MDL = MG : 79350,759 kNm
- b. Momen kombinasi total, MT : 106526,330 kNm
- c. Tinggi box girder, h : 2,4 m

- Desain gaya prategang efektif yang diperlukan, P_{eff}

1. Bila $\frac{MG}{MT} < 20\% - 30\%$, dipakai gaya prategang efektif yang diperlukan

$$F = \frac{MG}{0,5 h} \text{ dan luas penampang beton yang diperlukan, } A_c = \frac{F}{0,5 f_{ijin}}$$

2. Bila $\frac{MG}{MT} > 20\% - 30\%$, dipakai gaya prategang efektif yang diperlukan

$$F = \frac{MT}{0,65 h} \text{ dan luas penampang beton yang diperlukan, } A_c = \frac{F}{0,5 f_{ijin}}$$

Berdasarkan persamaan diatas, maka didapatkan :

$$\begin{aligned} \frac{MG}{MT} \times 100\% &= \frac{79350,759}{106526,330} \times 100\% \\ &= 74,489\% > 20\% - 30\% \end{aligned}$$

Sehingga gaya prategang efektif yang diperlukan sebesar :

$$\begin{aligned} F &= \frac{MT}{0,65 h} \\ &= \frac{106526,330}{0,65 \times 2,4} \\ &= 68286,109 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Gaya prategang awal kehilangan fase tarik 10% (pasca tarik), F_o

$$\begin{aligned} F_o &= \frac{F}{90\%} \\ &= \frac{68286,109}{80\%} \\ &= 85357,636 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Luas penampang beton yang diperlukan, A_c

$$\begin{aligned}
 A_c &= \frac{F}{0,5 f_{ijin}} < A_c \text{ ada terkecil} \\
 &= \frac{68286,109}{0,50 \times 17,6} < A_c \text{ ada terkecil} \\
 &= 7765,359 \text{ mm}^2 < 5329333,6 \text{ mm}^2 \\
 &= 7765,359 \text{ cm}^2 < 53293,3 \text{ cm}^2 \quad \text{Memenuhi}
 \end{aligned}$$

4.5.2 Jumlah Tendon

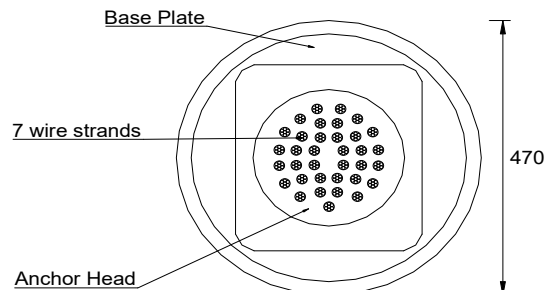
Beberapa data yang digunakan pada perencanaan jumlah tendon yang akan digunakan, sebagai berikut :

- Tendon : VSL type GC Grade 270
- Unit tendon : 6 - 35
- Jumlah untaian (*strand*) : 35 kawat untaian/tendon
- Beban nominal putus 1 *strand*, F_{pu} : 208,56 kN (80%)
- Beban nominal putus 1 tendon, F_{pu} : 7299,60 kN (80%)

- Perhitungan jumlah tendon, n_t

$$\begin{aligned}
 n_t &= \frac{F_o}{F_{pu} \text{ 1 tendon (90\%)}} \\
 &= \frac{85357,636}{7299,600} = 11,69 \text{ buah} \approx 12 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Jumlah *strand* (n_s) yang digunakan sebanyak $35 \times 12 = 420$ strands



Gambar 4.27 Perencanaan Tata Letak Strands pada Tendon VSL type GC (External Grouted Post-Tensioning)
(Sumber : Hasil Perencanaan)

- Gaya Prategang pada tendon, F_o ada

$$\begin{aligned} F_o \text{ ada} &= n_t \times F_{pu} \text{ tendon (80\%)} \\ &= 12 \times 7299,600 \\ &= 87595,200 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Kontrol gaya prategang pada tendon

$$F_o \text{ ada} > F_o \text{ pasca tarik (20\%)}$$

$$87595,200 > 85357,636 \quad \textbf{Memenuhi}$$

- Gaya prategang efektif dari perencanaan, F rencana

$$\begin{aligned} F \text{ rencana} &= 0,8 \times F_o \text{ ada} \\ &= 0,8 \times 87595,200 \\ &= 70076,160 \text{ kN} \end{aligned}$$

4.5.3 Daerah Aman Tendon

Dalam menentukan daerah aman, harus dilakukan peninjauan pada beberapa keadaan seperti berikut :

1. Keadaan awal (a_1), akibat berat sendiri box girder

$$a_1 = \frac{M_o}{F_o \text{ rencana}}$$

Ket :

a_1 : Daerah aman tendon kondisi awal (cm)

$M_o = M_{MS}$: Momen akibat berat sendiri box girder, (kNm)

$F_o \text{ rencana}$: Gaya prategang awal tendon rencana (kN)

Perhitungan untuk titik L pada jarak $x = 11$ m

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{44935,893}{87595,200} \\ &= 0,5130 \text{ m} = 51,299 \text{ cm} \end{aligned}$$

Tabel 4.19 Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Awal (a1)

Titik	x (m)	Mms (kNm)	Fo ada (kN)	a1	
				(m)	(cm)
A	0,0	0,000	87595,200	0,0000	0,000
B	1,0	5222,941	87595,200	0,0596	5,963
C	2,0	10132,816	87595,200	0,1157	11,568
D	3,0	14729,626	87595,200	0,1682	16,816
E	4,0	19814,354	87595,200	0,2262	22,620
F	5,0	23251,695	87595,200	0,2654	26,544
G	6,0	27269,763	87595,200	0,3113	31,132
H	7,0	31126,217	87595,200	0,3553	35,534
I	8,0	34821,057	87595,200	0,3975	39,752
J	9,0	38354,283	87595,200	0,4379	43,786
K	10,0	41725,895	87595,200	0,4763	47,635
L	11,0	44935,893	87595,200	0,5130	51,299
M	12,0	47984,278	87595,200	0,5478	54,780
N	13,0	50871,048	87595,200	0,5808	58,075
O	14,0	53596,204	87595,200	0,6119	61,186
P	15,0	56159,747	87595,200	0,6411	64,113
Q	16,0	58561,675	87595,200	0,6685	66,855
R	17,0	60801,990	87595,200	0,6941	69,412
S	18,0	62880,691	87595,200	0,7179	71,786
T	19,0	64842,627	87595,200	0,7403	74,025
U	20,0	66507,378	87595,200	0,7593	75,926
V	21,0	68049,983	87595,200	0,7769	77,687
W	22,0	69430,974	87595,200	0,7926	79,263
X	23,0	70650,351	87595,200	0,8066	80,656

Tabel 4.19 Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Awal (a1)

Titik	x (m)	M _{ms} (kNm)	F _{o ada} (kN)	a ₁	
				(m)	(cm)
Y	24,0	71708,115	87595,200	0,8186	81,863
Z	25,0	72604,264	87595,200	0,8289	82,886

(Sumber : Hasil Perhitungan)

2. Keadaan setelah kehilangan tegangan (a2)

$$a_2 = \frac{M_o}{F_{rencana}}$$

Ket :

a₂ : Daerah aman tendon setelah kehilangan tegangan (cm)

M_o = M_{ms} : Momen akibat berat sendiri box girder, (kNm)

F_{rencana} : Gaya prategang efektif rencana tendon (kN)

Perhitungan untuk titik L pada jarak x = 11 m

$$a_2 = \frac{44935,893}{70076,160}$$

$$= 0,6412 \text{ m} = 64,124 \text{ cm}$$

Tabel 4.20 Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Awal (a2)

Titik	x (m)	M _{ms} (kNm)	F _{rencana} (kN)	a ₂	
				(m)	(cm)
A	0,0	0,000	70076,160	0,0000	0,000
B	1,0	5222,941	70076,160	0,0745	7,453
C	2,0	10132,816	70076,160	0,1446	14,460
D	3,0	14729,626	70076,160	0,2102	21,019
E	4,0	19814,354	70076,160	0,2828	28,275
F	5,0	23251,695	70076,160	0,3318	33,181
G	6,0	27269,763	70076,160	0,3891	38,914
H	7,0	31126,217	70076,160	0,4442	44,418

Tabel 4.20 Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Awal (a2)

Titik	x (m)	Mms (kNm)	F rencana (kN)	a2	
				(m)	(cm)
I	8,0	34821,057	70076,160	0,4969	49,690
J	9,0	38354,283	70076,160	0,5473	54,732
K	10,0	41725,895	70076,160	0,5954	59,544
L	11,0	44935,893	70076,160	0,6412	64,124
M	12,0	47984,278	70076,160	0,6847	68,474
N	13,0	50871,048	70076,160	0,7259	72,594
O	14,0	53596,204	70076,160	0,7648	76,483
P	15,0	56159,747	70076,160	0,8014	80,141
Q	16,0	58561,675	70076,160	0,8357	83,569
R	17,0	60801,990	70076,160	0,8677	86,766
S	18,0	62880,691	70076,160	0,8973	89,732
T	19,0	64842,627	70076,160	0,9253	92,532
U	20,0	66507,378	70076,160	0,9491	94,907
V	21,0	68049,983	70076,160	0,9711	97,109
W	22,0	69430,974	70076,160	0,9908	99,079
X	23,0	70650,351	70076,160	1,0082	100,819
Y	24,0	71708,115	70076,160	1,0233	102,329
Z	25,0	72604,264	70076,160	1,0361	103,608

(Sumber : Hasil Perhitungan)

3. Keadaan setelah beban sendiri dan beban mati bekerja (a3)

$$a3 = \frac{MG}{F rencana}$$

Ket :

a3 : Daerah aman tendon setelah beban mati bekerja (cm)

MG : Momen akibat beban sendiri dan beban mati tambahan, (kNm)

F rencana : Gaya prategang efektif rencana tendon (kN)

Perhitungan untuk titik L pada jarak x = 11 m

$$a_3 = \frac{49562,291}{70076,160}$$

$$= 0,7073 \text{ m} = 70,726 \text{ cm}$$

Tabel 4.21 Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Awal (a3)

Titik	x (m)	MG (kNm)	F rencana (kN)	a3	
				(m)	(cm)
A	0,0	0,000	70076,160	0,0000	0,000
B	1,0	5751,181	70076,160	0,0821	8,207
C	2,0	11167,776	70076,160	0,1594	15,937
D	3,0	16249,786	70076,160	0,2319	23,189
E	4,0	21798,194	70076,160	0,3111	31,106
F	5,0	25677,652	70076,160	0,3664	36,642
G	6,0	30116,260	70076,160	0,4298	42,976
H	7,0	34371,734	70076,160	0,4905	49,049
I	8,0	38444,074	70076,160	0,5486	54,860
J	9,0	42333,273	70076,160	0,6041	60,410
K	10,0	46039,353	70076,160	0,6570	65,699
L	11,0	49562,291	70076,160	0,7073	70,726
M	12,0	52902,095	70076,160	0,7549	75,492
N	13,0	56058,765	70076,160	0,8000	79,997
O	14,0	59032,302	70076,160	0,8424	84,240
P	15,0	61822,704	70076,160	0,8822	88,222
Q	16,0	64429,945	70076,160	0,9194	91,943
R	17,0	66853,980	70076,160	0,9540	95,402
S	18,0	69094,881	70076,160	0,9860	98,600

Tabel 4.21 Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Awal (a3)

Titik	x (m)	MG (kNm)	F rencana (kN)	a3	
				(m)	(cm)
T	19,0	71197,497	70076,160	1,0160	101,600
U	20,0	72981,373	70076,160	1,0415	104,146
V	21,0	74621,518	70076,160	1,0649	106,486
W	22,0	76078,529	70076,160	1,0857	108,565
X	23,0	77352,406	70076,160	1,1038	110,383
Y	24,0	78443,150	70076,160	1,1194	111,940
Z	25,0	79350,759	70076,160	1,1324	113,235

(Sumber : Hasil Perhitungan)

4. Keadaan setelah semua beban bekerja (a4)

$$a4 = \frac{MT}{F \text{ rencana}}$$

Ket :

a4 : Daerah aman tendon setelah semua beban bekerja (cm)

MT : Momen akibat semua beban bekerja, (kNm)

F rencana : Gaya prategang efektif rencana tendon (kN)

Perhitungan untuk titik L pada jarak x = 11 m

$$\begin{aligned}
 a4 &= \frac{68577,322}{70076,160} \\
 &= 0,9786 \text{ m} = 97,861 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.22 Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Awal (a4)

Titik	x (m)	MT (kNm)	F rencana (kN)	a4	
				(m)	(cm)
A	0,0	1153,442	70076,160	0,0165	1,646
B	1,0	8944,757	70076,160	0,1276	12,764
C	2,0	16318,217	70076,160	0,2329	23,286

Tabel 4.22 Koordinat Daerah Aman pada Keadaan Awal (a4)

Titik	x (m)	M _T (kNm)	F rencana (kN)	a ₄	
				(m)	(cm)
D	3,0	23273,820	70076,160	0,3321	33,212
E	4,0	30612,550	70076,160	0,4368	43,685
F	5,0	36199,060	70076,160	0,5166	51,657
G	6,0	42261,449	70076,160	0,6031	60,308
H	7,0	48057,433	70076,160	0,6858	68,579
I	8,0	53587,012	70076,160	0,7647	76,470
J	9,0	58850,180	70076,160	0,8398	83,980
K	10,0	63846,957	70076,160	0,9111	91,111
L	11,0	68577,322	70076,160	0,9786	97,861
M	12,0	73041,282	70076,160	1,0423	104,231
N	13,0	77238,838	70076,160	1,1022	110,221
O	14,0	81169,989	70076,160	1,1583	115,831
P	15,0	84834,735	70076,160	1,2106	121,061
Q	16,0	88233,048	70076,160	1,2591	125,910
R	17,0	91364,885	70076,160	1,3038	130,379
S	18,0	94230,316	70076,160	1,3447	134,468
T	19,0	96874,193	70076,160	1,3824	138,241
U	20,0	99116,059	70076,160	1,4144	141,440
V	21,0	101130,922	70076,160	1,4432	144,316
W	22,0	102879,381	70076,160	1,4681	146,811
X	23,0	104361,436	70076,160	1,4893	148,926
Y	24,0	105577,085	70076,160	1,5066	150,660
Z	25,0	106526,330	70076,160	1,5202	152,015

(Sumber : Hasil Perhitungan)

4.5.4 Tata Letak Tendon

Beberapa data yang diperlukan dalam menentukan tata letak tendon sebagai berikut :

- Direncanakan jarak tendon terhadap sisi bawah (pada bentang tengah) : 323,8 mm
- Tebal selimut beton prategang : 40,0 mm
- Lebar angkur tipe GC dari VSL : 470,0 mm (6-35 tendon)
- Diameter selongsong tendon tipe *smooth plastic ducts* dari VSL : 160,0 mm (6-35 tendon)

a. Batas atas dan batas bawah daerah aman

Pada perencanaan tata letak tendon harus memperhatikan daerah aman yang dibatasi oleh batas atas (a4) dan batas bawah (a1), dimana tendon harus diletakkan pada daerah tersebut agar tidak akan menyebabkan terjadinya tegangan yang melebihi tegangan izin (baik tarik maupun tekan).

- Pada Segmen S1 (Segmen Tumpuan) pada bentang ujung

$$\begin{aligned} 1. \text{ Batas atas, } a_4 &= Y_b + k_a \\ &= 138 + 70,86 \\ &= 208,512 \text{ cm (Ditinjau dari dasar segmen)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Batas bawah, } a_1 &= Y_b - k_b \\ &= 138 - 56,628 \\ &= 81,022 \text{ cm (Ditinjau dari dasar segmen)} \end{aligned}$$

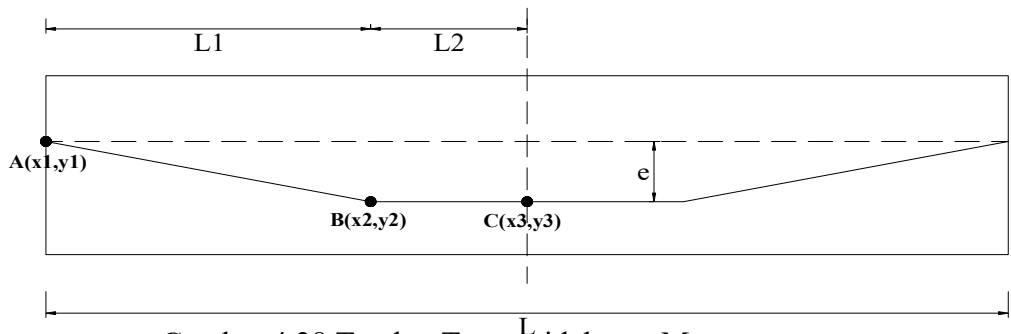
- Pada segmen standar bentang tengah

$$\begin{aligned} 1. \text{ Batas atas, } a_4 &= a_4 - Y_b \\ &= 152,015 - 138 \\ &= 14,365 \text{ cm (Ditinjau dari dasar segmen)} \end{aligned}$$

$$2. \text{ Batas bawah, } a_1 = 4 \text{ cm (Ditinjau dari dasar segmen)}$$

b. Koordinat letak tendon

Perencanaan tendon dipasang diluar penampang (*external tendon*) dengan koordinat tendon ditinjau dari garis tengah penampang yg berada pada top-center penampang dan masih dalam daerah aman. Lintasan tendon menggunakan *external tendon* berbentuk *trapesoidal* yang terdiri dari garis miring dan garis lurus seperti gambar dibawah ini :



Gambar 4.28 Tendon Trapesoidal atau Menggantung

(Sumber : N Krishna Raju, 1993)

• Lintasan Tendon Miring

Untuk mendapatkan koordinat tendon maka digunakan persamaan garis melalui dua titik A(x1,y1) dan B(x2,y2) sehingga didapatkan rumus ;

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

1.) Perhitungan koordinat tendon 1&2

Tendon 1 & 2 terletak pada koordinat A(0 ; 186,9) dan B(1800 ; 39,48) dan dilakukan substitusi ke dalam rumus diatas sehingga didapatkan persamaan ,

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{Y - 186,9}{39,48 - 186,9} = \frac{X - 0}{1800 - 0}$$

$$\frac{Y - 186,9}{-147,42} = \frac{X}{1800}$$

$$Y = \frac{-147,42 X + 186,9}{1800}$$

$$Y = -0,0819 X + 186,9$$

Untuk tendon pada X = 500 cm maka didapatkan tinggi atau nilai Y sebesar,

$$\begin{aligned} Y &= -0,0819 X + 186,9 \\ &= -0,0819 \times 500 + 186,9 \\ &= 145,950 \text{ cm} \end{aligned}$$

Untuk tendon pada X = 1000 cm maka didapatkan tinggi atau nilai Y sebesar,

$$\begin{aligned} Y &= -0,0819 X + 186,9 \\ &= -0,0819 \times 1000 + 186,9 \\ &= 105,000 \text{ cm} \end{aligned}$$

Untuk tendon pada X = 1500 cm maka didapatkan tinggi atau nilai Y sebesar,

$$\begin{aligned} Y &= -0,0819 X + 186,9 \\ &= -0,0819 \times 1500 + 186,9 \\ &= 64,050 \text{ cm} \end{aligned}$$

2.) Perhitungan koordinat tendon 3

Tendon 3 terletak pada koordinat A(0 ; 137,7) dan B(1800 ; 39,48) dan

dilakukan substitusi ke dalam rumus diatas sehingga didapatkan persamaan ,

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{Y - 137,7}{39,48 - 137,7} = \frac{X - 0}{1800 - 0}$$

$$\frac{Y - 137,7}{-98,22} = \frac{X}{1800}$$

$$Y = \frac{-98,22 X + 137,7}{1800}$$

$$Y = -0,054567 X + 137,7$$

Untuk tendon pada X = 500 cm maka didapatkan tinggi atau nilai Y sebesar,

$$\begin{aligned} Y &= -0,054567 X + 137,7 \\ &= -0,054567 \times 500 + 137,7 = 110,417 \text{ cm} \end{aligned}$$

Untuk tendon pada $X = 1000$ cm maka didapatkan tinggi atau nilai Y sebesar,

$$\begin{aligned} Y &= -0,054567 X + 137,7 \\ &= -0,054567 \times 1000 + 137,7 \\ &= 83,133 \text{ cm} \end{aligned}$$

Untuk tendon pada $X = 1500$ cm maka didapatkan tinggi atau nilai Y sebesar,

$$\begin{aligned} Y &= -0,054567 X + 137,7 \\ &= -0,054567 \times 1500 + 137,7 \\ &= 55,850 \text{ cm} \end{aligned}$$

3.) Perhitungan koordinat tendon 4&5

Tendon 4 & 5 terletak pada koordinat $A(0 ; 88,5)$ dan $B(1800 ; 39,48)$ dan dilakukan substitusi ke dalam rumus diatas sehingga didapatkan persamaan ,

$$\begin{aligned} \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} &= \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \\ \frac{Y - 88,5}{39,48 - 88,5} &= \frac{X - 0}{1800 - 0} \\ \frac{Y - 88,5}{-49,02} &= \frac{X}{1800} \\ Y &= \frac{-49,02 X + 88,5}{1800} \end{aligned}$$

$$Y = -0,027233 X + 88,5$$

Untuk tendon pada $X = 500$ cm maka didapatkan tinggi atau nilai Y sebesar,

$$\begin{aligned} Y &= -0,027233 X + 88,5 \\ &= -0,027233 \times 500 + 88,5 \\ &= 74,883 \text{ cm} \end{aligned}$$

Untuk tendon pada $X = 1000$ cm maka didapatkan tinggi atau nilai Y sebesar,

$$\begin{aligned} Y &= -0,027233 X + 88,5 \\ &= -0,027233 \times 1000 + 88,5 \\ &= 61,267 \text{ cm} \end{aligned}$$

Untuk tendon pada $X = 1500$ cm maka didapatkan tinggi atau nilai Y sebesar,

$$Y = -0,027233 X + 88,5$$

$$= -0,027233 \times 1500 + 88,5 = 47,650 \text{ cm}$$

• **Lintasan Tendon Lurus**

Untuk mendapatkan koordinat tendon maka digunakan persamaan garis melalui dua titik $B(x_2,y_2)$ dan $C(x_3,y_3)$ sehingga didapatkan rumus ;

$$\frac{y - y_2}{y_3 - y_2} = \frac{x - x_2}{x_3 - x_2}$$

1.) Perhitungan koordinat tendon 1, 2, 3, 4, dan 5

Tendon 1 & 2 terletak pada koordinat $A(1800 ; 39,48)$ dan $B(2500 ; 39,48)$ dan dilakukan substitusi ke dalam rumus diatas sehingga didapatkan persamaan ,

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

$$\frac{Y - 39,48}{39,48 - 39,48} = \frac{X - 1800}{2500 - 1800}$$

$$\frac{Y - 39,48}{0} = \frac{X}{700}$$

$$Y = \frac{0}{700} X + 39,48$$

$$Y = 0 X + 39,48$$

$$Y = 39,480 \text{ cm}$$

Dari pembuktian diatas maka koordinat sumbu y untuk lintasan tendon lurus adalah konstan atau tetap.

Tabel 4.23 Koordinat Sumbu X Sumbu Y Tata Letak Tendon

Titik	Sumbu X	No Tendon 1, 2, 7, 8		No Tendon 3, 4, 9, 10		No Tendon 5, 6, 11, 12	
		Sumbu Y		Sumbu Y		Sumbu Y	
	(m)	(m)	(cm)	(m)	(cm)	(m)	(cm)
A	0,0	1,8690	186,9	1,3770	137,7	0,8850	88,5

Tabel 4.23 Koordinat Sumbu X Sumbu Y Tata Letak Tendon

Titik	Sumbu X (m)	No Tendon 1, 2, 8, 7		No Tendon 3, 4, 9, 10		No Tendon 5, 6, 11, 12	
		Sumbu Y		Sumbu Y		Sumbu Y	
		(m)	(cm)	(m)	(cm)	(m)	(cm)
B	1,0	1,7871	178,71	1,3224	132,243	0,8578	85,7767
C	2,0	1,7052	170,52	1,2679	126,787	0,8305	83,0533
D	3,0	1,6233	162,33	1,2133	121,33	0,8033	80,33
E	4,0	1,5414	154,14	1,1587	115,873	0,7761	77,6067
F	5,0	1,4595	145,95	1,1042	110,417	0,7488	74,8833
G	6,0	1,3776	137,76	1,0496	104,96	0,7216	72,16
H	7,0	1,2957	129,57	0,9950	99,5033	0,6944	69,4367
I	8,0	1,2138	121,38	0,9405	94,0467	0,6671	66,7133
J	9,0	1,1319	113,19	0,8859	88,59	0,6399	63,99
K	10,0	1,0500	105	0,8313	83,1333	0,6127	61,2667
L	11,0	0,9681	96,81	0,7768	77,6767	0,5854	58,5433
M	12,0	0,8862	88,62	0,7222	72,22	0,5582	55,82
N	13,0	0,8043	80,43	0,6676	66,7633	0,5310	53,0967
O	14,0	0,7224	72,24	0,6131	61,3067	0,5037	50,3733
P	15,0	0,6405	64,05	0,5585	55,85	0,4765	47,65
Q	16,0	0,5586	55,86	0,5039	50,3933	0,4493	44,9267
R	17,0	0,4767	47,67	0,4494	44,9367	0,4220	42,2033
S	18,0	0,3948	39,48	0,3948	39,48	0,3948	39,48
T	19,0	0,3238	32,38	0,3238	32,38	0,3238	32,38
U	20,0	0,3238	32,38	0,3238	32,38	0,3238	32,38
V	21,0	0,3238	32,38	0,3238	32,38	0,3238	32,38
W	22,0	0,3238	32,38	0,3238	32,38	0,3238	32,38

Tabel 4.23 Koordinat Sumbu X Sumbu Y Tata Letak Tendon

Titik	Sumbu X	No Tendon 1, 2, 8, 7		No Tendon 3, 4, 9, 10		No Tendon 5, 6, 11, 12	
		Sumbu Y		Sumbu Y		Sumbu Y	
	(m)	(m)	(cm)	(m)	(cm)	(m)	(cm)
X	23,0	0,3238	32,38	0,3238	32,38	0,3238	32,38
Y	24,0	0,3238	32,38	0,3238	32,38	0,3238	32,38
Z	25,0	0,3238	32,38	0,3238	32,38	0,3238	32,38

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Tabel 4.24 Koordinat Sumbu Z Tata Letak Tendon

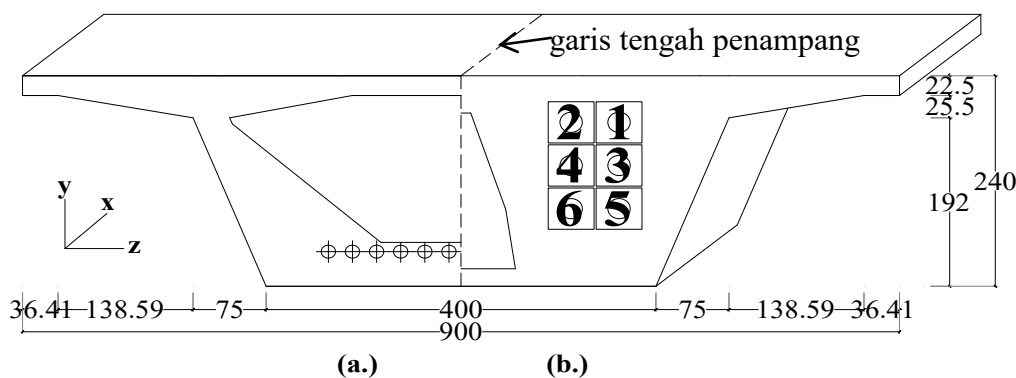
Nomor Tendon	Sumbu X	Sumbu Z		Nomor Tendon	Sumbu X	Sumbu Z	
	(m)	(m)	(cm)		(m)	(m)	(cm)
1	0,0	1,622	162,2	7	0,0	1,622	162,2
	7,0	1,520	152,04		7,0	1,520	152,04
	15,0	1,403	140,31		15,0	1,403	140,31
	25,0	1,361	136,13		25,0	1,361	136,13
2	0,0	1,130	113	8	0,0	1,130	113
	7,0	0,931	93,08		7,0	0,931	93,08
	15,0	0,701	70,07		15,0	0,701	70,07
	25,0	0,619	61,88		25,0	0,619	61,88
3	0,0	1,622	162,2	9	0,0	1,622	162,2
	7,0	1,424	142,39		7,0	1,424	142,39
	15,0	1,195	119,53		15,0	1,195	119,53
	25,0	1,114	111,38		25,0	1,114	111,38

Tabel 4.24 Koordinat Sumbu Z Tata Letak Tendon

Nomor Tendon	Sumbu X	Sumbu Z		Nomor Tendon	Sumbu X	Sumbu Z	
	(m)	(m)	(cm)		(m)	(m)	(cm)
4	0,0	1,130	113	10	0,0	1,130	113
	7,0	0,834	83,43		7,0	0,834	83,43
	15,0	0,493	49,29		15,0	0,493	49,29
	25,0	0,371	37,13		25,0	0,371	37,13
5	0,0	1,622	162,2	11	0,0	1,622	162,2
	7,0	1,328	132,75		7,0	1,328	132,75
	15,0	0,988	98,75		15,0	0,988	98,75
	25,0	0,866	86,63		25,0	0,866	86,63
6	0,0	1,130	113	12	0,0	1,130	113
	7,0	0,738	73,79		7,0	0,738	73,79
	15,0	0,285	28,51		15,0	0,285	28,51
	25,0	0,124	12,38		25,0	0,124	12,38

(Sumber : Hasil Perencanaan)

* Koordinat sumbu Z tendon ditinjau dari garis tengah penampang box girder



Gambar 4.28 Perencanaan Posisi Tendon Pada : (a.) Segmen Deviator dan (b.) Segmen Tumpuan

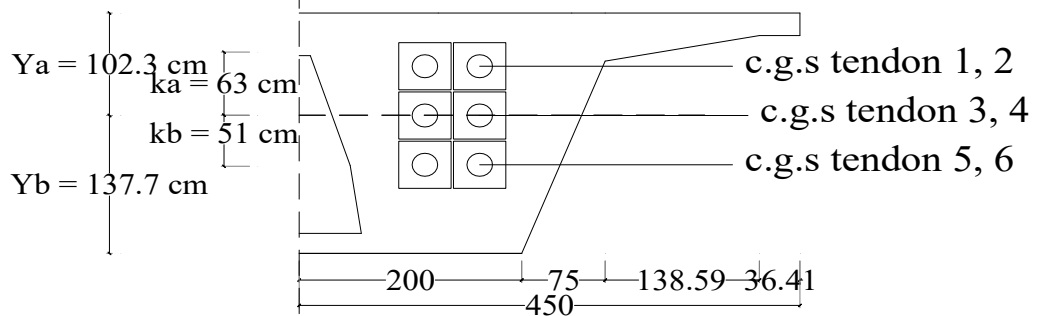
(Sumber : Hasil Perencanaan)

c. Eksentrisitas tendon

Eksentrisitas tendon merupakan jarak antara statis momen penampang box girder terhadap serat bawah (c.g.c) dengan titik berat tendon (c.g.s). Sebagai penjanjian tanda, eksentrisitas tendon bernilai positif apabila c.g.s terletak dibawah c.g.c dan bernilai negatif apabila c.g.s terletak diatas c.g.c. . Didapat data dari perencanaan diatas sebagai berikut :

Y_b = statis momen penampang = 1,38 m
terhadap serat bawah (c.g.c)

Y_{tendon} = koordinat titik berat tendon (c.g.s)



Gambar 4.29 Letak Eksentrisitas Tendon (Tendon 3, 4)

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Dari hasil perencanaan diatas didapat koordinat titik berat tendon (Y_{tendon}) sebagai berikut :

Tabel 4.25 Eksentrisitas Tendon Baris

Titik	x (m)	Y tendon (m)
A	0,0	1,377
B	1,0	1,322
C	2,0	1,268
D	3,0	1,213
E	4,0	1,159
F	5,0	1,104

Tabel 4.25 Eksentrisitas Tendon Baris

Titik	x (m)	Y tendon (m)
G	6,0	1,050
H	7,0	0,995
I	8,0	0,940
J	9,0	0,886
K	10,0	0,831
L	11,0	0,777
M	12,0	0,722
N	13,0	0,668
O	14,0	0,613
P	15,0	0,559
Q	16,0	0,504
R	17,0	0,449
S	18,0	0,395
T	19,0	0,324
U	20,0	0,324
V	21,0	0,324
W	22,0	0,324
X	23,0	0,324
Y	24,0	0,324
Z	25,0	0,324

(Sumber : Hasil Perhitungan)

- Perhitungan eksentrisitas pada tendon

Pada titik Z dengan jarak 25 m didapat eksentrisitas sebesar :

$$e_z = Y_b - Y_{\text{tendon}}$$

$$= 1,38 - 0,324 = 1,053 \text{ m}$$

Tabel 4.26 Eksentrisitas Tendon Baris

Titik	x (m)	Y _b (m)	Y tendon (m)	e	
				(m)	(mm)
A	0,0	1,38	1,377	0,000	-0,499
B	1,0	1,38	1,322	0,054	54,068
C	2,0	1,38	1,268	0,109	108,634
D	3,0	1,38	1,213	0,163	163,201
E	4,0	1,38	1,159	0,218	217,768
F	5,0	1,38	1,104	0,272	272,334
G	6,0	1,38	1,050	0,327	326,901
H	7,0	1,38	0,995	0,381	381,468
I	8,0	1,38	0,940	0,436	436,034
J	9,0	1,38	0,886	0,491	490,601
K	10,0	1,38	0,831	0,545	545,168
L	11,0	1,38	0,777	0,600	599,734
M	12,0	1,38	0,722	0,654	654,301
N	13,0	1,38	0,668	0,709	708,868
O	14,0	1,38	0,613	0,763	763,434
P	15,0	1,38	0,559	0,818	818,001
Q	16,0	1,38	0,504	0,873	872,568
R	17,0	1,38	0,449	0,927	927,134
S	18,0	1,38	0,395	0,982	981,701
T	19,0	1,38	0,324	1,053	1052,701
U	20,0	1,38	0,324	1,053	1052,701
V	21,0	1,38	0,324	1,053	1052,701

Tabel 4.26 Eksentrisitas Tendon Baris

Titik	x (m)	Yb (m)	Y tendon (m)	e	
				(m)	(mm)
W	22,0	1,38	0,324	1,053	1052,701
X	23,0	1,38	0,324	1,053	1052,701
Y	24,0	1,38	0,324	1,053	1052,701
Z	25,0	1,38	0,324	1,053	1052,701

(Sumber : Hasil Perhitungan)

4.6 Kontrol Keamanan

4.6.1 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang pada perencanaan ini dibagi 2 tahap, yaitu :

a. Kehilangan gaya prategang secara langsung (Tahap 1)

1.) Perpendekan Elastis Beton (ES)

$$ES = K_{es} \times n \times f_{cir}$$

Bila diketahui :

F	= Gaya prategang tendon , Fo ada	= 87595,200 kN
A	= Luasan penampang tengah	= 5,329 m ²
I _x	= Inersia penampang tengah	= 4,026 m ⁴
M _o	= Momen Max akibat berat sendiri	= 72604,264 kNm
e	= eksentrisitas pada bentang tengah	= 1,053 m
E _c	= Modulus elastisitas beton brategang	= 37568,828 MPa
E _s	= Modulus elastisitas baja prategang	= 195000,0 MPa
n	= $\frac{E_s}{E_c}$	= 5,190
K _{es}	= koefisien untuk struktur pasca tarik	= 0,5

• Tegangan beton pada garis melalui titik berat baja, f_{cir}

$$\begin{aligned} f_{cir} &= \left(\frac{F}{A} \right) + \left(\frac{F \times e^2}{I_x} \right) - \left(\frac{M_o \times e}{I_x} \right) \\ &= \left(\frac{87595,20}{5,329} \right) + \left(\frac{87595,20 \times 1,053^2}{4,026} \right) - \\ &\quad \left(\frac{72604,264 \times 1,053}{4,026} \right) \end{aligned}$$

$$f_{cir} = 21563,508 \text{ kN/m}^2 = 21,564 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} ES &= K_{es} \times n \times f_{cir} \\ &= 0,5 \times 5,190 \times 21563,508 \end{aligned}$$

$$= 55962,407 \text{ kN/m}^2 = 5,596 \text{ kN/cm}^2$$

- Luas penampang baja prategang, A_t

$$\begin{aligned} A_t &= n_s \times A_{st} \\ &= 420 \times 182,00 \\ &= 76440,000 \text{ mm}^2 = 0,076 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Kehilangan gaya prategang akibat elastis beton, F_{ES}

$$\begin{aligned} F_{ES} &= E_S \times A_t \\ &= 55962,407 \times 0,076 \\ &= 4277,766 \text{ kN} \end{aligned}$$

2.) Akibat Gesekan Sepanjang Kabel Tendon (F_x)

Bila diketahui :

$$\begin{aligned} K &= \text{Koef. Wobble} &= 0,002 \\ L_x &= \text{Panjang tendon yang ditinjau} &= 25,0 \text{ m} \\ \mu &= \text{Koef. Kelengkungan} &= 0,2 \\ e &= \text{Dasar logaritma Napier} &= 2,7183 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F &= \text{Gaya prategang efektif (F rencana)} &= 70076,160 \text{ kN} \\ n_s &= \text{jumlah strand yang digunakan} &= 420 \text{ strands} \\ F_{pu} &= \text{Beban nominal putus 1 strand} &= 208,560 \text{ kN} \\ \alpha &= \text{Sudut lintasan tendon} &= 5,0^\circ \\ & &= 0,0873 \text{ rad} \end{aligned}$$

- Presentase gaya penarikan dianglur, p

$$p = \frac{F}{n_s \times F_{pu}} = \frac{70076,160}{420 \times 208,56} = 80,00\% \leq 80\% \text{ (Memenuhi)}$$

- Gaya penarikan diangkur, F_j

$$\begin{aligned} F_j &= p \times n_s \times F_{pu} \\ &= 80,00\% \times 420 \times 208,560 \end{aligned}$$

$$= 70076,160 \text{ kN}$$

Akibat kendala teknis dilapangan, direncanakan terjadi kehilangan 3% dari gaya penarikan diangkur

$$\begin{aligned} F_o &= 97\% \times F_j \\ &= 97\% \times 70076,160 \\ &= 67973,875 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Jadi besar gaya kehilangan 3% penarikan angkur, P_{pj}

$$\begin{aligned} P_{pj} &= F_j - F_o \\ &= 70076,160 - 67973,875 \\ &= 2102,285 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Nilai $K.Lx+\mu.\alpha$

$$\begin{aligned} K.Lx+\mu.\alpha &= (0,0020 \times 25,0) + (0,20 \times 0,0873) \\ &= 0,0675 \end{aligned}$$

Dikarenakan nilai $K.Lx+\mu.\alpha < 0,3$, maka digunakan rumus F_x sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F_x &= P_{pj} \times e^{-(K.Lx+\mu.\alpha)} \\ &= 2102,285 \times \frac{1}{2,7183^{0,0675}} \\ &= 1965,155 \text{ kN} \end{aligned}$$

3.) Akibat Pengangkuran (F_s)

$$F_s = 2.Es.\frac{d}{x}$$

Bila diketahui :

$$E_s = \text{Modulus elastisitas baja prategang} = 195000,0 \text{ MPa}$$

$$Z = \text{Tinggi tendon pada penampang ujung} = 1869,000 \text{ mm}$$

$$L = \text{Panjang jembatan} = 50000,0 \text{ mm}$$

$$d = \text{Penyetelan angkur (anchorage set)} = 7,0 \text{ mm}$$

diperkirakan 2 mm - 7 mm

- Pada perencanaan ini menggunakan profil tendon trapesoidal / bentuk lain,

berdasarkan Naaman, 1982 maka digunakan rumus X sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 x &= \sqrt{\frac{E_s \times d}{\left(\frac{Z}{L}\right)}} \\
 &= \sqrt{\frac{195000,0 \times 7,0}{\left(\frac{1869,00}{50000,00} \right)}} \\
 &= 6042,918 \text{ mm} = 6,04292 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sehingga gaya kehilangan prategang akibat pengungkuran :

$$\begin{aligned}
 F_s &= 2 E_s \times \frac{d}{x} \\
 &= 2 \times 195000,0 \times \frac{7,0}{6042,918} \\
 &= 451,769 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

b. Kehilangan gaya prategang secara jangka panjang (Tahap 2)

1.) Akibat Rangkak Beton (*Creep of Concrete*)

$$CR = K_{cr} \cdot \frac{E_s}{E_c} \cdot (f_{cir} - f_{cds})$$

Bila diketahui :

K _{cr}	= Koefisien rangkak	= 1,6
E _s	= Modulus elastisitas baja prategang	= 195000,0 MPa
E _c	= Modulus elastisitas beton prategang	= 37568,828 MPa
f _{cir}		= 21,564 N/mm ²
e	= eksentrisitas pada bentang tengah	= 1,053 m
MG	= Momen Max akibat beban mati	= 79350,759 kNm
I _x	= Inersia penampang tengah	= 4,026 m ⁴
A _t	= Luas tendon rencana	= 764,400 cm ²

• Tegangan beton pada pusat berat tendon akibat beban mati/MG, f_{cds}

$$\begin{aligned}
 f_{cds} &= \frac{MG \times e}{I_x} \\
 &= \frac{79350,759 \times 1,053}{4,026}
 \end{aligned}$$

$$= 20749,313 \text{ kN/m}^2$$

$$= 20,749 \text{ MPa}$$

- Kehilangan gaya prategang akibat rangkai beton, F_{CR}

$$CR = 1,6 \frac{195000,0}{37568,8} (21,564 - 20,749)$$

$$= 6,762 \text{ MPa} = 0,676 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{CR} = CR \times A_t$$

$$= 0,676 \times 764,400$$

$$= 516,864 \text{ kN}$$

2.) Akibat Susut Beton (*Shrinkage of Concrete*)

$$SH = \varepsilon_{es} \cdot K_{sh} \cdot E_s$$

Bila diketahui :

$$RH = \text{Kelembapan relatif} = 60\%$$

$$K_{sh} = \text{Koef. Susut (umur 30 hari)} = 0,58$$

$$E_s = \text{Modulus elastisitas baja prategang} = 195000,0 \text{ MPa}$$

$$V = \text{Volume total (A x L)} = 281,940 \text{ m}^3$$

$$S = \text{Luas permukaan jembatan (L x b)} = 450,000 \text{ m}^2$$

$$A_t = \text{Luas tendon rencana} = 764,400 \text{ cm}^2$$

$$\varepsilon_{es} = 8,2 \times 10^{-6} \left(1 - 0,06 \frac{V}{S} \right) (100 - RH)$$

$$\varepsilon_{sh} = 8,2 \times 10^{-6} \left(1 - 0,06 \frac{281,94}{450} \right) (100 - 60)$$

$$= 0,000316$$

- Kehilangan gaya prategang akibat susut beton, F_{SH}

$$SH = 0,000316 \times 0,58 \times 195000$$

$$= 35,702 \text{ N/mm}^2 = 3,570 \text{ kN/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
F_{SH} &= SH \times A_t \\
&= 3,570 \times 764,400 \\
&= 2729,080 \text{ kN}
\end{aligned}$$

3.) Akibat Relaksasi Baja (Tendon)

$$RE = (K_{re} - J(SH + CR + ES)) \times C$$

Bila diketahui :

$$\begin{aligned}
K_{re} &= \text{Koef. relaksasi} &= 35,0 \text{ MPa} &= 3,5 \text{ kN/cm}^2 \\
J &= \text{Faktor umur} &= &= 0,04 \\
C &= \text{Faktor relaksasi berdasarkan} &= &= 75\% \\
&&&&\text{jenis baja prategang (} f_{pi}/f_{pu} = 0,7 \text{)} \\
A_t &= \text{Luas tendon rencana} &= &= 764,400 \text{ cm}^2 \\
f_{pu} &= \text{Tegangan putus min. tendon} &= &= 1145,934 \text{ MPa} \\
&&&&= 114,593 \text{ kN/cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
f_{pi} &= \text{Teg. Tendon (segera setelah pegangkuran)} \\
&= 0,70 \times f_{pu} \\
&= 0,70 \times 114,593 \\
&= 80,215 \text{ kN/cm}^2
\end{aligned}$$

$$\frac{f_{pi}}{f_{pu}} = \frac{80,215}{114,593} = 0,70$$

• Kehilangan gaya prategang akibat susut beton, F_{RE}

$$\begin{aligned}
RE &= (K_{re} - J(SH + CR + ES)) \times C \\
&= (3,5 - 0,04 (3,570 + 0,676 + 5,596)) \times 0,75 \\
&= 2,367 \text{ kN/cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{RE} &= RE \times A_t \\
&= 2,367 \times 764,400 \\
&= 1809,053 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Dari perhitungan kehilangan prategang diatas pada beberapa tahap, didapatkan

persentase kehilangan gaya prategangan total sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\text{Tahap 1} &= F_{ES} + F_X + F_S \\ &= 4277,766 \text{ kN} + 1965,15 \text{ kN} + 451,769 \text{ kN} \\ &= 6694,690 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Tahap 2} &= F_{CR} + F_{SH} + F_{RE} \\ &= 516,864 \text{ kN} + 2729,080 \text{ kN} + 1809,053 \text{ kN} \\ &= 5054,997 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{TL} &= \text{Tahap 1} + \text{Tahap 2} \\ &= 6694,690 + 5054,997 \\ &= 11749,686 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ TL} &= \frac{\text{TL}}{\text{Po rencana}} \times 100 \\ &= \frac{11749,686}{87595,200} \times 100 \\ &= 13,414\% < 20,0\% \quad \textbf{(Memenuhi)}\end{aligned}$$

Sehingga didapat total kehilangan prategangan sebesar 13,4136187501222 %

4.6.2 Tegangan pada Box Girder

4.6.2.1 Kontrol Tegangan pada Tendon

Kontrol tegangan pada penampang box girder dilakukan pada beberapa kondisi seperti berikut :

1. Kondisi Awal sebelum Kehilangan Gaya Prategang

Berdasarkan SNI 03-7833-2012 pasal 6.4.1, tegangan beton yang terjadi tidak boleh melampaui nilai dari tegangan ijin yang telah dihitung pada tabel 4.16 tentang Tegangan Ijin Beton pada Keadaan Awal dimana ;

- a.) Tegangan ijin kondisi daerah tekan = 23,45 MPa
- b.) Tegangan ijin kondisi daerah tarik = 1,56 MPa

$$f_{ab} < f_{ijin}$$

$$-\frac{F_o}{A} \pm \frac{F_o.e.y}{I_g} \pm \frac{MG.y}{I_g} < f_{ijin}$$

- Perhitungan tegangan beton pada jarak 25 m (segmen standar).

Bila diketahui :

F_o	= Gaya prategang awal rencana, Po ada	= 87595200,000 N
A	= Luas penampang yang ditinjau	= 5329333,6 mm ²
I_g	= Momen inersia penampang yang ditinjau	= 4025801829232,6 mm ⁴
Y_a	= Jarak penampang terhadap serat atas	= 1333,976 mm
Y_b	= Jarak penampang terhadap serat bawah	= 1066,024 mm
MG	= Momen akibat beban mati	= 79350759124 Nmm
e	= Eksentrisitas pada titik yang ditinjau	= 1052,701 mm

maka kontrol tegangan beton pada serat atas (f_a) kondisi daerah tarik :

$$f_a < f_{ijin}$$

$$-\frac{F_o}{A} \pm \frac{F_o.e.y}{I_g} \pm \frac{MG.y}{I_g} < f_{ijin}$$

$$-\frac{87595200}{5329334} + \frac{87595200 \times 1052,70 \times 1333,98}{4025801829233} - \frac{79350759124 \times 1333,98}{4025801829233}$$

$$- 16,436 + 30,555 - 26,293 < 1,563$$

$$-12,175 < 1,563 \quad \text{(Memenuhi)}$$

maka kontrol tegangan beton pada serat bawah (f_b) kondisi daerah tekan :

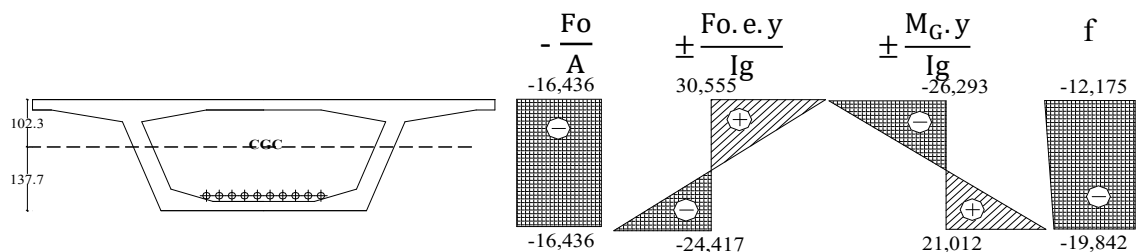
$$f_b < f_{ijin}$$

$$-\frac{F_o}{A} \pm \frac{F_o.e.y}{I_g} \pm \frac{M_G.y}{I_g} < f_{ijin}$$

$$-\frac{87595200}{5329334} + \frac{87595200 \times 1052,70 \times 1066,02}{4025801829233} + \frac{79350759124 \times 1066,02}{4025801829233}$$

$$-16,436 - 24,417 + 21,012 < 23,450$$

$$-19,842 < 23,450 \quad \text{(Memenuhi)}$$



Gambar 4.30 Tegangan Kondisi Awal pada Jarak 25 m

(Sumber : Hasil Perencanaan)

2. Kondisi Setelah Kehilangan Gaya Prategang

Berdasarkan SNI 03-7833-2012 pasal 6.4.1, tegangan beton yang terjadi tidak boleh melampaui nilai dari tegangan ijin yang telah dihitung pada tabel 4.16 tentang Tegangan Ijin Beton pada Keadaan Awal dimana ;

- Tegangan ijin kondisi daerah tekan = 23,45 MPa
- Tegangan ijin kondisi daerah tarik = 1,56 MPa

$$f_{a b} < f_{ijin}$$

$$-\frac{F_o}{A} \pm \frac{F_o.e.y}{I_g} \pm \frac{M_G.y}{I_g} < f_{ijin}$$

- Perhitungan tegangan beton pada jarak 25 m (segmen standar).

Bila diketahui :

$$F = \text{Gaya prategang efektif}$$

$$= F_o \times (100\% - 13,414\%)$$

$$= 75845513,829 \text{ N}$$

A	= Luas penampang yang ditinjau	= 5329333,6 mm ²
I _g	= Momen inersia penampang yang ditinjau	= 4025801829232,6 mm ⁴
Y _a	= Jarak penampang terhadap serat atas	= 1333,976 mm
Y _b	= Jarak penampang terhadap serat bawah	= 1066,024 mm
MG	= Momen akibat beban mati	= 79350759124 Nmm
e	= Eksentrisitas pada titik yang ditinjau	= 1052,701 mm

maka kontrol tegangan beton pada serat atas (f_a) kondisi daerah tarik :

$$f_a < f_{ijin}$$

$$-\frac{F_o}{A} \pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g} \pm \frac{M_G \cdot y}{I_g} < f_{ijin}$$

$$-\frac{75845514}{5329334} - \frac{75845514 \times 1052,70 \times 1333,98}{4025801829233} - \frac{79350759124 \times 1333,98}{4025801829233}$$

$$- 14,232 + 26,456 - 26,293 < 1,563$$

$$-14,069 < 1,563 \quad \text{(Memenuhi)}$$

maka kontrol tegangan beton pada serat bawah (f_b) kondisi daerah tekan :

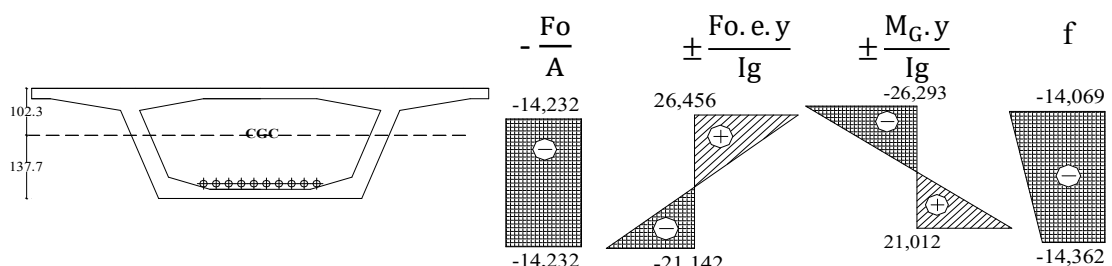
$$f_b < f_{ijin}$$

$$-\frac{F_o}{A} \pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g} \pm \frac{M_G \cdot y}{I_g} < f_{ijin}$$

$$-\frac{75845514}{5329334} - \frac{75845514 \times 1052,70 \times 1066,02}{4025801829233} - \frac{79350759124 \times 1066,02}{4025801829233}$$

$$- 14,232 - 21,142 + 21,012 < 23,450$$

$$-14,362 < 23,450 \quad \text{(Memenuhi)}$$



Gambar 4.31 Tegangan Setelah Kehilangan Gaya Prategang pada Jarak 25 m

(Sumber : Hasil Perencanaan)

3. Kondisi Akhir Setelah Setelah Semua Beban Bekerja

Berdasarkan SNI 03-7833-2012 pasal 6.4.1, tegangan beton yang terjadi tidak boleh melampaui nilai dari tegangan ijin yang telah dihitung pada tabel 4.17 tentang Tegangan Ijin Beton pada Keadaan Awal dimana ;

- a.) Tegangan ijin kondisi daerah tekan = 17,59 MPa
- b.) Tegangan ijin kondisi daerah tarik = 3,13 MPa

$$f_{ab} < f_{ijin}$$

$$-\frac{F_o}{A} \pm \frac{F_o.e.y}{I_g} \pm \frac{MG.y}{I_g} < f_{ijin}$$

- Perhitungan tegangan beton pada jarak 25 m (segmen standar).

Bila diketahui :

F	= Gaya prategang efektif	
	= $F_o \times (100\% - 13,414\%)$	
	= 75845513,829 N	
A	= Luas penampang yang ditinjau	= 5329333,6 mm ²
I _g	= Momen inersia penampang yang ditinjau	= 4025801829232,6 mm ⁴
Y _a	= Jarak penampang terhadap serat atas	= 1333,976 mm
Y _b	= Jarak penampang terhadap serat bawah	= 1066,024 mm
MT	= Momen akibat semua beban bekerja	= 106526329966 Nmm
e	= Eksentrisitas pada titik yang ditinjau	= 1052,701 mm

maka kontrol tegangan beton pada serat atas (f_a) kondisi daerah tekan :

$$f_a < f_{ijin}$$

$$-\frac{F_o}{A} \pm \frac{F_o.e.y}{I_g} \pm \frac{MG.y}{I_g} < f_{ijin}$$

$$-\frac{75845514}{5329334} + \frac{75845514 \times 1052,70 \times 1333,98}{4025801829233} - \frac{106526329966 \times 1333,98}{4025801829233}$$

$$- 14,232 + 26,456 - 35,298 < 3,126$$

$$-23,074 < 3,126 \quad \text{(Memenuhi)}$$

maka kontrol tegangan beton pada serat bawah (fb) kondisi daerah tarik :

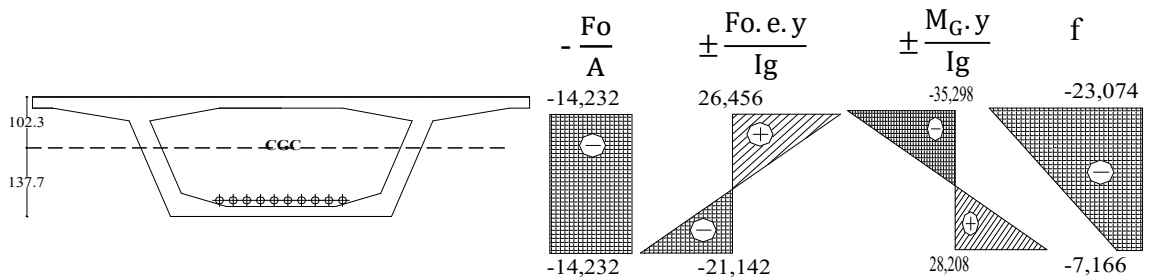
$$f_b < f_{ijin}$$

$$-\frac{F_o}{A} \pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g} \pm \frac{M_G \cdot y}{I_g} < f_{ijin}$$

$$-\frac{75845514}{5329334} - \frac{75845514 \times 1052,70 \times 1066,02}{4025801829233} + \frac{106526329966 \times 1066,02}{4025801829233}$$

$$- 14,232 - 21,142 + 28,208 < 17,587$$

$$-7,17 < 17,587 \quad \text{(Memenuhi)}$$



Gambar 4.32 Tegangan Kondisi Akhir pada Jarak 25 m

(Sumber : Hasil Perencanaan)

4. Kondisi Pengangkatan

Berdasarkan SNI 03-7833-2012 pasal 6.4.1, tegangan beton yang terjadi tidak boleh melampaui nilai dari tegangan ijin yang telah dihitung pada tabel 4.17 tentang Tegangan Ijin Beton pada Keadaan Awal dimana ;

- Tegangan ijin kondisi daerah tekan = 17,59 MPa
- Tegangan ijin kondisi daerah tarik = 3,13 MPa

$$f_{a b} < f_{ijin}$$

$$-\frac{F_o}{A} \pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g} \pm \frac{M_G \cdot y}{I_g} < f_{ijin}$$

- Perhitungan tegangan beton pada jarak 25 m (segmen standar).

Bila diketahui :

$$F = \text{Gaya prategang efektif}$$

$$= F_o \times (100\% - 13,414\%)$$

$$= 75845513,829 \text{ N}$$

A	= Luas penampang yang ditinjau	= 5329333,6 mm ²
Ig	= Momen inersia penampang yang ditinjau	= 4025801829232,6 mm ⁴
Ya	= Jarak penampang terhadap serat atas	= 1333,976 mm
Yb	= Jarak penampang terhadap serat bawah	= 1066,024 mm
Mo	= Momen akibat beban sendiri penampang	= 72604264124 Nmm
e	= Eksentrisitas pada titik yang ditinjau	= 1052,701 mm

maka kontrol tegangan beton pada serat atas (fa) kondisi daerah tekan :

$$f_a < f_{ijin}$$

$$-\frac{F_o}{A} \pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g} \pm \frac{M_G \cdot y}{I_g} < f_{ijin}$$

$$-\frac{75845514}{5329334} + \frac{75845514 \times 1052,70 \times 1333,98}{4025801829233} - \frac{72604264124 \times 1333,98}{4025801829233}$$

$$- 14,232 + 26,456 - 24,058 < 3,126$$

$$-11,833 < 3,126 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

maka kontrol tegangan beton pada serat bawah (fb) kondisi daerah tarik :

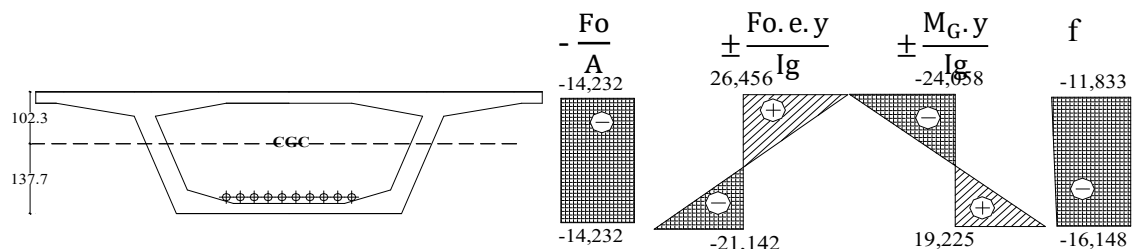
$$f_b < f_{ijin}$$

$$-\frac{F_o}{A} \pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g} \pm \frac{M_G \cdot y}{I_g} < f_{ijin}$$

$$-\frac{75845514}{5329334} - \frac{75845514 \times 1052,70 \times 1066,02}{4025801829233} + \frac{72604264124 \times 1066,02}{4025801829233}$$

$$- 14,232 - 21,142 + 19,225 < 17,587$$

$$-16,148 < 17,587 \quad \textbf{(Memenuhi)}$$



Gambar 4.33 Tegangan Kondisi Pengangkatan pada Jarak 25 m

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Tabel 4.27 Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Awal

Titik	Jarak (m)	Serat	MG (Nmm)	e (mm)	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)	f ijin	Kontrol	Jenis Tegangan
A	0	a	0,000	-0,50	-7,462	-0,014	0,000	-7,48	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-7,462	0,012	0,000	-7,45	23,450	(Memenuhi)	Tekan
B	1	a	5751181035,045	54,07	-7,462	1,569	-1,906	-7,80	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-7,462	-1,254	1,523	-7,19	23,450	(Memenuhi)	Tekan
C	2	a	11167776479,590	108,63	-16,436	3,153	-3,701	-16,98	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-2,520	2,957	-16,00	23,450	(Memenuhi)	Tekan
D	3	a	16249786333,634	163,20	-16,436	4,737	-5,384	-17,08	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-3,785	4,303	-15,92	23,450	(Memenuhi)	Tekan
E	4	a	21798193801,319	217,77	-16,436	6,321	-7,223	-17,34	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-5,051	5,772	-15,72	23,450	(Memenuhi)	Tekan
F	5	a	25677652112,715	272,33	-16,436	7,905	-8,508	-17,04	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-6,317	6,799	-15,95	23,450	(Memenuhi)	Tekan
G	6	a	30116260104,229	326,90	-16,436	9,488	-9,979	-16,93	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-7,582	7,975	-16,04	23,450	(Memenuhi)	Tekan

Tabel 4.27 Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Awal

Titik	Jarak (m)	Serat	MG (Nmm)	e (mm)	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)	f ijin	Kontrol	Jenis Tegangan
H	7	a	34371734147,667	381,47	-16,436	11,072	-11,389	-16,75	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-8,848	9,102	-16,18	23,450	(Memenuhi)	Tekan
I	8	a	38444074243,029	436,03	-16,436	12,656	-12,739	-16,52	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-10,114	10,180	-16,37	23,450	(Memenuhi)	Tekan
J	9	a	42333272890,315	490,60	-16,436	14,240	-14,027	-16,22	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-11,380	11,210	-16,61	23,450	(Memenuhi)	Tekan
K	10	a	46039352589,525	545,17	-16,436	15,824	-15,255	-15,87	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-12,645	12,191	-16,89	23,450	(Memenuhi)	Tekan
L	11	a	49562290840,658	599,73	-16,436	17,407	-16,423	-15,45	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-13,911	13,124	-17,22	23,450	(Memenuhi)	Tekan
M	12	a	52902095143,716	654,30	-16,436	18,991	-17,529	-14,97	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-15,177	14,008	-17,60	23,450	(Memenuhi)	Tekan
N	13	a	56058765498,698	708,87	-16,436	20,575	-18,575	-14,44	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-16,442	14,844	-18,03	23,450	(Memenuhi)	Tekan

Tabel 4.27 Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Awal

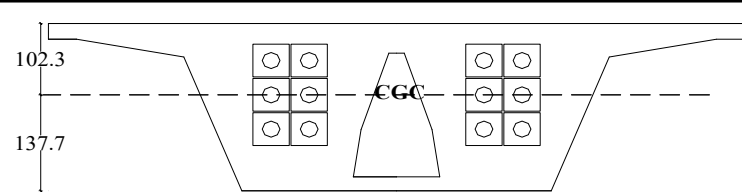
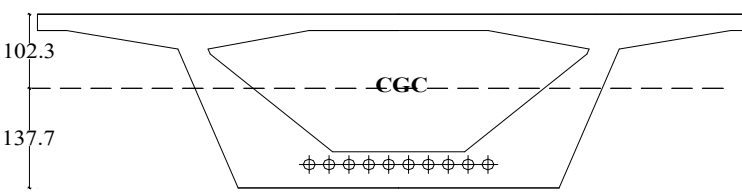
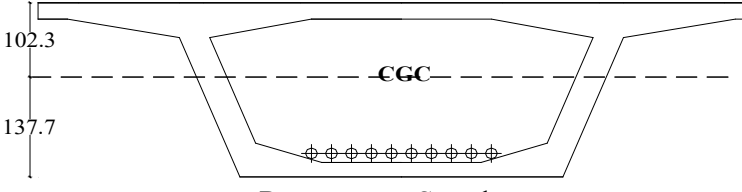
Titik	Jarak (m)	Serat	MG (Nmm)	e (mm)	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)	f ijin	Kontrol	Jenis Tegangan
O	14	a	59032301905,604	763,43	-16,436	22,159	-19,561	-13,84	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-17,708	15,632	-18,51	23,450	(Memenuhi)	Tekan
P	15	a	61822704364,434	818,00	-16,436	23,743	-20,485	-13,18	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-18,974	16,371	-19,04	23,450	(Memenuhi)	Tekan
Q	16	a	64429945375,188	872,57	-16,436	25,326	-21,349	-12,46	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-20,239	17,061	-19,61	23,450	(Memenuhi)	Tekan
R	17	a	66853979937,866	927,13	-9,855	26,910	-22,153	-5,10	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-9,855	-21,505	17,703	-13,66	23,450	(Memenuhi)	Tekan
S	18	a	69094880552,467	981,70	-9,855	28,494	-22,895	-4,26	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-9,855	-22,771	18,296	-14,33	23,450	(Memenuhi)	Tekan
T	19	a	71197497109,759	1052,70	-16,436	30,555	-23,592	-9,47	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-24,417	18,853	-22,00	23,450	(Memenuhi)	Tekan
U	20	a	72981372933,233	1052,70	-16,436	30,555	-24,183	-10,06	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-24,417	19,325	-21,53	23,450	(Memenuhi)	Tekan

Tabel 4.27 Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Awal

Titik	Jarak (m)	Serat	MG (Nmm)	e (mm)	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)	f ijin	Kontrol	Jenis Tegangan
V	21	a	74621518067,619	1052,70	-16,436	30,555	-24,726	-10,61	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-24,417	19,760	-21,09	23,450	(Memenuhi)	Tekan
W	22	a	76078529253,928	1052,70	-16,436	30,555	-25,209	-11,09	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-24,417	20,145	-20,71	23,450	(Memenuhi)	Tekan
X	23	a	77352406492,162	1052,70	-16,436	30,555	-25,631	-11,51	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-24,417	20,483	-20,37	23,450	(Memenuhi)	Tekan
Y	24	a	78443149782,319	1052,70	-16,436	30,555	-25,993	-11,87	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-24,417	20,772	-20,08	23,450	(Memenuhi)	Tekan
Z	25	a	79350759124,400	1052,70	-16,436	30,555	-26,293	-12,17	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-16,436	-24,417	21,012	-19,84	23,450	(Memenuhi)	Tekan

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4.28 Gambar Tegangan Beton pada Kondisi Awal

Titik	Jarak (m)	Potongan Gambar Penampang	$-\frac{F_0}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_0 \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)
A	0	 <p>Penampang Tumpuan</p>	-7,462	-0,014	0,000	-7,476
S	18	 <p>Penampang Deviator</p>	-9,855	29,986	-22,895	-2,764
Z	25	 <p>Penampang Standar</p>	-16,436	30,555	-26,293	-12,175

Tabel 4.29 Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Setelah Kehilangan Gaya Prategang

Titik	Jarak (m)	Serat	MG (Nmm)	e (mm)	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)	f ijin	Kontrol	Jenis Tegangan
A	0	a	0,000	-0,50	-6,461	-0,013	0,000	-6,473	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-6,461	0,010	0,000	-6,451	23,450	(Memenuhi)	Tekan
B	1	a	5751181035,045	54,07	-6,461	1,359	-1,906	-7,008	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-6,461	-1,086	1,523	-6,024	23,450	(Memenuhi)	Tekan
C	2	a	11167776479,590	108,63	-14,232	2,730	-3,701	-15,202	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-2,182	2,957	-13,456	23,450	(Memenuhi)	Tekan
D	3	a	16249786333,634	163,20	-14,232	4,102	-5,384	-15,515	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-3,278	4,303	-13,206	23,450	(Memenuhi)	Tekan
E	4	a	21798193801,319	217,77	-14,232	5,473	-7,223	-15,982	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-4,374	5,772	-12,833	23,450	(Memenuhi)	Tekan
F	5	a	25677652112,715	272,33	-14,232	6,844	-8,508	-15,896	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-5,469	6,799	-12,902	23,450	(Memenuhi)	Tekan
G	6	a	30116260104,229	326,90	-14,232	8,216	-9,979	-15,995	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-6,565	7,975	-12,822	23,450	(Memenuhi)	Tekan

Tabel 4.29 Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Setelah Kehilangan Gaya Prategang

Titik	Jarak (m)	Serat	MG (Nmm)	e (mm)	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)	f ijin	Kontrol	Jenis Tegangan
H	7	a	34371734147,667	381,47	-14,232	9,587	-11,389	-16,034	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-7,661	9,102	-12,791	23,450	(Memenuhi)	Tekan
I	8	a	38444074243,029	436,03	-14,232	10,958	-12,739	-16,012	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-8,757	10,180	-12,809	23,450	(Memenuhi)	Tekan
J	9	a	42333272890,315	490,60	-14,232	12,330	-14,027	-15,929	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-9,853	11,210	-12,875	23,450	(Memenuhi)	Tekan
K	10	a	46039352589,525	545,17	-14,232	13,701	-15,255	-15,786	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-10,949	12,191	-12,990	23,450	(Memenuhi)	Tekan
L	11	a	49562290840,658	599,73	-14,232	15,072	-16,423	-15,582	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-12,045	13,124	-13,153	23,450	(Memenuhi)	Tekan
M	12	a	52902095143,716	654,30	-14,232	16,444	-17,529	-15,317	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-13,141	14,008	-13,364	23,450	(Memenuhi)	Tekan
N	13	a	56058765498,698	708,87	-14,232	17,815	-18,575	-14,992	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-14,237	14,844	-13,624	23,450	(Memenuhi)	Tekan

Tabel 4.29 Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Setelah Kehilangan Gaya Prategang

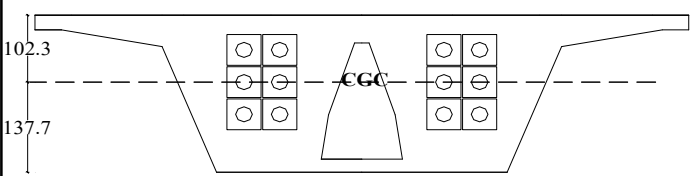
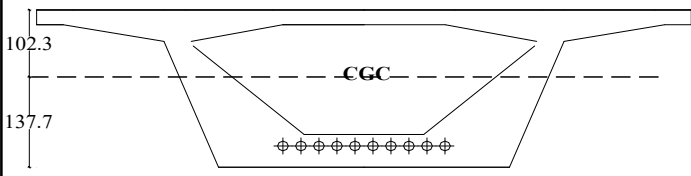
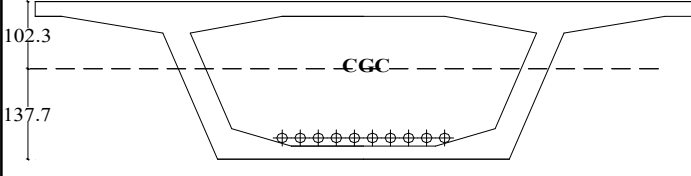
Titik	Jarak (m)	Serat	MG (Nmm)	e (mm)	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)	f ijin	Kontrol	Jenis Tegangan
O	14	a	59032301905,604	763,43	-14,232	19,187	-19,561	-14,606	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-15,333	15,632	-13,933	23,450	(Memenuhi)	Tekan
P	15	a	61822704364,434	818,00	-14,232	20,558	-20,485	-14,159	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-16,429	16,371	-14,290	23,450	(Memenuhi)	Tekan
Q	16	a	64429945375,188	872,57	-14,232	21,929	-21,349	-13,652	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-17,524	17,061	-14,695	23,450	(Memenuhi)	Tekan
R	17	a	66853979937,866	927,13	-8,533	23,301	-22,153	-7,385	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-8,533	-18,620	17,703	-9,450	23,450	(Memenuhi)	Tekan
S	18	a	69094880552,467	981,70	-8,533	24,672	-22,895	-6,756	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-8,533	-19,716	18,296	-9,953	23,450	(Memenuhi)	Tekan
T	19	a	71197497109,759	1052,70	-14,232	26,456	-23,592	-11,367	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	18,853	-16,521	23,450	(Memenuhi)	Tekan
U	20	a	72981372933,233	1052,70	-14,232	26,456	-24,183	-11,958	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	19,325	-16,049	23,450	(Memenuhi)	Tekan

Tabel 4.29 Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Setelah Kehilangan Gaya Prategang

Titik	Jarak (m)	Serat	MG (Nmm)	e (mm)	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)	f ijin	Kontrol	Jenis Tegangan
V	21	a	74621518067,619	1052,70	-14,232	26,456	-24,726	-12,502	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	19,760	-15,614	23,450	(Memenuhi)	Tekan
W	22	a	76078529253,928	1052,70	-14,232	26,456	-25,209	-12,984	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	20,145	-15,228	23,450	(Memenuhi)	Tekan
X	23	a	77352406492,162	1052,70	-14,232	26,456	-25,631	-13,407	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	20,483	-14,891	23,450	(Memenuhi)	Tekan
Y	24	a	78443149782,319	1052,70	-14,232	26,456	-25,993	-13,768	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	20,772	-14,602	23,450	(Memenuhi)	Tekan
Z	25	a	79350759124,400	1052,70	-14,232	26,456	-26,293	-14,069	23,450	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	21,012	-14,362	23,450	(Memenuhi)	Tekan

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4.30 Gambar Tegangan Beton pada Kondisi Setelah Kehilangan Gaya Prategang

Titik	Jarak (m)	Potongan Gambar Penampang	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)
A	0	 <p>Penampang Tumpuan</p>	-6,461	-0,013	0,000	-6,473
S	18	 <p>Penampang Deviator</p>	-8,533	25,964	-22,895	-5,464
Z	25	 <p>Penampang Standar</p>	-14,232	26,456	-26,293	-14,069

Tabel 4.31 Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Akhir

Titik	Jarak (m)	Serat	MT (Nmm)	e (mm)	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)	f ijin	Kontrol	Jenis Tegangan
A	0	a	1153441506,142	-0,499	-6,461	-0,013	-0,382	-6,856	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-6,461	0,010	0,305	-6,145	17,587	(Memenuhi)	Tekan
B	1	a	8944757481,107	54,068	-6,461	1,359	-2,964	-8,066	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-6,461	-1,086	2,369	-5,178	17,587	(Memenuhi)	Tekan
C	2	a	16318217051,697	108,634	-14,232	2,730	-5,407	-16,909	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-2,182	4,321	-12,092	17,587	(Memenuhi)	Tekan
D	3	a	23273820217,914	163,201	-14,232	4,102	-7,712	-17,842	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-3,278	6,163	-11,347	17,587	(Memenuhi)	Tekan
E	4	a	30612550183,896	217,768	-14,232	5,473	-10,144	-18,902	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-4,374	8,106	-10,499	17,587	(Memenuhi)	Tekan
F	5	a	36199060179,715	272,334	-14,232	6,844	-11,995	-19,382	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-5,469	9,585	-10,116	17,587	(Memenuhi)	Tekan
G	6	a	42261449041,777	326,901	-14,232	8,216	-14,004	-20,020	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-6,565	11,191	-9,606	17,587	(Memenuhi)	Tekan

Tabel 4.31 Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Akhir

Titik	Jarak (m)	Serat	MT (Nmm)	e (mm)	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)	f ijin	Kontrol	Jenis Tegangan
H	7	a	48057433141,889	381,468	-14,232	9,587	-15,924	-20,569	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-7,661	12,726	-9,167	17,587	(Memenuhi)	Tekan
I	8	a	53587012480,051	436,034	-14,232	10,958	-17,756	-21,030	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-8,757	14,190	-8,799	17,587	(Memenuhi)	Tekan
J	9	a	58850179556,263	490,601	-14,232	12,330	-19,500	-21,402	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-9,853	15,583	-8,501	17,587	(Memenuhi)	Tekan
K	10	a	63846956870,524	545,168	-14,232	13,701	-21,156	-21,687	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-10,949	16,907	-8,274	17,587	(Memenuhi)	Tekan
L	11	a	68577321922,835	599,734	-14,232	15,072	-22,724	-21,883	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-12,045	18,159	-8,117	17,587	(Memenuhi)	Tekan
M	12	a	73041282213,196	654,301	-14,232	16,444	-24,203	-21,991	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-13,141	19,341	-8,031	17,587	(Memenuhi)	Tekan
N	13	a	77238837741,607	708,868	-14,232	17,815	-25,594	-22,010	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-14,237	20,453	-8,016	17,587	(Memenuhi)	Tekan

Tabel 4.31 Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Akhir

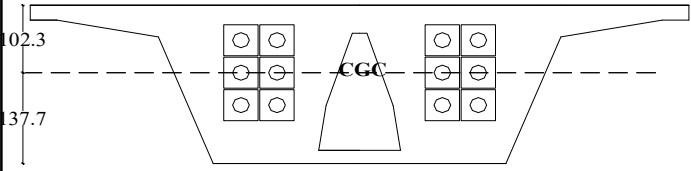
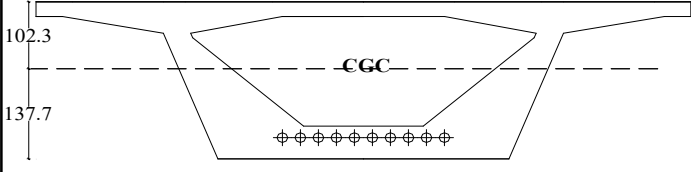
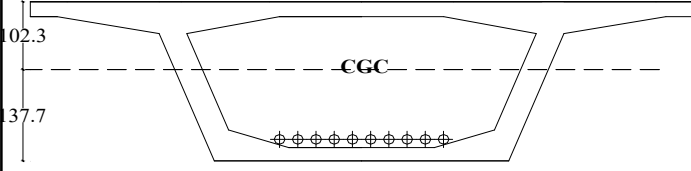
Titik	Jarak (m)	Serat	MT (Nmm)	e (mm)	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)	f ijin	Kontrol	Jenis Tegangan
O	14	a	81169988508,067	763,434	-14,232	19,187	-26,896	-21,941	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-15,333	21,494	-8,071	17,587	(Memenuhi)	Tekan
P	15	a	84834734512,577	818,001	-14,232	20,558	-28,111	-21,784	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-16,429	22,464	-8,196	17,587	(Memenuhi)	Tekan
Q	16	a	88233048255,136	872,568	-14,232	21,929	-29,237	-21,539	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-17,524	23,364	-8,392	17,587	(Memenuhi)	Tekan
R	17	a	91364884735,745	927,134	-8,533	23,301	-30,274	-15,506	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-8,533	-18,620	24,193	-2,960	17,587	(Memenuhi)	Tekan
S	18	a	94230316454,404	981,70	-8,533	24,672	-31,224	-15,084	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-8,533	-19,716	24,952	-3,297	17,587	(Memenuhi)	Tekan
T	19	a	96874193301,879	1052,70	-14,232	26,456	-32,100	-19,875	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	25,652	-9,722	17,587	(Memenuhi)	Tekan
U	20	a	99116058601,662	1052,70	-14,232	26,456	-32,843	-20,618	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	26,246	-9,128	17,587	(Memenuhi)	Tekan

Tabel 4.31 Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Akhir

Titik	Jarak (m)	Serat	MT (Nmm)	e (mm)	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)	f ijin	Kontrol	Jenis Tegangan
V	21	a	101130922398,482	1052,70	-14,232	26,456	-33,510	-21,286	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	26,779	-8,595	17,587	(Memenuhi)	Tekan
W	22	a	102879381433,351	1052,70	-14,232	26,456	-34,090	-21,865	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	27,242	-8,132	17,587	(Memenuhi)	Tekan
X	23	a	104361435706,270	1052,70	-14,232	26,456	-34,581	-22,356	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	27,635	-7,739	17,587	(Memenuhi)	Tekan
Y	24	a	105577085217,239	1052,70	-14,232	26,456	-34,984	-22,759	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	27,957	-7,417	17,587	(Memenuhi)	Tekan
Z	25	a	106526329966,258	1052,70	-14,232	26,456	-35,298	-23,074	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	28,208	-7,166	17,587	(Memenuhi)	Tekan

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4.32 Gambar Tegangan Beton pada Kondisi Akhir

Titik	Jarak (m)	Potongan Gambar Penampang	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)
A	0	 <p>Penampang Tumpuan</p>	-6,461	-0,013	-0,382	-6,856
S	18	 <p>Penampang Deviator</p>	-8,533	25,964	-31,224	-13,793
Z	25	 <p>Penampang Standar</p>	-14,232	26,456	-35,298	-23,074

Tabel 4.33 Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Pengangkatan

Titik	Jarak (m)	Serat	Mo (Nmm)	e (mm)	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)	f ijin	Kontrol	Jenis Tegangan
A	0	a	0,000	-0,499	-6,461	-0,013	0,000	-6,473	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-6,461	0,010	0,000	-6,451	17,587	(Memenuhi)	Tekan
B	1	a	5222941035,045	54,068	-6,461	1,359	-1,731	-6,833	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-6,461	-1,086	1,383	-6,164	17,587	(Memenuhi)	Tekan
C	2	a	10132816479,590	108,634	-14,232	2,730	-3,358	-14,859	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-2,182	2,683	-13,730	17,587	(Memenuhi)	Tekan
D	3	a	14729626333,634	163,201	-14,232	4,102	-4,881	-15,011	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-3,278	3,900	-13,609	17,587	(Memenuhi)	Tekan
E	4	a	19814353801,319	217,768	-14,232	5,473	-6,566	-15,324	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-4,374	5,247	-13,358	17,587	(Memenuhi)	Tekan
F	5	a	23251694612,715	272,334	-14,232	6,844	-7,705	-15,092	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-5,469	6,157	-13,544	17,587	(Memenuhi)	Tekan
G	6	a	27269762604,229	326,901	-14,232	8,216	-9,036	-15,052	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-6,565	7,221	-13,576	17,587	(Memenuhi)	Tekan

Tabel 4.33 Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Pengangkatan

Titik	Jarak (m)	Serat	Mo (Nmm)	e (mm)	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)	f ijin	Kontrol	Jenis Tegangan
H	7	a	31126216647,667	381,468	-14,232	9,587	-10,314	-14,959	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-7,661	8,242	-13,651	17,587	(Memenuhi)	Tekan
I	8	a	34821056743,029	436,034	-14,232	10,958	-11,538	-14,812	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-8,757	9,221	-13,768	17,587	(Memenuhi)	Tekan
J	9	a	38354282890,315	490,601	-14,232	12,330	-12,709	-14,611	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-9,853	10,156	-13,929	17,587	(Memenuhi)	Tekan
K	10	a	41725895089,525	545,168	-14,232	13,701	-13,826	-14,357	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-10,949	11,049	-14,132	17,587	(Memenuhi)	Tekan
L	11	a	44935893340,658	599,734	-14,232	15,072	-14,890	-14,049	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-12,045	11,899	-14,378	17,587	(Memenuhi)	Tekan
M	12	a	47984277643,716	654,301	-14,232	16,444	-15,900	-13,688	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-13,141	12,706	-14,666	17,587	(Memenuhi)	Tekan
N	13	a	50871047998,698	708,868	-14,232	17,815	-16,856	-13,273	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-14,237	13,471	-14,998	17,587	(Memenuhi)	Tekan

Tabel 4.33 Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Pengangkatan

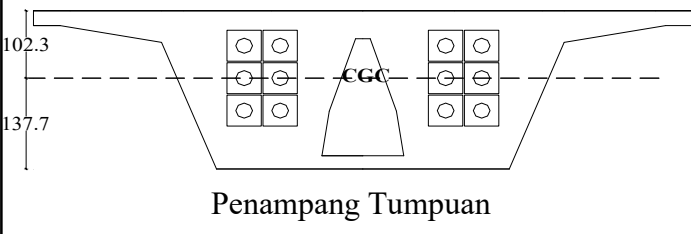
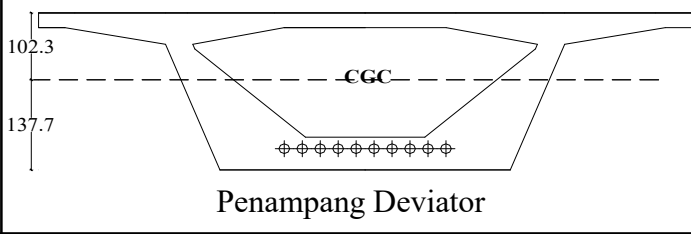
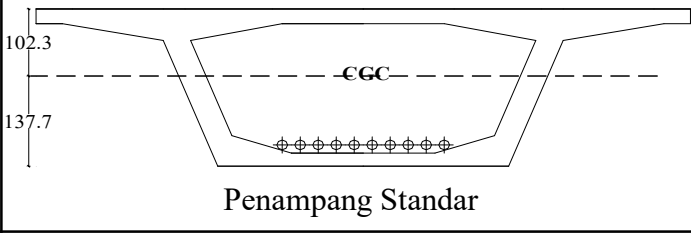
Titik	Jarak (m)	Serat	Mo (Nmm)	e (mm)	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)	f ijin	Kontrol	Jenis Tegangan
O	14	a	53596204405,604	763,434	-14,232	19,187	-17,759	-12,805	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-15,333	14,192	-15,372	17,587	(Memenuhi)	Tekan
P	15	a	56159746864,434	818,001	-14,232	20,558	-18,609	-12,283	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-16,429	14,871	-15,789	17,587	(Memenuhi)	Tekan
Q	16	a	58561675375,188	872,568	-14,232	21,929	-19,405	-11,707	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-17,524	15,507	-16,249	17,587	(Memenuhi)	Tekan
R	17	a	60801989937,866	927,134	-8,533	23,301	-20,147	-5,379	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-8,533	-18,620	16,100	-11,053	17,587	(Memenuhi)	Tekan
S	18	a	62880690552,467	981,70	-8,533	24,672	-20,836	-4,697	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-8,533	-19,716	16,651	-11,598	17,587	(Memenuhi)	Tekan
T	19	a	64842627109,759	1052,70	-14,232	26,456	-21,486	-9,261	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	17,170	-18,204	17,587	(Memenuhi)	Tekan
U	20	a	66507377933,233	1052,70	-14,232	26,456	-22,038	-9,813	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	17,611	-17,763	17,587	(Memenuhi)	Tekan

Tabel 4.33 Kontrol Tegangan Beton pada Kondisi Pengangkatan

Titik	Jarak (m)	Serat	Mo (Nmm)	e (mm)	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)	f ijin	Kontrol	Jenis Tegangan
V	21	a	68049983067,619	1052,70	-14,232	26,456	-22,549	-10,324	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	18,019	-17,354	17,587	(Memenuhi)	Tekan
W	22	a	69430974253,928	1052,70	-14,232	26,456	-23,006	-10,782	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	18,385	-16,989	17,587	(Memenuhi)	Tekan
X	23	a	70650351492,162	1052,70	-14,232	26,456	-23,410	-11,186	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	D	-35,374	17,587	(Memenuhi)	Tekan
Y	24	a	71708114782,319	1052,70	-14,232	26,456	-23,761	-11,536	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	18,988	-16,386	17,587	(Memenuhi)	Tekan
Z	25	a	72604264124,401	1052,70	-14,232	26,456	-24,058	-11,833	17,587	(Memenuhi)	Tekan
		b			-14,232	-21,142	19,225	-16,148	17,587	(Memenuhi)	Tekan

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4.34 Gambar Tegangan Beton pada Kondisi Pengangkatan

Titik	Jarak (m)	Potongan Gambar Penampang	$-\frac{F_o}{A}$ (Mpa)	$\pm \frac{F_o \cdot e \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	$\pm \frac{M_G \cdot y}{I_g}$ (Mpa)	f (Mpa)
A	0	 <p>Penampang Tumpuan</p>	-6,461	-0,013	0,000	-6,473
S	18	 <p>Penampang Deviator</p>	-8,533	25,964	-20,836	-3,405
Z	25	 <p>Penampang Standar</p>	-14,232	26,456	-24,058	-11,833

4.6 Kontrol Keamanan

4.6.3 Kontrol Lendutan pada Beton Prategang

Dalam perencanaan ini dibutuhkan beberapa data seperti :

E_c	=	Modulus elastisitas beton brategang	=	37568,828 MPa
			=	37568827,712 kN/m ²
F	=	Gaya prategang efektif setelah kehilangan	=	75845,514 kN
I_x	=	Inersia penampang tengah	=	4,026 m ⁴
e	=	Eksentrisitas pada bentang tengah (eZ)	=	1,053 m
L	=	Panjang jembatan	=	50,0 m
l_1	=	Panjang segmen tumpuan ke deviator	=	17,95 m
l_2	=	Panjang deviator ke bentang tengah	=	7,05 m
Q_{MS}	=	Beban merata berat sendiri	=	161,614 kN/m
Q_{MA}	=	Beban mati tambahan	=	21,520 kN/m
Q_{TD}	=	BTR akibat lajur D	=	57,600 kN/m
P_{TD}	=	BGT akibat lajur D	=	392,000 kN
Q_{EW}	=	Beban angin	=	8,989 kN/m
M_{TB}	=	Momen akibat beban rem	=	1153,442 kNm
$M_{O \text{ MAKS}}$	=	Momen maks akibat berat sendiri	=	72604,264 kNm
		pada bentang tengah		

Lendutan pada jembatan beton prategang dapat disebabkan oleh beberapa hal, yaitu :

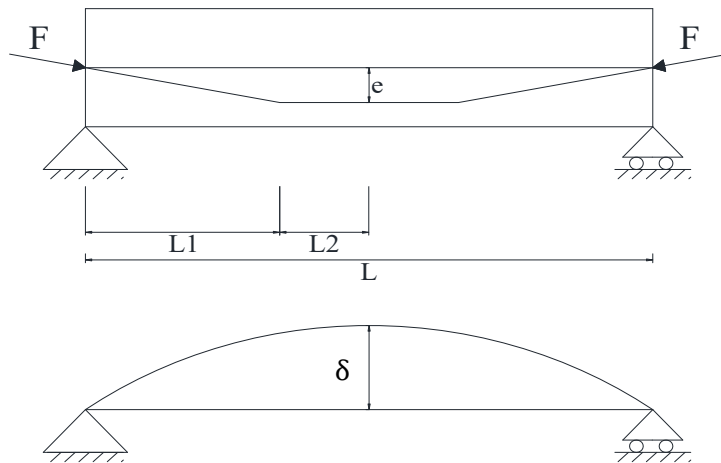
a. Lendutan keatas akibat gaya prategang efektif (δ_F)

Pada perencanaan ini menggunakan type tendon trapesoidal sehingga didapat lendutan setelah kehilangan gaya prategang menggunakan rumus ini.

$$\delta_F = \frac{F \cdot e}{6 \cdot E_c \cdot I_x} (2l_1^2 + 6l_1 \cdot l_2 + 3l_2^2)$$

$$= \frac{75845,514 \times 1,053}{6 \times 37568827,71 \times 4,026} \times (2 \times 17,950^2 + 6 \times 17,950 \times 7,050 + 3 \times 7,050^2)$$

$$= 0,137 \text{ m} = 13,662 \text{ cm} (\uparrow)$$

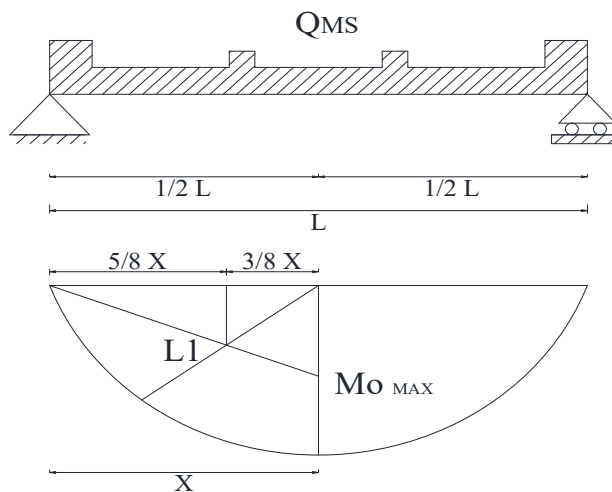


Gambar 4.34 Lendutan Tendon Trapesoidal dengan Tumpuan Sendi-Rol

(Sumber : Hasil Perencanaan)

b. Lendutan akibat beban mati

1.) Lendutan kebawah akibat berat sendiri (δ_{MS})



Gambar 4.35 Luasan Momen Area untuk Menghitung Lendutan Akibat Berat Sendiri

(Sumber : Hasil Perencanaan)

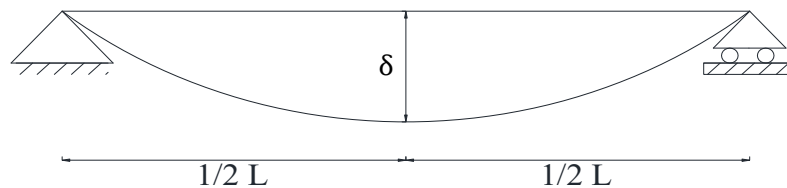
- Menghitung lendutan akibat berat sendiri dengan luasan momen area

$$\begin{aligned}
 L1 &= \frac{2}{3} \cdot x \cdot M_o \max \\
 &= \frac{2}{3} \times 25 \times 72604,264 \\
 &= 1210071,069 \text{ kNm}^2
 \end{aligned}$$

Reaksi tumpuan pada gelagar akibat berat sendiri

$$\begin{aligned}
 \sum MB &= 0 \\
 -L_1 \cdot \left(\frac{3}{8} \cdot x + x\right) - L_1 \cdot \left(\frac{5}{8} \cdot x\right) + RVA \cdot L &= 0 \\
 -1210071,069 \times \left(\frac{3}{8} \times 25 + 25\right) - & \\
 1210071,069 \times \left(\frac{5}{8} \times 25\right) + RVA \times 50 &= 0 \\
 50 \text{ RVA} &= 60503553,437 \\
 RVA &= 1210071,069 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ec \cdot Ix \cdot \delta_{MS} &= RVA \cdot x - L_1 \cdot \frac{3}{8} x \\
 Ec \cdot Ix \cdot \delta_{MS} &= 1210071,07 \\
 Ec \cdot Ix \cdot \delta_{MS} &= 18907360,449 \times 25 - 1210071,07 \times \frac{3}{8} \times 25 \\
 \delta_{MS} &= \frac{18907360,449}{37568827,712 \times 4,026} \\
 \delta_{MS} &= 0,125 \text{ m} = 12,501 \text{ cm} (\downarrow)
 \end{aligned}$$



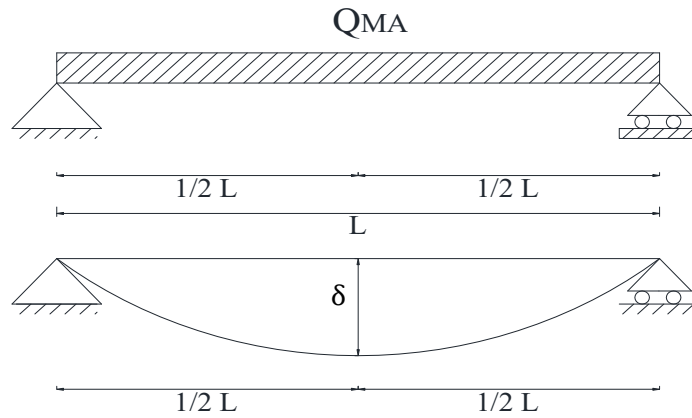
Gambar 4.36 Lendutan Akibat Berat Sendiri dengan Tumpuan Sendi-Rol

(Sumber : Hasil Perencanaan)

2.) Lendutan dibawah akibat beban mati tambahan (δ_{MA})

$$\begin{aligned}
 \delta_{MA} &= \frac{5 \cdot Q_{MA} \cdot L^4}{384 \cdot Ec \cdot Ix} \\
 \delta_{MA} &= \frac{5 \times 21,520 \times 50^4}{384 \times 37568827,71 \times 4,026}
 \end{aligned}$$

$$\delta_{MA} = 0,012 \text{ m} = 1,158 \text{ cm} (\downarrow)$$



Gambar 4.37 Lendutan Akibat Beban Mati Tambahan dengan Tumpuan Sendi-Rol

(Sumber : Hasil Perencanaan)

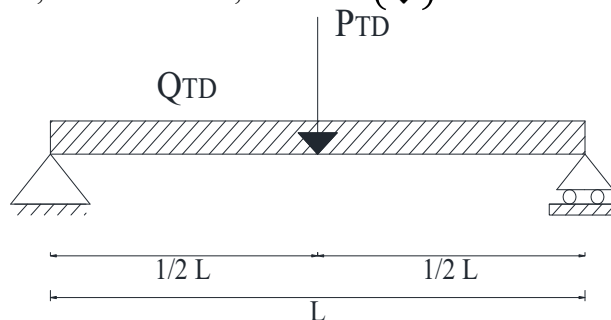
Sehingga didapat total lendutan akibat beban mati sebagai berikut :

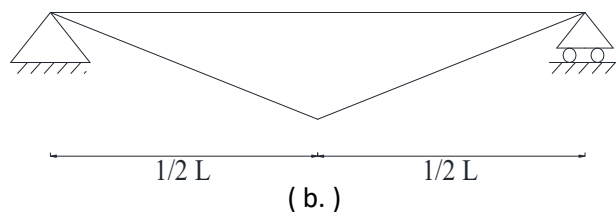
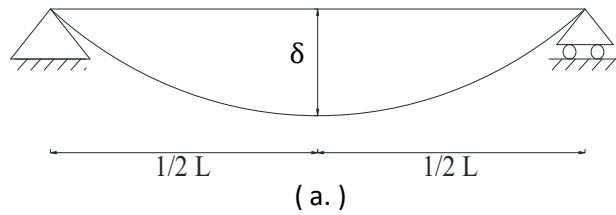
$$\begin{aligned} \delta_{DL} &= \delta_{MS} + \delta_{MA} \\ &= 12,501 + 1,158 \\ &= 14,475 \text{ cm} (\downarrow) \end{aligned}$$

c. Lendutan akibat beban hidup

1.) Lendutan kebawah akibat beban lajur "D" (δ_{TD})

$$\begin{aligned} \delta_{TD} &= \frac{5 \cdot Q_D \cdot L^4}{384 \cdot E_C \cdot I_X} + \frac{P_D \cdot L^3}{48 \cdot E_C \cdot I_X} \\ &= \frac{5 \times 57,60 \times 50^4}{384 \times 37568827,71 \times 4,026} + \\ &\quad \frac{392,00 \times 50^3}{48 \times 37568827,71 \times 4,026} \\ &= 0,038 \text{ m} = 3,774 \text{ cm} (\downarrow) \end{aligned}$$

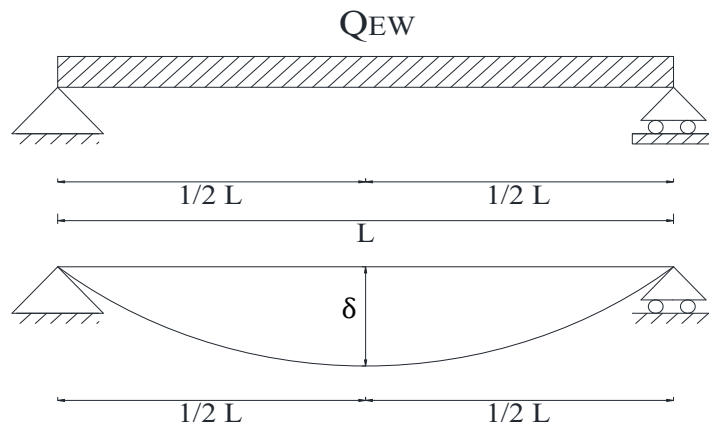




Gambar 4.38 a.) Lendutan Akibat BTR b.) Lendutan Akibat BGT
(Sumber : Hasil Perencanaan)

2.) Lendutan dibawah akibat beban angin (δ_{EW})

$$\begin{aligned} \delta_{EW} &= \frac{5 \cdot Q_{EW} \cdot L^4}{384 \cdot E_C \cdot I_X} \\ &= \frac{5 \times 8,989 \times 50^4}{384 \times 37568827,71 \times 4,026} \\ &= 0,005 \text{ m} = 0,484 \text{ cm} \quad (\downarrow) \end{aligned}$$



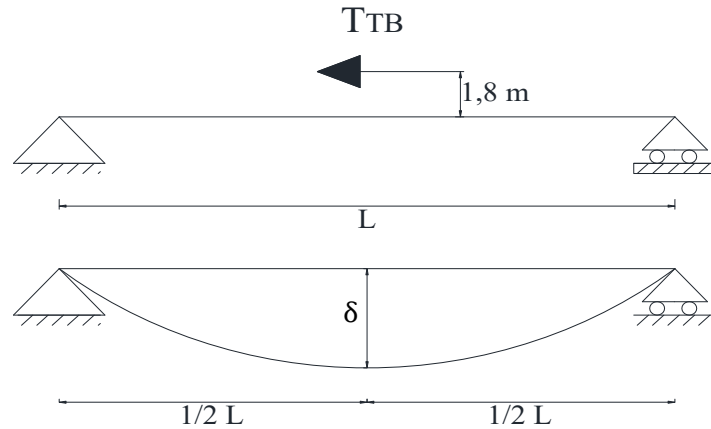
Gambar 4.39 Lendutan Akibat Beban Angin Struktur dengan Tumpuan Sendi-Rol
(Sumber : Hasil Perencanaan)

3.) Lendutan dibawah akibat beban rem (δ_{TB})

$$\delta_{TB} = 0,0642 \cdot \frac{M_{TB} \cdot L^2}{E_C \cdot I_X}$$

$$= 0,0642 \frac{1153,442 \times 50^2}{37568827,71 \times 4,026}$$

$$= 0,0012 \text{ m} = 0,1224 \text{ cm} (\downarrow)$$



Gambar 4.40 Lendutan Akibat Beban REM Struktur dengan Tumpuan Sendi-Rol

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Sehingga didapat total lendutan akibat beban hidup sebagai berikut :

$$\delta_{LL} = \delta_{TD} + \delta_{EW} + \delta_{TB}$$

$$= 3,774 + 0,484 + 0,122$$

$$= 4,3803 \text{ cm} (\downarrow)$$

- Lendutan total (δ_{total})

$$\delta_{Total} = \delta_{DL} + \delta_{LL} - \delta_F$$

$$= 14,475 + 4,380 - 13,662$$

$$= 5,1936 \text{ cm} (\downarrow)$$

- Batas lendutan yang diijinkan (δ_{ijin})

$$\delta_{ijin} = \frac{1}{240} \cdot L$$

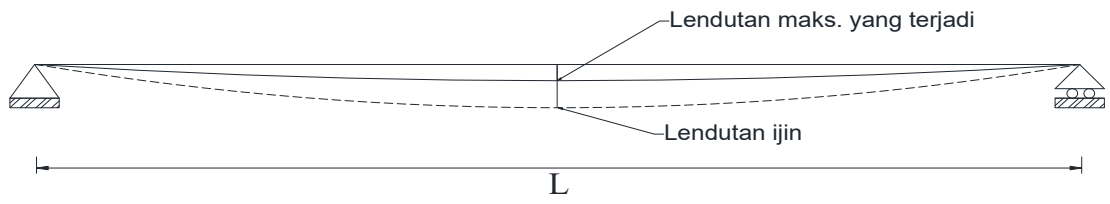
$$= \frac{1}{240} \times 50$$

$$= 0,2083 \text{ m} = 20,833 \text{ cm}$$

- Kontrol lendutan perencanaan flyover

$$\delta_{Total} < \delta_{ijin}$$

$$5,194 \text{ cm} < 20,833 \text{ cm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$



Gambar 4.41 Kontrol Lendutan Yang Terjadi Terhadap Lendutan Ijin

(Sumber : Hasil Perencanaan)

4.7 Penulangan Pada Box Girder

4.7.1 Kontrol dan Penulangan Geser pada Box Girder

Pada perhitungan perencanaan ini dibutuhkan beberapa data sebagai berikut :

h	= Tinggi box girder	=	2400,0 mm
f_y	= Mutu baja U-39	=	390,00 MPa
f_c	= Mutu beton prategang (K-600)	=	48,85 MPa
b_{web}	= Lebar web = 350 x 2,0	=	700,0 mm
p	= Tebal selimut beton	=	50,0 mm
d_p	= Tinggi efektif	=	0,8 x h
		=	0,8 x 2400
		=	1920,0 mm

Pada perencanaan jembatan ini, analisa momen dan gaya geser dihitung secara manual pada perhitungan analisa statika sehingga dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.35 Momen Akibat beban Mati (MuD) dan Beban hidup (MuL)

Titik	Jarak (m)	Momen	
		Mu(D) kNm	Mu(L) kNm
A	0,0	0,000	922,753
Daerah Kritis	0,960	5527,558	2420,826
B	1,0	5751,181	2481,972
C	2,0	11167,776	3977,550
D	3,0	16249,786	5409,486
E	4,0	21798,194	6777,780
F	5,0	25677,652	8082,433
G	6,0	30116,260	9323,444

Tabel 4.35 Momen Akibat beban Mati (MuD) dan Beban hidup (MuL)

Titik	Jarak (m)	Momen	
		Mu(D) kNm	Mu(L) kNm
H	7,0	34371,734	10500,814
I	8,0	38444,074	11614,542
J	9,0	42333,273	12664,628
K	10,0	46039,353	13651,073
L	11,0	49562,291	14573,876
M	12,0	52902,095	15433,038
N	13,0	56058,765	16228,558
O	14,0	59032,302	16960,436
P	15,0	61822,704	17628,673
Q	16,0	64429,945	18233,268
R	17,0	66853,980	18774,222
S	18,0	69094,881	19251,534
T	19,0	71197,497	19665,204
U	20,0	64429,945	20015,233
V	21,0	66853,980	20301,620
W	22,0	69094,881	20524,366
X	23,0	77352,406	20683,470
Y	24,0	78443,150	20778,932
Z	25,0	79350,759	20810,753

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4.36 Gaya Geser Akibat Beban mati (VD) dan Beban Hidup (VL)

Titik	Jarak (m)	Gaya Geser	
		Vu(D) kNm	Vu(L) kNm
A	0,0	5918,474	1609,495
Daerah Kritis	0,960	5597,272	1565,258
B	1,0	5583,888	1563,415
C	2,0	5264,448	1517,335
D	3,0	5081,314	1471,255
E	4,0	4898,180	1425,175
F	5,0	4714,946	1379,095
G	6,0	4531,812	1333,015
H	7,0	4348,678	1286,935
I	8,0	4165,544	1240,855
J	9,0	3982,410	1194,775
K	10,0	3799,176	1148,695
L	11,0	3616,042	1102,615
M	12,0	3432,908	1056,535
N	13,0	3249,774	1010,455
O	14,0	3066,640	964,375
P	15,0	2883,506	918,295
Q	16,0	2700,273	872,215
R	17,0	2517,139	826,135
S	18,0	2332,497	780,055
T	19,0	2149,214	733,975
U	20,0	1966,031	687,895

Tabel 4.36 Gaya Geser Akibat Beban mati (VD) dan Beban Hidup (VL)

Titik	Jarak (m)	Gaya Geser	
		Vu(D) kNm	Vu(L) kNm
V	21,0	1733,249	641,815
W	22,0	1550,115	595,735
X	23,0	1366,981	503,575
Y	24,0	1183,847	503,575
Z	25,0	1000,613	457,495

(Sumber : Hasil Perhitungan)

• Untuk Segmen Tumpuan

1. Gaya geser ultimit pada penampang kritis (Vu)

Gaya geser terfaktor minimum (Vu) dari tumpuan dapat direncanakan sejauh $\frac{dp}{2} = 1920,0 : 2 = 960,0 \text{ mm} = 0,96 \text{ m}$, karena merupakan daerah kritis. Jadi didapat Vu dan Mu sejauh 0,96 m dari tumpuan yaitu :

$$\begin{aligned} V_u &= V_{u_D} + V_{u_L} \\ &= 5597,272 + 1565,258 \\ &= 7162,530 \text{ KN} = 7162529,928 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= M_{u_D} + M_{u_L} \\ &= 5527,558 + 2420,826 \\ &= 7948,383 \text{ kNm} = 7948383392,614 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

2. Menghitung kuat geser nominal

Pada perencanaan ini, kuat geser nomina dapat berasal dari :

a.) Kuat geser nominal yang disediakan oleh beton (Vc)

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 11.3.2, didapat nilai Vc sebagai berikut :

$$V_c = \left(0,05\lambda\sqrt{f_c'} + 4,8\frac{V_{u,d}}{M_u} \right) b_w \cdot d$$

$$= \left(0,05 \times 1 \sqrt{48,9} + 4,8 \frac{7162529,928 \times 1920,0}{7948383392,614} \right) \times 700,0 \times 1920,0$$

$$= 11631372,827 \text{ N}$$

Dalam penentuan nilai V_c yang digunakan, tidak boleh diambil kurang dari V_c min, dan tidak boleh lebih besar dari V_c maks (SNI 2847-2013 Pasal 11.3.2)

$$V_c \text{ min} = 0,17\lambda\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

$$= 0,17 \times 1 \sqrt{48,9} \times 700,0 \times 1920,0$$

$$= 1596972,234 \text{ N}$$

$$V_c \text{ maks} = 0,42\lambda\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

$$= 0,42 \times 1 \sqrt{48,9} \times 700,0 \times 1920,0$$

$$= 3945460,812 \text{ N}$$

Adapun syarat penentuan nilai V_c sebagai berikut :

$$V_c \text{ min} < V_c > V_c \text{ maks}$$

$$1596972,234 \text{ N} < 11631372,83 \text{ N} > 3945460,812 \text{ N}$$

Maka digunakan nilai V_c sebesar 3945460,812 N

b.) Kuat geser nominal beton akibat retak dari geser & momen (V_{ci})

Dibutuhkan data sebagai berikut :

I_c	=	Inesia penampang	=	5584911793799,76 mm ⁴
Y_t	=	Y_b	=	1023,50 mm
F	=	Gaya prategang efektif	=	75845513,83 N
A_c	=	Luas penampang yang ditinjau	=	11739263,62 mm ²
e	=	Eksentrisitas yang ditinjau	=	346,501 mm
r	=	Jari - jari inersia	=	475746,35 mm ²
V_{a1}	=	Gaya lintang akibat berat sendiri	=	5379,474 kN
V_{a2}	=	Gaya lintang akibat beban mati	=	539,000 kN
V_{a3}	=	Gaya lintang akibat beban hidup	=	1591,040 kN

$$\begin{aligned}
V_{a4} &= \text{Gaya lintang akibat beban rem} &= & 18,455 \text{ kN} \\
V_d &= \text{Gaya geser tak terfaktor akibat beban mati} \\
&= V_{a1} + V_{a2} &= & 5918,474 \text{ kN} \\
& &= & 5918473,830 \text{ N} \\
V_i &= \text{Gaya geser terfaktor akibat beban luar} \\
&= V_{a3} + V_{a4} &= & 1609,495 \text{ kN} \\
& &= & 1609495,064 \text{ N} \\
M_{u3} &= \text{Momen ultimit akibat beban hidup} &= & 19888,000 \text{ kN} \\
M_{u4} &= \text{Momen ultimit akibat beban rem} &= & 922,753 \text{ kN} \\
M_{maks} &= \text{Momen ultimit akibat beban luar} \\
&= M_{u3} + M_{u4} &= & 20810,753 \text{ kN} \\
& &= & 20810753,20 \text{ N}
\end{aligned}$$

- Tegangan tekan beton akibat gaya prategang efektif (f_{pe})

$$\begin{aligned}
f_{pe} &= \frac{F}{A_c} \left(1 + \frac{e \cdot y_b}{r^2} \right) \\
&= \frac{75845513,829}{11739263,620} \left(1 + \frac{346,501 \times 1023,50}{475746,3^2} \right) \\
&= 6,461 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

- Tegangan akibat beban mati tak terfaktor (f_d)

$$\begin{aligned}
f_d &= \frac{M_{uD} \times y_b}{I_c} \\
&= \frac{5527557836,98 \times 1023,50}{5584911793799,760} \\
&= 1,013 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

- Momen retak lentur (M_{cre})

$$\begin{aligned}
M_{cre} &= \left(\frac{I}{y_t} \right) \left(0,5 \lambda \sqrt{f'_c} + f_{ps} - f_d \right) \\
&= \frac{5584911793799,8}{1023,50} \left(\frac{\sqrt{48,9}}{2} + 6,461 - 1,013 \right) \\
&= 48797156546,450 \text{ Nmm} = 48797,157 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

- Kuat geser nominal beton akibat retak dari geser & momen (V_{ci})

$$\begin{aligned}
 V_{ci} &= 0,05\lambda\sqrt{f'_c}b_wd_p + V_d + \frac{V_iM_{cre}}{M_{max}} \\
 &= 0,05 \times 1 \sqrt{48,9} \times 700,0 \times 1920,0 + 5918474 + \\
 &\quad \frac{1609495,064 \times 48797156546,450}{20810753,205} \\
 &= 3780340119,859 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- c.) Kuat geser nominal beton akibat retak dari teg. tarik web/badam (V_{cw})

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 11.3.3, didapat nilai V_{cw} sebagai berikut :

$$V_{cw} = (0,29\lambda\sqrt{f'_c} + 0,3f_{pc}) b_wd_p + V_p$$

dan dibutuhkan beberapa data sebagai berikut :

Δ	=	=
x	= Jarak titik A-daerah kritis	= 0,96 m
L	= panjang jembatan	= 50000,00 mm
MG	= Momen ultimit beban mati bentang tengah	= 79350,759 kN
		= 79350759124,400 Nmm

- Tegangan tekan beton pada titik berat penampang penahan (f_{pc})

$$\begin{aligned}
 f_{pc} &= \frac{F}{A_c} + \frac{F x e x Y_b}{I_c} - \frac{MG x Y_b}{I_c} \\
 &= \frac{75845513,83}{11739263,62} + \frac{75845513,83 \times 346,501 \times 1023,50}{5584911793799,76} - \\
 &\quad \frac{79350759124,400 \times 1023,50}{5584911793799,76}
 \end{aligned}$$

$$= -3,265 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\theta}{2} = \frac{8 x e}{L}$$

$$= \frac{8 \times 346,501 \times 2}{50000} = 0,1109 \text{ rad} = 6,353^\circ$$

- Komponen gaya vertikal gaya prategang dipenampang (V_p)

$$\begin{aligned} V_p &= F \sin \theta \\ &= 75845513,829 \sin 6,35297657992891 \\ &= 8392556,092 \text{ N} \end{aligned}$$

Sehingga didapat retak geser akibat badan penampang/web (V_{cw})

$$\begin{aligned} V_{cw} &= (0,29\lambda\sqrt{f'_c} + 0,3f_{pc}) b_w d_p + V_p \\ &= (0,29 \times 1 \sqrt{48,9} + 0,3 \times -3,265) 700,0 \times 1920,0 \\ &\quad + 8392556,09 \\ &= 9800401,996 \text{ N} \end{aligned}$$

Dari perhitungan V_c , V_{ci} , dan V_{cw} , dipilih nilai terkecil sehingga didapat nilai

$$V_{cw} = 3945460,812 \text{ N}$$

6. Pengecekan tulangan geser

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 9.3.2.3 faktor reduksi kekuatan ϕ untuk

geser = 0,75 dan didapat nilai untuk :

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}\phi V_c &= \frac{1}{2} 0,75 \times 3945460,812 \\ &= 1479547,805 \text{ N} \\ \phi V_c &= 0,75 \times 3945460,812 \\ &= 2959095,609 \text{ N} \end{aligned}$$

Berdasarkan buku Perancangan Struktur Beton Bertulang (Agus Setiawan:

2016,104), adapun syarat keperluan penggunaan tul. Geser sebagai berikut :

- Jika $V_u > \phi V_c$

$$7162529,928 \text{ N} > 2959095,609 \text{ N}$$

Maka pada perencanaan ini, **dibutuhkan tul. geser**

- Jika $\frac{1}{2}\phi V_c < V_u \leq \phi V_c$

$$1479547,805 \text{ N} < 7162529,928 \text{ N} \leq 2959095,609 \text{ N}$$

Maka pada perencanaan ini, **tidak dibutuhkan tul. geser minimum**

- Kontrol penampang tul. Geser

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

$$= \frac{7162529,928 - 0,75 \times 3945460,812}{0,75}$$

$$= 5604579,091 \text{ N}$$

$$V_{c1} = 0,33 \sqrt{f_c'} b_w d$$

$$= 0,33 \sqrt{48,9} \times 700,0 \times 1920,0$$

$$= 3100004,924 \text{ N}$$

$$V_{c2} = 0,66 \sqrt{f_c'} b_w d$$

$$= 0,66 \sqrt{48,9} \times 700,0 \times 1920,0$$

$$= 6200009,848 \text{ N}$$

Adapun syarat yang digunakan, $V_s < V_{c2}$

$$5604579,091 \text{ N} < 6200009,848 \text{ N}$$

Maka pada perencanaan ini, **penampang cukup**

7. Jarak tulangan sengkang

- Luas tulangan geser (A_v)

Direncanakan menggunakan 4 D 29

$$A_v = n \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2$$

$$= 2640,740 \text{ mm}^2$$

Jika digunakan diameter (d) = 29 mm, maka jarak ditentukan dari nilai terkecil antara :

$$S_1 = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d_p}{V_s}$$

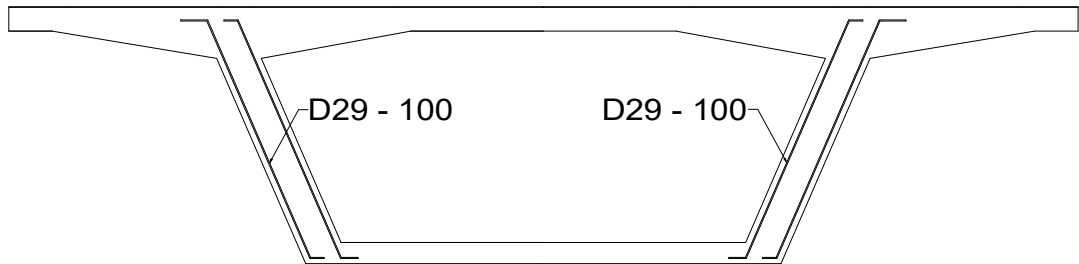
$$= \frac{2640,740 \times 390,0 \times 1920,0}{5604579,091} = 352,816 \text{ mm}$$

$$S_2 = \frac{d}{4}$$

$$= \frac{1920,0}{4} = 480,000 \text{ mm}$$

$$S_3 = \frac{A_v f_y}{0,35 b_w} = \frac{2640,740 \times 390,0}{0,35 \times 700,0} = 4203,627 \text{ mm}$$

Jadi dipilih $s = 352,816 \approx 100$ (dipasang sengkang D29 - 100 mm)



Gambar 4.42 Penulangan Tulangan Geser pada Segmen Tumpuan

(Sumber : Hasil Perencanaan)

6. Kontrol tulangan geser

$$V_s \text{ ada} > V_s \text{ perlu}$$

$$\frac{A_v f_y d_p}{s} > V_s$$

$$\frac{2640,740 \times 390,0 \times 1920,0}{100} > 5604579,091$$

$$19773861,12 > 5604579,091 \quad \text{(Memenuhi)}$$

4.7.1 Penulangan Lentur Box Girder

4.7.1.1 Pembebanan Penampang

Pada perhitungan pembebanan untuk penulangan lentur box girder menggunakan yaitu :

a. Beban Terpusat

- Beban truk "T"

Berdasarkan SNI 1725-2016 Pasal 8.4.1, besar beban truk untuk 1 roda sebesar 112,5 kN

$$\begin{aligned}\text{Beban truk 1 roda (P}_{TT}\text{)} &= 112,5 \times \gamma_{TT}^u \\ &= 112,5 \times 1,8 \\ &= 202,50 \text{ kN}\end{aligned}$$

- Beban Parapet "Pu" = 13,71 x γ_{MA}^u
= 13,7 x 2
= 27,42 kN

b. Beban Merata

- Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan yang digunakan dalam perencanaan ini sebesar :

$$\begin{aligned}\text{Aspal + overlay} &= b \times t_a \times B_j \times \gamma_{MA}^u \\ &= 8,00 \times 0,10 \times 22 \times 2 = 35,20 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Air hujan} &= b \times t_h \times B_j \times \gamma_{MA}^u \\ &= 8,00 \times 0,05 \times 9,8 \times 2 = 7,84 \text{ kN/m} +\end{aligned}$$

$$\text{Beban mati tambahan (Qu1)} = \underline{43,04 \text{ kN/m}}$$

- Plat Atas

$$\begin{aligned}\text{Beban plat atas (Qu2)} &= \sum A \times B_j \times \gamma_{MS}^u \\ &= 2,0642 \times 25,0 \times 1,2 \\ &= 61,93 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

- Plat Web/Badan

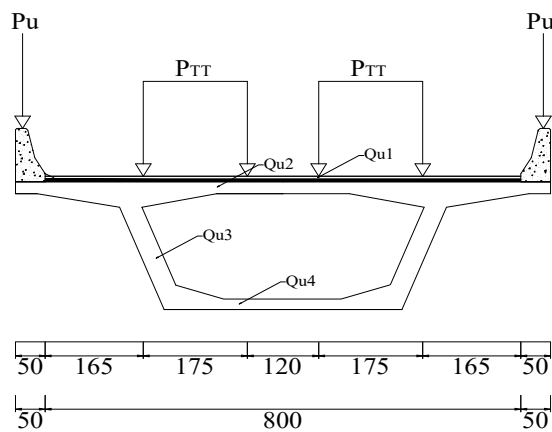
$$\begin{aligned} \text{Beban plat web (Qu3)} &= \sum A \times B_j \times \gamma_{MS}^u \\ &= 0,64631 \times 25,0 \times 1,2 \\ &= 19,39 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Plat Bawah

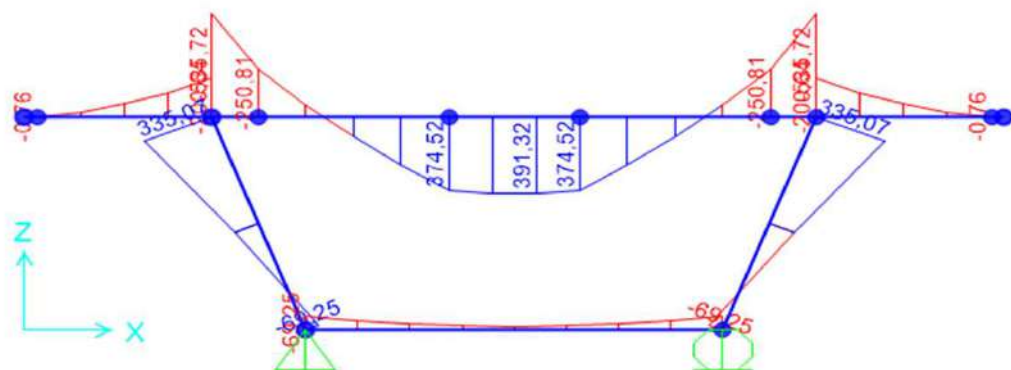
$$\begin{aligned} \text{Beban plat bawah (Qu4)} &= \sum A \times B_j \times \gamma_{MS}^u \\ &= 0,8781 \times 25,0 \times 1,2 \\ &= 26,34 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Digunakan 4 kondisi pembebanan untuk mendapatkan moment yang terjadi pada box girder melintang dengan bantuan SAP 2000 V.20

1. Kondisi 1



Gambar 4.43 Penampang Box Girder Kondisi 1



Gambar 4.44 Output Moment Penampang Box Girder Kondisi 1

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Dari hasil analisa moment menggunakan SAP 2000 v.20 didapat hasil :

a. Plat atas

- Momen max. tumpuan = 535,718 kNm
- Momen max. lapangan = 391,318 kNm

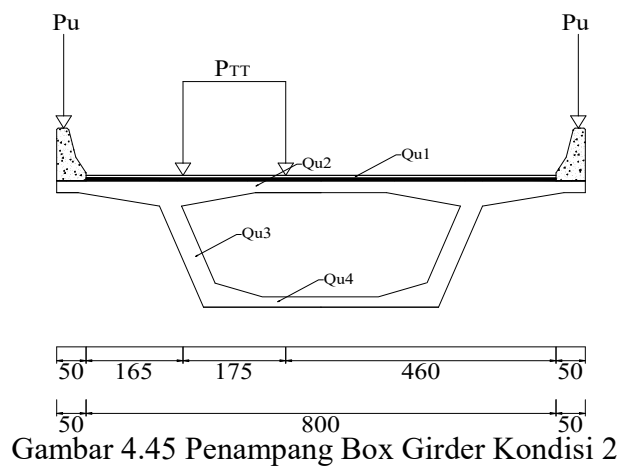
b. Plat bawah

- Momen max. tumpuan = 73,508 kNm
- Momen max. lapangan = 25,044 kNm

c. Plat Badan/web

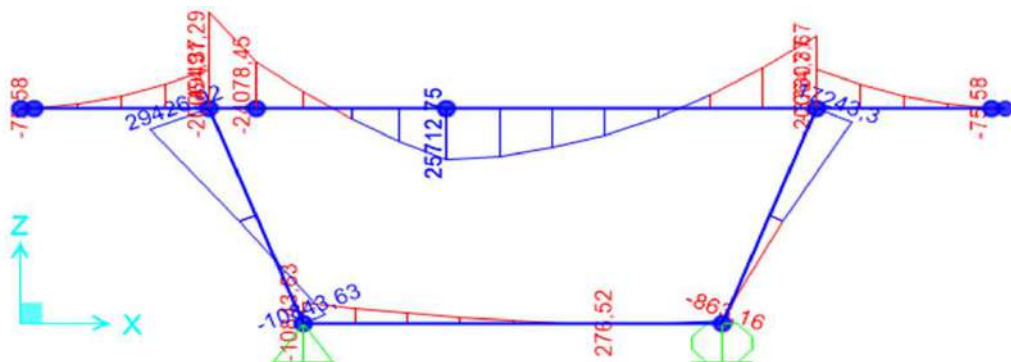
- Momen max. kiri = 365,475 kNm
- Geser max. = 208,131 kNm
- Gaya aksial = 954,944 kNm

2. Kondisi 2



Gambar 4.45 Penampang Box Girder Kondisi 2

(Sumber : Hasil Perencanaan)



Gambar 4.46 Output Moment Penampang Box Girder Kondisi 2

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Dari hasil analisa moment menggunakan SAP 2000 v.20 didapat hasil :

a. Plat atas

- Momen max. tumpuan = 494,913 kNm
- Momen max. lapangan = 256,981 kNm

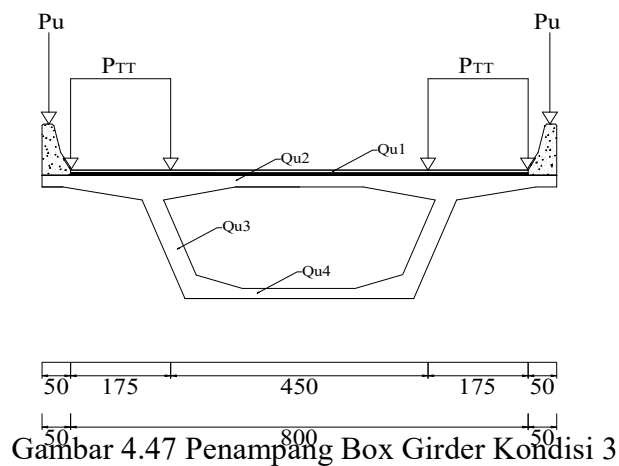
b. Plat bawah

- Momen max. tumpuan = 108,436 kNm
- Momen max. lapangan = 2,706 kNm

c. Plat Badan/web

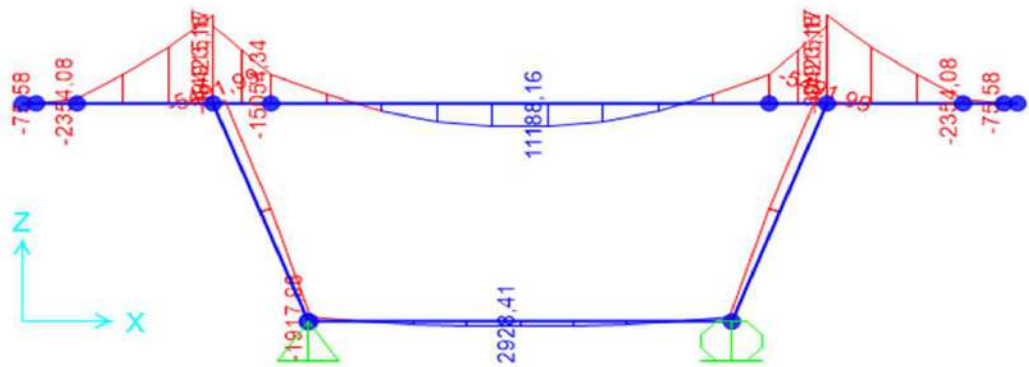
- Momen max. kiri = 294,269 kNm
- Geser max. = 192,683 kNm
- Gaya aksial = 834,500 kNm

3. Kondisi 3



Gambar 4.47 Penampang Box Girder Kondisi 3

(Sumber : Hasil Perencanaan)



Gambar 4.48 Output Moment Penampang Box Girder Kondisi 3

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Dari hasil analisa moment menggunakan SAP 2000 v.20 didapat hasil :

a. Plat atas

- Momen max. tumpuan = 449,152 kNm
- Momen max. lapangan = 111,882 kNm

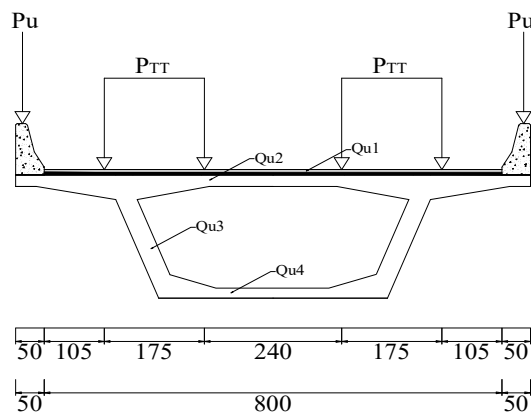
b. Plat bawah

- Momen max. tumpuan = 19,180 kNm
- Momen max. lapangan = 29,284 kNm

c. Plat Badan/web

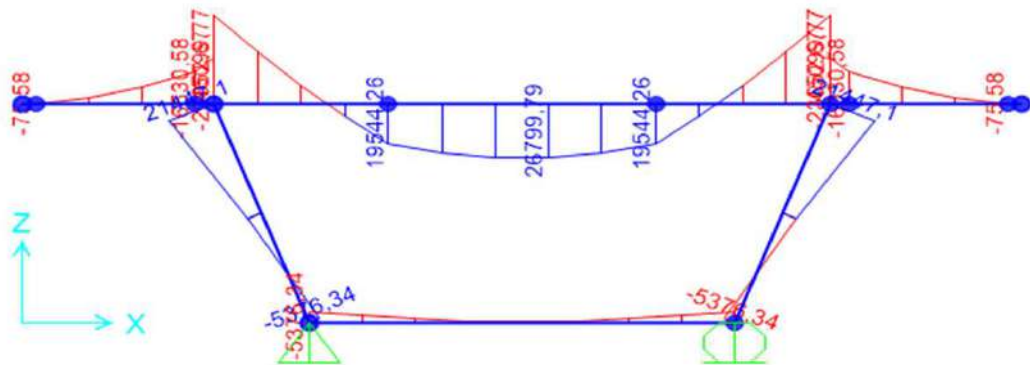
- Momen max. kiri = 54,920 kNm
- Geser max. = 36,426 kNm
- Gaya aksial = 985,595 kNm

4. Kondisi 4



Gambar 4.49 Penampang Box Girder Kondisi 4

(Sumber : Hasil Perencanaan)



Gambar 4.50 Output Moment Penampang Box Girder Kondisi 4

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Dari hasil analisa moment menggunakan SAP 2000 v.20 didapat hasil :

a. Plat atas

- Momen max. tumpuan = 450,998 kNm
- Momen max. lapangan = 267,998 kNm

b. Plat bawah

- Momen max. tumpuan = 53,763 kNm
- Momen max. lapangan = 5,299 kNm

c. Plat Badan/web

- Momen max. kiri = 214,471 kNm
- Geser max. = 135,424 kNm
- Gaya aksial = 935,034 kNm

4.7.1.2 Penulangan Plat Atas

Pada perencanaan penulangan plat ini digunakan beberapa data sebagai berikut :

MuT	= Momen ultimate max. tumpuan	=	535,718 kNm
MuL	= Momen ultimate max. lapangan	=	391,318 kNm
f _c	= Mutu beton prategang (K-600)	=	48,854 MPa
f _y	= Mutu baja tulangan (BJTP U-39)	=	390,000 MPa
l	= Lebar slab atas	=	9,0 mm
t	= Tebal slab atas	=	225,0 mm
p	= Tebal selimut	=	40,0 mm
D 32	= Diam. tulangan pokok	=	32,0 mm
D 32	= Diam. Tulangan bagi	=	32,0 mm
d	= Tinggi efektif		
	= t - p - (0,5 x Øtul. Pokok)	=	169,0 mm
d'	= Jarak antara berat tul. tekan & tepi serat beton tekan		
	= p+(0,5 x Øtul. Pokok)	=	56,0 mm
b	= Lebar yang ditinjau	=	1000,0 mm

a. Penulangan Plat Atas Daerah Tumpuan

1.) Penulangan Longitudinal

- Rasio bentang bersih plat dalam arah memanjang & memendek (β)

Pada perencanaan ini menggunakan $f_c' > 30$ Mpa, maka digunakan :

$$\begin{aligned}\beta &= 0,85 - \left(\left[f_c' - 28 \right] \frac{0,005}{7} \right) \\ &= 0,85 - \left(\left[48,9 - 28 \right] \frac{0,005}{7} \right) \\ &= 0,8351\end{aligned}$$

- Faktor momen pikul (K)

$$\begin{aligned}K_{maks} &= \frac{382,5 \times \beta \times f_c \times (600 + f_y - 225 \times \beta)}{(600 + f_y)^2} \\ &= \frac{382,5 \times 0,835 \times 48,9 \times \left[600 + 390,0 \times 225 \times 0,835 \right]}{\left[600 + 390,0 \right]^2} \\ &= 12,7711\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K &= \frac{M_u}{\phi b \times d^2} \\ &= \frac{535718200}{0,9 \times 1000 \times 169^2} \\ &= 19,954\end{aligned}$$

Adapun syarat yang digunakan $K > K_{maks}$

$$19,9542 > 12,7711$$

Maka pada perencanaan ini, **dipakai tulangan rangkap**

Diambil nilai $K_1 = 0,8 \times K_{maks} = 0,8 \times 12,771 = 10,217$ MPa

$$\begin{aligned}a_1 &= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K_1}{0,85f_c'}} \right) d \\ &= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10,217}{0,85 \times 48,9}} \right) 169,0 \\ &= 48,556 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$T = C$$

$$A_1 \cdot f_y = 0,85 \cdot f_c' \cdot a_1 \cdot b$$

$$A_1 = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a_1 \cdot b}{f_y}$$

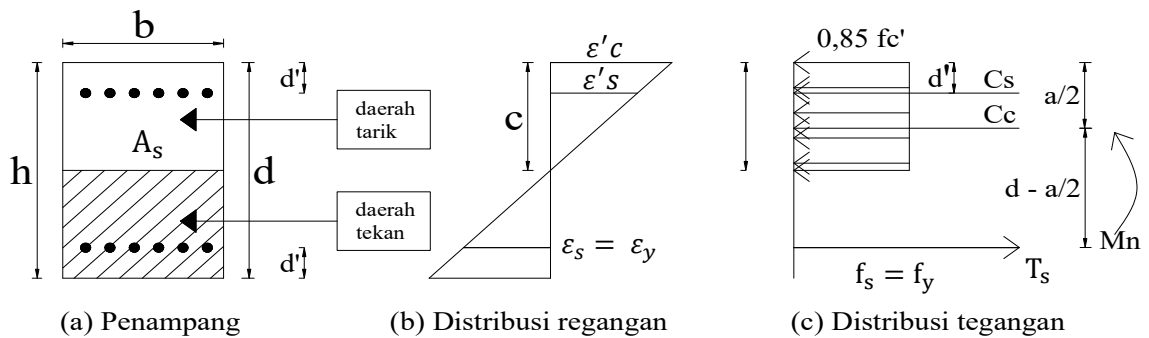
$$= \frac{0,85 \times 48,9 \times 48,556 \times 1000}{390}$$

$$= 5170,034 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = \frac{(K-K_1) \cdot b \cdot d^2}{(d-d') \cdot x}$$

$$= \frac{[19,954 - 10,217] \times 1000 \times 169^2}{[169,00 - 56,00] \times 390}$$

$$= 6310,593 \text{ mm}^2$$



Gambar 4.51 Distribusi Regangan-Tegangan pada Plat Atas (Tumpuan)

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Tulangan tarik

- Luas tul. tarik (A_s)

$$A_s = A_1 + A_2$$

$$= 5170,034 + 6310,593 = 11480,627 \text{ mm}^2$$

- Digunakan tulangan D 32 mm

$$A_{s \text{ ada}} = \pi/4 \times D^2$$

$$= \pi/4 \times 32^2$$

$$= 803,840 \text{ mm}^2$$

- Jarak tul. tarik (S)

$$S = \frac{b}{A_s} \times A_{s \text{ ada}}$$

- Jml tul. Tarik

$$n = \frac{A_s}{A_{s \text{ ada}}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1000}{11480,627} \times 803,840 &= \frac{11480,627}{803,840} \\
&= 70,017 \text{ mm} \approx 70,00 \text{ mm} &= 14,28 \text{ buah} \approx 16 \text{ buah}
\end{aligned}$$

- Kontrol luasan tul. Tarik

$$\begin{aligned}
&A_s \text{ ada} > A_s \\
&803,840 \times 16 > 11480,627 \\
&12861,440 > 11480,627 \text{ (Memenuhi)}
\end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan tarik D32 - 70 mm

Tulangan tekan

- Luas tul. tekan (A_s')

$$\begin{aligned}
A_s' &= A_2 \\
&= 6310,593 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Digunakan tulangan D 32 mm

$$\begin{aligned}
A_s' \text{ ada} &= \pi/4 \times D^2 \\
&= \pi/4 \times 32^2 \\
&= 803,840 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Jarak tul. tekan (S)

$$\begin{aligned}
S &= \frac{b}{A_s'} \times A_s' \text{ ada} \\
&= \frac{1000}{6310,593} \times 803,840 \\
&= 127,379 \text{ mm} \approx 100,00 \text{ mm}
\end{aligned}$$

- Jarak tul. tekan (S)

$$\begin{aligned}
n &= \frac{A_s'}{A_s' \text{ ada}} \\
&= \frac{6310,593}{803,840} \\
&= 7,85 \text{ buah} \approx 8 \text{ buah}
\end{aligned}$$

- Kontrol luasan tul. Tekan

$$\begin{aligned}
&A_s' \text{ ada} > A_s' \\
&803,840 \times 8 > 6310,593 \\
&6430,720 > 6310,593 \text{ (Memenuhi)}
\end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan tekan D32 - 100 mm

- 2.) Kontrol Kondisi Tulangan

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d}$$

$$= \frac{12861,440}{1000,0 \times 169} = \frac{6430,720}{1000,0 \times 169}$$

$$= 0,076 = 0,038$$

$$(\rho - \rho') = 0,0381$$

- Pengecakan tulangan tekan sudah luluh atau belum

$$K = 0,85\beta_1 \left(\frac{f_c'}{f_y}\right) \left(\frac{d'}{d}\right) \left(\frac{600}{600 - f_y}\right)$$

$$= 0,85 \times 0,8351 \left(\frac{48,9}{390}\right) \times \left(\frac{56}{169}\right) \times \left(\frac{600}{600 - 390}\right)$$

$$= 0,08418$$

Adapun syarat $(\rho - \rho') < K$

$$0,03805 < 0,08418 \quad \text{tul. tekan belum luluh}$$

Karena tulangan tekan belum luluh, $f_s' < f_y$, maka luas total tulangan tarik yang dibutuhkan untuk penampang (ρ_{maks})

$$\rho_{maks} = 0,714 \rho$$

$$= 0,714 \times 0,07610$$

$$= 0,05434$$

$$(\rho - \rho') < \rho_{maks}$$

$$0,0381 < 0,05434$$

Maka digunakan nilai faktor reduksi $\phi = 0,817$ pada daerah transisi

- Analisa gaya dalam

$$C_c = 0,85f_c' . a . b$$

$$= 0,85f_c' . \beta . c . b$$

$$= 0,85 \times 48,9 \times 0,8351 \times c \times 1000,0$$

$$= 34678,321 \times c$$

$$C_s = A_s' \left[600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) - 0,85f_c' \right]$$

$$= 6430,720 \left(600 \left(\frac{c - 56}{c} \right) - 0,85 \times 48,9 \right)$$

$$= 3858432,000 \left(\frac{c - 56}{c} \right) - 6389,194$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$= 12861,440 \times 390$$

$$= 5015961,600 \text{ N}$$

- Mendapatkan nilai c dengan persamaan kesetimbangan reg-teg

$$T = C_c + C_s$$

$$5015961,600 = 34678,321 c + 3858432,000 \left(\frac{c - 56}{c} \right) - 6389,194$$

$$0 = 34678,321 c^2 + -1163918,79 c - 216072192,000$$

Dari persamaan diatas dapat dicari nilai c menggunakan rumus ABC

$$c_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$c_1 = \frac{- -1163918,79 + \sqrt{-1163918,79^2 - 4 \cdot 34678,321 \cdot -216072192}}{2 \times 34678,321}$$

$$c_1 = 97,481 \text{ mm}$$

$$c_2 = -63,918 \text{ mm}$$

Maka diperoleh nilai c = 97,481 mm

$$a = \beta \cdot c$$

$$= 0,8351 \times 97,481$$

$$= 81,407 \text{ mm}$$

- Menghitung nilai fs', Cc dan Cs

$$\begin{aligned} f_s' &= \left[600 \left(\frac{c-d'}{c} \right) \right] \\ &= 600 \left(\frac{97,481 - 56}{97,481} \right) \\ &= 255,317 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka $f_s < f_y = 255,317 \text{ MPa} < 390,000 \text{ MPa}$ **(Memenuhi)**

$$\begin{aligned}
C_c &= 34678,321 \cdot c \\
&= 34678,321 \cdot 97,481 \\
&= 3380476,429 \text{ N} \\
C_s &= 3858432,000 \left(\frac{c - 56}{c} \right) - 6389,194 \\
&= 3858432,000 \left(\frac{97,481 - 56}{97,481} \right) - 6389,194 \\
&= 1635485,171 \text{ N}
\end{aligned}$$

3.) Perhitungan momen rencana (Mn)

$$\begin{aligned}
Mn &= \phi \left[C_c \left(\frac{d - a}{2} \right) + C_s (d - d') \right] \\
&= 0,817 \left[3380476,429 \left(\frac{169 - 81,407}{2} \right) + 1635485,2 \left(169 - 56 \right) \right] \\
&= 539145704,083 \text{ Nmm} \\
&= 539,146 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Kontrol momen desain

$$M_d > M_u$$

$$539,146 \text{ kNm} > 535,718 \text{ kNm} \quad \text{(Memenuhi)}$$

4.) Perhitungan tul. bagi

Untuk tul. longitudinal / tul. bagi digunakan 20% dari tul. pokok

$$\begin{aligned}
A_s \text{ bagi} &= 20\% \cdot (A_s + A_s') \\
&= 20\% \cdot (12861,440 + 6430,720) \\
&= 3858,432 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Digunakan tulangan bagi D 32 mm

$$\begin{aligned}
A_s \text{ ada} &= \pi/4 \cdot D^2 \\
&= \pi/4 \cdot 32^2 \\
&= 803,840 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Jarak tul. bagi (S)

$$S = \frac{b}{A_s} \cdot A_s \text{ ada}$$

- Jml tul. Bagi

$$n = \frac{A_s}{A_s \text{ ada}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1000}{3858,432} \times 803,840 &= \frac{3858,432}{803,840} \\
&= 208,333 \text{ mm} \approx 150,00 \text{ mm} &= 4,80 \text{ buah} \approx 6 \text{ buah}
\end{aligned}$$

b. Penulangan Plat Atas Daerah Lapangan

1.) Penulangan Longitudinal

- Rasio bentang bersih plat dalam arah memanjang & memendek (β)

Pada perencanaan ini menggunakan $f_c' > 30$ Mpa, maka digunakan :

$$\begin{aligned}
\beta &= 0,85 - \left(\left[\frac{f_c' - 28}{7} \right] \frac{0,005}{7} \right) \\
&= 0,85 - \left(\left[\frac{48,9 - 28}{7} \right] \frac{0,005}{7} \right) \\
&= 0,8351
\end{aligned}$$

- Faktor momen pikul (K)

$$\begin{aligned}
K_{\text{maks}} &= \frac{382,5 \times \beta \times f_c \times (600 + f_y - 225 \times \beta)}{(600 + f_y)^2} \\
&= \frac{382,5 \times 0,835 \times 48,9 \times \left(600 + 390,0 \times 225 \times 0,835 \right)}{\left(600 + 390,0 \right)^2} \\
&= 12,7711 \\
K &= \frac{M_u}{\phi b \times d^2} \\
&= \frac{391318100}{0,9 \times 1000 \times 169^2} \\
&= 14,576
\end{aligned}$$

Adapun syarat yang digunakan $K > K_{\text{maks}}$

$$14,5757 > 12,7711$$

Maka pada perencanaan ini, **dipakai tulangan rangkap**

Diambil nilai $K_1 = 0,8 \times K_{\text{maks}} = 0,8 \times 12,771 = 10,217$ MPa

$$\begin{aligned}
a_1 &= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K_1}{0,85f_c'}} \right) d \\
&= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 10,217}{0,85 \times 48,9}} \right) 169,0 = 48,556 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$T = C$$

$$A_1 \cdot f_y = 0,85 \cdot f_c' \cdot a_1 \cdot b$$

$$A_1 = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a_1 \cdot b}{f_y}$$

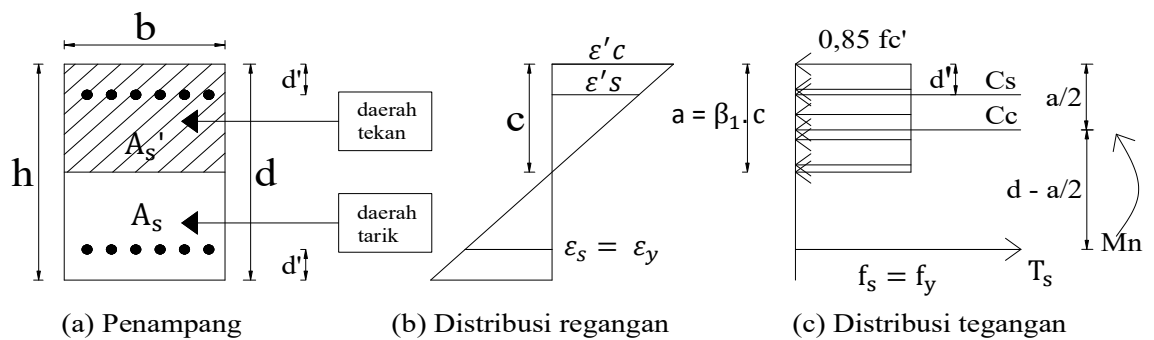
$$= \frac{0,85 \times 48,9 \times 48,556 \times 1000}{390}$$

$$= 5170,034 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = \frac{(K-K_1) \cdot b \cdot x \cdot d^2}{(d-d') \cdot f_y}$$

$$= \frac{[14,576 - 10,217] \times 1000 \times 169^2}{[169,00 - 56,00] \times 390}$$

$$= 2824,841 \text{ mm}^2$$



Gambar 4.52 Distribusi Regangan-Tegangan pada Plat Atas (Lapangan)

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Tulangan tarik

- Luas tul. tarik (A_s)

$$A_s = A_1 + A_2$$

$$= 5170,034 + 2824,841 = 7994,874 \text{ mm}^2$$

- Digunakan tulangan D 32 mm

$$A_{s \text{ ada}} = \pi/4 \times D^2$$

$$= \pi/4 \times 32^2$$

$$= 803,840 \text{ mm}^2$$

- Jarak tul. tarik (S)

$$S = \frac{b}{A_s} \times A_{s \text{ ada}}$$

- Jarak tul. tarik (S)

$$n = \frac{A_s}{A_{s \text{ ada}}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1000}{7994,874} \times 803,840 &= \frac{7994,874}{803,840} \\
&= 100,544 \text{ mm} \approx 100,00 \text{ mm} &= 9,95 \text{ buah} \approx 12 \text{ buah}
\end{aligned}$$

- Kontrol luasan tul. Tarik

$$\begin{aligned}
&A_s \text{ ada} > A_s \\
&803,840 \times 12 > 7994,874 \\
&9646,080 > 7994,874 \quad \text{(Memenuhi)}
\end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan tarik D32 - 100 mm

Tulangan tekan

- Luas tul. tekan (A_s')

$$\begin{aligned}
A_s' &= A_2 \\
&= 2824,841 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Digunakan tulangan D 32 mm

$$\begin{aligned}
A_s' \text{ ada} &= \pi/4 \times D^2 \\
&= \pi/4 \times 32^2 \\
&= 803,840 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

- Jarak tul. tekan (S)

$$\begin{aligned}
S &= \frac{b}{A_s'} \times A_s' \text{ ada} \\
&= \frac{1000}{2824,841} \times 803,840 \\
&= 284,561 \text{ mm} \approx 200,00 \text{ mm}
\end{aligned}$$

- Jarak tul. tekan (S)

$$\begin{aligned}
n &= \frac{A_s'}{A_s' \text{ ada}} \\
&= \frac{2824,841}{803,840} \\
&= 3,51 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}
\end{aligned}$$

- Kontrol luasan tul. Tekan

$$\begin{aligned}
&A_s' \text{ ada} > A_s' \\
&803,840 \times 4 > 2824,841 \\
&3215,360 > 2824,841 \quad \text{(Memenuhi)}
\end{aligned}$$

Maka dipakai tulangan tekan D32 - 200 mm

- 2.) Kontrol Kondisi Tulangan

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\rho' = \frac{A_s'}{b \cdot d}$$

$$= \frac{9646,080}{1000,0 \times 169} = \frac{3215,360}{1000,0 \times 169}$$

$$= 0,057 = 0,019$$

$$(\rho - \rho') = 0,0381$$

- Pengecakan tulangan tekan sudah luluh atau belum

$$K = 0,85\beta_1 \left(\frac{f_c'}{f_y}\right) \left(\frac{d'}{d}\right) \left(\frac{600}{600 - f_y}\right)$$

$$= 0,85 \times 0,8351 \left(\frac{48,9}{390}\right) \times \left(\frac{56}{169}\right) \times \left(\frac{600}{600 - 0}\right)$$

$$= 0,02946$$

Adapun syarat $(\rho - \rho') < K$

$$0,03805 < 0,02946 \quad \text{tul. tekan sudah luluh}$$

Karena tulangan tekan belum luluh, $f_s' < f_y$, maka luas total tulangan tarik yang dibutuhkan untuk penampang (ρ_{maks})

$$\rho_{maks} = 0,714 \rho$$

$$= 0,714 \times 0,05708$$

$$= 0,04075$$

$$(\rho - \rho') < \rho_{maks}$$

$$0,0381 < 0,04075$$

Maka digunakan nilai faktor reduksi $\phi = 0,817$ pada daerah transisi

- Analisa gaya dalam

$$C_c = 0,85f_c' .a.b$$

$$= 0,85f_c' .\beta .c.b$$

$$= 0,85 \times 48,9 \times 0,8351 \times c \times 1000,0$$

$$= 34678,321 \times c$$

$$C_s = A_s' \left[600 \left(\frac{c - d'}{c} \right) - 0,85f_c' \right]$$

$$= 3215,360 \left(600 \left(\frac{c - 56}{c} \right) - 0,85 \times 48,9 \right)$$

$$= 1929216,000 \left(\frac{c - 56}{c} \right) - 3173,834$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$= 9646,080 \times 390$$

$$= 3761971,200 \text{ N}$$

- Mendapatkan nilai c dengan persamaan kesetimbangan reg-teg

$$T = C_c + C_s$$

$$3761971,200 = 34678,321 c + 1929216,000 \left(\frac{c - 56}{c} \right) - 3173,834$$

$$0 = 34678,321 c^2 + -1835929,03 c - 108036096,000$$

Dari persamaan diatas dapat dicari nilai c menggunakan rumus ABC

$$c_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot c}}{2 \cdot a}$$

$$c_1 = \frac{- -1835929,03 + \sqrt{-1835929^2 - 4 \cdot 34678 \cdot -108036096}}{2 \times 34678,321}$$

$$c_1 = 88,245 \text{ mm}$$

$$c_2 = -35,304 \text{ mm}$$

Maka diperoleh nilai c = 88,245 mm

$$a = \beta \cdot c$$

$$= 0,8351 \times 88,245$$

$$= 73,694 \text{ mm}$$

- Menghitung nilai fs', Cc dan Cs

$$\begin{aligned} f_s' &= \left[600 \left(\frac{c-d'}{c} \right) \right] \\ &= 600 \left(\frac{88,245 - 56}{88,245} \right) \\ &= 219,243 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka $f_s < f_y = 219,243 \text{ MPa} < 390,000 \text{ MPa}$ **(Memenuhi)**

$$\begin{aligned}
C_c &= 34678,321 \cdot c \\
&= 34678,321 \cdot 88,245 \\
&= 3060199,162 \text{ N} \\
C_s &= 1929216,000 \left(\frac{c - 56}{c} \right) - 3173,834 \\
&= 1929216,000 \left(\frac{88,245 - 56}{88,245} \right) - 3173,834 \\
&= 701772,038 \text{ N}
\end{aligned}$$

3.) Perhitungan momen rencana (Mn)

$$\begin{aligned}
Mn &= \phi \left[C_c \left(\frac{d - a}{2} \right) + C_s (d - d') \right] \\
&= 0,817 \left[3060199,162 \left(\frac{169 - 73,694}{2} \right) + 701772,0 \left(169 - 56 \right) \right] \\
&= 409706826,006 \text{ Nmm} \\
&= 409,707 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

Kontrol momen desain

$$M_d > M_u$$

$$409,707 \text{ kNm} > 391,318 \text{ kNm} \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

4.) Perhitungan tul. bagi

Untuk tul. longitudinal / tul. bagi digunakan 20% dari tul. pokok

$$\begin{aligned}
A_s \text{ bagi} &= 20\% \cdot (A_s + A_s') \\
&= 20\% \cdot (9646,080 + 3215,360) \\
&= 2572,288 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

• Digunakan tulangan bagi D 32 mm

$$\begin{aligned}
A_s \text{ ada} &= \pi/4 \cdot D^2 \\
&= \pi/4 \cdot 32^2 \\
&= 803,840 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

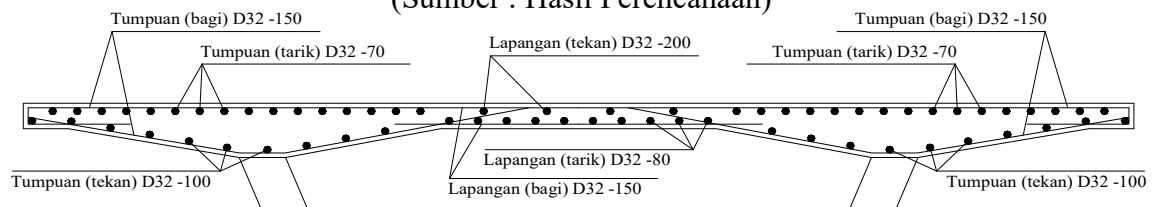
• Jarak tul. bagi (S)

$$\begin{aligned}
S &= \frac{b}{A_s} \cdot A_s \text{ ada} \\
&= \frac{1000}{2572,288} \cdot 803,840 \\
&= 312,500 \text{ mm} \approx 150,00 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Tabel 4.37 Rekapitulasi Penulangan Plat Atas

Daerah Plat Atas	Tulangan	Diameter (D) (mm)	Jarak (mm)
Tumpuan	Pokok (Tekan)	32	100
	Pokok (Tarik)	32	70
	Bagi	32	150
Lapangan	Pokok (Tekan)	32	200
	Pokok (Tarik)	32	100
	Bagi	32	150

(Sumber : Hasil Perencanaan)



Gambar 4.53 Penulangan Plat Atas

(Sumber : Hasil Perencanaan)

4.7.1.3 Penulangan Plat Bawah

Pada perencanaan penulangan plat ini digunakan beberapa data sebagai berikut :

MuT	= Momen ultimate max. tumpuan	=	108,436 kNm
MuL	= Momen ultimate max. lapangan	=	29,284 kNm
f _c	= Mutu beton prategang (K-600)	=	49,800 MPa
f _y	= Mutu baja tulangan (BJTP U-39)	=	390,000 MPa
l	= Lebar slab atas	=	9,0 mm
t	= Tebal slab atas	=	225,0 mm
p	= Tebal selimut	=	40,0 mm
D 32	= Diam. tulangan pokok	=	32,0 mm
D 32	= Diam. Tulangan bagi	=	32,0 mm
d	= Tinggi efektif		
	= t - p - (0,5 x Øtul. Pokok)	=	169,0 mm
d'	= Jarak antara berat tul. tekan & tepi serat beton tekan		
	= p+(0,5 x Øtul. Pokok)	=	56,0 mm
b	= Lebar yang ditinjau	=	1000,0 mm

a. Penulangan Plat Bawah Daerah Tumpuan

1.) Penulangan Longitudinal

- Rasio bentang bersih plat dalam arah memanjang & memendek (β)

Pada perencanaan ini menggunakan $f_c' > 30$ Mpa, maka digunakan :

$$\begin{aligned}\beta &= 0,85 - \left(\left[\frac{f_c' - 30}{7} \right] 0,005 \right) \\ &= 0,85 - \left(\left[\frac{49,8 - 30}{7} \right] 0,005 \right) \\ &= 0,8144\end{aligned}$$

- Faktor momen pikul (K)

$$\begin{aligned}
 K_{maks} &= \frac{382,5 \times \beta \times f_c \times (600 + f_y - 225 \times \beta)}{(600 + f_y)^2} \\
 &= \frac{382,5 \times 0,814 \times 49,8 \times \left[600 + 390,0 \times 225 \times 0,814 \right]}{\left[600 + 390,0 \right]^2} \\
 &= 12,7698 \\
 K &= \frac{M_u}{\phi b \times d^2} \\
 &= \frac{108436300}{0,9 \times 1000 \times 169^2} \\
 &= 4,039
 \end{aligned}$$

Adapun syarat yang digunakan $K < K_{maks}$

$$4,0390 < 12,7698$$

Maka pada perencanaan ini, **dipakai tulangan tunggal**

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K_u}{0,85f_c'}} \right) d \\
 &= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 4,039}{0,85 \times 49,8}} \right) 169,0 \\
 &= 16,978 \text{ mm} \\
 A_s &= \frac{0,85 \times f_c' \times a_1 \times b}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 49,8 \times 16,978 \times 1000}{390} \\
 &= 1842,798 \text{ mm}^2 \\
 A_{min} &= \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} \times b \times d \\
 &= \frac{\sqrt{49,8}}{4 \times 390} \times 1000 \times 169 \\
 &= 688,049 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Kontrol luasan tulangan

$$\begin{aligned}
 A_s &> A_{min} \\
 1842,798 &> 688,049 \quad \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Jadi tulangan perlu $A_s = 1842,79842990802$

- Digunakan tulangan D 32 mm

$$\begin{aligned} A_{s \text{ ada}} &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \times 32^2 \\ &= 803,840 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan (n)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{A_{s \text{ ada}}} \\ &= \frac{1842,798}{803,840} \\ &= 2,29 \text{ buah} \approx \square 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Jarak tulangan (S)

$$\begin{aligned} S &= \frac{b}{A_s} \times A_{s \text{ ada}} \\ &= \frac{1000}{1842,798} \times 803,840 \\ &= 436,21 \text{ mm} \approx \square 200,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi tulangan 4 D32 - 200 mm

2.) Perhitungan momen desain (M_d)

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= 4 \times \frac{\pi}{4} \times 32^2 \\ &= 3215,360 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c' \times b} \\ &= \frac{3215,360 \times 390}{0,85 \times 49,8 \times 1000} = 29,624 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times (d - a/2) \\ &= 3215,360 \times 390 \times \left[169,00 - 14,812 \right] \\ &= 193350175,813 \text{ Nmm} = 193,350 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_d &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 193,350 \\ &= 174,015 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol momen desain

$$\begin{aligned} M_d &> M_u \\ 174,015 \text{ kNm} &> 108,436 \text{ kNm} \quad \text{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

3.) Perhitungan tul. bagi

Untuk tul. bagi digunakan 20% dari tul. pokok

$$\begin{aligned} \text{As bagi} &= 20\% \times \text{As} \\ &= 20\% \times 3215,360 \\ &= 643,072 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Digunakan tulangan bagi D 32 mm

$$\begin{aligned} \text{As ada} &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \times 32^2 \\ &= 803,840 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jarak tul. bagi (S)

$$\begin{aligned} S &= \frac{b}{\text{As}} \times \text{As ada} \\ &= \frac{1000}{643,072} \times 803,840 \\ &= 1250,0 \text{ mm} \approx \square 200,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

b. Penulangan Plat Bawah Daerah Lapangan

1.) Penulangan Longitudinal

- Rasio bentang bersih plat dalam arah memanjang & memendek (β)

Pada perencanaan ini menggunakan $f_c' > 30 \text{ Mpa}$, maka digunakan :

$$\begin{aligned} \beta &= 0,85 - \left(\left[f_c' - 30 \right] \frac{0,005}{7} \right) \\ &= 0,85 - \left(\left[49,8 - 30 \right] \frac{0,005}{7} \right) \\ &= 0,8144 \end{aligned}$$

- Faktor momen pikul (K)

$$\begin{aligned} K_{\text{maks}} &= \frac{382,5 \times \beta \times f_c \times (600 + f_y - 225 \times \beta)}{(600 + f_y)^2} \\ &= \frac{382,5 \times 0,814 \times 49,8 \times \left(600 + 390,0 \times 225 \times 0,814 \right)}{\left(600 + 390,0 \right)^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 12,7698 \\
K &= \frac{Mu}{\phi b x d^2} \\
&= \frac{29284100}{0,9 \times 1000 \times 169^2} \\
&= 1,091
\end{aligned}$$

Adapun syarat yang digunakan $K < K_{maks}$

$$1,0908 < 12,7698$$

Maka pada perencanaan ini, **dipakai tulangan tunggal**

$$\begin{aligned}
a_1 &= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2K_u}{0,85f_c'}} \right) d \\
&= \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,091}{0,85 \times 49,8}} \right) 169,0 \\
&= 4,412 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_s &= \frac{0,85 \times f_c' \times a_1 \times b}{f_y} \\
&= \frac{0,85 \times 49,8 \times 4,412 \times 1000}{390} = 478,916 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

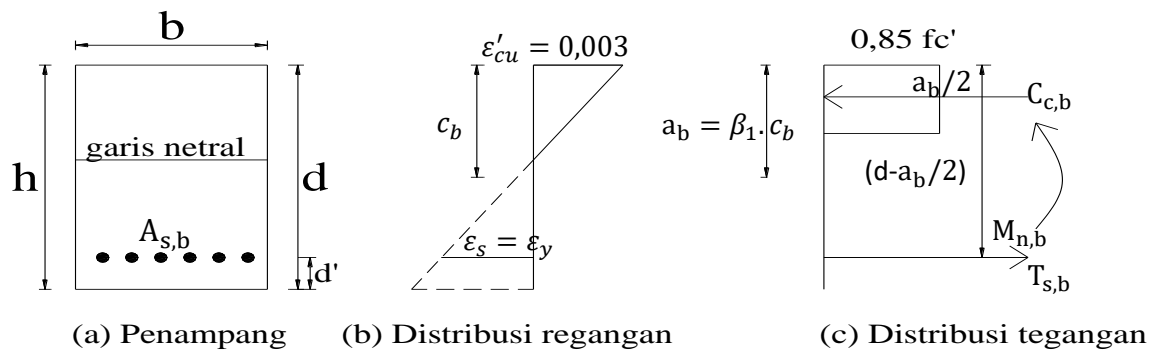
$$\begin{aligned}
A_{min} &= \frac{\sqrt{f_c'}}{4f_y} b d \\
&= \frac{\sqrt{49,8}}{4 \times 390} \times 1000 \times 169 = 688,049 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

• Kontrol luasan tulangan

$$A_s > A_{min}$$

$$478,916 > 688,049 \quad \text{(Dipakai } A_s \text{ min)}$$

Jadi tulangan perlu $A_s = 688,048871810717$



Gambar 4.54 Distribusi Regangan-Tegangan pada Plat Bawah

(Sumber : Hasil Perencanaan)

- Digunakan tulangan D 32 mm

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ ada}} &= \pi/4 \times D^2 \\
 &= \pi/4 \times 32^2 \\
 &= 803,840 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan (n)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s}{A_{s \text{ ada}}} \\
 &= \frac{688,049}{803,840} \\
 &= 0,86 \text{ buah} \approx \square 5 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

- Jarak tulangan (S)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b}{A_s} \times A_{s \text{ ada}} \\
 &= \frac{1000}{688,049} \times 803,840 \\
 &= 1168,29 \text{ mm} \approx \square 200,0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi tulangan 5 D32 - 200 mm

2.) Perhitungan momen desain (Md)

$$\begin{aligned}
 A_s &= n \times \pi/4 \times D^2 \\
 &= 5 \times \pi/4 \times 32^2 \\
 &= 4019,200 \text{ mm}^2 \\
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 f_c' \times b} \\
 &= \frac{4019,200 \times 390}{0,85 \times 49,8 \times 1000} = 37,030 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times (d - a/2) \\
 &= 4019,200 \times 390 \times \left[169,00 - 18,515 \right]
 \end{aligned}$$

$$= 235883281,708 \text{ Nmm} = 235,883 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_d &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 235,883 \\ &= 212,295 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol momen desain

$$\begin{aligned} M_d &> M_u \\ 212,295 \text{ kNm} &> 29,284 \text{ kNm} \quad \text{(Memenuhi)} \end{aligned}$$

3.) Perhitungan tul. bagi

Untuk tul. bagi digunakan 20% dari tul. pokok

$$\begin{aligned} A_s \text{ bagi} &= 20\% \times A_s \\ &= 20\% \times 4019,200 \\ &= 803,840 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Digunakan tulangan bagi D 32 mm

$$\begin{aligned} A_s \text{ ada} &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \times 32^2 \\ &= 803,840 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jarak tul. bagi (S)

$$\begin{aligned} S &= \frac{b}{A_s} \times A_s \text{ ada} \\ &= \frac{1000}{803,840} \times 803,840 \\ &= 1000,0 \text{ mm} \approx \square 200,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

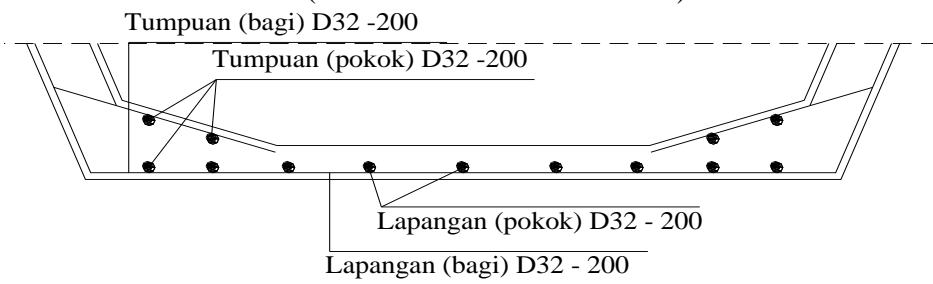
Tabel 4.38 Rekapitulasi Penulangan Plat Bawah

Daerah Plat Atas	Tulangan	Diameter (D) (mm)	Jarak (mm)
Tumpuan	Pokok	32	200
	Bagi	32	200

Tabel 4.38 Rekapitulasi Penulangan Plat Bawah

Daerah Plat Atas	Tulangan	Diameter (D) (mm)	Jarak (mm)
Lapangan	Pokok	32	200
	Bagi	32	200

(Sumber : Hasil Perencanaan)



Gambar 4.55 Penulangan Plat Bawah

(Sumber : Hasil Perencanaan)

4.7.1.4 Penulangan Plat Web

Pada perencanaan penulangan plat ini digunakan beberapa data sebagai berikut :

Mu	= Momen ultimate maks	=	365,475 kNm
fc	= Mutu beton prategang (K-600)	=	49,800 MPa
fy	= Mutu baja tulangan (BJTP U-39)	=	390,000 MPa
l	= Lebar slab atas	=	9,0 mm
t	= Tebal slab atas	=	225,0 mm
p	= Tebal selimut	=	40,0 mm
D 32	= Diam. tulangan pokok	=	32,0 mm
D 32	= Diam. Tulangan bagi	=	32,0 mm
d	= Tinggi efektif		
	= t - p - (0,5 x Øtul. Pokok)	=	169,0 mm
d'	= Jarak antara berat tul. tekan & tepi serat beton tekan		
	= p+(0,5 x Øtul. Pokok)	=	56,0 mm
b	= Lebar yang ditinjau	=	1000,0 mm

a. Penulangan Plat Web

1.) Penulangan Longitudinal

- Rasio bentang bersih plat dalam arah memanjang & memendek (β)

Pada perencanaan ini menggunakan $fc' > 30$ Mpa, maka digunakan :

$$\begin{aligned}\beta &= 0,85 - \left(\left[\frac{fc' - 30}{7} \right] 0,005 \right) \\ &= 0,85 - \left(\left[\frac{49,8 - 30}{7} \right] 0,005 \right) \\ &= 0,8144\end{aligned}$$

- Momen nominal (Mn)

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{365,475}{0,85} \\ &= 429,971 \text{ kNm} = 429970823,529 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Luas tulangan perlu (Asperlu)

$$\begin{aligned} \text{Asperlu} &= \frac{0,85x f_c' x b x d}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_n}{0,85x f_c' x b x d^2}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 49,8 \times 1000 \times 169,0}{390} \times \\ &\quad \left(1 - \sqrt{\frac{2 \times 429970823,529}{0,85 \times 49,8 \times 1000 \times 169,0^2}} \right) \\ &= 18343,000 \times \left(1 - 0,8433807 \right) \\ &= 2872,868 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan maksimum (Asmaks)

$$\begin{aligned} \text{Asmaks} &= \frac{0,75 \times 600 \times 0,85x f_c' x \beta x b x d}{f_y (600+f_y)} \\ &= \frac{0,75 \times 600 \times 0,85 \times 49,8 \times 0,8144 \times 1000 \times 169}{390 \times (600 + 390)} \\ &= 6790,483 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Luas tulangan minimum (Asmin)

$$\begin{aligned} \text{Asmin} &= \frac{\sqrt{f_c'} x b x d}{4f_y} \\ &= \frac{\sqrt{49,8 \times 1000 \times 169}}{4 \times 390} \\ &= 764,499 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Adapun syarat yang digunakan, As min < As perlu < As maks

$$764,499 < 2872,868 < 6790,483$$

Maka As yang digunakan = 2872,86803425791 mm²

- Digunakan tulangan D 32 mm

$$\begin{aligned} \text{As ada} &= \pi/4 \times D^2 \\ &= \pi/4 \times 32^2 \\ &= 803,840 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan (n)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As}}{\text{As ada}} \\ &= \frac{2872,868}{803,840} \\ &= 3,57 \text{ buah} \approx 14 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Jarak tulangan (S)

$$\begin{aligned} S &= \frac{b}{\text{As}} \times \text{As ada} \\ &= \frac{1000}{2872,868} \times 803,840 \\ &= 279,80 \text{ mm} \approx 200,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kontrol luasan tulangan

$$\begin{aligned} \text{As ada} &> \text{As} \\ 803,840 \times 14 &> 2872,868 \\ 11253,760 &> 2872,868 \quad (\text{Memenuhi}) \end{aligned}$$

Jadi tulangan 14 D32 - 200 mm

- Pengecekan kapasitas tulangan lentur terhadap panampang melintang

$$\begin{aligned} \text{As ada} &= n \times \pi/4 \times D^2 \\ &= 14 \times \pi/4 \times 32^2 \\ &= 11253,760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As ada} \times f_y}{0,85 f_c' \times b} \\ &= \frac{11253,760 \times 390}{0,85 \times 49,8 \times 1000} = 103,685 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mn ada} &= \text{As ada} \times f_y \times (d - a/2) \\ &= 11253,760 \times 390 \times \left[169,00 - 51,842 \right] \\ &= 514201349,709 \text{ Nmm} = 514,201 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Md} &= \phi \times \text{Mn ada} \\ &= 0,9 \times 514,201 \\ &= 462,781 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol momen desain

$$M_d > M_n$$

$$462,781 \text{ kNm} > 429,971 \text{ kNm} \quad \text{(Memenuhi)}$$

2.) Perhitungan tul. bagi

Untuk tul. bagi digunakan 20% dari tul. pokok

$$\begin{aligned} A_s \text{ bagi} &= 20\% \times A_s \text{ ada} \\ &= 20\% \times 11253,760 = 2250,752 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Digunakan tulangan bagi D 32 mm

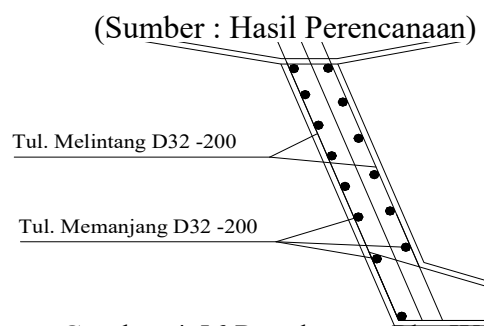
$$\begin{aligned} A_s \text{ ada} &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \times 32^2 = 803,840 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jarak tul. bagi (S)

$$\begin{aligned} S &= \frac{b}{A_s} \times A_s \text{ ada} \\ &= \frac{1000}{2250,752} \times 803,840 \\ &= 357,1 \text{ mm} \approx 200,00 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabel 4.39 Rekapitulasi Penulangan Plat Web

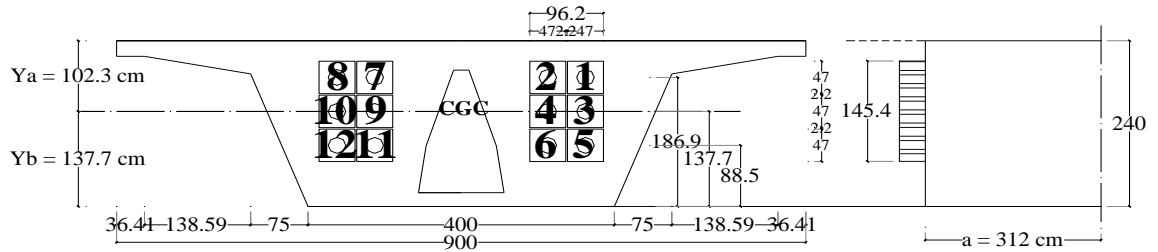
Tulangan	Diameter (D) (mm)	Jarak (mm)
Pokok (Memanjang)	32	200
Bagi (Melintang)	32	200



Gambar 4.56 Penulangan Plat Web

(Sumber : Hasil Perencanaan)

4.8 Perencanaan Blok Ujung (*End Block*)



Gambar 4.57 Rencana Blok Ujung (*End Block*)

(Sumber : Hasil Perencanaan)

Pada perencanaan penulangan *end block* dibutuhkan beberapa data sebagai berikut :

Tipe angkur = Anchorage VSL Tipe GC Stirrup Reinforcement (6-37 unit)

Dimensi = 470mm x 470mm (unit 6-37)

F_o	= Gaya prategang awal	= 87595,200 kN
F_{o1}	= Gaya prategang tendon 1,2,3,4,5,6	= 43797,600 kN
A	= Luas penampang yang ditinjau	= 5,299 m ²
f_c'	= Mutu beton prategang	= 48,85 MPa
f_y	= Mutu baja tulangan (BJTP U-39)	= 390,00 MPa
$2y_{po}$	= Tinggi pelat angkur	= 145,4 cm
$2y_o$	= Tinggi prisma ekivalen	= 204,6 cm
h	= Tinggi box girder	= 240,0 cm
a	= Panjang balok ujung = $1,3 \times h$	= 312,0 cm
y_a	= Statis momen serat atas	= 102,3 cm
y_b	= Statis momen serat bawah	= 137,7 cm
n	= jumlah tendon	= 12 buah

4.8.1 Daerah Pecah Ledak (*Busting Steel*)

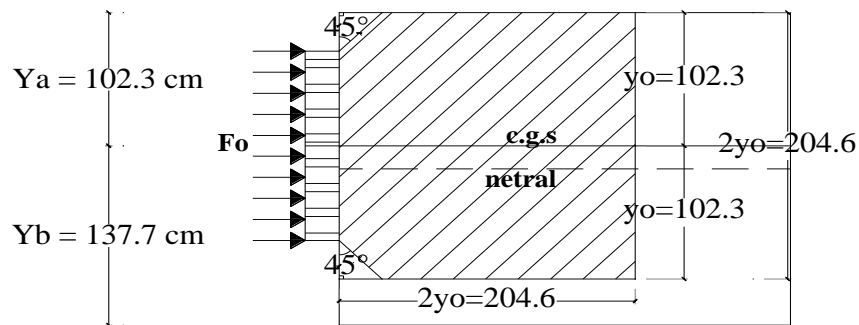
Tulangan pecah ledak dipasang antara 0,2 a sampai 1,0 a dan dipusatkan pada

pada titik dimana terjadi tegangan maksimum, dimana a merupakan daerah blok ujung. Sehingga didapat :

$$\begin{aligned}
 a &= 1,3 \times h & 0,2 a &= 0,2 \times a \\
 &= 1,3 \times 240 & &= 0,2 \times 312 \\
 &= 312,0 \text{ cm} & &= 62,4 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Gaya tarik pada angkur (N) menurut Prof. Ir. Achmad Antono, hal 76

$$\begin{aligned}
 N &= \frac{F_o}{n} \\
 &= \frac{87595,200}{12} \\
 &= 7299,600 \text{ kN}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.58 Transmisi Gaya pada Blok Ujung (Plat Angkur Tunggal)

(Sumber : Hasil Perencanaan)

karena akibat gaya tekan. Tegangan tekan yang cukup besar dapat menyebabkan pecah ledak terpusat pada daerah $0,45 a$ (jarak maksimum terjadi momen pecah ledak).

- Perbandingan Distribusi :

$$\frac{y_{po}}{y_o} = \frac{72,7}{102} = 0,711$$

- Kedudukan tegangan nol dari ujung, didapatkan dengan cara interpolasi :

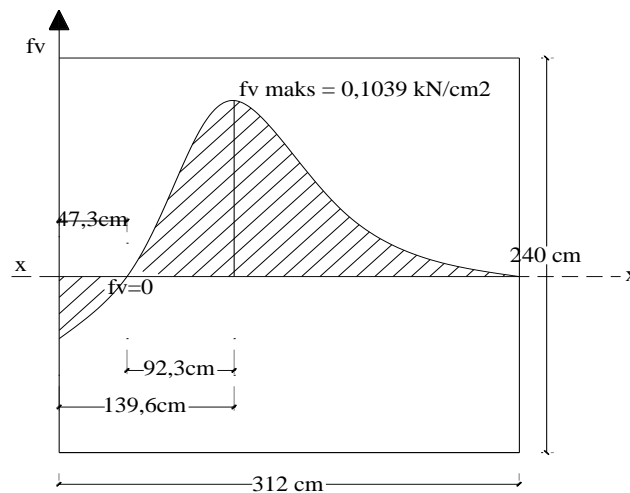
$$\begin{aligned}
 \frac{x}{2y_o} &= \left[0,23 + \frac{0,71 - 0,7}{0,8 - 0,7} \times (0,24 - 0,23) \right] 2y_o \\
 &= 0,23 \times 204,6 \\
 &= 47,3 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

- Kedudukan tegangan maksimum, didapatkan dengan cara interpolasi :

$$\begin{aligned} \frac{x}{2y_0} &= \left[0,45 + \frac{0,71 - 0,7}{0,8 - 0,7} \times (0,46 - 0,45) \right] 2y_0 \\ &= 0,45 \times 204,6 \\ &= 92,3 \text{ cm} \end{aligned}$$

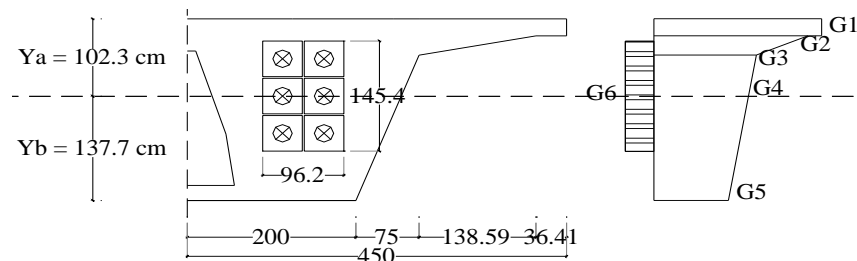
- Tegangan tarik maksimum

$$\begin{aligned} f_v \text{ maks} &= \left[0,13 + \frac{0,71 - 0,7}{0,8 - 0,7} \times (0,09 - 0,13) \right] \frac{F_0}{A} \\ &= 0,13 \times \frac{43797600}{5299179,560} \\ &= 1,039 \text{ N/mm}^2 = 0,1039 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$



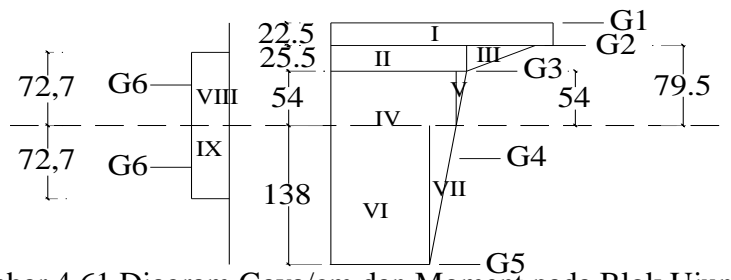
Gambar 4.59 Diagram Tegangan pada End Block

(Sumber : Hasil Perencanaan)



Gambar 4.60 Diagram Gaya/cm Pada Balok Ujung

(Sumber : Hasil Perencanaan)



Gambar 4.61 Diagram Gaya/cm dan Moment pada Blok Ujung
(Sumber : Hasil Perencanaan)

Adapun beberapa data perencanaan yang dibutuhkan seperti berikut :

b1	= lebar bagian G1	=	450,0 cm
b2	= lebar bagian G2	=	413,6 cm
b3	= lebar bagian G3	=	275,0 cm
b4	= lebar bagian G4	=	253,8 cm
b5	= lebar bagian G5	=	200,0 cm
b6	= lebar bagian G6	=	47,0 cm

a. Gaya desak beton

• Pada G1

$$\begin{aligned}
 G1 &= fb' \times b1 \\
 &= 0,1039 \times 450,0 \\
 &= 46,765 \text{ kN/cm}
 \end{aligned}$$

• Pada G2

$$\begin{aligned}
 G2 &= fb' \times b2 \\
 &= 0,1039 \times 413,6 \\
 &= 42,981 \text{ kN/cm}
 \end{aligned}$$

• Pada G3

$$\begin{aligned}
 G3 &= fb' \times b3 \\
 &= 0,1039 \times 275,0 \\
 &= 28,579 \text{ kN/cm}
 \end{aligned}$$

- Pada G4

$$\begin{aligned} G4 &= fb' \times b4 \\ &= 0,1039 \times 253,8 \\ &= 26,374 \text{ kN/cm} \end{aligned}$$

- Pada G5

$$\begin{aligned} G5 &= fb' \times b5 \\ &= 0,1039 \times 200,0 \\ &= 20,784 \text{ kN/cm} \end{aligned}$$

- Pada G6

$$\begin{aligned} G6 &= \frac{Fo}{n \times b6} \\ &= \frac{87595,200}{6 \times 47,0} \\ &= 310,621 \text{ kN/cm} \end{aligned}$$

- Momen pecah ledak (M_{PL}) dipusat angker

$$\begin{aligned} M_{PL} &= - (G1.22,5. (\frac{1}{2}. 22,5 + 79,5)) - (\frac{1}{2} (G2 - G3). 25,5. (\frac{2}{3}. 25,5 + 54)) - \\ &\quad (G3.25,5(\frac{1}{2}. 25,5 + 54)) - (G4.54(\frac{1}{2}. 54)) - \\ &\quad (\frac{1}{2} (G3 - G4). 54. (\frac{2}{3}. 54)) + (\frac{1}{2} (G4 - G5). 138. (\frac{1}{3}. 138)) + \\ &\quad (G5. 138(\frac{1}{2}. 138)) + (G6. 72,7. (\frac{1}{2}. 72,7)) - (G6. 72,7. (\frac{1}{2}. 72,7)) \\ &= - 95488,260 - 13037,933 - 48644,356 - \\ &\quad 38453,896 - 2142,472 + 17742,580 + \\ &\quad 197909,429 + 820861,763 - 820861,763 \\ &= 17885,093 \text{ kNcm} \end{aligned}$$

- Tegangan pada blok ujung

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{7,2 \text{ } M_{PL}}{b_{web} \cdot a^2} \\ &= \frac{7,2 \cdot 17885,093}{200 \cdot 312^2} = 0,007 \text{ kN/cm}^2 = 6,614 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Syarat standar Australia, (Buku Beton Bertulang. Prof. Ir. Achmad Antono, hal 77)

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_b &= 0,54x\sqrt{f'c'} \\ &= 0,54 \times \sqrt{48,85} \\ &= 3,774 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\sigma < \bar{\sigma}_b$$

$$6,614 \text{ MPa} > 3,774 \text{ MPa}$$

Dikarenakan $\sigma > \bar{\sigma}_b$, maka diperlukan tulangan pada daerah pecah ledak

4.8.1.1 Penulangan Daerah Pecah Ledak (*Busting Steel*)

Pada perencanaan penulangan *end block* dibutuhkan beberapa data sebagai berikut :

Tipe angkur = Anchorage VSL Tipe GC Stirrup Reinforcement (6-37 unit)

Dimensi = 470mm x 470mm (unit 6-37)

M_{PL} = Momen pecah ledak = 17885,093 kNcm

F_{o1} = Gaya prategang tendon 1,2,3,4,5,6 = 43797,600 kN

a = Panjang pecah ledak = 312,0 cm

D 16 = Diam. tulangan pokok = 16,0 mm

- Gaya tarik pada plat angkur (T)

$$\begin{aligned}T &= \frac{2,6 \times M_{PL}}{a} \\ &= \frac{2,6 \times 178850927,225}{312} \\ &= 1490424,394 \text{ N}\end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan (A_{Sperlu})

$$\begin{aligned}A_{Sperlu} &= \frac{T}{f_y} \\ &= \frac{1490424,394}{390} \\ &= 3821,601 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jika menggunakan tulangan D 16

$$\begin{aligned} A_s D 16 &= 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 200,960 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

• Jumlah tulangan (n)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{s\text{perlu}}}{A_s} \\ &= \frac{3821,601}{200,960} \\ &= 19,017 = 20 \text{ buah} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan pokok terpasang 20 D16

• Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} A_s \text{ ada} &= A_s D 16 \times n \\ &= 200,960 \times 20 \\ &= 4019,200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Adapun syarat yang digunakan $A_{s\text{ada}} > A_{s\text{perlu}}$

$$4019,200 > 3821,601 \text{ (memenuhi)}$$

4.8.2 Daerah Pecah Gumpal (Anyaman)

4.8.2.1 Penulangan Arah Horizontal

Pada perencanaan penulangan daerah pecah ledak arah horizontal dibutuhkan beberapa data sebagai berikut :

Tipe angkur = Anchorage VSL Tipe GC Stirrup Reinforcement (6-37 unit)

Dimensi = 470mm x 470mm (unit 6-37)

M_{PL} = Momen pecah ledak = 17885,093 kNcm

F_o = Gaya prategang tendon 1,2,3,4,5,6 = 43797,600 kN

a = Panjang blok ujung = 312,0 cm

0,2. a = Panjang daerah pecah gumpal = 62,4 cm

f_y = Mutu baja prategang = 390,00 MPa

D 22	= Diam. tulangan pokok	=	22,0 mm
Lebar plat angkur ekivalen		2y _{po}	= 96,20 cm
		y _{po}	= 48,10 cm
Lebar box ekivalen		2y _o	= 204,6 cm
		y _o	= 102,3 cm

- Perbandingan distribusi

$$\frac{y_{po}}{y_o} = \frac{48,10}{102,30} = 0,47019$$

- Tarikan memecah tendon (F_{bst})

$$\begin{aligned} F_{bst} &= 0,3 \times F_o \times \left[\left(1 - \frac{y_{po}}{y_o} \right)^{0,58} \right] \\ &= 0,3 \times 43797,600 \times \left[\left(1 - 0,47019 \right)^{0,58} \right] \\ &= 9089,988 \text{ kN} \\ &= 9089987,505 \text{ N} \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan (A_{Sperlu})

$$\begin{aligned} A_{Sperlu} &= \frac{F_{bst}}{0,87 \times f_y} \\ &= \frac{9089987,505}{0,87 \times 390} \\ &= 26790,414 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jika menggunakan tulangan D 22

$$\begin{aligned} A_s \text{ D 22} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 379,940 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan (n)

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{Sperlu}}{A_s} \\ &= \frac{26790,414}{379,940} = 70,512 = 75 \text{ buah} \end{aligned}$$

Tulangan horizontal direncanakan dipasang pada arah melintang dan memanjang untuk box girder, jadi dilakukan pembagian terhadap jumlah tulangan total.

- Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned} \text{As ada} &= \text{As D 22} \times n \\ &= 379,940 \times 75 \\ &= 28495,500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Adapun syarat yang digunakan $\text{Asada} > \text{Asperlu}$

$$28495,500 > 26790,414 \text{ (memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan horizontal: 5 x 15 D 22

4.8.2.2 Penulangan Arah Vertikal

Pada perencanaan penulangan daerah pecah ledak arah vertikal dibutuhkan beberapa data sebagai berikut :

Tipe angkur = Anchorage VSL Tipe GC Stirrup Reinforcement (6-37 unit)

Dimensi = 470mm x 470mm (unit 6-37)

M_{PL}	= Momen pecah ledak	= 17885,093 kNcm
F_{o1}	= Gaya prategang tendon 1,2,3,4,5,6	= 43797,600 kN
a	= Panjang pecah ledak	= 312,0 cm
$0,2 \cdot a$	= Panjang daerah pecah gumpal	= 62,4 cm
f_y	= Mutu baja prategang	= 390,00 MPa
D 22	= Diam. tulangan pokok	= 22,0 mm
Tinggi plat angkur ekuivalen	$2 y_{po}$	= 145,40 cm
	y_{po}	= 72,70 cm
Tinggi penampang <i>end block</i> ekuivalen	$2 y_o$	= 204,60
	y_o	= 102,3 cm

- Perbandingan distribusi

$$\frac{y_{po}}{y_o} = \frac{72,700}{102,30} = 0,71065$$

- Tarikan memecah tendon (F_{bst})

$$\begin{aligned}
 F_{bst} &= 0,3 \times F_o \times \left[\left(1 - \frac{x_{po}}{x_o} \right)^{0,58} \right] \\
 &= 0,3 \times 43797,60 \times \left[\left(1 - 0,71065 \right)^{0,58} \right] \\
 &= 6400,190 \text{ kN} \\
 &= 6400190,377 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- Luas tulangan yang diperlukan (A_{Sperlu})

$$\begin{aligned}
 A_{Sperlu} &= \frac{F_{bst}}{0,87 \times f_y} \\
 &= \frac{6400190,377}{0,87 \times 390} \\
 &= 18862,925 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jika menggunakan tulangan D 22

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ D 22} &= 0,25 \times \pi \times D^2 \\
 &= 0,25 \times \pi \times 22^2 = 379,940 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan (n)

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{Sperlu}}{A_s} \\
 &= \frac{18862,925}{379,940} \\
 &= 49,647 = 50 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Tulangan horizontal direncanakan dipasang pada arah melintang dan memanjang untuk box girder, jadi dilakukan pembagian terhadap jumlah tulangan total.

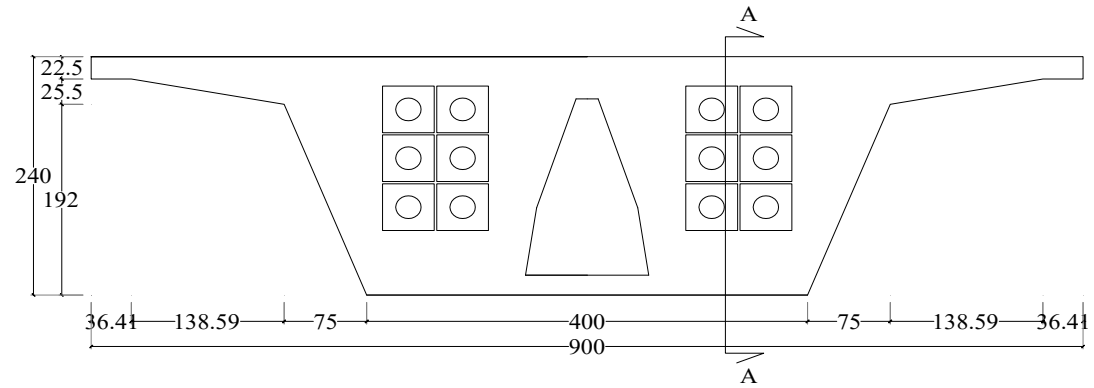
- Kontrol luas tulangan

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ ada} &= A_s \text{ D 22} \times n \\
 &= 379,940 \times 50 \\
 &= 18997,000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Adapun syarat yang digunakan $A_{sada} > A_{Sperlu}$

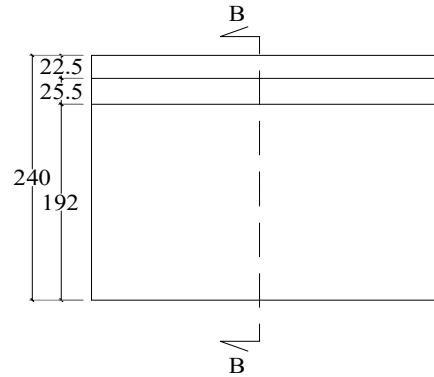
$$18997,000 > 18862,925 \text{ (memenuhi)}$$

Maka digunakan tulangan vertikal: 5 x 10 D 22



Tampak Depan

Skala : 1:100

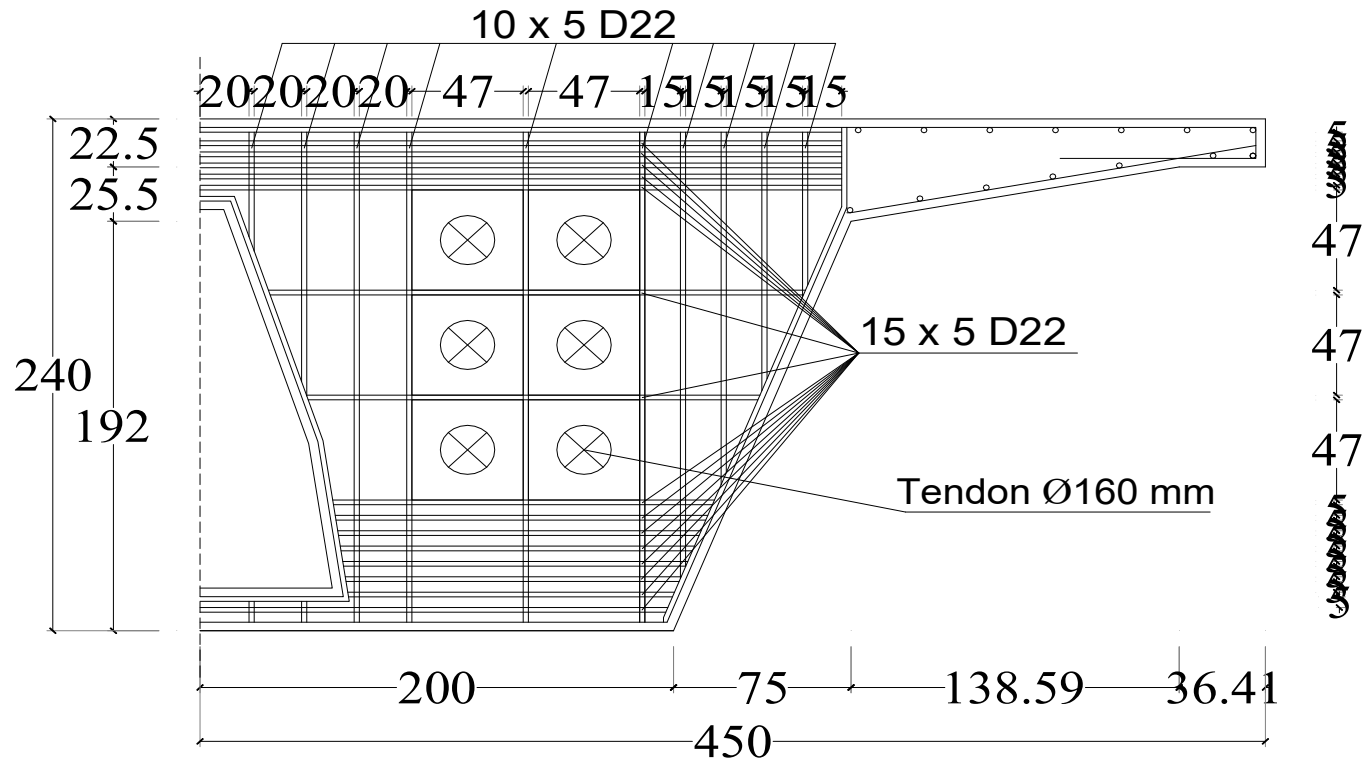


Tampak Samping

Skala : 1:100

Gambar 4.62 Tampak EndBlock

(Sumber : Hasil Perencanaan)

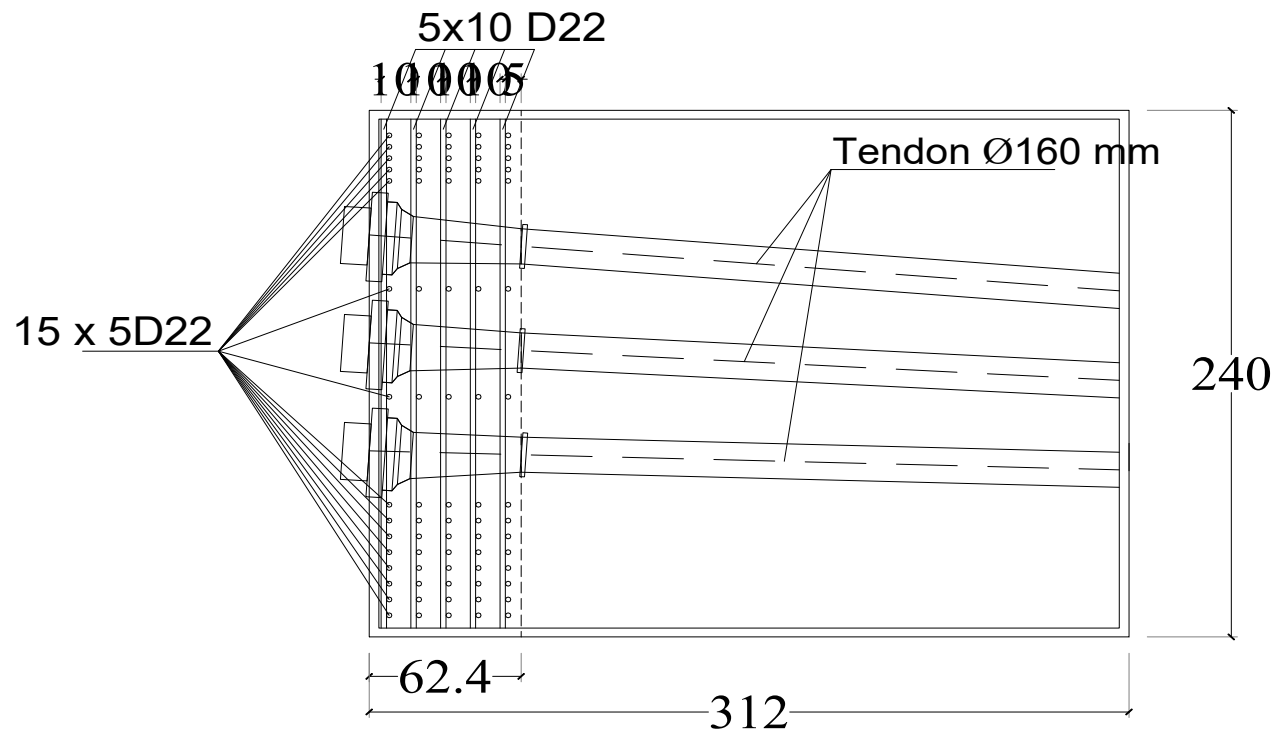


Detail Pot. B-B

Skala : 1:100

Gambar 4.63 Detail Penulangan End Blok

(Sumber : Hasil Perencanaan)

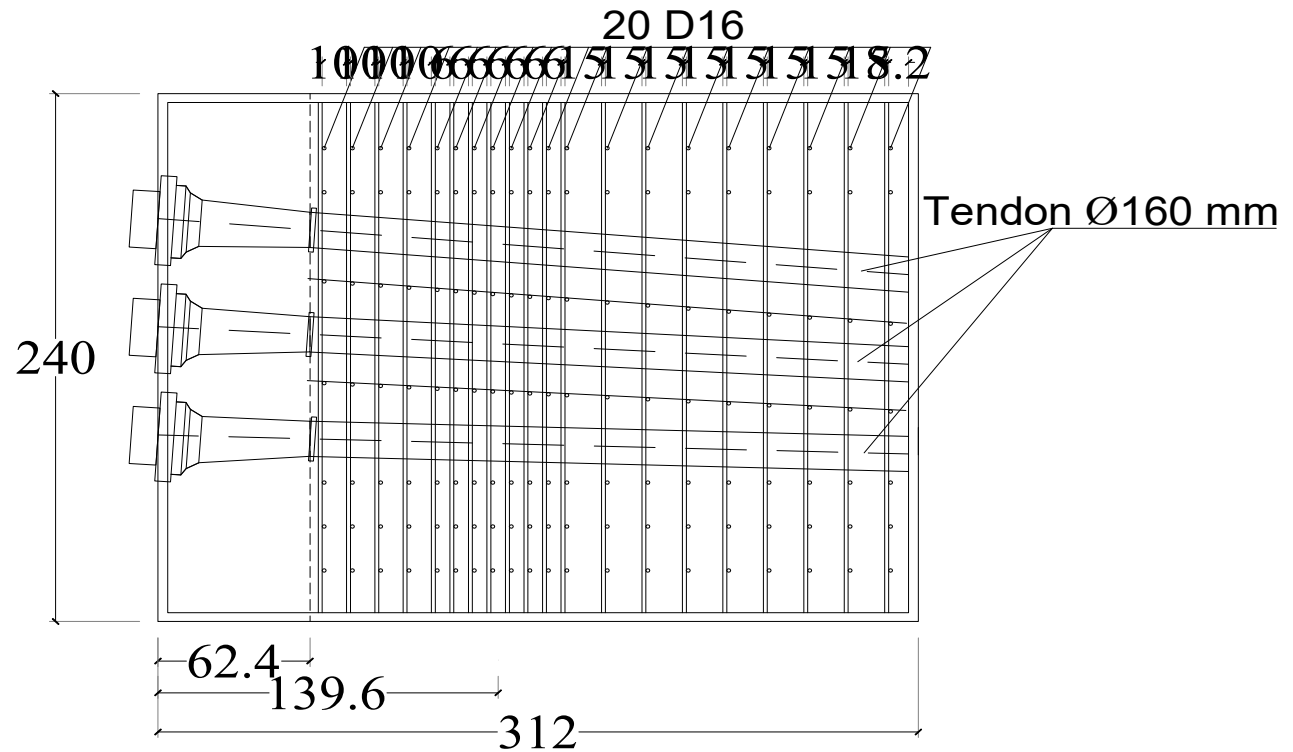


Detail Penulangan Pecah Gumpal

Skala : 1:100

Gambar 4.64 Penulangan Pecah Gumpal

(Sumber : Hasil Perencanaan)



Detail Penulangan Pecah Ledak

Skala : 1:100

Gambar 4.65 Penulangan Pecah Ledak

(Sumber : Hasil Perencanaan)

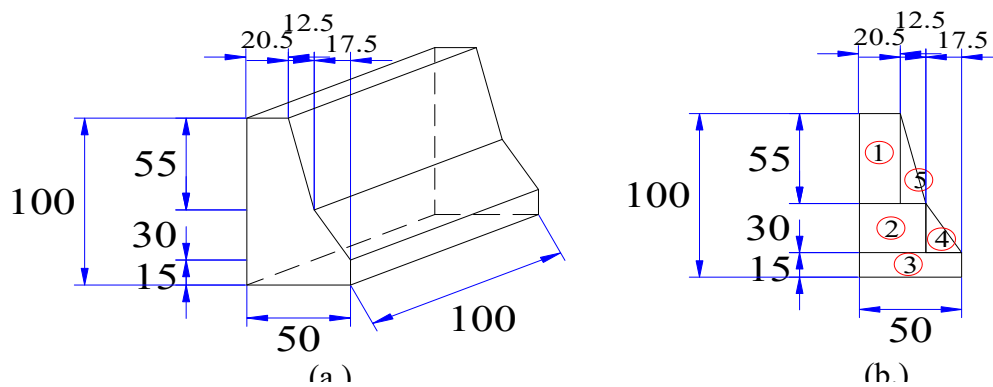
4.9 Struktur Sekunder

Struktur sekunder pada perencanaan ini berupa pembatas jalan atau parapet jalan. Berdasarkan pada SNI 1725-2016, fungsi utama pembatas jalan adalah untuk memberikan keamanan kepada pengguna jalan.

4.9.1 Pendimensionian Pembatas jalan (Parapet)

Desain penampang pembatas jalan/parapet pada perencanaan ini berdasarkan Direktorat Jalan Bina Marga, 1990 tentang Petunjuk Lokasi dan Standar Spesifikasi Bangunan Pengaman Tepi Jalan. Adapun perencanaan dimensi parapet flyover sebagai berikut :

t	= Tinggi	= 1,00 m = 100,0 cm
l ₁	= Lebar atas	= 0,25 m = 25,0 cm
l ₂	= Lebar bawah	= 0,50 m = 50,0 cm
b	= Panjang yg ditinjau	= 1,00 m = 100,0 cm
BJ	= Berat jenis	= 2400,0 kg/m ³



Gambar 4.66 (a.) Dimensi Parapet (b.) Pembagian Parapet

(Sumber : Perencanaan)

Tabel 4.40 Pendimensionian Parapet

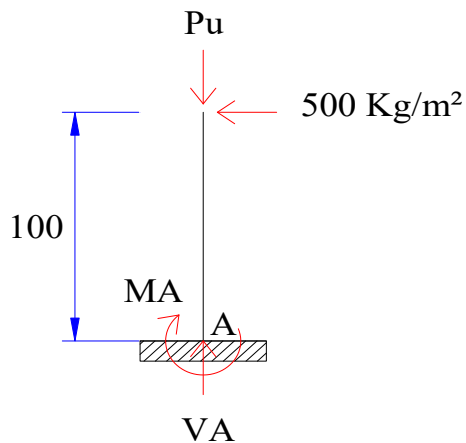
Bagian	Dimensi		Luas A m ²
	b m	h m	
1	0,21	0,55	0,113

Tabel 4.40 Pendimensionian Parapet

Bagian	Dimensi		Luas A m ²
	b m	h m	
2	0,33	0,3	0,099
3	0,5	0,15	0,075
4	0,18	0,3	0,053
5	0,13	0,55	0,069
ΣA			0,408

(Sumber : Hasil Perencanaan)

4.9.2 Pembebanan Pembatas Jalan (Parapet)



Gambar 4.67 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Parapet

(Sumber : Hasil Perencanaan)

1. Beban Mati

$$\begin{aligned}
 \text{Beban terpusat (Pu)} &= \Sigma A \times b \times BJ \times KuMS \\
 &= 0,408 \times 1 \times 2400 \times 1,1 \\
 &= 1077,120 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Beban Hidup

Berdasarkan PPPJRR 1987 Bab II Pasal 1 (2) 2.5 Beban hidup yang digunakan dalam perencanaan menggunakan beban horizontal kerb sebesar 500 kN

3. Momen Ultimate

$$\begin{aligned} \text{Momen ultimate } Mu &= P_u \times t \times K_uTP \\ &= 1077 \times 1 \times 1,3 \\ &= 1400,3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

4. Gaya Geser Ultimate

$$\begin{aligned} \text{Gaya geser, } V_u &= K_{erb} \times K_uTP \\ &= 500 \times 1,3 \\ &= 650,0 \text{ kN} = 650000,000 \text{ N} \end{aligned}$$

4.9.3 Penulangan Pembatas Jalan (Parapet)

Pada perencanaan penulangan parapet ini digunakan beberapa data sebagai berikut :

f_c	= Mutu beton	= 34,300 MPa
f_y	= Mutu baja tulangan (BJTP U-24)	= 240,000 MPa
p	= Tebal selimut	= 40,0 mm
D 22	= Diam. tulangan pokok	= 22,0 mm
D 22	= Diam. Tulangan bagi	= 22,0 mm
d	= Tinggi efektif	
	= $t - p - (0,5 \times \text{Øtul. Pokok}) - (0,5 \times \text{Øtul. Pokok})$	= 938,0 mm
b	= Lebar yang ditinjau	= 1000,0 mm

1.) Penulangan Longitudinal

- Rasio bentang bersih plat dalam arah memanjang & memendek (β)

Pada perencanaan ini menggunakan $f_c' > 30$ Mpa, maka digunakan :

$$\begin{aligned} \beta &= 0,85 - \left(\left[\frac{f_c' - 30}{7} \right] \frac{0,005}{7} \right) \\ &= 0,85 - \left(\left[\frac{34,3 - 30}{7} \right] \frac{0,005}{7} \right) = 0,8255 \end{aligned}$$

- Momen nominal (Mn)

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{1400,256}{0,85} \\ &= 1647,360 \text{ kNm} = 1647360000,000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} \\ &= \frac{1647360000,000}{1000 \times 938^2} \\ &= 1,872 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

- Rasio penulangan keseimbangan (ρ_b)

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{\beta \times 0,85 \times f_c' \left(\frac{600}{600} \right)}{f_y} \\ &= \frac{0,826 \times 0,85 \times 34,3 \left(\frac{600}{600 + 240} \right)}{240} \\ &= 0,0716 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{240} \\ &= 0,0058 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \\ &= 0,75 \times 0,0716 = 0,0537 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ &= \frac{240}{0,85 \times 34,3} = 8,2319 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{8,2319} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8,232 \times 1,872}{240}} \right) \\ &= 0,0081 \end{aligned}$$

Adapun syarat yang digunakan $\rho_{min} < \rho > \rho_{maks}$

$$0,0058 < 0,0081 > 0,0537$$

Maka digunakan sebesar 0,0080693922671482

- Luas tulangan yang dibutuhkan (Asperlu)

$$\begin{aligned} \text{Asperlu} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0081 \times 1000 \times 938 \\ &= 7569,090 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Digunakan tulangan D 22

$$\begin{aligned} \text{As ada} &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \times 22^2 \\ &= 379,940 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jumlah tulangan (n)

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As}}{\text{As ada}} \\ &= \frac{7569,090}{379,940} \\ &= 19,92 \text{ buah} \approx 20 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Jarak tulangan (S)

$$\begin{aligned} S &= \frac{b}{\text{As}} \times \text{As ada} \\ &= \frac{1000}{7569,090} \times 379,940 \\ &= 50,20 \text{ mm} \approx 50,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan 20 D22 - 50 mm

2.) Perhitungan tul. bagi

Untuk tul. bagi digunakan 20% dari tul. pokok

$$\begin{aligned} \text{As bagi} &= 20\% \times \text{As} \\ &= 20\% \times 7598,800 \\ &= 1519,760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Digunakan tulangan bagi D mm

$$\begin{aligned} \text{As ada} &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \times 22^2 \\ &= 379,940 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Jarak tul. bagi (S)

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b}{A_s} \times A_s \text{ ada} \\
 &= \frac{1000}{1519,760} \times 379,940 \\
 &= 250,0 \text{ mm} \approx 200,00 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan D22 - 200 mm

3.) Menghitung kuat geser nominal

Pada perencanaan ini, kuat geser nomina dapat berasal dari :

a.) Kuat geser nominal yang disediakan oleh beton (V_c)

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 11.3.2, didapat nilai V_c sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_c &= \left(0,05\lambda\sqrt{f_c'} + 4,8\frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) b_w \cdot d \\
 &= \left(0,05 \times 1 \sqrt{34,3} + 4,8 \frac{650,000 \times 938,0}{1400,256} \right) \times \\
 &\quad 1000,0 \times 938,0 \\
 &= 1960711395,629 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Dalam penentuan nilai V_c yang digunakan, tidak boleh diambil kurang dari V_c min , dan tidak boleh lebih besar dari V_c maks (SNI 2847-2013 Pasal 11.3.2)

$$\begin{aligned}
 V_c \text{ min} &= 0,17\lambda\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \\
 &= 0,17 \times 1 \sqrt{34,3} \times 1000,0 \times 938,0 \\
 &= 933896,655 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c \text{ maks} &= 0,42\lambda\sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d \\
 &= 0,42 \times 1 \sqrt{34,3} \times 1000,0 \times 938,0 \\
 &= 2307274,088 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Adapun syarat penentuan nilai V_c sebagai berikut :

$$\begin{array}{ccccc}
 V_c \text{ min} & < & V_c & > & V_c \text{ maks} \\
 933896,655 \text{ N} & < & 1960711395,629 \text{ N} & > & 2307274,088 \text{ N}
 \end{array}$$

Maka digunakan nilai V_c sebesar 2307274,088 N

d.) Pengecekan tulangan geser

Berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 9.3.2.3 faktor reduksi kekuatan ϕ untuk

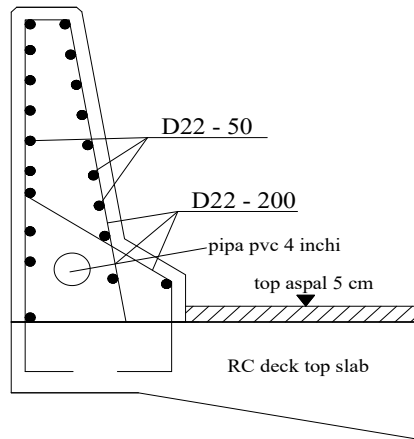
geser = 0,75 dan didapat nilai untuk :

$$\begin{aligned}\phi V_c &= 0,75 \times 2307274,088 \\ &= 1730455,566 \text{ N}\end{aligned}$$

- Jika $V_u > \phi V_c$

$$650000,000 \text{ N} > 1730455,566 \text{ N}$$

Maka pada perencanaan ini, **tidak dibutuhkan tul. geser**



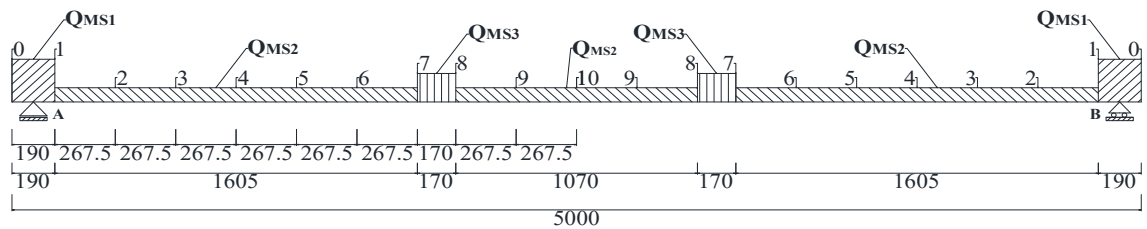
Gambar 4.68 Penulangan Parapet

(Sumber : Hasil Perencanaan)

4.10 Perencanaan Pengangkatan

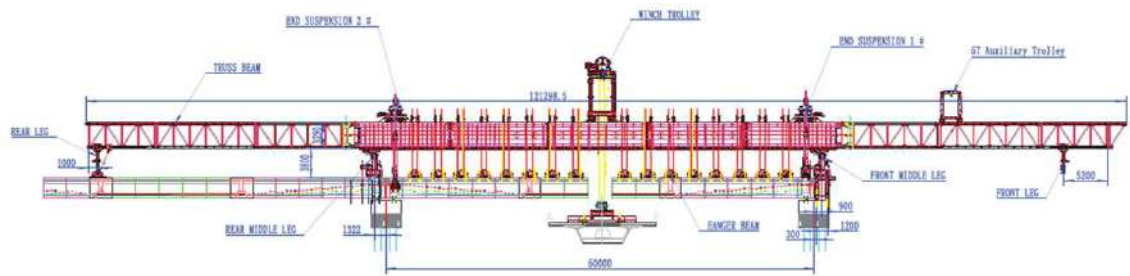
Pada proses pengangkatan membutuhkan data sebagai berikut :

Q_{MS1}	=	Berat sendiri segmen tumpuan	=	313,07 kN/m
Q_{MS2}	=	Berat sendiri segmen deviator	=	161,61 kN/m
Q_{MS3}	=	Berat sendiri segmen standar	=	191,76 kN/m
L	=	Panjang jembatan	=	50,0 m
Type	=	Launcing Gantry (LG850T50M-TOLIAN)		
Kapasitas	=	850,0 ton	=	8500,00 kN



Gambar 4.69 Beban Merata pada Proses Pengangkatan

(Sumber : Hasil Perencanaan)



Gambar 4.70 Metode Span-by-Span dengan Launcing Gantry (LG850T50M-TOLIAN)

(Sumber : PT Tensindo & Tlanye Tollan Heavy Industry&Technology Co.,Ltd)

- Reaksi pada tumpuan ($R_A = R_B$)

$$R_A = R_B = \left(\frac{1}{2} \times Q_{MS1} \times \text{jml box} \times L_1 \right) + \left(\frac{1}{2} \times Q_{MS3} \times \text{jml box} \times L_3 \right) + \left(\frac{1}{2} \times Q_{MS2} \times \text{jml box} \times L_2 \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= (1/2 \times 313,07 \times 2 \times 1,56) + (1/2 \times 191,76 \\
 &\quad \times 2 \times 1,70) + (1/2 \times 161,61 \times 16 \times 2,52) \\
 &= 4075,75 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

• Kontrol

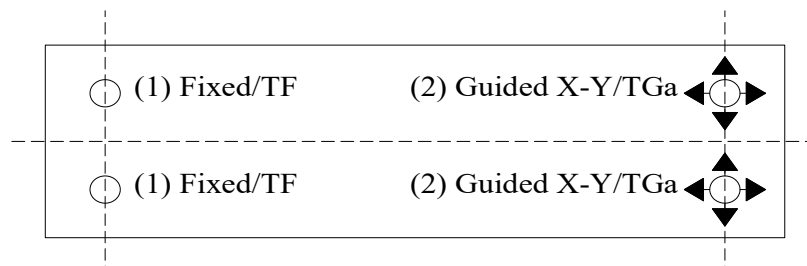
$$RA < \text{Kapasitas angkat LG}$$

$$4075,75 \text{ kN} < 8500,00 \text{ kN} \quad \text{kuat}$$

Sehingga Lanching Gantry kuat menahan berat sendiri dari box girder.

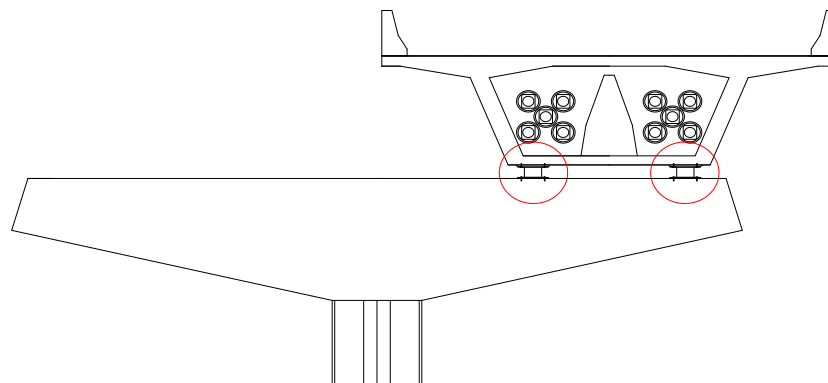
4.11 Perencanaan Perletakan (*Bearing*)

Pada perencanaan flyover ini direncanakan menggunakan perletakan pot bearing dengan 2 jenis model pot bearing yaitu Fix pot bearing TF (Sendi) dan General mobile pot bearing Tga (Roll). Pot bearing diposisikan pada tiap ujung bentang perletakan seperti gambar berikut :



Gambar 4.71 Tampak Atas Posisi Pot Bearing pada Jembatan

(Sumber : Hasil Perencanaan)



Gambar 4.72 Tampak Melintang Posisi Pot Bearing pada Jembatan

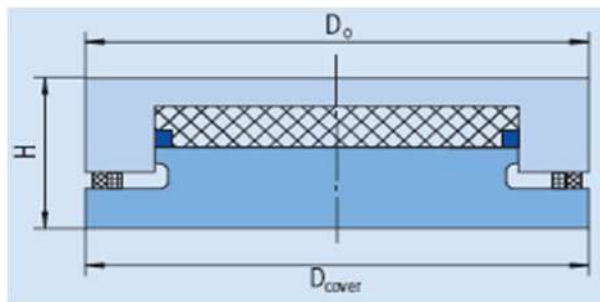
(Sumber : Hasil Perencanaan)

Beberapa data perencanaan diambil dari brosur MAURER Pot Bearings 2016

sebagai berikut :

PD	=	Beban mati	=	5379,474 kN
PL	=	Beban hidup	=	2177,034 kN
Ptot	=	Total beban	=	7556,508 kN
			=	7556508,320 N
σ ijin	=	Batas tegangan ijin	=	26,0 N/mm ²

a. Fixed Pot Bearing (TF)



Gambar 4.73 Fix Pot Bearing (TF)

(Sumber : MAURER Pot Bearings Brosur hal 3)

Digunakan *fix pot bearing* dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tipe	=	TF - 7		
H	=	112,0 mm	Berat	= 235,0 kg
Dcover	=	650,0 mm	Do	= 650,0 mm

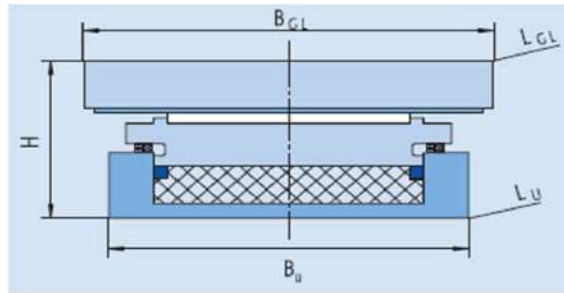
• Cek batas tegangan :

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 650^2 = 331662,500 \text{ mm}^2 \\
 \sigma \text{ ada} &= \frac{P_{tot}}{A} \\
 &= \frac{7556508,320}{331663} = 22,784 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Adapun syarat yang digunakan $\sigma_{ada} < \sigma_{ijin}$

$$22,784 < 26,000 \quad (\text{memenuhi})$$

b. Generally Mobile Pot Bearing (TGa)



Gambar 4.74 Generally Mobile Pot Bearing (TGa)

(Sumber : MAURER Pot Bearings Brosur hal 4)

Digunakan *generally mobile pot bearing* dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tipe = TGa - 6 ex= ±1000mm

H = 570,0 mm

Berat = 344,0 kg

B_{GL} = 620,0 mm

L_{GL} = 855,0 mm

• Cek batas tegangan :

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 620^2 \\ &= 301754,000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{ada} &= \frac{P_{tot}}{A} \\ &= \frac{7556508,320}{301754} \\ &= 25,042 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Adapun syarat yang digunakan $\sigma_{ada} < \sigma_{ijin}$

$$25,042 < 26,000 \quad (\text{memenuhi})$$

4.11 Perangkat Peredam (*Damping Device*)

Data yang dibutuhkan dalam perencanaan *damping device* sebagai berikut :

a. Pelat BJ-55

$$f_y = \text{Tegangan leleh pelat} = 410,0 \text{ MPa}$$

$$f_u = \text{Tegangan putus pelat} = 550,0 \text{ MPa}$$

b. Baut BJ-37

$$f_y = \text{Tegangan leleh baut} = 240,0 \text{ MPa}$$

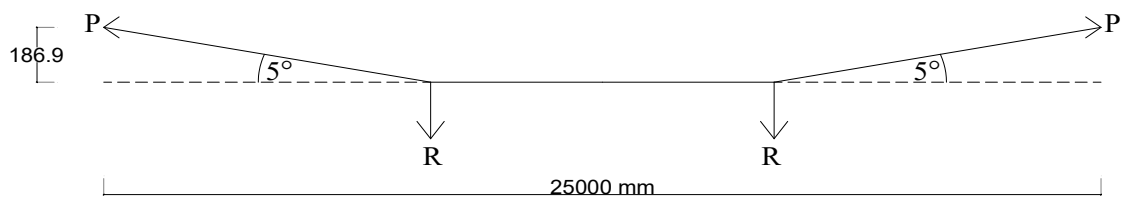
$$f_u = \text{Tegangan putus baut} = 370,0 \text{ MPa}$$

c. $P = \text{Gaya prategang awal 1 tendon} = 7299,60 \text{ kN}$

d. $\alpha = \text{Sudut lintasan tendon} = 5,0^\circ$

e. $m = \text{Banyak bidang geser} = 1$

f. $\emptyset = \text{Faktor reduksi terfaktor} = 0,75$



Gambar 4.75 Gaya - Gaya yang Bekerja pada Tendon

(Sumber : Hasil Perencanaan)

a. Beban tarik terfaktor

$$\Sigma V = 0$$

$$2R_u = 2 \cdot P \sin \alpha$$

$$R_u = P \sin \alpha$$

$$= 7299,6 \times \sin 5$$

$$= 636,202 \text{ kN}$$

b. Rencana baut

Dicoba menggunakan baut diameter, $db = \emptyset \quad 12 \text{ mm}$

Diameter lubang, $dl = 12 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 14 \text{ mm}$

- Luas baut, A_b

$$\begin{aligned} A_b &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 12^2 \\ &= 113,097 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Tinjauan terhadap kuat tarik desain baut

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi(0,75 \cdot f_u \cdot A_b) \\ &= 0,75 \left[0,75 \times 370 \times 113,097 \right] \\ &= 23538,383 \text{ kg} = 230,817 \text{ kN} \end{aligned}$$

- Tinjauan terhadap kuat geser

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi(0,4 \cdot f_u \cdot m \cdot A_b) \\ &= 0,75 \left[0,4 \times 370 \times 1 \times 113,097 \right] \\ &= 12553,804 \text{ kg} = 123,103 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan kekuatan baut diatas, dapat diambil nilai terkecil yaitu

$$= 123,103 \text{ kN}$$

- Jarak baut ke tepi plat (1,5dl - 3dl)

$$1,5dl = 1,5 \times 14 = 21 \text{ mm}$$

$$3dl = 3 \times 14 = 42 \text{ mm}$$

- Jarak baut ke baut (3dl - 7dl)

$$3dl = 3 \times 14 = 42 \text{ mm}$$

$$7dl = 7 \times 14 = 98 \text{ mm}$$

- Menentukan jumlah baut, n

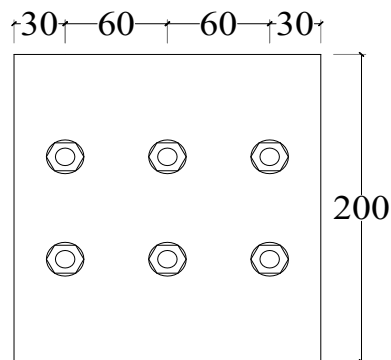
$$\begin{aligned} n &= \frac{R_u}{\phi R_n} \\ &= \frac{636,202}{123,103} \\ &= 5,17 \text{ buah} \approx 6 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Menentukan tebal plat simpul, t

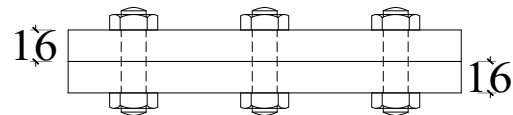
$$t \geq \frac{R_u}{\phi \cdot f_u \cdot L}$$

$$\begin{aligned}
 & f_u \\
 & \geq \frac{636,202}{6} \\
 & \geq \frac{0,75 \times 550 \times 4}{6} \\
 & \geq 0,064 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Dicoba menggunakan pelat 16 x 200 mm



a. Tampak Atas



b. Tampak Samping

Gambar 4.76 Sambungan dengan Pengikat Baut

(Sumber : Hasil Perencanaan)

c. Rencana pelat

c.1. Cek luas penampang minimum

Luas penampang bruto, A_b

$$\begin{aligned}
 A_b &= t_p \times \text{lebar pelat} \\
 &= 16 \times 200 \\
 &= 3200,0 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat luas penampang minimum, A_{min}

$$\begin{aligned}
 A_{min} &= 85\% \times A_b \\
 &= 85\% \times 3200 \\
 &= 2720,0 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas penampang netto, A_{netto}

$$\begin{aligned}
 A_{netto} &= A_b - 2 \cdot d_1 \cdot t_p \\
 &= 3200 - \left(2 \times 14 \times 16 \right) = 2752,0 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Adapun syarat yang digunakan $A_{\text{netto}} > A_{\text{min}}$

$$2752,000 > 2720,000 \quad \text{(memenuhi)}$$

d. Kontrol kekuatan tarik baut

$$\begin{aligned} R_u &= 10 \cdot \phi R_n \\ &= 10 \times 123,103 \\ &= 1231,026 \text{ kN} \end{aligned}$$

Adapun syarat yang digunakan $R_u > \phi R_n$

$$1231,026 > 636,202 \quad \text{(memenuhi)}$$

e. Kontrol daya dukung pelat pada daerah sambungan

$$\begin{aligned} R_u &= \phi A_{\text{netto}} \cdot f_u \\ &= 0,75 \times 2752,0 \times 550 \\ &= 1135200,000 \text{ N} \\ &= 1135,200 \text{ kN} \end{aligned}$$

Adapun syarat yang digunakan

$$1135,200 > 636,202 \quad \text{(memenuhi)}$$