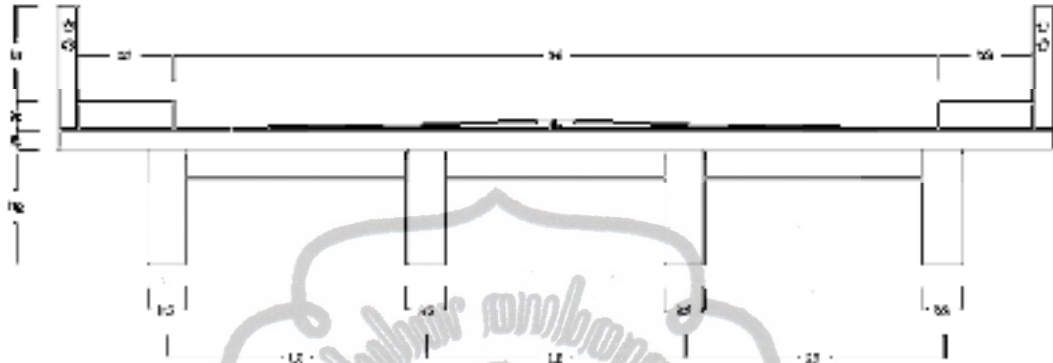


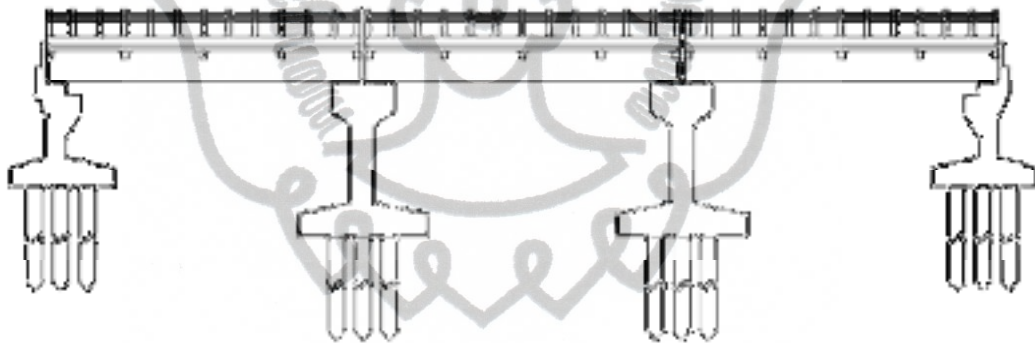
## BAB 4

### PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN

#### 4.1 Perencanaan Plat Lantai Jembatan



**Gambar 4.1** Potongan Melintang Jembatan



**Gambar 4.2** Potongan Memanjang Jembatan

Panjang total jembatan ( $L_{tot}$ ) = 36 m

Jumlah bentang jembatan = 3

Panjang setiap bentang jembatan ( $L$ ) = 12 m

Jarak antar gelagar ( $L_x$ ) = 2,7 m

Lebar lantai kendaraan ( $b_1$ ) = 2 x 4 m

Lebar trotoar ( $b_2$ ) = 2 x 1 m

Lebar gelagar utama ( $b_3$ ) = 0,4 m

Tebal plat lantai ( $t_s$ ) = 0,2 m

Tebal lapis aspal + overlay ( $t_a$ ) = 0,1 m

Tinggi trotoar ( $t_t$ ) = 0,3 m

*commit to user*

Tinggi genangan hujan ( $h_h$ ) = 0,1 m

Tinggi railing ( $h_r$ ) = 1 m

Tinggi gelagar utama ( $h_g$ ) = 1,2 m

Mutu beton ( $f'_c$ ) = 25 MPa

Mutu baja ( $f_y$ ) = 320 MPa

Berat jenis beton ( $\gamma_c$ ) = 25 kN/m<sup>3</sup>

Berat jenis aspal ( $\gamma_a$ ) = 22 kN/m<sup>3</sup>

Berat jenis air ( $\gamma_w$ ) = 10 kN/m<sup>3</sup>

#### 4.1.1 Hitungan Beban Plat Lantai

##### A. Berat Sendiri

Ditinjau plat lantai jembatan selebar ( $b$ ) = 1 m

Tebal plat lantai jembatan ( $t_s$ ) = 0,2 m

Berat jenis beton ( $\gamma_c$ ) = 25 kN/m<sup>3</sup>

$$Q_{MS} = b \times h \times \gamma_c$$

$$Q_{MS} = 1 \times 0,2 \times 25$$

$$Q_{MS} = 5 \text{ kN/m}$$

##### B. Beban Trotoar

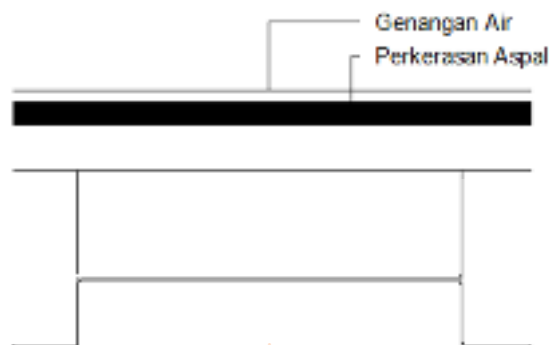
$Q_{MT}$  = Berat sendiri x Beban pejalan kaki

$$Q_{MT} = (b \times h \times \gamma_c) \times q$$

$$Q_{MT} = 1 \times 0,3 \times 25 \times 5$$

$$Q_{MT} = 37,5 \text{ kN/m}$$

##### C. Beban Mati Tambahan



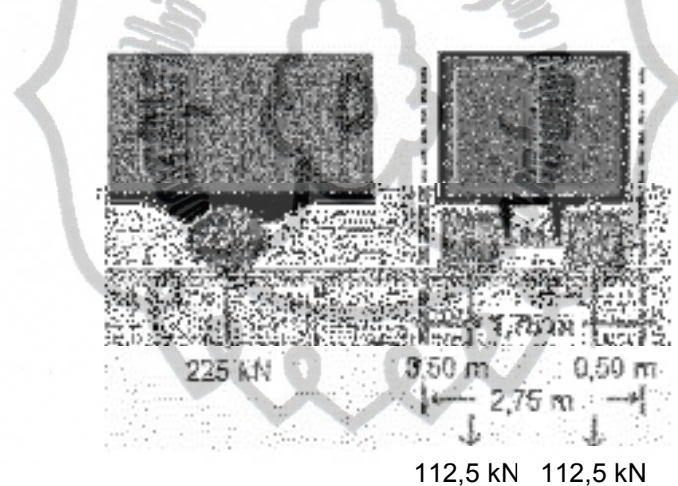
**Gambar 4.3** Beban Mati Tambahan

**Tabel 4.1** Beban Mati Tambahan Plat Lantai

| No.                 | Jenis         | Tebal (m) | Lebar (m) | Berat (kN/m <sup>3</sup> ) | Beban (kN/m) |
|---------------------|---------------|-----------|-----------|----------------------------|--------------|
| 1.                  | Lapisan aspal | 0,1       | 1         | 22                         | 2,2          |
| 2.                  | Genangan air  | 0,1       | 1         | 10                         | 1            |
| Beban mati tambahan |               |           |           | Q <sub>MA</sub>            | 3,2          |

#### D. Beban Truk

Berdasarkan hasil survey lalu lintas, kendaraan terbesar yang dapat melintasi jalan eksisting adalah truk semi trailer, sehingga beban truk yang digunakan merupakan truk semi trailer dengan konfigurasi sumbu 1-2-2 dimana beban gandar yang dipikul masing- masing gandar adalah 50 kN 225 kN dan 225 kN , seperti pada gambar di bawah ini.

**Gambar 4.4** Beban Truk

Faktor beban dinamis = 40%

Beban truk (T) = 112,5 kN

$P_{TT} = T \times KD$

$P_{TT} = 112,5 \times (1 + 40\%)$

$P_{TT} = 112,5 \times 1,4$

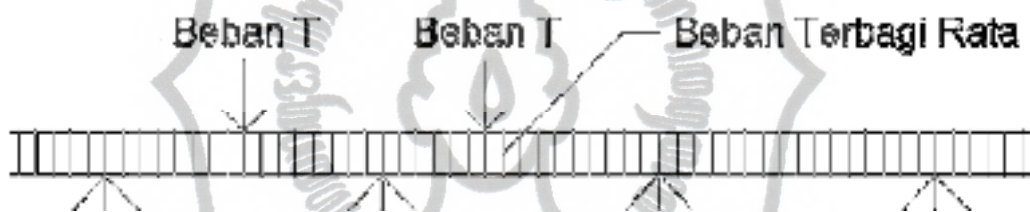
$P_{TT} = 157,50 \text{ kN}$

### E. Perhitungan Momen

Perhitungan momen dihitung dengan menggunakan aplikasi SAP 2000, berikut permodelan struktur plat lantai jembatan.



Gambar 4.5 Posisi Truk



Gambar 4.6 Model Beban pada SAP 2000

#### a. Momen akibat berat sendiri ( $Q_{MS}$ )



Momen maksimum tumpuan = 3,5276 kNm

Momen maksimum lapangan = 1,6728 kNm

#### b. Momen akibat beban trotoar ( $Q_{MT}$ )



Momen maksimum tumpuan = 25,0182 kNm

Momen maksimum lapangan = 5,6394 kNm

c. Momen akibat beban mati tambahan ( $Q_{MA}$ )



Momen maksimum tumpuan = 2,3373 kNm

Momen maksimum lapangan = 1,1084 kNm

d. Momen akibat beban truk ( $P_{TT}$ )



Momen maksimum tumpuan = 71,4234 kNm

Momen maksimum lapangan = 59,1190 kNm

e. Kombinasi momen



Momen tumpuan ultimit = 70,4849 kNm

Momen lapangan ultimit = 54,8143 kNm

#### 4.1.2 Penulangan Plat Lantai

Momen lapangan rencana,  $M_u = 54,8143 \text{ kNm} = 54814300 \text{ Nmm}$

Momen tumpuan rencana,  $M_u = 70,4849 \text{ kNm} = 70484900 \text{ Nmm}$

Mutu beton ( $f_c'$ ) = 25 MPa

Mutu baja, ( $f_y$ ) = 320 MPa

Tebal plat lantai ( $h$ ) = 200 mm

Tebal selimut beton ( $d'$ ) = 40 mm

Tebal efektif plat lantai ( $d$ ) = 160 mm

Lebar plat lantai yang ditinjau ( $b$ ) = 1000 mm

## A. Tulangan Lentur Lapangan

## ➤ Momen nominal Mn

$$Mn = \frac{Mu}{0,9}$$

$$Mn = \frac{54814300}{0,9}$$

$$Mn = 60904778 \text{ Nmm}$$

## ➤ Faktor tahanan

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2}$$

$$Rn = \frac{60904778}{1000 \times 160^2}$$

$$Rn = 2,3791 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'}$$

$$m = \frac{320}{0,85 \times 25}$$

$$m = 15,06$$

## ➤ Rasio penulangan penampang seimbang

$$\rho_b = \frac{0,85 \times fc'}{fy} \times \beta \times \frac{600}{600 + fy}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 25}{320} \times 0,85 \times \frac{600}{600 + 320}$$

$$\rho_b = 0,0368$$

## ➤ Rasio penulangan maksimum

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times 0,0368$$

$$\rho_{max} = 0,0276$$

## ➤ Rasio penulangan minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{320}$$

$$\rho_{min} = 0,004375$$

- Rasio penulangan

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times Rn}{f_y}\right)}\right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,06} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 15,06 \times 2,3791}{320}\right)}\right)$$

$$\rho = 0,00791$$

- Luas tulangan perlu

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$A_s = 0,00791 \times 1000 \times 160$$

$$A_s = 1265 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan D 16 mm

- Jarak tulangan yang diperlukan

$$s = \frac{\frac{\pi}{4} \times D^2 \times b}{A_s}$$

$$s = \frac{\frac{\pi}{4} \times 16^2 \times 1000}{1265}$$

$$s = 159 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D 16 – 150

- Tulangan bagi

Mengacu pada SNI-2847-2019, rasio luas tulangan ulir susut dan suhu minimum terhadap luas penampang beton bruto untuk  $f_y < 420$  MPa rasio tulangan minimumnya adalah 0,0020.

$$A_{s_{min}} = 0,002 \times b \times h$$

$$A_{s_{min}} = 0,002 \times 1000 \times 200$$

$$A_{s_{min}} = 400 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan diameter D 10 mm

- Jarak tulangan yang diperlukan

$$s' = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times b$$

$$As'$$

$$s' = \frac{\pi}{4} \times 10^2 \times 1000$$

$$400$$

$$s' = 196,25 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D 10 – 150 mm

## B. Tulangan Lentur Tumpuan

- Momen nominal Mn

$$Mn = \frac{Mu}{0,9}$$

$$Mn = \frac{70484900}{0,9}$$

$$Mn = 78316556 \text{ Nmm}$$

- Faktor tahanan

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2}$$

$$Rn = \frac{78316556}{1000 \times 160^2}$$

$$Rn = 3,0592 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'}$$

$$m = \frac{320}{0,85 \times 25}$$

$$m = 15,06$$

- Rasio penulangan seimbang

$$\rho_b = \frac{0,85 \times fc'}{fy} \times \beta \times \frac{600}{600 + fy}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times 25}{320} \times 0,85 \times \frac{600}{600 + 320}$$

$$\rho_b = 0,0368$$



- Rasio penulangan maksimum

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times 0,0368$$

$$\rho_{max} = 0,0276$$

- Rasio penulangan minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{320}$$

$$\rho_{min} = 0,004375$$

- Rasio penulangan

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times m \times R_n}{f_y} \right)} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,06} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times 15,06 \times 3,0592}{320} \right)} \right)$$

$$\rho = 0,01037$$

- Luas tulangan perlu

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$A_s = 0,01037 \times 1000 \times 160$$

$$A_s = 1659 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan D 16 mm

- Jarak tulangan yang diperlukan

$$s = \frac{\frac{\pi}{4} \times D^2 \times b}{A_s}$$

$$s = \frac{\frac{\pi}{4} \times 16^2 \times 1000}{1659}$$

$$s = 121 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D 16 – 100 mm

- Tulangan bagi

Mengacu pada SNI-2847-2019, rasio luas tulangan ulir susut dan suhu minimum terhadap luas penampang beton bruto untuk  $f_y < 420 \text{ MPa}$  rasio tulangan minimumnya adalah 0,0020. *to user*

$$A_{s_{min}} = 0,002 \times b \times h$$

$$A_{s_{min}} = 0,002 \times 1000 \times 200$$

$$A_{s_{min}} = 400 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan diameter D 10 mm

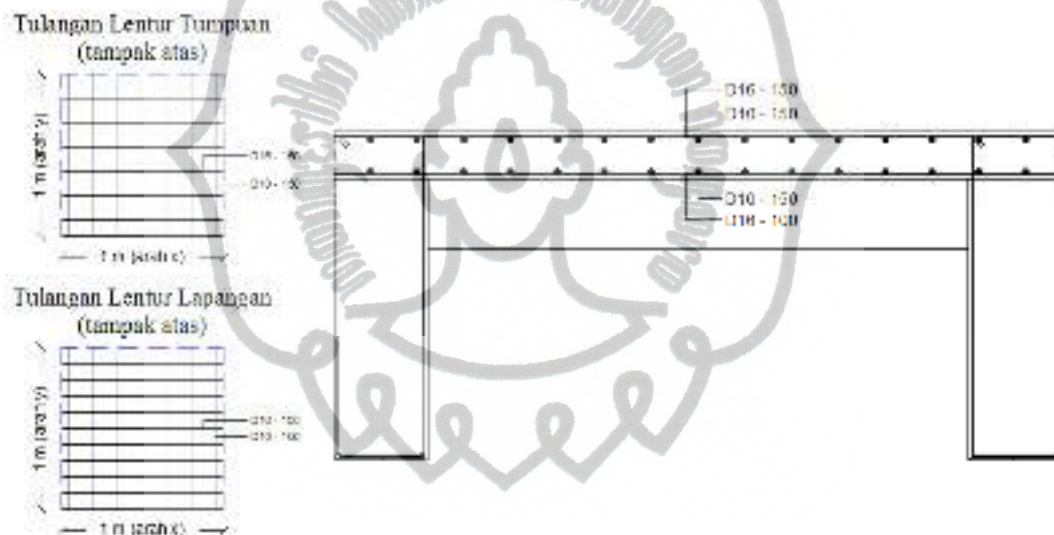
➤ Jarak tulangan yang diperlukan

$$s' = \frac{\frac{\pi}{4} \times D^2 \times b}{A_{s'}}$$

$$s' = \frac{\frac{\pi}{4} \times 10^2 \times 1000}{400}$$

$$s' = 196,25 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan D 10 – 150 mm



**Gambar 4.7** Potongan Melintang Penulangan Plat Lantai Jembatan

### C. Kontrol Lendutan

Hasil analisis dan perhitungan lendutan akibat beban rencana tidak boleh melebihi batas lendutan untuk plat lantai, yaitu sebesar  $\frac{1}{480} \times Lx = \frac{1}{480} \times 2700 \text{ mm} = 5,625 \text{ mm}$ .



Dari hasil analisis menggunakan aplikasi SAP 2000, didapatkan lendutan terbesar yang terjadi adalah  $1,492 \text{ mm} < 5,625 \text{ mm}$ .

## 4.2 Perencanaan Tiang Railing

Tiang-tiang sandaran pada setiap tepi trotoar diperhitungkan untuk dapat menahan beban horisontal sebesar 1 kN/m yang bekerja pada tinggi 90 cm di atas trotoar. Dalam perhitungan ini, beban tumbukan kendaraan tidak dihitung.

Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) = 25 MPa

Kuat leleh baja ( $f_y$ ) = 240 MPa

Lebar tiang railing ( $b$ ) = 200 mm

Tebal selimut beton ( $d'$ ) = 40 mm

Lengan terhadap sisi bawah railing ( $y$ ) = 1 m

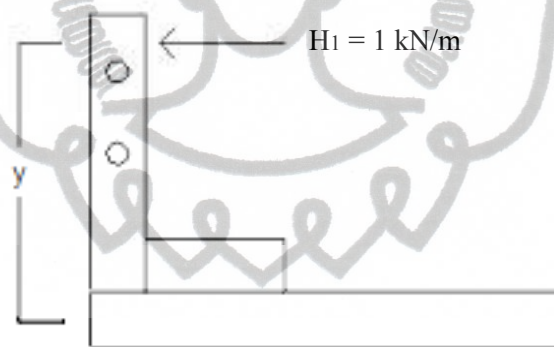
Jarak antara tiang railing ( $L$ ) = 1 m

Beban horizontal pada railing ( $H_1$ ) = 1 kN/m

Faktor beban ultimit ( $K_{TP}$ ) = 1,8

Faktor reduksi kekuatan lentur ( $\phi$ ) = 0,9

Faktor reduksi kekuatan geser ( $\phi$ ) = 0,75



**Gambar 4.8** Beban Horizontal Railing

### 4.2.1 Hitungan Tiang Railing

➤ Gaya horizontal

$$H_{TP} = H_1 \times L$$

$$H_{TP} = 1 \times 1$$

$$H_{TP} = 1 \text{ kN}$$

➤ Momen pada railing

$$M_{TP} = H_{TP} \times y$$

$$M_{TP} = 1 \times 1$$

$$M_{TP} = 1 \text{ kNm}$$

*commit to user*

- Momen ultimit

$$M_u = M_{TP} \times K_{TP}$$

$$M_u = 1 \times 1,8$$

$$M_u = 1,8 \text{ kNm}$$

- Gaya geser ultimit

$$V_u = H_{TP} \times K_{TP}$$

$$V_u = 1 \times 1,8$$

$$V_u = 1,8 \text{ kN}$$

#### 4.2.2 Penulangan Tiang Railing

Dari perhitungan di atas, digunakan untuk menentukan tulangan yang diperlukan railing untuk menahan momen dan gaya geser yang terjadi.

##### A. Penulangan Lentur

- Momen ultimit

$$M_u = 1,8 \text{ kNm}$$

$$M_u = 1800000 \text{ Nmm}$$

- Momen nominal

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{1800000}{0,9}$$

$$M_n = 2000000 \text{ Nmm}$$

- Lebar efektif tiang

$$d = b - d'$$

$$d = 200 - 40$$

$$d = 160 \text{ mm}$$

- Rasio penulangan penampang seimbang

$$\rho_b = 0,85 \times \frac{\beta_1 \times f_c'}{f_y} \times \frac{600}{6000 + f_y}$$

$$\rho_b = 0,85 \times \frac{0,85 \times 25}{240} \times \frac{600}{6000 + 240}$$

$$\rho_b = 0,0538$$

*commit to user*

- Rasio penulangan maksimum

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times 0,0538$$

$$\rho_{max} = 0,04032$$

- Faktor tahanan

$$Rn = \frac{Mn}{b \times d^2}$$

$$Rn = \frac{2000000}{200 \times 160^2}$$

$$Rn = 0,39063 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{fy}{0,85 \times fc'}$$

$$m = \frac{240}{0,85 \times 25}$$

$$m = 11,294$$

- Rasio penulangan minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{240}$$

$$\rho_{min} = 0,00583$$

- Rasio penulangan

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times m \times Rn}{fy}\right)}\right)$$

$$\rho = \frac{1}{11,294} \times \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 11,294 \times 0,39063}{240}\right)}\right)$$

$$\rho = 0,00164$$

Karena  $\rho < \rho_{min}$ , maka digunakan  $\rho_{min}$

- Luas tulangan yang diperlukan

$$As = \rho_{min} \times b \times d$$

$$As = 0,00583 \times 200 \times 160$$

$$As = 186,67 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan,  $\emptyset 12 \text{ mm}$

- Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_s}{\frac{\pi}{4} \times D^2}$$

$$n = \frac{186,67}{\frac{\pi}{4} \times 12^2}$$

$$n = 1,65 \approx 2$$

Digunakan tulangan 2 Ø 12 mm

## B. Penulangan Sengkang

- Gaya geser ultimit

$$V_u = 1,8 \text{ kN}$$

$$V_u = 1800 \text{ N}$$

- Kuat geser beton

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 200 \times 160$$

$$V_c = 26667 \text{ N}$$

- Kuat geser tereduksi

$$\phi \cdot V_c$$

$$0,6 \times 26667$$

$$16000 \text{ N}$$

$\phi V_c > V_u$  (tidak perlu tulangan sengkang)

Digunakan tulangan sengkang praktis Ø 8 mm

- Luas tulangan geser

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

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2$$

$$A_s = 50,24 \text{ mm}^2$$

➤ Jarak antar tulangan

$$s = \frac{3 \times 2 \times A_s \times f_y}{b}$$

$$s = \frac{3 \times 2 \times 50,24 \times 240}{200}$$

$$s = 361,73 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan sengkang  $\emptyset 8 - 200 \text{ mm}$



**Gambar 4.9** Sketsa Penulangan Tiang Railing

### 4.3 Perencanaan Trotoar

Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) = 25 MPa

Berat jenis beton bertulang ( $\gamma_c$ ) = 25 kN/m<sup>3</sup>

Kuat leleh baja tulangan ( $f_y$ ) = 240 MPa

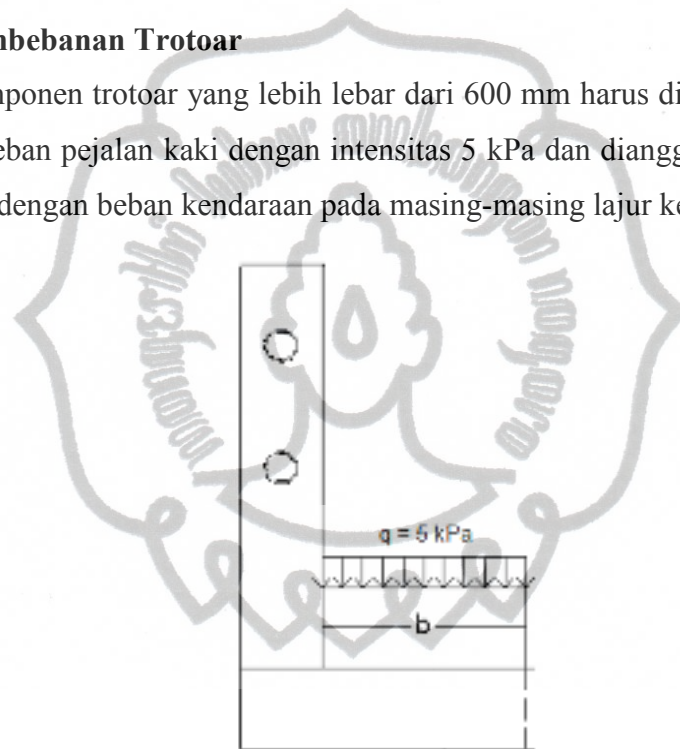
Tinggi trotoar ( $h$ ) = 300 mm

Lebar trotoar ( $b$ ) = 1000 mm

Tinggi bersih penampang ( $d$ ) = 260 mm

#### 4.3.1 Pembebanan Trotoar

Semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan.



Gambar 4.10 Beban Pejalan Kaki pada Trotoar

#### 4.3.2 Penulangan Trotoar

##### A. Tulangan Susut

Tulangan susut dihitung dengan luas penulangan minimum.

➤ Luas tulangan susut

$$A_{s_{min}} = 0,002 \times b \times h$$

$$A_{s_{min}} = 0,002 \times 1000 \times 300$$

$$A_{s_{min}} = 600 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D 13 mm *commit to user*



- Jarak antar tulangan

$$s = \frac{\frac{\pi}{4} \times D^2 \times b}{A_{Smin}}$$

$$s = \frac{\frac{\pi}{4} \times 13^2 \times 1000}{600}$$

$$s = 221,11 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan D 13 – 200 mm

## B. Tulangan Bagi

- Luas tulangan bagi

$$A_{Smin}' = 0,002 \times b \times h$$

$$A_{Smin}' = 0,002 \times 1000 \times 300$$

$$A_{Smin}' = 600 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D 10 mm

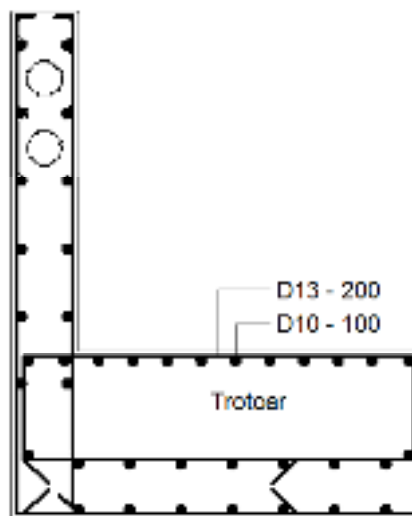
- Jarak antar tulangan

$$s = \frac{\frac{\pi}{4} \times D^2 \times b}{A_{Smin}}$$

$$s = \frac{\frac{\pi}{4} \times 10^2 \times 1000}{600}$$

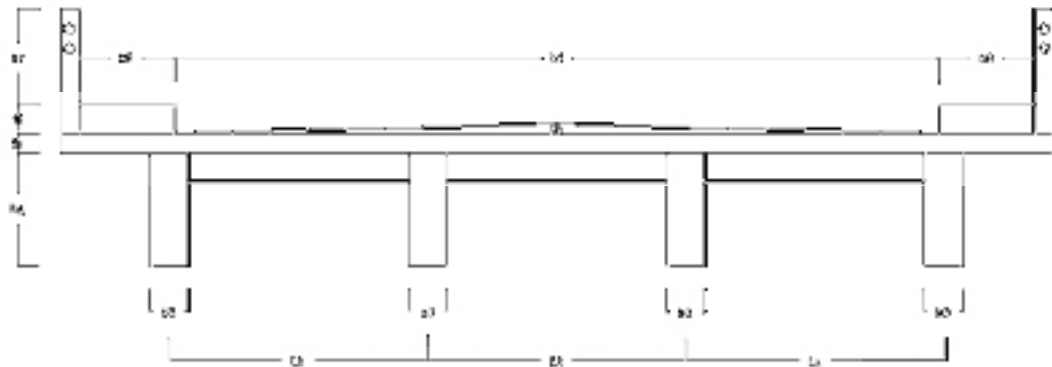
$$s = 130,83 \text{ mm} \approx 100 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan D 10 – 100 mm

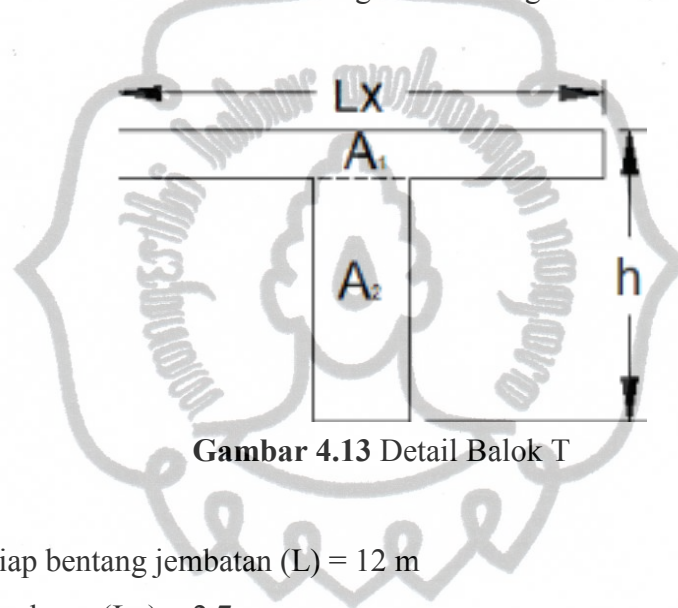


**Gambar 4.11** Sketsa Penulangan Trotoar

#### 4.4 Perencanaan Gelagar Memanjang



Gambar 4.12 Potongan Melintang Jembatan



Gambar 4.13 Detail Balok T

Panjang setiap bentang jembatan ( $L$ ) = 12 m

Jarak antar gelagar ( $L_x$ ) = 2,7 m

Lebar lantai kendaraan ( $b_1$ ) = 2 x 4 m

Lebar trotoar ( $b_2$ ) = 2 x 1 m

Lebar gelagar utama ( $b$ ) = 0,4 m

Lebar plat lantai ( $L_x$ ) = 2 m

Tebal plat lantai ( $t_s$ ) = 0,2 m

Tebal aspal + overlay ( $t_a$ ) = 0,1 m

Tinggi trotoar ( $t_t$ ) = 0,3 m

Tinggi genangan hujan ( $h_h$ ) = 0,1 m

Tinggi railing ( $h_r$ ) = 1 m

Tinggi total gelagar ( $h$ ) = 1,2 m

Mutu beton ( $f_c'$ ) = 25 MPa

Mutu baja > 13 mm ( $f_y$ ) = 390 MPa

*commit to user*

Mutu baja  $\leq 13$  mm ( $f_y$ ) = 320 MPa

Berat jenis beton ( $\gamma_c$ ) = 25 kN/m<sup>3</sup>

Berat jenis aspal ( $\gamma_a$ ) = 22 kN/m<sup>3</sup>

Berat jenis air ( $\gamma_w$ ) = 10 kN/m<sup>3</sup>

Jumlah diafragma ( $n$ ) = 5 buah

Jarak antar diafragma ( $sd$ ) = 3 m

Tinggi diafragma ( $h'$ ) = 0,3 m

Lebar diafragma ( $b'$ ) = 0,25 m

#### 4.4.1 Hitungan Gelagar Memanjang

A. Berat Sendiri

➤ Berat diafragma :

Berat 1 balok diafragma :

$$Wd = h' \times b' \times Lx \times \gamma_c$$

$$Wd = 0,3 \times 0,25 \times 2,7 \times 25$$

$$Wd = 5,0625 \text{ kN}$$

➤ Beban diafragma pada gelagar :

$$Qd = \frac{n \times Wd}{L}$$

$$Qd = \frac{5 \times 5,0625}{12}$$

$$Qd = 2,1094 \text{ kN/m}$$

➤ Berat gelagar :

$$Qg = (h - t_s) \times b \times \gamma_c$$

$$Qg = (1,2 - 0,2) \times 0,4 \times 25$$

$$Qg = 10 \text{ kN/m}$$

➤ Plat lantai :

$$Qs = Lx \times t_s \times \gamma_c$$

$$Qs = 2 \times 0,2 \times 25$$

$$Qs = 10 \text{ kN/m}$$

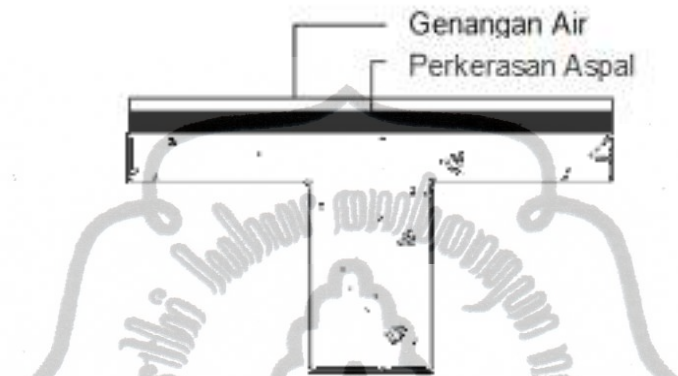
➤ Total beban mati :

$$Q_{MS} = Q_d + Q_g + Q_s$$

$$Q_{MS} = 2,1094 + 10 + 10$$

$$Q_{MS} = 22,1094 \text{ kg/m}$$

#### B. Beban Mati Tambahan



**Gambar 4.14** Beban Mati Tambahan

**Tabel 4.2** Beban Mati Tambahan Gelagar

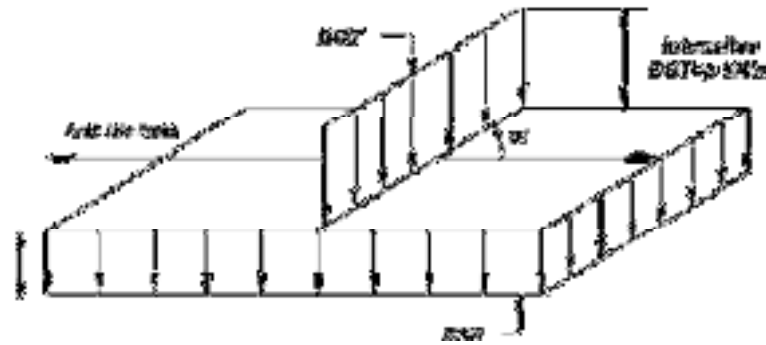
| No.                 | Jenis         | Tebal (m) | Lebar (m) | Berat (kN/m <sup>3</sup> ) | Beban (kN/m) |
|---------------------|---------------|-----------|-----------|----------------------------|--------------|
| 1.                  | Lapisan aspal | 0,1       | 2,7       | 22                         | 5,94         |
| 2.                  | Genangan air  | 0,1       | 2,7       | 10                         | 2,70         |
| Beban mati tambahan |               |           |           | $Q_{MA}$                   | 8,64         |

#### C. Beban Lajur D

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis terpusat (BGT). Beban terbagi rata (BTR) memiliki intensitas  $q$  kPa dengan besaran  $q$  tergantung panjang total yang dibebani  $L$  yaitu sebagai berikut :

$$L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa}$$

Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas  $p$  kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas jembatan. Besarnya intensitas  $p$  adalah 49 kN/m.



**Gambar 4.15** Beban Lajur D

Faktor beban dinamis 40%

Panjang setiap bentang jembatan  $L = 12 \text{ m} \leq 30 \text{ m}$  maka  $q = 9,0 \text{ kPa}$

Lebar plat lantai  $L_x = 2 \text{ m}$

➤ Beban terbagi rata  $q = 9 \text{ kPa} = 9 \text{ kN/m}^2$

$$Q_{TD} = q \times L_x$$

$$Q_{TD} = 9 \times 2$$

$$Q_{TD} = 18 \text{ kN/m}$$

➤ Beban garis terpusat  $p = 49 \text{ kN/m}$

$$P_{TD} = (1 + \text{FBD}) \times p \times L_x$$

$$P_{TD} = (1 + 0,4) \times 49 \times 2$$

$$P_{TD} = 137,20 \text{ kN}$$

#### D. Beban Truk

Berdasarkan hasil survey lalu lintas, kendaraan terbesar yang dapat melintasi jalan eksisting adalah truk semi trailer, sehingga memiliki konfigurasi sumbu 1-2-2 dimana beban gandar yang dipikul masing- masing gandar adalah 50 kN 225 kN dan 225 kN.

Faktor beban dinamis = 40%

Beban truk (T) = 25 kN, 112,5 kN, 112,5 kN

$$P_{TT} = T \times KD$$

$$P_{TT} = 25 \times (1 + 40\%)$$

$$P_{TT} = 35 \text{ kN (gandar depan)}$$

$$P_{TT} = 112,5 \times (1 + 40\%)$$

$$P_{TT} = 157,50 \text{ kN (gandar tengah dan belakang)}$$

*commit to user*

### E. Beban Rem

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari :

- 25% berat gandar truk desain
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban terbagi merata (BTR)

Gaya rem tersebut harus ditempatkan pada semua lajur rencana yang dimuati dan yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal diatas permukaan jalan setinggi 1,8 m pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan.

Beban terbagi rata  $q = 9 \text{ kPa} = 9 \text{ kN/m}^2$

Berat truk rencana = 500 kN

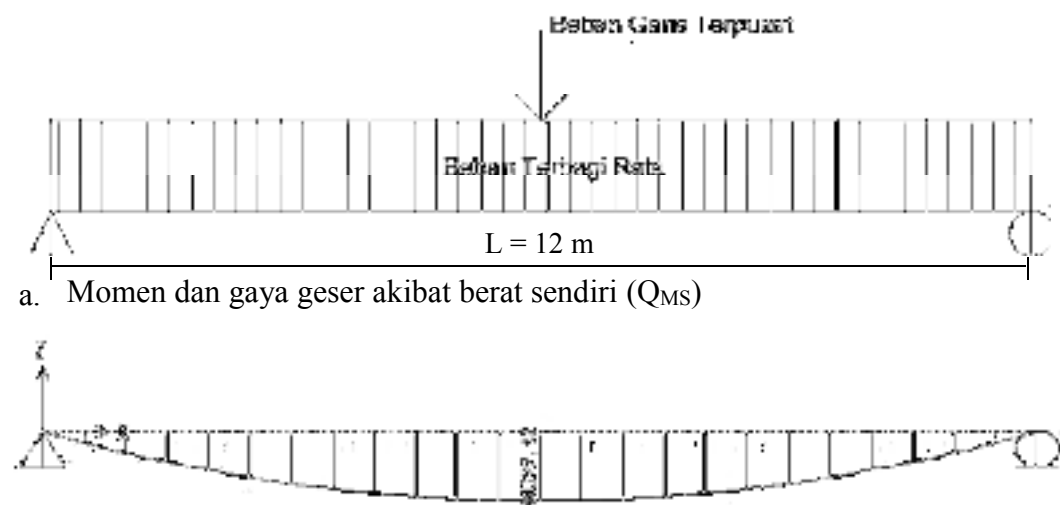
Berat gandar truk desain = 225 kN

- 25% berat gandar truk desain  
 $TB = 25\% \times 225$   
 $TB = 56,25 \text{ kN}$
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban terbagi merata (BTR)  
 $TB = 5\% \times 50986 + 900$   
 $TB = 34 \text{ kN}$

Diambil gaya rem terbesar, yaitu 56,25 kg

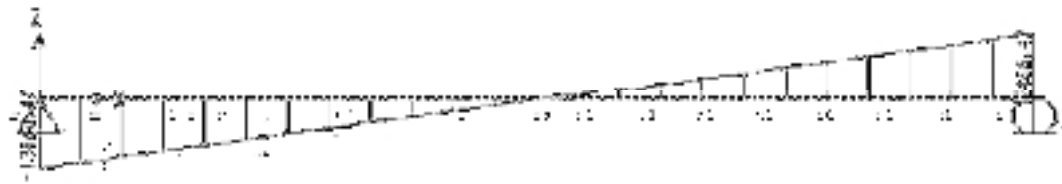
### F. Perhitungan Momen dan Gaya Geser

Perhitungan momen dihitung dengan menggunakan aplikasi SAP 2000. Berikut permodelan struktur gelagar memanjang jembatan sebagai berikut :



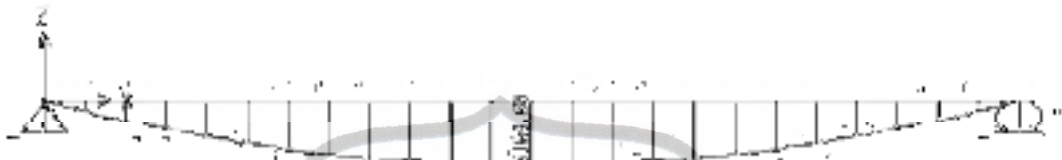
- Momen dan gaya geser akibat berat sendiri ( $Q_{MS}$ )

Momen maksimum akibat berat sendiri sebesar 403,9942 kNm



Gaya geser maksimum akibat berat sendiri sebesar 134,6647 kN

b. Momen dan gaya geser akibat beban mati tambahan ( $Q_{MA}$ )



Momen maksimum akibat beban mati tambahan sebesar 161,5450 kNm

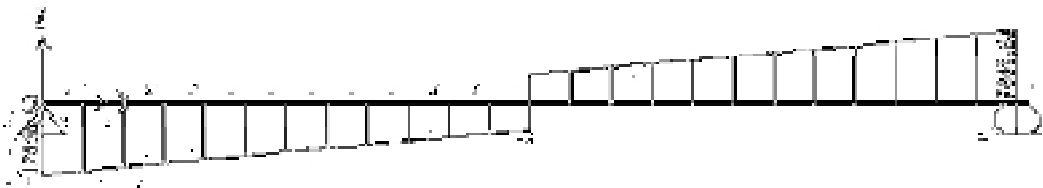


Gaya geser maksimum akibat beban matisfhd tambahan sebesar 53,8483 kN

c. Momen gaya geser akibat beban lajur D ( $Q_{MD}$  dan  $P_{MD}$ )

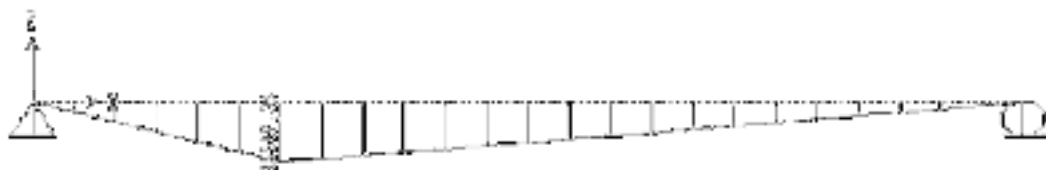


Momen maksimum akibat beban lajur D sebesar 746,1250 kNm



Gaya geser maksimum akibat beban lajur D sebesar 178,6083 kN

d. Momen gaya geser akibat beban truk ( $P_{TT}$ )



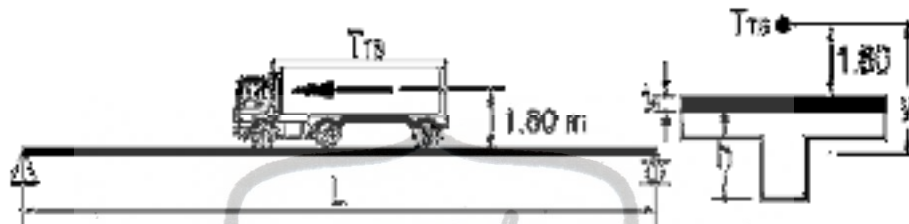
Momen maksimum akibat beban truk sebesar 358,8938 kNm

*commit to user*



Gaya geser maksimum akibat beban truk sebesar 120,1333 kN

e. Momen dan gaya geser akibat beban rem ( $Q_{TB}$ )



Gambar 4.16 Momen Akibat Beban Rem

➤ Lengan terhadap titik berat

$$y = 1,8 + t_a + \frac{h}{2}$$

$$y = 1,8 + 0,1 + \frac{1,2}{2}$$

$$y = 2,5 \text{ m}$$

➤ Perhitungan Momen akibat gaya rem

$$M = y \times T_B$$

$$M = 2,5 \times 56,25$$

$$M = 140,63 \text{ kNm}$$

➤ Momen maksimum

$$M_{TP} = \frac{1}{2} \times M$$

$$M_{TP} = \frac{1}{2} \times 140,63$$

$$M_{TP} = 70,31 \text{ kNm}$$

➤ Gaya geser maksimum

$$V_{TP} = \frac{M}{L}$$

$$V_{TP} = \frac{141}{12}$$

$$V_{TP} = 11,72 \text{ kN}$$



## f. Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser

**Tabel 4.3** Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser

| No. | Jenis Beban    | Momen (kNm) | Gaya Geser (kN) |
|-----|----------------|-------------|-----------------|
| 1.  | Berat Sendiri  | 403,9942    | 134,6647        |
| 2.  | Beban Tambahan | 161,5450    | 53,8483         |
| 3.  | Beban Lajur D  | 746,1250    | 178,6083        |
| 4.  | Beban Rem      | 70,3125     | 11,7188         |

Mengacu pada SNI 1725:2016 kuat beban kerja yang digunakan adalah kuat I. Kuat I adalah kombinasi pembebanan yang memperhitungkan gaya-gaya yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal tanpa memperhitungkan beban angin.

**Tabel 4.4** Kuat I Momen Gelagar

| No.    | Jenis Beban    | Faktor Beban | Momen (kNm) | Kuat I (kNm) |
|--------|----------------|--------------|-------------|--------------|
| 1.     | Berat Sendiri  | 1,3          | 403,9942    | 525,19       |
| 2.     | Beban Tambahan | 2            | 161,5450    | 323,09       |
| 3.     | Beban Lajur D  | 1,8          | 746,1250    | 1343,03      |
| 4.     | Beban Rem      | 1,8          | 70,3125     | 126,56       |
| Jumlah |                |              |             | 2317,87      |

**Tabel 4.5** Kuat I Gaya Geser Gelagar

| No.    | Jenis Beban    | Faktor Beban | Gaya Geser (kN) | Kuat I (kN) |
|--------|----------------|--------------|-----------------|-------------|
| 1.     | Berat Sendiri  | 1,3          | 134,6647        | 175,06      |
| 2.     | Beban Tambahan | 2            | 53,8483         | 107,70      |
| 3.     | Beban Lajur D  | 1,8          | 178,6083        | 321,49      |
| 4.     | Beban Rem      | 1,8          | 11,7188         | 21,09       |
| Jumlah |                |              |                 | 625,35      |

Perhitungan Momen dan Gaya Geser Kuat I

Momen maksimum sebesar 2317,87 kNm

Gaya geser maksimum sebesar 625,35 kN

#### 4.4.2 Penulangan Gelagar Memanjang

Digunakan Kombinasi 1

$M_u = 2317,87 \text{ kNm} = 2317869960 \text{ Nmm}$

$V_u = 625,35 \text{ kN} = 625349 \text{ N}$

Lebar gelagar  $b = 400 \text{ mm}$

Tinggi gelagar  $h = 1200 \text{ mm}$

Tebal selimut beton  $d' = 40 \text{ mm}$

Tebal gelagar  $d = 1160 \text{ mm}$

Mutu beton  $f_c' = 25 \text{ MPa}$

Mutu baja  $> 13 \text{ mm } f_y = 390 \text{ MPa}$

Mutu baja  $\leq 13 \text{ mm } f_y = 320 \text{ MPa}$

##### A. Tulangan Utama

➤ Momen nominal

$$M_n = \frac{M_u}{0,9}$$

$$M_n = \frac{2317869960}{0,9}$$

$$M_n = 2575411067 \text{ Nmm}$$

➤ Faktor tahanan

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2}$$

$$R_n = \frac{2575411067}{400 \times 1160^2}$$

$$R_n = 4,78 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}$$

$$m = \frac{390}{0,85 \times 25}$$

$$m = 18,35$$

*commit to user*

- Rasio penulangan minimum

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{390}$$

$$\rho_{min} = 0,0036$$

- Rasio penulangan maksimum

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \frac{0,85 \times f_c'}{f_y} \times \beta \times \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \frac{0,85 \times 25}{390} \times 0,85 \times \frac{600}{600 + 390}$$

$$\rho_{max} = 0,0211$$

- Rasio penulangan

$$\rho = \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times m \times R_n}{f_y} \right)} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{18,35} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times 18,35 \times 4,78}{390} \right)} \right)$$

$$\rho = 0,0141$$

- Luas tulangan perlu

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$A_s = 0,0141 \times 400 \times 1160$$

$$A_s = 6538,20 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan diameter D 29 mm

- Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_s}{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2}$$

$$n = \frac{6538,20}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2}$$

$$n = 9,90 \approx 10 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan 10 D 29 mm

- Tulangan tekan dipakai 50% dari tulangan utama

$$A_s' = 50\% \times A_s$$

$$A_s' = 50\% \times 6538,20$$

$$A_s' = 3269,10 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan diameter D 29 mm

- Jumlah tulangan tekan

$$n' = \frac{A_s'}{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2}$$

$$n' = \frac{3269,10}{\frac{1}{4} \times \pi \times 29^2}$$

$$n' = 4,95 \approx 5 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan 5 D 29 mm

- Tulangan samping

Mengacu pada SNI 2847:2019 pada balok dengan  $h > 900$  mm tulangan longitudinal samping harus didistribusikan merata pada kedua muka samping balok sejarak  $\frac{h}{2}$  dari muka tarik.

Tulangan samping dipakai 25% dari tulangan utama.

$$A_{ss} = 25\% \times A_s$$

$$A_{ss} = 25\% \times 6538,20$$

$$A_{ss} = 1634,55 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan  $\emptyset$  12 mm

- Jumlah tulangan

$$n_s = \frac{A_{ss}}{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2}$$

$$n_s = \frac{1634,55}{\frac{1}{4} \times \pi \times 12^2}$$

$$n_s = 14 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan 14  $\emptyset$  12 mm

## B. Tulangan Geser

- Gaya geser ultimate

$$V_u = 625349 \text{ N}$$

- Kuat geser beton

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 400 \times 1160$$

$$V_c = 386667 \text{ N}$$

$$\Phi V_c = 0,75 \times 386667$$

$$\Phi V_c = 290000 \text{ N}$$

$$\Phi V_c < V_u \text{ (perlu tulangan geser)}$$

- Gaya geser pada tulangan

$$\Phi V_s = V_u - \Phi V_c$$

$$0,75 V_s = 625349 - 290000$$

$$0,75 V_s = 335349$$

$$V_s = \frac{335349}{0,75}$$

$$V_s = 447133 \text{ N}$$

- Kuat geser maksimum

$$V_{smax} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$V_{smax} = \frac{2}{3} \times \sqrt{25} \times 400 \times 1160$$

$$V_{smax} = 1546667 \text{ N}$$

$$V_{smax} > V_s \text{ (balok memenuhi syarat)}$$

- Digunakan tulangan sengkang  $\emptyset 12 \text{ mm}$

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

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times 12^2$$

$$A_v = 113,04 \text{ mm}^2$$

- Jarak antar tulangan sengkang tumpuan

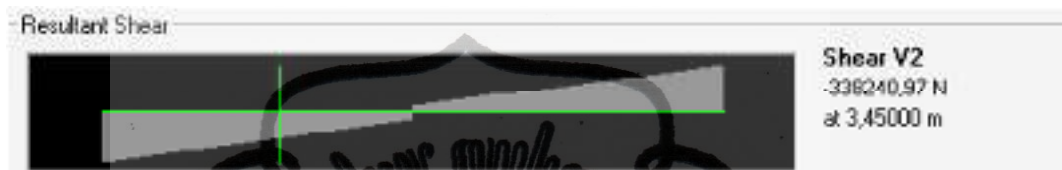
$$s = \frac{2 \times A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$s = \frac{2 \times 113,04 \times 320 \times 1160}{447133}$$

$$s = 187,69 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm}$$

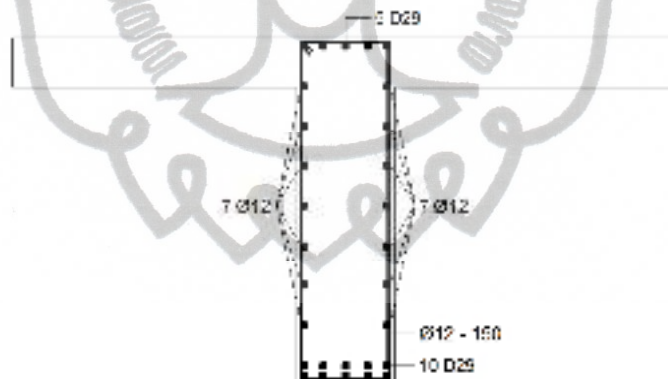
Digunakan tulangan sengkang  $\emptyset 12 - 150 \text{ mm}$

- Jarak antar tulangan sengkang lapangan



Jarak titik tinjauan :  $3 + 0,45 = 3,45$

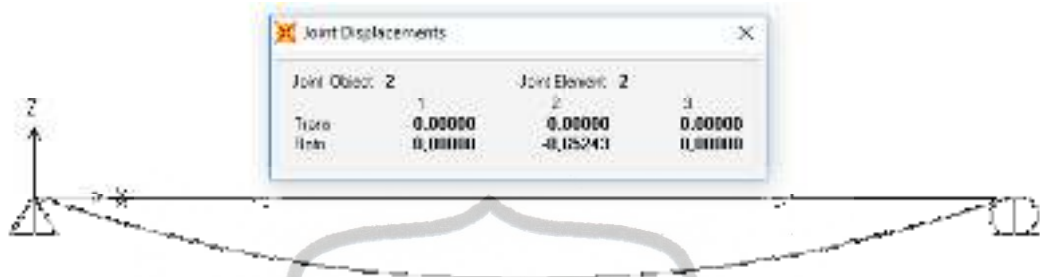
Hasil analisa SAP 2000, pada jarak 3,45 m dari tumpuan, gaya geser yang terjadi lebih besar dari tahanan geser beton, yaitu  $338240,97 \text{ N} > 290000 \text{ N}$ , sehingga jarak antar tulangan sengkang tidak perlu diperlebar.



**Gambar 4.17** Penulangan Gelagar

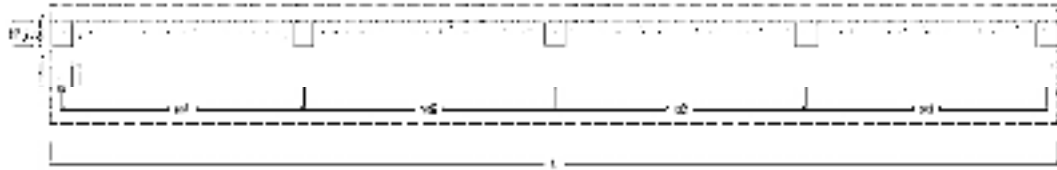
### C. Kontrol Lendutan

Hasil analisis dan perhitungan lendutan akibat beban rencana tidak boleh melebihi batas lendutan izin untuk gelagar, yaitu sebesar  $\frac{1}{480} \times l = \frac{1}{480} \times 12000 \text{ mm} = 25 \text{ mm}$ .



Dari hasil analisis menggunakan aplikasi SAP 2000, lendutan yang terjadi pada tengah bentang gelagar adalah  $0,65 \text{ mm} < 25 \text{ mm}$ .

#### 4.5 Perencanaan Gelagar Melintang



Gambar 4.18 Gelagar Melintang

Panjang setiap bentang jembatan ( $L$ ) = 12 m

Jarak antar gelagar melintang ( $sd$ ) = 3 m

Tinggi gelagar melintang ( $h'$ ) = 300 mm

Tinggi gelagar melintang total ( $h$ ) = 500 mm

Lebar gelagar melintang ( $b'$ ) = 250 mm

Berat jenis beton ( $\gamma_c$ ) = 25 kN/m<sup>3</sup>

Mutu beton ( $f'_c$ ) = 25 MPa

Mutu baja ( $f_y$ ) = 240 MPa

##### 4.5.1 Hitungan Gelagar Melintang

###### A. Berat Sendiri ( $Q_{MS}$ )

$$Q_{MS} = b' \times h' \times \gamma_c$$

$$Q_{MS} = 0,25 \times 0,3 \times 25$$

$$Q_{MS} = 1,875 \text{ kN/m}$$

###### B. Perhitungan Momen dan Gaya Geser

Momen dan gaya geser akibat berat sendiri ( $Q_{MS}$ )



Momen tumpuan akibat berat sendiri sebesar 1,3148 kNm

Momen lapangan akibat berat sendiri sebesar 1,0014 kNm



Gaya geser akibat berat sendiri sebesar 3,1995 kN



## C. Rekapitulasi Momen dan Gaya Geser Akibat Beban Sendiri

**Tabel 4.6** Rekapitulasi Momen

| Kondisi | Faktor Beban | Tumpuan (kNm) | Lapangan (kNm) |
|---------|--------------|---------------|----------------|
| Normal  | 1            | 1,3148        | 1,0014         |
| Ultimit | 1,3          | 1,7092        | 1,3018         |

**Tabel 4.7** Rekapitulasi Gaya Geser

| Kondisi | Faktor Beban | Gaya Geser (kN) |
|---------|--------------|-----------------|
| Normal  | 1            | 3,1995          |
| Ultimit | 1,3          | 4,15935         |

**4.5.2 Penulangan Gelagar Melintang**

Momen ultimit tumpuan ( $M_u$ ) = 1,70924 kNm = 1709240 Nmm

Momen ultimit lapangan ( $M_u$ ) = 1,30182 kNm = 1301820 Nmm

Gaya geser ultimit ( $V_u$ ) = 4,15935 kN = 4159,35 N

Lebar gelagar ( $b$ ) = 250 mm

Tinggi gelagar total ( $h$ ) = 500 mm

Tebal selimut beton ( $d'$ ) = 40 mm

Tebal diafragma ( $d$ ) = 460 mm

Mutu beton ( $f_c'$ ) = 25 MPa

Mutu baja ( $f_y$ ) = 240 MPa

## A. Tulangan Utama Tumpuan

Karena gelagar melintang diasumsi tidak menerima beban, maka digunakan rasio penulangan minimum.

➤ Luas tulangan perlu

$$A_{Smin} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$A_{Smin} = \frac{1,4}{240} \times 250 \times 460$$

$$A_{Smin} = 670,83 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan diameter D 13 mm

➤ Jumlah Tulangan

$$n = \frac{A_{Smin}}{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2}$$

$$n = \frac{670,83}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2}$$

$$n = 5,06 \approx 6 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan 6 D 13 mm

B. Tulangan Utama Lapangan

Karena gelagar melintang diasumsi tidak menerima beban, maka digunakan rasio penulangan minimum.

➤ Luas tulangan perlu

$$A_{Smin} = \frac{1,4}{f_y} \times b \times d$$

$$A_{Smin} = \frac{1,4}{240} \times 250 \times 460$$

$$A_{Smin} = 670,83 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan diameter D 13 mm

➤ Jumlah tulangan

$$n = \frac{A_{Smin}}{\frac{1}{4} \times \pi \times d^2}$$

$$n = \frac{670,83}{\frac{1}{4} \times \pi \times 13^2}$$

$$n = 5,06 \approx 6 \text{ buah}$$

Digunakan tulangan 6 D 13 mm

C. Tulangan Geser

➤ Gaya geser ultimate

$$V_u = 4159,35 \text{ N}$$

- Kuat geser beton

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{25} \times 250 \times 460$$

$$V_c = 95833 \text{ N}$$

$$\Phi V_c = 0,75 \times 95833$$

$$\Phi V_c = 71875 \text{ N}$$

$$\Phi V_c > 2 V_u \text{ (tidak perlu tulangan geser)}$$

Agar struktur lebih stabil digunakan sengkang Ø 8 mm

- Luas tulangan sengkang

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

$$A_s = \frac{1}{4} \times \pi \times 8^2$$

$$A_s = 50,24 \text{ mm}^2$$

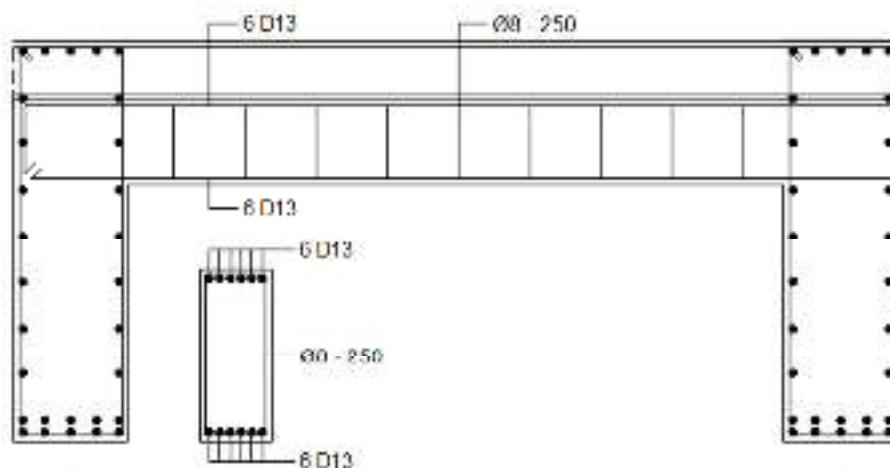
- Jarak antar tulangan sengkang

$$s = \frac{3 \times 2 \times A_v \times f_y}{250}$$

$$s = \frac{3 \times 2 \times 50,24 \times 240}{250}$$

$$s = 289,38 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan sengkang Ø8 - 250 mm



**Gambar 4.19** Penulangan Gelagar Melintang