

## BAB V

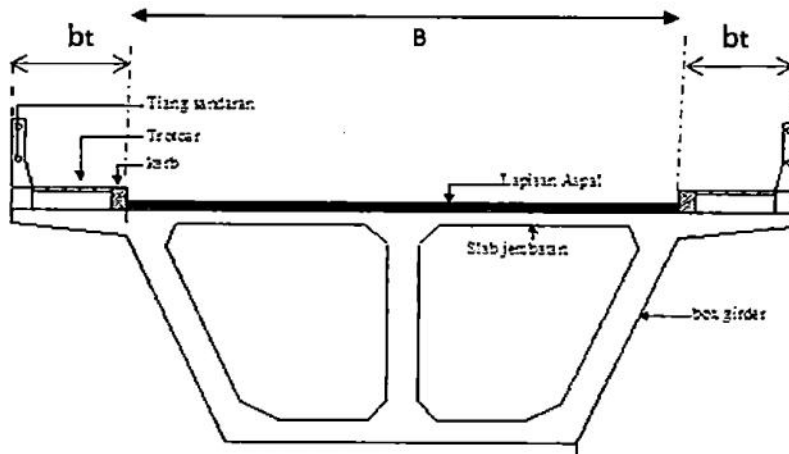
### ANALISIS STRUKTUR DAN PEMBAHASAN

Pada tugas akhir ini akan didesain ulang Jembatan Gajah Wong dengan menggunakan konstruksi *box girder prestress* struktur *simple beam*. Perancangan Gajah Wong ini mencakup perancangan struktur atas jembatan. Agar perancangan dapat dilaksanakan, maka analisis berdasarkan data yang diperlukan sesuai dengan struktur yang direncanakan

#### A. Data-data Perancangan

Dalam perancangan struktur atas jembatan Gajah Wong ini diperlukan data-data sebagai berikut :

##### 1. Data Teknis Jembatan



Gambar 5.1 Potongan melintang jembatan (Jati, 2013)

Perancangan jembatan Gajah Wong direncanakan menggunakan struktur balok prategang paskatarik penampang trapesium dengan data sebagai berikut:

- a. Panjang total jembatan,  $L_t = 40,8 \text{ m}$
- b. Panjang bentang jembatan,  $L = 40 \text{ m}$

- c. Jumlah *box girder*,  $n = 1$  buah  
 d. Lebar trotoar,  $b_2 = 0,50$  m  
 e. Lebar jalan  $b_1 = 6,00$  m  
 f. Tebal genangan air hujan,  $t_h = 0,05$  m  
 g. Tebal trotoar  $t_t = 0,30$  m  
 h. Tebal aspal  $t_a = 0,10$  m

## 2. Data Bahan

### a. Mutu Beton

- 1) Untuk beton prategang digunakan mutu beton K-600, kuat tekan beton yang digunakan  $f'c = 50$  Mpa
- 2) Untuk beton bertulang digunakan mutu beton K-300, kuat tekan beton yang digunakan  $f'c = 24,9$  Mpa

### b. Mutu Baja

- 1) BJTD untuk  $\phi > 13$  mm digunakan mutu baja U-39, tegangan leleh baja yang digunakan  $f_y = 390$  Mpa
- 2) BJTD untuk  $\phi \leq 13$  mm digunakan mutu baja U-24, tegangan leleh baja yang digunakan  $f_y = 240$  Mpa
- 3) Data baja prategang disajikan pada tabel 5.1

Tabel 5.1 Data tendon baja prategang

DATA STRANDS CABLE – STANDARD VSL			
Jenis <i>strands</i>	Uncoated 7 wire strands ASTM A-416 grade 270		
Kuat tarik <i>strands</i>	$f_{tu} =$	1860	MPa
Tegangan leleh <i>strands</i>	$f_{py} =$	1581	MPa
Diameter nominal <i>strands</i>	$d =$	12,7	mm
Luas tampang nominal satu <i>strands</i>	$A_{st} =$	100	mm
Beban putus satu <i>strands</i>	$P_{bs1} =$	187,32	kN
Jumlah kawat untaian ( <i>strands cable</i> )	$n =$	41	kawat/tendon
Diameter selubung tendon		101,6	mm
Modulus elastis <i>strands</i>	$E_s =$	190000	MPa
Tipe dongkrak	VSL E43		

### 3. Data Berat Volume Bahan

Tabel 5.2 Data berat volume bahan

Specific Gravity		kN/m <sup>3</sup>
Beton	$w_c =$	24,0
Beton bertulang	$w'_c =$	25,0
Beton prategang	$w''_c =$	25,5
Aspal	$w_a =$	22,0
Genangan air	$w_w =$	9,81

Sumber: BMS 1992

### B. Analisis Struktur Atas

#### 1. Perhitungan Tiang Sandaran (*Railing*)

Sandaran merupakan suatu konstruksi pengaman bagi pemakai jembatan, sandaran ini direncanakan dari pipa besi bulat sedangkan tiang sandaran (*railing*) berupa beton bertulang. Adapun data tiang sandaran adalah sebagai berikut :

Jarak antar tiang *railing*,  $L = 2$  m

Beban horisontal *railing*,  $H_2 = 0,75$  kN/m

##### a. Beban Tiang Railing

Gaya horisontal pada tiang *railing* ( $H$ )

$$H = H_2 \times L = 0,75 \times 2 = 1,5 \text{ kN}$$

Lengan terhadap sisi bawah tiang sandaran,  $y = 1,2$  m

Momen pada tiang ( $M_{TP}$ )

$$M_{TP} = H \times y = 1,5 \times 1,2 = 1,8 \text{ kNm}$$

Faktor beban ultimit,  $K_{TP} = 2$

Momen ultimit rencana ( $M_u$ )

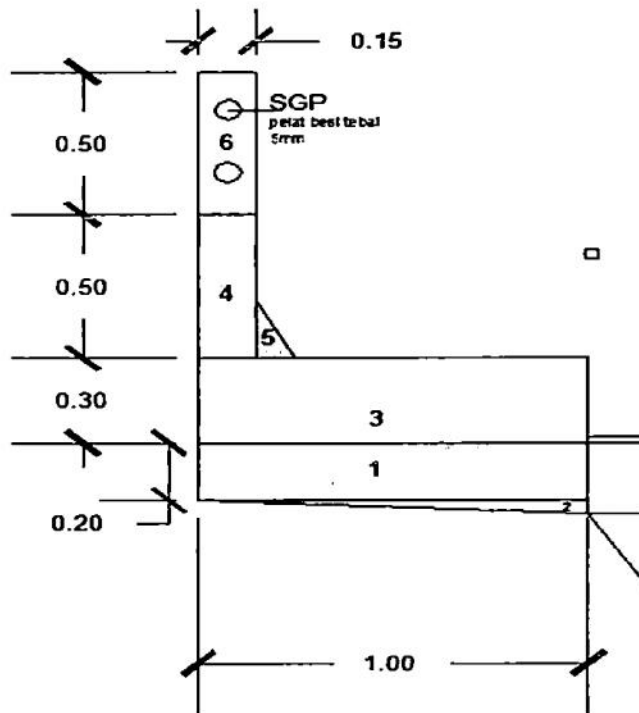
$$M_u = K_{TP} \times M_{TP}$$

$$= 2 \times 1,8 = 3,6 \text{ kNm}$$

Gaya geser ultimit rencana ( $V_u$ )

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

$$= 2 \times 1,5 = 3 \text{ kN}$$

Gambar 5.2 Tiang *railing* dan pembebanannya

Tabel 5.3 Berat sendiri pada tiang railing

No	b (m)	h (m)	Shape	L (m)	Berat (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)
1	1	0.2	1	1	5	0.5	2.5
2	1	0.05	0.5	1	0.625	0.33333	0.208333
3	1	0.3	1	1	7.5	0.5	3.75
4	0.15	0.5	1	0.15	0.28125	0.925	0.260156
5	0.1	0.2	0.5	0.15	0.0375	0.81667	0.030625
6	0.15	0.5	1	1	1.875	0.925	1.734375
7	SGP 3" dengan berat/m		0.63	2	1.26	0.925	1.1655
				$P_{MS} =$	16.5788	$M_{MS} =$	9.64899

b. Penulangan Tiang *Railing*

Kuat tekan beton, K - 300  $f'_c = 24,9\text{MPa}$

Tegangan leleh baja, U - 24  $f_y = 240\text{MPa}$

Faktor beban distribusi tegangan beton ( $\beta_1$ )  $= 0,85 \rightarrow <f'_c = 30\text{MPa}$

Faktor reduksi kekuatan lentur  $\phi = 0,8$

Faktor reduksi kekuatan geser  $\phi = 0,6$

Tebal tiang *railing*,  $h = 150 \text{ mm}$

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,  $d' = 35 \text{ mm}$

Tebal efektif tiang *railing*,  $d = h - d' = 150 - 35 = 115 \text{ mm}$

Rasio tulangan bcrimbang,  $\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) =$

$$= 0,85 \frac{0,85 \cdot 24,9}{240} \left( \frac{600}{600 + 240} \right) = 0,05354$$

Rasio tulangan maksimum,

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,05354 = 0,04016$$

Rasio tulangan minimum,

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 0,00583$$

Momen nominal rencana,

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{3,6}{0,8} = 4,5 \text{ kNm}$$

Faktor tahanan momen,

$$R_n = \frac{M_n \cdot 10^6}{b \cdot d^2} = \frac{4,5 \cdot 10^6}{1000 \cdot 115^2} = 0,34026$$

Rasio tulangan yang dibutuhkan,

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

$$= \frac{0,85 \cdot 24,9}{240} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,34026}{0,85 \cdot 24,9}} \right) = 0,00143$$

Karena :  $\rho_{min} = 0,00583 > \rho_{perlu} = 0,00143 < \rho_{max} = 0,04016$

Maka rasio tulangan yang digunakan,  $\rho = 0,00583$

### c. Tulangan Pokok

Luas tulangan pokok,

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,00583 \cdot 1000 \cdot 115 = 670,833 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D-13,

$$A_{ID} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 = 132,732 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$s = \frac{A_{ID} \cdot b}{A_s} = \frac{132,732 \cdot 1000}{670,833} = 197,862 \text{ mm} \approx 190 \text{ mm}$$

Jadi dipakai tulangan pokok D 13 - 190

#### d. Tulangan Susut

Luas tulangan susut,

$$A_{st} = 0,002 \cdot b \cdot h = 0,002 \cdot 1000 \cdot 150 = 300 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D-10,

$$A_{ID} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 = 78,5398 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$s = \frac{A_{ID} \cdot b}{A_{st}} = \frac{78,5398 \cdot 1000}{300} = 261,799 \text{ mm} \approx 260 \text{ mm}$$

Jadi dipakai tulangan susut D 10-260

#### e. Kontrol Geser

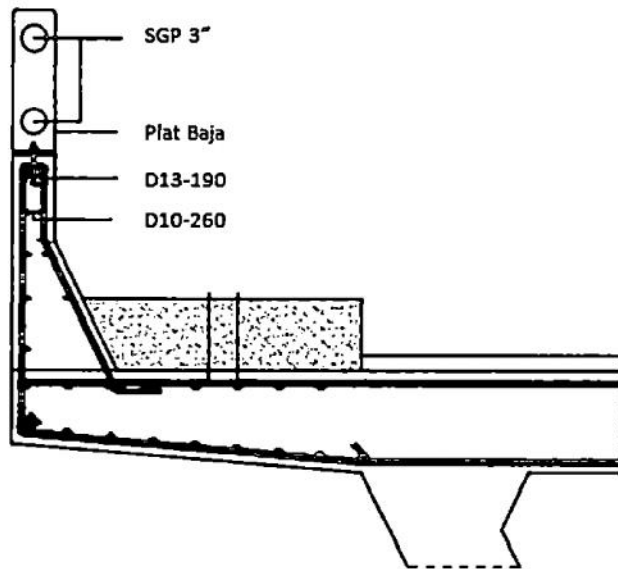
Gaya geser ultimit rencana,  $V_u = 3000 \text{ N}$

Gaya geser yang mampu ditahan beton,

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f_c} \cdot h \cdot d = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{24,9} \cdot 150 \cdot 115 = 14346,2 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_c = 0,6 \cdot 14346,2 = 8607,73 \text{ N}$$

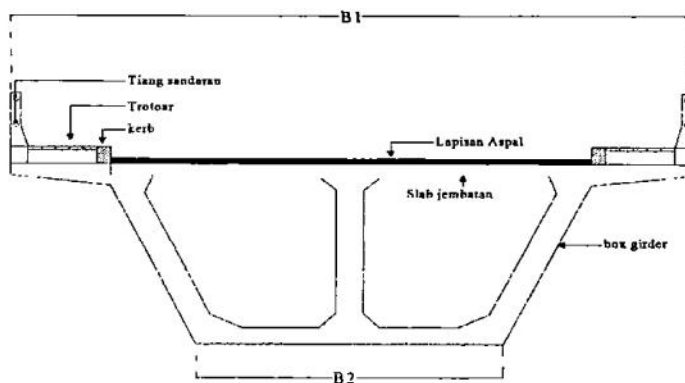
Karena nilai  $\phi \cdot V_c = 8607,73 \text{ N} > V_u = 3000 \text{ N}$ , maka beton tidak perlu diberi tulangan geser sebab beton telah mampu menahan gaya geser yang terjadi.



Gambar 5.3 Penulangan tiang *railing*

## 2. Perhitungan Plat Lantai (*Slab*) Jembatan

Perhitungan lantai jembatan meliputi analisis beban lantai jembatan yang meliputi aksi tetap, aksi sementara dan aksi lingkungan serta perhitungan tulangan memanjang dan tulangan susut. Aksi tetap merupakan berat sendiri struktur dan beban mati tambahan, aksi sementara merupakan beban truk "T", sedangkan aksi lingkungan merupakan gaya angin.



Gambar 5.4 Tampang melintang *slab* jembatan (Jati,2013)

a. Pembebanan Pada Lantai Jembatan

1) Berat Sendiri (MS)

Faktor beban *ultimate* :  $K_{MS} = 1,3$

Ditinjau *slab* lantai jembatan selebar,  $b = 1,0 \text{ m}$

Tebal *slab* lantai jembatan,  $t_s = 0,3 \text{ m}$

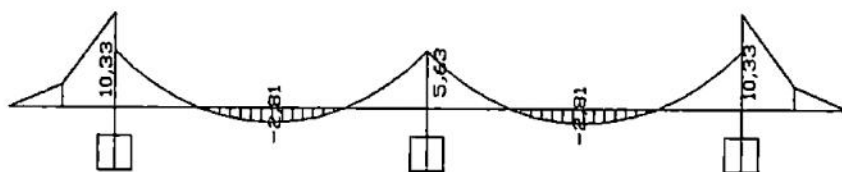
Berat volume beton bertulang,  $w_c = 25 \text{ kN/m}^3$

Tebal trotoar,  $t_t = 0,25 \text{ m}$

Berat sendiri *slab*,  $Q_{MS} = b \cdot t_s \cdot w_c$   
 $= 1,0 \cdot 0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ kN/m}$

Berat sendiri trotoar,  $Q_{MS} = b \cdot t_t \cdot w_c$   
 $= 1,0 \cdot 0,25 \cdot 25 = 6,25$

kN/m



Gambar 5. Beban berat sendiri (ms) 5 plat lantai

Momen maksimum akibat berat sendiri ( $M_{MS}$ ) dengan asumsi ketiga tumpuan jepit diperoleh momen tumpuan dan lapangan sebesar

:

$$M_{MS} \text{ Tumpuan} = -10,33 \text{ kNm}$$

$$M_{MS} \text{ Lapangan} = 2,81 \text{ kNm}$$

Momen *ultimate* rencana ( $M_u$ )

$$M_u \text{ Tumpuan} = K_{MS} \cdot M_{MS} \text{ Tumpuan}$$

$$= 1,3 \cdot (-10,33)$$

$$= -13,429 \text{ kNm}$$



$$\begin{aligned}
 M_u \text{ Lapangan} &= K_{MS} \cdot M_{MS} \text{ Lapangan} \\
 &= 1,3 \cdot 2,81 \\
 &= 3,653 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

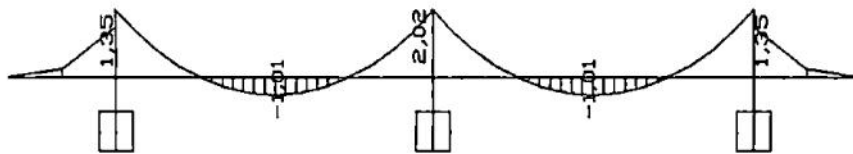
## 2) Beban Mati Tambahan (MA)

Faktor beban *ultimate* :  $K_{MA} = 2$

$$\text{Lapisan aspal} = 0,1 \text{ m} \cdot 22 \text{ kN/m}^3 = 2,2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Air hujan} = 0,05 \text{ m} \cdot 9,8 \text{ kN/m}^3 = 0,49 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban mati tambahan, } Q_{MA} = 2,69 \text{ kN/m}$$



Gambar 5.6 Beban mati tambahan (MA) plat lantai

Momen maksimum akibat beban mati tambahan ( $M_{MA}$ ) dengan asumsi ketiga tumpuan jepit diperoleh momen tumpuan dan lapangan sebesar :

$$M_{MA} \text{ Tumpuan} = -2,02 \text{ kNm}$$

$$M_{MA} \text{ Lapangan} = 1,01 \text{ kNm}$$

Momen *ultimate* rencana ( $M_u$ )

$$M_u \text{ Tumpuan} = K_{MA} \cdot M_{MA} \text{ Tumpuan}$$

$$= 2 \cdot (-2,02)$$

$$= -4,04 \text{ kNm}$$

$$M_u \text{ Lapangan} = K_{MA} \cdot M_{MA} \text{ Lapangan}$$

$$= 2 \cdot 1,01$$

$$= 2,02 \text{ kNm}$$

### 3) Beban Hidup Truk "T" (TT)

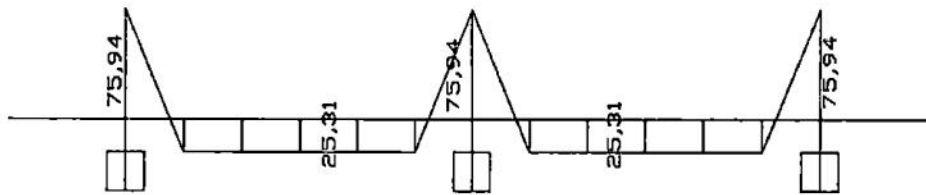
Beban hidup pada *slab* jembatan berupa roda ganda oleh Truk (beban T) yang besarnya beban hidup  $T = 100$  kN

Faktor beban *ultimate* :  $K_{TT} = 2$

Faktor beban dinamis untuk pembebanan Truk diambil DLA (berdasarkan BMS bagian 2 Beban Jembatan). Karena bentang jembatan  $L = 40$  m, maka :

$$\begin{aligned} \text{DLA} &= 0,4 - 0,0025 \cdot (L - 50) \\ &= 0,4 - 0,0025 \cdot (40 - 50) = 0,425 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Truk, PTT} &= (1 + \text{DLA}) \cdot T \\ &= (1 + 0,425) \cdot 100 \\ &= 142,5 \text{ kN} \end{aligned}$$



Gambar 5.7 Beban Hidup Truk "T" (TT) Plat Lantai

Momen maksimum akibat beban hidup truk ( $M_{TT}$ ) dengan asumsi ketiga tumpuan jepit diperoleh momen tumpuan dan lapangan sebesar :

$$M_{TT} \text{ Tumpuan} = -75,94 \text{ kNm}$$

$$M_{TT} \text{ Lapangan} = 25,31 \text{ kNm}$$

Momen *ultimate* rencana ( $M_u$ )

$$\begin{aligned} M_u \text{ Tumpuan} &= K_{TT} \cdot M_{TT} \text{ Tumpuan} \\ &= 2 \cdot (-75,94) \\ &= -151,88 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_u \text{ Lapangan} = K_{TT} \cdot M_{TT} \text{ Lapangan}$$

$$= 2 \cdot 25,31$$

$$= 50,62 \text{ kNm}$$

#### 4) Beban Angin (EW)

Beban angin yang bekerja pada struktur atas diperhitungkan dengan rumus :

$$T_{EW} = 0,0012 \cdot C_w \cdot (V_w)^2, \text{ dimana :}$$

$$C_w = \text{koefisien seret} = 1,25 (\text{Sumber : BMS 1992})$$

$$V_w = \text{kecepatan angin rencana} = 35 \text{ m/dt} (\text{Sumber : BMS 1992})$$

$$T_{EW} = 0,0012 \cdot 1,25 \cdot (35)^2$$

$$= 1,8375 \text{ kN}$$

Faktor beban *ultimate* :  $K_{EW} = 1,2$

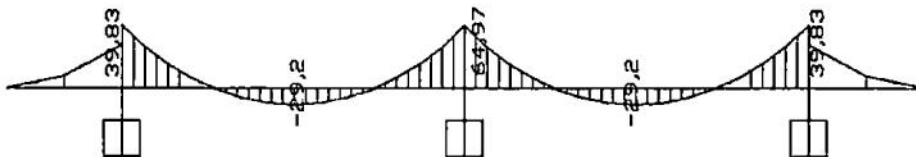
Bidang vertikal yang diliup angin merupakan bidang samping kendaraan dengan tinggi  $h = 2,0 \text{ m}$  di atas lantai jembatan, sedangkan jarak antar roda kendaraan  $x = 1,75$

Transfer beban angin ke lantai jembatan :

$$P_{EW} = 0,5 \cdot h/x \cdot T_{EW} =$$

$$= 0,5 \cdot 2/1,75 \cdot 1,8375 =$$

$$= 1,05 \text{ kN}$$



Gambar 5.8 Beban angin (EW) plat lantai

Momen maksimum akibat beban angin ( $M_{EW}$ ) dengan asumsi ketiga tumpuan jepit diperoleh momen tumpuan dan lapangan sebesar :

$$M_{EW \text{ Tumpuan}} = -64,97 \text{ kNm}$$

$$M_{EW} \text{ Lapangan} = 29,20 \text{ kNm}$$

Momen *ultimate* rencana ( $M_u$ )

$$M_u \text{ Tumpuan} = K_{EW} \cdot M_{EW} \text{ Tumpuan}$$

$$= 1,2 \cdot (-64,97)$$

$$= -77,964 \text{ kNm}$$

$$M_u \text{ Lapangan} = K_{EW} \cdot M_{EW} \text{ Lapangan}$$

$$= 1,2 \cdot 29,20$$

$$= 35,04 \text{ kNm}$$

Tabel 5.4 Rekap momen pada *slab* lantai jembatan

No	Jenis Beban	Kode Beban	Momen Tumpuan (kNm)	Momen Lapangan (kNm)
1	Berat sendiri	MS	-10.33	1.81
2	Beban mati tambahan	MA	-2.02	1.01
3	Beban truk "T"	TD	-75.94	25.31
4	Beban angin	TB	-64.97	29.12

Tabel 5.5 Rekap momen ultimate pada *slab* lantai jembatan

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Momen Tumpuan (kNm)	Momen Lapangan (kNm)
1	Berat sendiri	MS	1.3	-13.429	2.353
2	Beban mati tambahan	MA	2	-4.04	2.02
3	Beban truk "T"	TD	2	-151.88	50.62
4	Beban angin	TB	1.2	-77.964	34.944
Total Momen Ultimate Slab			Mu =	<b>-247.313</b>	<b>89.937</b>

Antara momen tumpuan dan momen lapangan yang diperoleh dikalikan dengan faktor beban ultimate masing-masing pembebanan. Digunakan momen terbesar antara momen tumpuan dan momen lapangan. Dari perhitungan di atas digunakan Mu untuk slab adalah Mu Tumpuan = -247,313kNm.

b. Penulangan Lantai Jembatan (*Slab*)

Pada perhitungan penulangan plat lantai Jembatan Gajah Wong ini digunakan analisis plat satu arah karena plat ini hanya ditumpu pada

kedua sisinya, perbandingan  $L_y/L_x$  nya pun  $> 2$ . Berikut data-data yang diperlukan untuk perhitungan penulangan plat lantai Jembatan Gajah Wong.

Panjang sisi pendek,	$L_x = 8\text{ m} = 8000\text{ mm}$
Panjang sisi panjang,	$L_y = 40\text{ m} = 40000\text{ mm}$
Kuat desak beton,	$f'_c = 50\text{ MPa}$
Tegangan leleh baja,	$f_y = 390\text{ MPa}$
Tebal slab,	$t_s = 300\text{ mm}$
Diameter tulangan,	$D = 19\text{ mm}$
Penutup beton,	$P_b = 20\text{ mm}$
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,	$d' = 20 + 13 + 19/2 = 42,5\text{ mm}$
Tebal efektif slab,	$d = 300 - 42,5 = 257,5\text{ mm}$
Ditinjau slab selebar 1 m,	$b = 1000\text{ mm}$
Faktor beban distribusi tegangan beton,	
Untuk $f'_c = 50\text{ MPa} > 30\text{ MPa}$ maka nilai,	

$$\begin{aligned}\beta_1 &= 0,85 - 0,08 \left( \frac{f'_c - 30}{10} \right) \\ &= 0,85 - 0,08 \left( \frac{50 - 30}{10} \right) = 0,69\end{aligned}$$

Faktor reduksi kekuatan lentur,	$\phi = 0,8$
Faktor reduksi kekuatan geser,	$\phi = 0,6$
Momen rencana <i>ultimate</i> ,	$M_u = 247,313\text{ kNm}$

Rasio tulangan berimbang:

$$\begin{aligned}\rho_b &= \beta_1 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= 0,69 \frac{0,85 \cdot 50}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right) = 0,04557\end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum:

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,04557 = 0,034178$$

Rasio tulangan minimum:

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,00359$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{390}{0,85 \cdot 50} = 9,1765$$

Faktor tahanan momen maksimum:

$$\begin{aligned} R_{\max} &= \rho_{\max} \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \rho_{\max} \cdot m\right) \\ &= 0,034178 \cdot 390 \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot 0,034178 \cdot 9,1765\right) \\ &= 7,1799 \end{aligned}$$

Momen nominal rencana:

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{247,313 \cdot 10^3}{0,8} = 309,141 \text{ kNm}$$

Faktor tahanan momen:

$$R_n = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{247,313 \cdot 10^6}{1000 \cdot 257,5^2} = 3,7298$$

Syarat:  $R_n < R_{\max}$  OK

Rasio tulangan yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}\right)}\right) \\ &= \frac{1}{9,1765} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot 9,1765 \cdot 3,4426}{390}\right)}\right) \\ &= 0,00203 \end{aligned}$$

Karena  $\rho_{\min} = 0,00359 < \rho_{\text{perlu}} = 0,00203 < \rho_{\max} = 0,034178$

Maka rasio tulangan yang dipakai,  $\rho_{\text{perlu}} = 0,00203$

1) Tulangan pokok

Luas tulangan pokok:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,00203 \cdot 1000 \cdot 257,5 = 4214,2092 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan pokok D19,

$$A_d = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 19^2 = 283,5287 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan yang diperlukan:

$$s = \frac{Ad \cdot b}{A_s} = \frac{283,5287 \cdot 1000}{4214,2092} = 67,279 \text{ mm}$$

Dipakai jarak tulangan = 100 mm < 2 . h = 2 . 300 = 600 mm

Luas tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{Ad \cdot b}{s} = \frac{283,5287 \cdot 1000}{67,279} \\ &= 4214,222 \text{ mm}^2 > A_s = 4214,209 \text{ mm}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

Jadi dipakai tulangan pokok D19 - 100

## 2) Tulangan susut

Karena menggunakan baja BJTD 30 maka digunakan rumus  $A_{sst} = 0,0020 \cdot b \cdot h$

$$\begin{aligned} A_{sst} &= 0,0020 \cdot b \cdot h \text{ plat} \\ &= 0,0020 \cdot 1000 \cdot 300 = 600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan susut D13,

$$Ad = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 = 132,7323 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$\begin{aligned} s &= \frac{Ad \cdot 1000}{A_s} < 2 \cdot h \\ s &= \frac{132,7323 \cdot 1000}{600} < 2 \cdot 250 \\ &= 221,22 \text{ mm} \approx 200 \text{ mm} < 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas tulangan yang diperlukan:

$$A_s \text{ pakai} = \frac{Ad \cdot 1000}{s} = \frac{132,7323 \cdot 1000}{200} = 663,661 \text{ mm}^2 > A_s = 600 \text{ mm}^2$$

OK

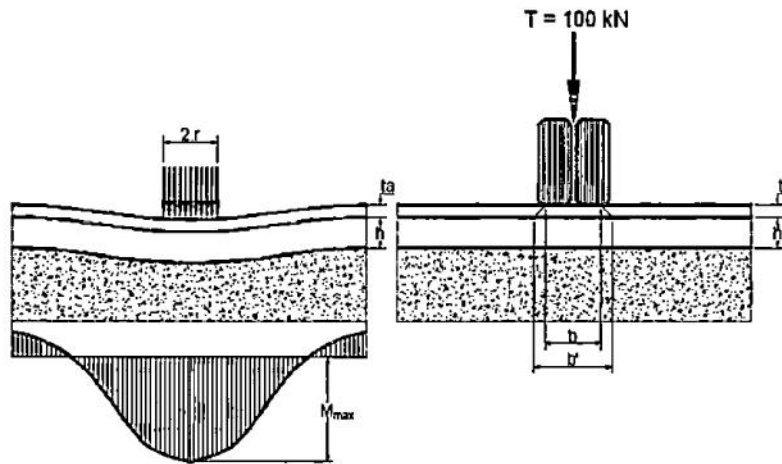
Jadi dipakai tulangan susut D13 -200

## 3. Perhitungan Plat Injak Jembatan

Perancangan plat injak jembatan dibagi menjadi dua, yaitu perancangan arah melintang dan arah memanjang jembatan.

### a. Perhitungan Plat Injak Arah Melintang Jembatan

Pembebanan plat injak arah melintang jembatan seperti terlihat pada gambar 4.8 berikut.



Gambar 5.9 Beban pada plat injak arah melintang jembatan

1) Beban truk "T"

Faktor beban ultimate (KTT) = 2,0

Beban hidup pada plat injak berupa beban roda ganda oleh truk (beban T) yang besarnya,  $T = 100 \text{ kN}$

Faktor beban dinamis (DLA) = 0,425

$$\begin{aligned} \text{Beban truk "T"} (T_{TT}) &= (1 + DLA) \times T \\ &= (1 + 0,425) \times 100 \\ &= 142,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

2) Momen pada plat injak

Tebal plat injak (h) = 0,3 m

Tebal lapisan aspal (ta) = 0,05 m

Lebar bidang kontak roda truk (b)s = 0,5 m

$b' = b + ta = 0,55 \text{ m}$

Kuat tekan beton ( $f_c$ ) = 24,9 MPa

Momen max pada plat injak akibat beban roda dihitung dengan rumus :

$$M_{max} = \frac{T_{TT}}{2} \times \left[ 1 - \left( r \times \sqrt{\frac{2}{\lambda}} \right)^{0,6} \right], \text{ dengan, } \lambda = \left[ \frac{Ec \times h^3}{12 \times (1 - \nu^2) \times ks} \right]^{0,25}$$



$$\begin{aligned}
 \text{Angka poisson } (\nu) &= 0,2 \\
 \text{Standard modulus of soil reaction } (k_s) &= 81500 \text{ kN/m}^3 \\
 \text{Modulus elastis beton } (E_c) &= 27629,84 \text{ MPa} \\
 &= 27629840 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Lebar penyebaran beban terpusat } (r) &= \frac{b'}{2} = \frac{0,55}{2} = 0,275
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \left[ \frac{E_c \times h^3}{12 \times (1 - \nu^2) \times k_s} \right]^{0,25} \\
 &= \left[ \frac{27629840 \times 0,3^3}{12 \times (1 - 0,2^2) \times 81500} \right]^{0,25} \\
 &= 0,94413
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{max} &= \frac{T_{TT}}{2} \times \left[ 1 - \left( r \times \sqrt{\frac{2}{\lambda}} \right)^{0,67} \right] \\
 &= \frac{142,5}{2} \times \left[ 1 - \left( 0,275 \times \sqrt{\frac{2}{0,94413}} \right)^{0,67} \right] \\
 &= 30,1176 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_u &= K_{TT} \times M_{max} \\
 &= 2,0 \times 30,1176 \\
 &= 60,2352 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

### 3) Penulangan plat injak arah melintang jembatan

$$\begin{aligned}
 \text{Momen rencana tumpuan} &= 60,2352 \text{ kNm} \\
 \text{Kuat tekan beton rencana } (f'_c) &= 24,9 \text{ MPa} \\
 \text{Tegangan leleh baja } (f_y) &= 390 \text{ MPa} \\
 \text{Tebal plat injak } (h) &= 300 \text{ mm} \\
 \text{Jarak tulangan ke sisi luar beton } (d') &= 40 \text{ mm} \\
 \text{Modulus elastis baja } (E_s) &= 200000 \text{ MPa} \\
 \text{Faktor distribusi teg. beton } (\beta_1) &= 0,85 \\
 \text{Faktor reduksi kekuatan lentur } (\Phi) &= 0,8 \\
 \text{Faktor reduksi kekuatan geser } (\Phi) &= 0,6 \\
 \text{Tebal efektif plat injak } (d) &= h - d' = 300 - 40
 \end{aligned}$$

$$= 260 \text{ mm}$$

Ditinjau slab beton selebar 1 m (b) = 1000 mm

$$\begin{aligned}\rho_b &= \frac{0,85 \times f_c \times \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 24,9 \times 0,85}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right) \\ &= 0,02796\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_{max} &= 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left( 1 - \frac{\frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times f_y}{0,85 \times f_c} \right) \\ &= 0,75 \times 0,02796 \times 390 \times \left( 1 - \frac{\frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,02796 \times 390}{0,85 \times 24,9} \right) \\ &= 6,59822\end{aligned}$$

$$\text{Momen nominal rencana (Mn)} = \frac{Mu}{\phi} = \frac{60,2352}{0,8} = 75,294 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}\text{Faktor tahanan momen (Rn)} &= \frac{Mn \times 10^6}{b \times d^2} \\ &= \frac{75,294 \times 10^6}{1000 \times 260^2} \\ &= 1,1135\end{aligned}$$

$R_n < R_{max} \rightarrow \text{OK!}$

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c} \right)} \right] \\ &= \frac{0,85 \times 24,9}{390} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times 1,1135}{0,85 \times 24,9} \right)} \right] \\ &= 0,00293446\end{aligned}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0035897$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0293446 = 0,022$$

Karena  $\rho_{min} = 0,0035897 > \rho_{perlu} = 0,00293446 < \rho_{max} = 0,022$

Maka rasio tulangan yang dipakai,  $\rho_{perlu} = 0,0035897$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0035897 \times 1000 \times 260 \\
 &= 933,322 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Digunakan diameter tulangan  $\varnothing$  16 mm

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak tulangan yang diperlukan, } S &= \frac{\frac{\pi}{4} \times \varnothing^2 \times b}{A_s} \\
 &= \frac{\frac{\pi}{4} \times 16^2 \times 1000}{933,322} = 215,4261 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

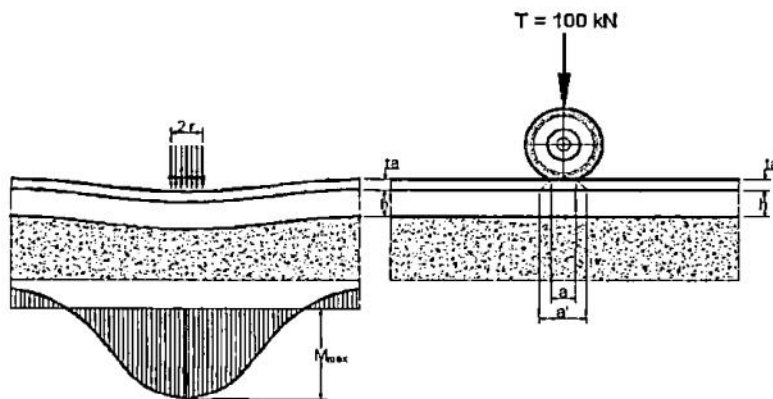
Maka tulangan yang digunakan = **D16 - 200**

$$A_s = \frac{\frac{\pi}{4} \times \varnothing^2 \times b}{s} = \frac{\frac{\pi}{4} \times 16^2 \times 1000}{200} = 1005,309 \text{ mm}^2 > 933,322 \text{ mm}^2$$

OK

#### b. Perhitungan Plat Injak Arah Memanjang Jembatan

Pembebanan plat injak arah memanjang jembatan seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 5.10 Beban pada plat injak arah memanjang jembatan

#### 1) Beban truk "T"

$$\text{Faktor beban ultimate } (K_{TT}) = 2,0$$

Beban hidup pada plat injak berupa beban roda ganda oleh truk

(beban T) yang besarnya,  $T = 100 \text{ kN}$

Faktor beban dinamis (DLA) = 0,425

$$\begin{aligned} \text{Beban truk "1" } (T_{TT}) &= (1 + DLA) \times T \\ &= (1 + 0,425) \times 100 \\ &= 142,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

2) Momen pada plat injak

$$\text{Tebal plat injak (h)} = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Tebal lapisan aspal (ta)} = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Lebar bidang kontak roda truk (a)} = 0,3 \text{ m}$$

$$a' = a + ta = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Kuat tekan beton (f'c)} = 24,9 \text{ MPa}$$

Momen max pada plat injak akibat beban roda dihitung dengan rumus :

$$M_{max} = \frac{T_{TT}}{2} \times \left[ 1 - \left( r \times \sqrt{\frac{2}{\lambda}} \right)^{0,6} \right], \text{ dengan, } \lambda = \left[ \frac{Ec \times h^3}{12 \times (1 - \nu^2) \times ks} \right]^{0,25}$$

$$\text{Angka poisson } (\nu) = 0,2$$

$$\text{Standard modulus of soil reaction (ks)} = 81500 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Modulus elastis beton (Ec)} = 27629,84 \text{ MPa}$$

$$= 27629840 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Lebar penyebaran beban terpusat (r)} = \frac{a'}{2} = \frac{0,35}{2} = 0,175$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \left[ \frac{Ec \times h^3}{12 \times (1 - \nu^2) \times ks} \right]^{0,25} \\ &= \left[ \frac{27629840 \times 0,35^3}{12 \times (1 - 0,2^2) \times 81500} \right]^{0,25} \\ &= 0,94413 \end{aligned}$$

$$M_{max} = \frac{T_{TT}}{2} \times \left[ 1 - \left( r \times \sqrt{\frac{2}{\lambda}} \right)^{0,6} \right]$$

$$= \frac{142,5}{2} \times \left[ 1 - \left( 0,175 \times \sqrt{\frac{2}{0,94413}} \right)^{0,6} \right]$$

$$= 30,1126 \text{ kNm}$$

$$Mu = K_{TT} \times M_{max}$$

$$= 2,0 \times 30,1126$$

$$= 60,235 \text{ kNm}$$

### 3) Penulangan plat injak arah melintang jembatan

$$\text{Momen rencana tumpuan} = 60,235 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan leleh baja (fy)} = 390 \text{ MPa}$$

$$\text{Tebal plat injak (h)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak tulangan ke sisi luar beton (d')} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Modulus elastis baja (Es)} = 200000 \text{ MPa}$$

$$\text{Faktor distribusi teg. beton } (\beta_1) = 0,85$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan lentur } (\Phi) = 0,8$$

$$\text{Faktor reduksi kekuatan geser } (\Phi) = 0,6$$

$$\text{Tebal efektif plat injak (d)} = h - d' = 300 - 40$$

$$= 260 \text{ mm}$$

$$\text{Ditinjau slab beton selebar 1 m (b)} = 1000 \text{ mm}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f'_c \times \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 60,235 \times 0,85}{390} \left( \frac{600}{600 + 390} \right)$$

$$= 0,06762$$

$$R_{max} = 0,75 \times \rho_b \times f_y \times \left( 1 - \frac{\frac{1}{2} \times 0,75 \times \rho_b \times f_y}{0,85 \times f'_c} \right)$$

$$= 0,75 \times 0,06762 \times 390 \times \left( 1 - \frac{\frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,06762 \times 390}{0,85 \times 60,235} \right)$$

$$= 15,95849$$

$$\text{Momen nominal rencana (Mn)} = \frac{Mu}{\Phi} = \frac{60,235}{0,8} = 75,2937 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor tahanan momen (Rn)} = \frac{Mn \times 10^6}{b \times d^2}$$

$$= \frac{75,2937 \times 10^6}{1000 \times 260^2}$$

$$= 1,1138$$

$R_n < R_{max} \rightarrow \text{OK!}$

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$\rho = \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times R_n}{0,85 \times f_c} \right)} \right]$$

$$= \frac{0,85 \times 24,9}{390} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2 \times 1,1138}{0,85 \times 24,9} \right)} \right]$$

$$= 0,002935$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{390} = 0,0035897$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,002935 = 0,022$$

Karena  $\rho_{min} = 0,0035897 < \rho_{perlu} = 0,002935 < \rho_{max} = 0,022$

Maka rasio tulangan yang dipakai,  $\rho_{perlu} = 0,0037051$

Luas tulangan yang diperlukan :

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

$$= 0,0037051 \times 1000 \times 260$$

$$= 963,326 \text{ mm}^2$$

Digunakan diameter tulangan  $\emptyset 16 \text{ mm}$

$$\text{Jarak tulangan yang diperlukan, } S = \frac{\frac{\pi}{4} \times \emptyset^2 \times b}{A_s}$$

$$= \frac{\frac{\pi}{4} \times 16^2 \times 1000}{963,326} = 208,7164 \text{ mm}$$

$$S_{pakai} = 200 \text{ mm}$$

aka tulangan yang digunakan = D16 – 200

$$A_s = \frac{\frac{\pi}{4} \times \emptyset^2 \times b}{s} = \frac{\frac{\pi}{4} \times 16^2 \times 1000}{200} = 1005,309 \text{ mm}^2 > 963,326 \text{ mm}^2$$

OK

#### 4. Perhitungan Balok Prategang

Pada perhitungan Jembatan Gajah Wong ini direncanakan menggunakan struktur balok prategang paskatarik dikelompokkan dengan data sebagai berikut:

- Tipe jembatan : Beton Prategang Profil *Box*
- Panjang Total Jembatan : 40,8 meter
- Jumlah bentang : 1 buah
- Panjang bentang : 40 meter

##### a. Perhitungan penampang balok prategang

Penampang yang digunakan pada balok prategang adalah penampang trapesium. Penetapan batasan-batasan tegangan ijin:

Mutu beton K-600 setara dengan kuat tekan beton  $f'_c = 50$  MPa

Saat transfer umur beton baru 14 hari, sehingga berdasarkan tabel perbandingan kuat tekan beton kekuatan beton untuk umur 14 hari baru mencapai 80%, maka:

$$f'_{ci} = 80\% \cdot f'_c = 0,80 \cdot 50 = 40 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin beton:

1) Saat transfer

$$\text{serat tekan : } f'_{ci} = 0,60 \cdot f'_c = 0,60 \cdot 39,8 = 23,904 \text{ MPa}$$

$$\text{serat tarik : } f_{ti} = 0,25 \cdot \sqrt{f'_{ci}} = 0,25 \cdot \sqrt{40} = 1,5779 \text{ MPa}$$

2) Saat layan,

$$\text{serat tekan: } f'_{cs} = 0,45 \cdot f'_c = 0,45 \cdot 50 = 22,41 \text{ MPa}$$

$$\text{serat tarik: } f_{ts} = 0,50 \cdot \sqrt{f'_c} = 0,50 \cdot \sqrt{50} = 3,5285 \text{ MPa}$$

Beban-beban yang bekerja:

- 1) Diperkirakan berat sendiri balok ( $W_G$ ) = 200 kN/m
- 2) Maka berat sendiri balok =  $1,3 \cdot 200 = 260$  kN/m
- 3) Beban railing =  $1,3 \cdot 16,579 = 21,557$  kN/m
- 4) Beban mati tambahan =  $1,3 \cdot 18,93 = 24,609$  kN/m
- 5) Beban mati ( $M_S$ ):

$$\text{a) Total beban mati} = 21,5527 + 21,112 = 42,6647 \text{ kN/m}$$

6) Beban hidup ( $T_D$ ):

$$\text{a) } Q_{TD} = 2 \cdot 42,6647 = 85,329 \text{ kN/m}$$

$$\text{b) } P_{TD} = 2 \cdot 371,25 = 721,05 \text{ kN}$$

Momen yang bekerja di tengah bentang:

Panjang bentang ( $L$ ) = 40 meter

Momen akibat berat sendiri *box girder*,

$$M_G = \frac{1}{8} \cdot w_G \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 260 \cdot 40^2 = 52000 \text{ kNm}$$

Momen akibat beban mati,

$$M_{MS} = \frac{1}{8} \cdot M_S \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 50,95 \cdot 40^2 = 7070,375 \text{ kNm}$$

Momen akibat beban hidup,

$$\begin{aligned} M_{TD} &= \frac{1}{8} \cdot Q_{TD} \cdot L^2 + \frac{1}{4} \cdot P_{TD} \cdot L \\ &= \frac{1}{8} \cdot 71,4286 \cdot 40^2 + \frac{1}{4} \cdot 742,5 \cdot 40 = 23310,5 \text{ kNm} \end{aligned}$$

a) Mencari Tinggi Balok

Pada sistem paskatarik saat transfer beban luar belum bekerja, maka momen akibat beban-beban yang bekerja saat transfer ( $M_0$ ) =  $M_G$  = 159250 kNm. Kehilangan gaya prategang (LOF) untuk paskatarik sebesar 34%, maka rasio kehilangan gaya prategang ( $R$ ) =  $1 - \text{LOF} = 1 - 34\% = 66\%$

Modulus penampang yang diperlukan:

$$\begin{aligned} (1-R)M_0 + M_{MS} + M_{TD} &= (1 - 0,66) \cdot 159250 + 31207,0281 + \\ 56743,75 &= 48060,875 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Modulus penampang atas,

$$s_t \geq \frac{(1-R)M_0 + M_{MS} + M_{TD}}{R \cdot f_a - f_{cs}} = \frac{142095,778 \cdot 1.10^6}{0,66 \cdot 1,58 - (-22,5)}$$

$$s_t \geq 20493762572964 \text{ mm}^3 = 2,0494 \text{ m}^3$$

Modulus penampang bawah,



$$s_b \geq \frac{(1-R)M_o + M_{MS} + M_{TD}}{f_b - R \cdot f_{ci}} = \frac{142095,778 \cdot 10^6}{3,53 - 0,66 \cdot (-24)}$$

$$s_b \geq 24895434664105 \text{ mm}^3 = 2,4895 \text{ m}^3$$

Penampang yang digunakan pada balok prategang adalah penampang *box* trapesium dengan penampang seperti pada gambar 5.10. Dari gambar 5.10, diperkirakan garis netral terletak di bawah plat:

Modulus penampang bagian atas:

$$s_a = 7.0.3.(c_t - 0,15) + 2.1.0,25.(c_t - 0,125) + 2.0,5.1.0,05.(c_t - 0,26667) \\ + 2.0,45.0,5.(c_t - 0,3)^2 + 0,45.0,5.(c_t - 0,3)^2 + 4.0,5.0,2.0,2.(c_t - 0,36667)$$

$$6,0354 = 0,675c_t^2 + 2,325c_t - 0,359$$

$$c_t^2 + 3,4444c_t - 9,4739 = 0$$

$$c_t = \frac{-3,4444 \pm \sqrt{3,4444^2 + 4 \cdot 1 \cdot 9,4739}}{2}$$

$$c_t = 0,968 \text{ m}$$

Modulus penampang bagian bawah:

$$s_b = 2.0,45.0,5.(c_b - 0,3)^2 + 0,45.0,5.(c_b - 0,3)^2 + 5.0,3.(c_b - 0,15) + 2.0,5.0,165.0,3.(c_b - 0,2) \\ + 4.0,5.0,2.0,2.(c_b - 0,36667)$$

$$7,3338 = 0,675 \cdot c_b^2 + 1,225 \cdot c_b - 0,2035$$

$$c_b^2 + 1,8141c_b - 11,1663 = 0$$

$$c_b = \frac{-1,8141 \pm \sqrt{1,8141^2 + 4 \cdot 1 \cdot 11,1663}}{2}$$

$$c_b = 1,410 \text{ m}$$

Tinggi *box girder* prategang :  $H = 2,5$  m

Luas penampang *box girder* bruto :  $A_{bruto} = 7,032$  m<sup>2</sup>

Letak titik berat :

$$c_b = \frac{\sum A_i \cdot y_i}{\sum A} = \frac{8,7683}{7,032} = 1,2469 \text{ m}$$

$$c_t = h - c_b = 2,5 - 1,2469 = 1,253 \text{ m}$$

Momen inersia terhadap alas balok :

$$\begin{aligned} I_b &= \sum (A_i \cdot y_i^2) + \sum I_{oi} \\ &= 15,866 + 0,1093 \\ &= 15,9753 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Momen inersia terhadap titik berat balok:

$$\begin{aligned} I_x &= I_b - A \cdot c_b^2 \\ &= 15,9753 - (7,032 \cdot 1,2469^2) \\ &= 5,025 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Modulus penampang bagian atas:

$$S_a = \frac{I_x}{c_t} = \frac{5,025}{1,253} = 4,010 \geq 6,0354 \text{ m}^3 \quad \text{OK}$$

Modulus penampang bagian bawah:

$$S_b = \frac{I_x}{c_b} = \frac{5,025}{1,253} = 4,030 \text{ m}^3 \geq 7,3338 \text{ m}^3 \quad \text{OK}$$

Radius girasi:

$$r_2 = \frac{I_x}{A_t} = \frac{5,053}{7,032} = 0,7185 \text{ m}$$

Batas Kern:

$$\blacksquare \text{ Kern atas } K_a = \frac{r_2}{c_b} = \frac{0,7185}{1,2469} = 0,576 \text{ m}$$

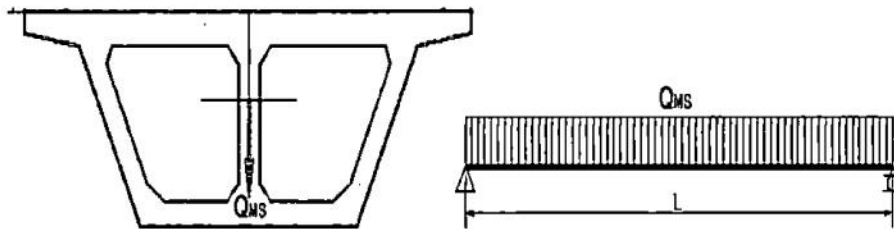
$$\blacksquare \text{ Kern atas } K_b = \frac{r_2}{c_t} = \frac{0,7185}{1,253} = 0,571 \text{ m}$$

## 5. Perhitungan Pembebanan Balok Prategang

Perhitungan pembebanan balok prategang meliputi beban mati, beban hidup lajur D, beban rem, beban angin dan beban gempa.

### a. Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri (*self weight*) adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural ditambah dengan elemen non-struktural yang dipikulnya dan bersifat tetap. Berat sendiri dihitung sebagai berikut (lihat gambar 5.12):



Gambar 5.12 Pembebanan berat sendiri (MS) pada balok (Jati, 2013)

#### 1) Berat sendiri *box girder*

Dari perhitungan modulus penampang dengan luas penampang  $A = 7,032\text{m}^2$  dan berat beton prategang  $w_c = 25,5 \text{ kN/m}^3$ , maka diperoleh berat sendiri balok,  $Q_{bs} = A \cdot w_c = 7,032 \cdot 25,5 = 179,316 \text{ kN/m}$ .

#### 2) Berat *railing*

Tabel 5.7 Berat trotoar dan *railing*

No	b (m)	h (m)	L (m)	Shape Factor	W'c (kN/m <sup>3</sup> )	Berat (kN/m)	
1	1	0.3	1	1	25	7.5	
2	0.15	0.5	0.15	1	25	0.28125	
3	0.1	0.2	0.15	0.5	25	0.0375	
4	0.15	0.5	1	1	25	1.875	
5	SGP 3" dengan berat/m					0.63	2
Jumlah berat trotoar dan dinding pagar tepi =						10.9538	

Sehingga berat trotoar dan tiang *railing* permeter adalah 10,9538 kN/m

## 3) Berat diafragma

Ukuran diafragma lapangan,

$$\text{Tebal} = 0,25 \text{ m}$$

$$b_1 = 2,325 \text{ m}$$

$$b_2 = 1,325 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 1,95 \text{ m}$$

Berat jenis beton prategang,  $w_c = 25,5 \text{ kN/m}^3$

Berat diafragma persegi,

$$\begin{aligned} A_{\text{diafragma}} &= \frac{1}{2} \cdot (b_1 + b_2) \cdot t \\ &= \frac{1}{2} \cdot (2,325 + 1,325) \cdot 1,95 \\ &= 3,55875 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{diafragma}} &= A \cdot \text{tebal} \cdot w_c \cdot n \\ &= 3,55875 \cdot 0,25 \cdot 25,5 \cdot 1 \\ &= 45,3741 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Panjang jembatan, } L = 40 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah diafragma, } n = 9 \text{ buah}$$

$$\text{Jarak antar diafragma, } x = 5 \text{ m}$$

Momen maksimum akibat beban diafragma di tengah bentang:

$$\begin{aligned} M_{\text{max}} &= (0,5 \cdot n \cdot x^5 - x^4 - x^3 - x^2 - x) \cdot W_{\text{diafragma}} \\ &= (0,5 \cdot 9 \cdot 25 - 20 - 15 - 10 - 5) \cdot 45,2741 \\ &= 2835,88 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berat diafragma ekuivalen:

$$\begin{aligned} Q_{\text{diafragma}} &= \frac{8 \cdot M_{\text{max}}}{L^2} \\ &= \frac{8 \cdot 2835,88}{40^2} = 14,179 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Tabel 5.8 Rekap berat sendiri struktur atas ( $Q_{MS}$ )

No	Jenis Berat sendiri konstruksi	Berat (kN/m)
1	Box girder prestress	179.316
2	Diafragma	14.17939453
3	Trotoar dan dinding pagar tepi	10.95375
Total berat sendiri	$Q_{MS}$	204.4491445

Momen akibat berat *box girder*

Momen maksimum di tengah bentang,

$$M_{bs} = \frac{1}{8} \cdot Q_{bs} \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 237,51975 \cdot 40^2 = 40889,82 \text{ kNm}$$

Gaya geser maksimum di tumpuan,

$$V_{bs} = \frac{1}{4} \cdot Q_{bs} \cdot L = \frac{1}{4} \cdot 237,51975 \cdot 40 = 4088,882 \text{ kN}$$

Momen akibat berat sendiri

Momen maksimum di tengah bentang,

$$M_{bs} = \frac{1}{8} \cdot Q_{bs} \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 260,5640 \cdot 40^2 = 40889,82 \text{ kNm}$$

Gaya geser maksimum di tumpuan,

$$V_{bs} = \frac{1}{4} \cdot Q_{bs} \cdot L = \frac{1}{4} \cdot 260,5640 \cdot 40 = 4088,8827 \text{ kN}$$

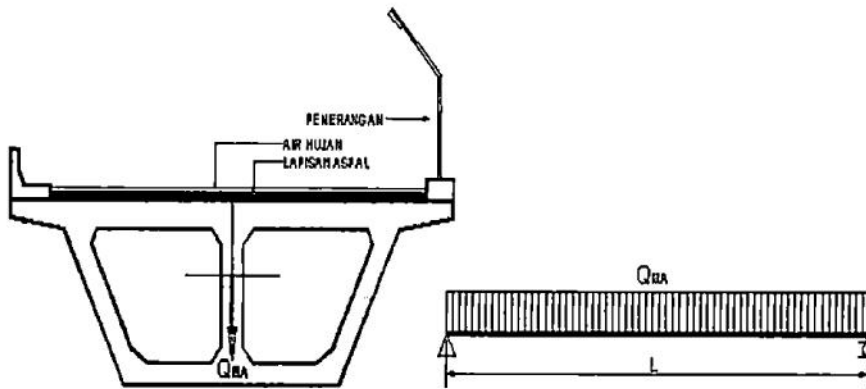
#### b. Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan (*superimposed dead load*) adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada balok jembatan yang merupakan elemen non-struktural dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan.

Gelagar/ balok jembatan direncanakan mampu memikul beban mati tambahan berupa:

- 1) Aspal beton setebal 100 mm untuk pelapisan kembali dikemudian hari (*overlay*)

- 2) Genangan air hujan setinggi 50 mm apabila saluran drainase tidak bekerja dengan baik.
- 3) Tiang listrik (*light*) dengan berat 0,1 kN/m.



Gambar 5.13 Pembebanan beban mati tambahan (MA) Pada balok (Jati, 2013)

Tabel 5.9 Rekap beban mati tambahan struktur atas ( $Q_{MA}$ )

No	Jenis beban mati tambahan	b (m)	h (m)	A (m <sup>2</sup> )	w (kN/m <sup>3</sup> )	$Q_{MA}$ (kN/m)
1	Lapisan aspal + <i>overlay</i>	6	0.1	0.6	22	13.2
2	Air hujan	6	0.05	0.3	9.8	2.94
3	Tiang listrik (LPJ)					0.1
Total berat sendiri					$Q_{MA}$	16.24

Momen akibat beban mati tambahan

Momen maksimum di tengah bentang,

$$M_{bs} = \frac{1}{8} \cdot Q_{bs} \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 16,42 \cdot 40^2 = 3248 \text{ kNm}$$

Gaya geser maksimum di tumpuan,

$$V_{bs} = \frac{1}{4} \cdot Q_{bs} \cdot L = \frac{1}{4} \cdot 16,24 \cdot 40 = 324,8 \text{ kN}$$

### c. Beban Lajur "D" (TD)

Beban Lajur "D" terdiri dari beban terbagi merata (*Uniformly Distributed Load*) UDL dan beban garis (*Knife Edge Load*) KEL seperti terlihat pada gambar 5.14. UDL mempunyai intensitas  $q$  (kPa) yang besarnya tergantung

pada panjang total  $L$  yang dibebani dan dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$q = 8,0 \text{ kPa} \quad \text{untuk } L \leq 30 \text{ m}$$

$$q = 8,0 \cdot \left( 0,5 + 15 / L \right) \text{ kPa} \quad \text{untuk } L > 30 \text{ m}$$

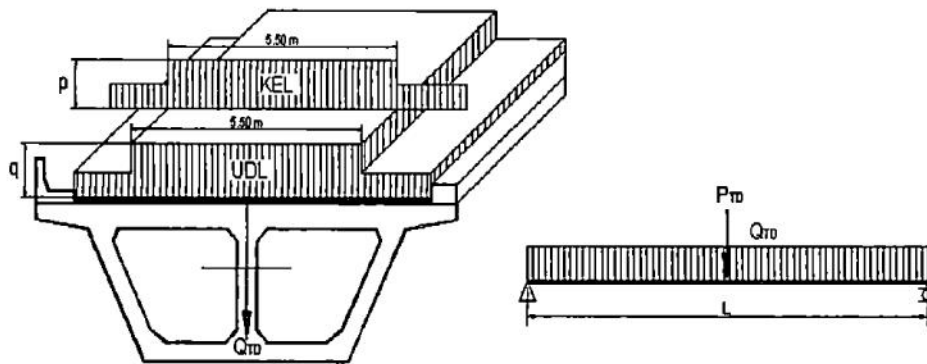
KEL mempunyai intensitas,  $p = 44,0 \text{ kN/m}$

Faktor beban dinamis (*Dinamic Load Allowance*) untuk KEL diambil sebagai berikut:

$$DLA = 0,4 \quad \text{untuk } L \leq 50 \text{ m}$$

$$DLA = 0,4 - 0,0025 \cdot (L - 50) \quad \text{untuk } 50 < L < 90 \text{ m}$$

$$DLA = 0,3 \quad \text{untuk } L \geq 90 \text{ m}$$



Gambar 5.14 Pembebanan lajur "D" pada balok (Jati, 2013)

Panjang bentang,  $L = 40 \text{ m}$

Lebar jalur lalu-lintas,  $B = 6,0 \text{ m}$

1) Beban merata (UDL)

$$q = 8,0 \cdot \left( 0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa, untuk } L = 40 \text{ m} > 30 \text{ m}$$

$$= 8,0 \cdot \left( 0,5 + \frac{15}{70} \right)$$

$$= 5,7143 \text{ kPa}$$

Pembebanan beban lajur D :

Beban merata pada balok (UDL):

$$Q_{TD} = [ 5,5 \cdot q \cdot 100\% ] + [ ( B - 5,5 ) \cdot q \cdot 50\% ]$$

$$= [ 5,5 \cdot 5,7143 \cdot 100\% ] + [ ( 7 - 5,5 ) \cdot 5,7143 \cdot 50\% ]$$

$$= 40,25 \text{ kN/m}$$

## 2) Beban Garis (KEL)

Beban garis KEL mempunyai intensitas  $p = 44 \text{ kN/m}$

Dari peraturan Perencanaan Jembatan (BMS), beban dinamis untuk pembebanan truk "T" diambil:

$$DLA = 0,4 - 0,0025 \cdot (L - 50)$$

$$= 0,4 - 0,0025 \cdot (40 - 50)$$

$$= 0,425$$

Ekivalen beban garis

$$P' = [ 5,5 \cdot p \cdot 100\% ] + [ (B - 5,5) \cdot p \cdot 50\% ]$$

$$= [ 5,5 \cdot 44 \cdot 100\% ] + [ (6 - 5,5) \cdot 44 \cdot 50\% ] = 252 \text{ kN}$$

Beban terpusat pada balok,

$$P_{TD} = (1 + DLA) \cdot p'$$

$$= (1 + 0,35) 252 = 360,525 \text{ kN}$$

Momen max akibat beban lajur "D" ( $T_D$ )

$$M_{TD} = \frac{1}{8} \cdot Q_{TD} \cdot L^2 + \frac{1}{4} \cdot P_{TD} \cdot L$$

$$= \frac{1}{8} \cdot 40,25 \cdot 40^2 + \frac{1}{4} \cdot 360,525 \cdot 40 = 11655,3 \text{ kNm}$$

Gaya geser max akibat beban lajur "D" ( $T_D$ )

$$V_{TD} = \frac{1}{2} \cdot Q_{TD} \cdot L + \frac{1}{2} \cdot P_{TD}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 40,25 \cdot 40 + \frac{1}{2} \cdot 360,525 = 985,263 \text{ kN}$$

### d. Beban Pejalan Kaki (TP)

Trotoar pada jembatan jalan raya direncanakan mampu memikul beban. Beban yang akan ditahan oleh trotoar adalah beban pejalan kaki.

Distribusi beban pejalan kaki hanya pada balok-balok tepi



jembatan. Beban pejalan kaki diperhitungkan sebagai beban hidup merata trotoar.

$$\text{Untuk } A \leq 10 \text{ m}^2 \quad q = 5 \text{ kPa}$$

$$\text{Untuk } 10 \text{ m}^2 < A < 100 \text{ m}^2 \quad q = 5 - 0,033 \cdot (A - 10) \text{ kPa}$$

$$\text{Untuk } A > 100 \text{ m}^2 \quad q = 2 \text{ kPa}$$

Dengan  $A$  = Luas bidang trotoar yang dibebani pejalan kaki ( $\text{m}^2$ )

Lebar trotoar,  $bt = 1,00 \text{ m}$

Panjang bentang,  $L = 40 \text{ m}$

Luas trotoar :

$$\begin{aligned} A &= bt \cdot L \\ &= 1 \cdot 40 = 40 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Intensitas beban trotoar,

Untuk ,  $A < 100 \text{ m}^2$ ,

maka :

$$\begin{aligned} q &= 5 - 0,033 \cdot (A - 10) \\ &= 5 - 0,033 \cdot (40 - 10) \\ &= 4,67 \text{ kPa} \end{aligned}$$

Pembebanan untuk trotoar diperhitungkan sebagai beban merata.

$$Q_{TP} = q \cdot bt = 4,67 \cdot 1 = 4,67 \text{ kN/m}$$

Momen max akibat beban pejalan kaki (TP)

$$\begin{aligned} M_{TP} &= \frac{1}{8} \cdot Q_{TP} \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot 4,67 \cdot 40^2 = 467 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya geser max akibat beban pejalan kaki (TP)

$$\begin{aligned} V_{TP} &= \frac{1}{2} \cdot Q_{TP} \cdot L \\ &= \frac{1}{2} \cdot 4,67 \cdot 40 = 46,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

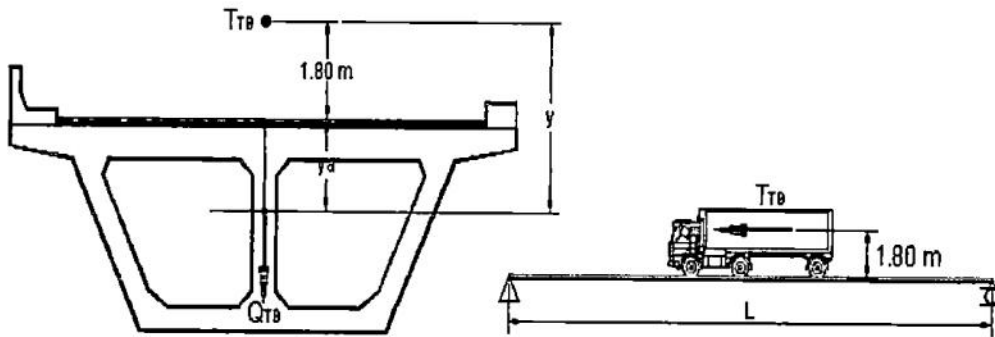
e. Beban Rem (TB)

Pengaruh pengereman dari lalu-lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang dan dianggap bekerja pada jarak 1,80 m di atas permukaan lantai jembatan. Besarnya gaya rem arah memanjang jembatan (lihat gambar 5.15) tergantung panjang total jembatan ( $L_t$ ) sebagai berikut:

Gaya rem,  $T_{TB} = 250 \text{ kN}$ ,                      untuk  $L_t \leq 80 \text{ m}$

Gaya rem,  $T_{TB} = 250 + 2,5 \cdot (L_t - 80) \text{ kN}$ ,    untuk  $80 < L_t < 180 \text{ m}$

Gaya rem,  $T_{TB} = 500 \text{ kN}$ ,                      untuk  $L_t \geq 180 \text{ m}$



Gambar 5.15 Pembebanan rem (TB) pada balok (Jati, 2013)

Panjang bentang,         $L = 40 \text{ m}$

Lebar lalu lintas,         $B = 6,0 \text{ m}$

Untuk bangunan Jembatan gajah wong ,  $L_t < 80 \text{ m}$ , maka diambil:

Gaya rem ( $T_{TB}$ ) = 250 kN

Momen akibat Beban Rem ( $T_{TB}$ )

Lengan terhadap titik berat *box girder*,

$$\begin{aligned} y &= 1,80 + t_a + c_i \\ &= 1,80 + 0,1 + 1,7144 = 3,153 \text{ m} \end{aligned}$$

Beban momen akibat gaya rem,

$$M = T_{TB} \cdot y$$

$$= 250.3,153 = 788,270 \text{ kNm}$$

Momen maksimum pada *box girder* akibat gaya rem,

$$M_{TB} = \frac{1}{2} \cdot M = \frac{1}{2} \cdot 788,270 = 394,135 \text{ kNm}$$

Gaya geser maksimum pada *box girder* akibat gaya rem,

$$V_{TB} = M / L = 788,270 / 40 = 19,706 \text{ kN}$$

f. Beban Angin (EW)

Beban garis merata tambahan arah horizontal pada permukaan lantai jembatan akibat angin yang meniup kendaraan di atas lantai jembatan dihitung dengan rumus:

$$T_{EW} = 0,0012 \cdot C_w \cdot (V_w)^2 \text{ kN/m}$$

dengan,

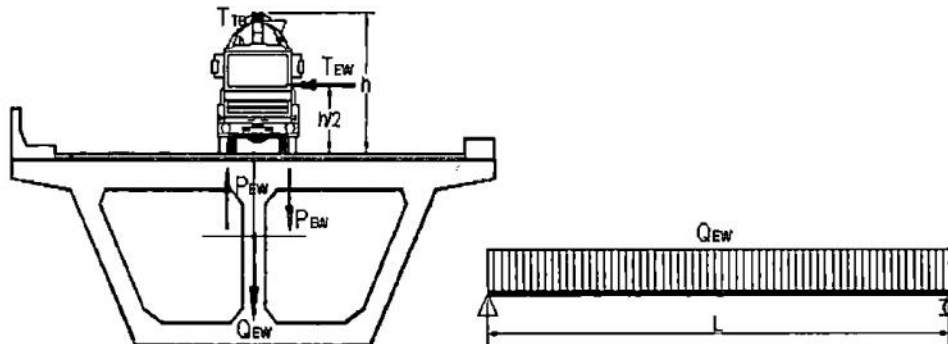
$$C_w = \text{koefisien seret} = 1,25 \quad (\text{Sumber : BMS 1992})$$

$$V_w = \text{kecepatan angin rencana} = 35 \text{ m/dt} \quad (\text{Sumber : BMS 1992})$$

$$\begin{aligned} T_{EW} &= 0,0012 \cdot 1,25 \cdot (35)^2 \\ &= 1,8375 \text{ kN} \end{aligned}$$

Faktor beban *ultimate* :  $K_{EW} = 1,2$

Bidang vertikal yang ditiup angin merupakan bidang samping kendaraan dengan tinggi  $h = 2,0 \text{ m}$  di atas lantai jembatan, sedangkan jarak antar roda kendaraan  $x = 1,75 \text{ m}$ .



Gambar 5.16 Pembebanan beban angin (EW) pada balok (Jati, 2013)

Transfer beban angin ke lantai jembatan,

$$\begin{aligned} Q_{EW} &= \left[ 0,5 \cdot \frac{h}{x} T_{EW} \right] \cdot 2 \\ &= \left[ 0,5 \cdot \frac{2,0}{1,75} \cdot 1,8375 \right] \cdot 2 \\ &= 2,1 \text{ kN} \end{aligned}$$

Momen max akibat beban beban angin ( $Q_{EW}$ ),

$$\begin{aligned} M_{EW} &= \frac{1}{8} \cdot Q_{EW} \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot 2,1 \cdot 70^2 = 2203,047 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya geser max akibat beban beban angin ( $Q_{EW}$ ),

$$\begin{aligned} V_{EW} &= \frac{1}{2} \cdot Q_{EW} \cdot L \\ &= \frac{1}{2} \cdot 2,1 \cdot 70 = 73,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

g. Beban Gempa (EQ)

Gaya gempa vertikal pada balok dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$T_{EQ} = K_v \cdot W_t \cdot I$$

$W_t$  : Berat total struktur yang berupa berat sendiri dan beban mati tambahan,

$$W_t = P_{MS} + P_{MA}$$

Berat sendiri,  $Q_{MS} = 204,449 \text{ kN/m}$

Beban mati tambahan,  $Q_{MA} = 16,24 \text{ kN/m}$

Panjang bentang,  $L = 40 \text{ m}$

$$W_t = (Q_{MS} + Q_{MA}) \cdot L = 8827,566 \text{ kN}$$

Momen inersia balok prategang,  $I_x = 5,026 \text{ m}^4$

Modulus elastik beton,  $E_c = 39074,5 \text{ MPa} = 39074497 \text{ kPa}$

Kekakuan balok,  $K_p = 48 \cdot E_c \cdot I_x / L^3$   
 $= 48 \cdot 39074,5 \cdot 5,026 / 40^3$

$$= 147288,3 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu getar struktur, } T &= 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{Wl}{g \cdot Kp}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{8827,566}{9,81 \cdot 72194,094}} \\ &= 0,4911 \text{ detik} \end{aligned}$$

Untuk lokasi wilayah gempa 3 (Yogyakarta) di atas tanah sedang, dari grafik diperoleh,

$$\text{Nilai koefisien geser dasar, } C = 0,18$$

$$\text{Faktor kepentingan bangunan, } I = 1$$

$$\text{Jumlah sendi plastis, } n = 1$$

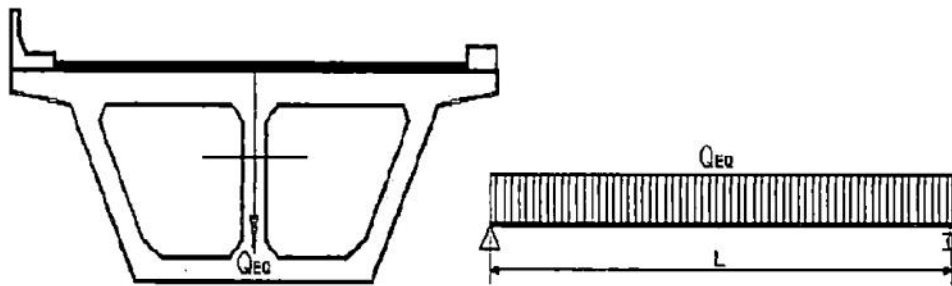
$$\begin{aligned} \text{Faktor perangkaan, } F &= 1,25 - 0,025 \cdot n > 1 \\ &= 1,25 - 0,025 \cdot 1 = 1,225 > 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor tipe struktur, } S &= 1 \cdot F \\ &= 1 \cdot 1,225 = 1,225 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien beban gempa horisontal, } K_h &= C \cdot S \\ &= 0,18 \cdot 1,225 = 0,2205 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Koefisien beban gempa vertikal, } K_v &= 50\% \cdot K_h \\ &= 50\% \cdot 0,2205 = 0,11025 > 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gaya gempa vertikal, } T_{EQ} &= K_v \cdot Wl \\ &= 0,11025 \cdot 8827,566 \cdot 1 \\ &= 973,239 \text{ kN} \end{aligned}$$



Gambar 5.17 Pembebanan beban gempa (EQ) pada balok (Jati, 2013)

Beban gempa vertikal,  $Q_{EQ} = T_{EQ}/L$   
 $= 973,239 / 40$   
 $= 24,331 \text{ kN/m}$

Momen max akibat beban gempa ( $Q_{EQ}$ ),

$$M_{EQ} = \frac{1}{8} \cdot Q_{EQ} \cdot L^2$$

$$= \frac{1}{8} \cdot 24,3309 \cdot 40^2 = 486,619 \text{ kNm}$$

Gaya geser max akibat beban gempa ( $Q_{EQ}$ ),

$$V_{EQ} = \frac{1}{2} \cdot Q_{EQ} \cdot L$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 24,3309 \cdot 40 = 486,619 \text{ kN}$$

Tabel 5.10 Rekap pembebanan balok prategang

No	Jenis Beban	Kode Beban	Q (kN/m)	P (kN)	M (kNm)	Keterangan
1	Berat sendiri box girder	bs	179.316	-	-	Beban merata, $Q_{bs}$
2	Berat sendiri	MS	204.449	-	-	Beban merata, $Q_{MS}$
3	Beban mati tambahan	MA	16.24	-	-	Beban merata, $Q_{MA}$
4	Beban Lajur "D"	TD	40.25	360.53	-	Beban merata, $Q_{MA}$ dan terpusat $P_{TD}$
5	Beban pejalan kaki	TP	2.335	-	-	Beban merata, $Q_{TP}$
6	Gaya rem	TB	-	-	788.27	Beban momen, $M_{TB}$
7	Angin	EW	2.1	-	-	Beban merata, $Q_{EW}$
8	Gempa	EQ	24.331	-	-	Beban merata, $Q_{EQ}$

Tabel 5.11 Persamaan momen dan gaya geser pada balok prategang

No	Jenis Beban	Persamaan Momen	Persamaan Gaya Geser
1	Berat sendiri box girder	$M_x = 1/2 \cdot Q_{bs} \cdot (L \cdot X - X^2)$	$V_x = Q_{bs} \cdot (L/2 - X)$
2	Berat sendiri	$M_x = 1/2 \cdot Q_{MS} \cdot (L \cdot X - X^2)$	$V_x = Q_{MS} \cdot (L/2 - X)$
3	Beban mati tambahan	$M_x = 1/2 \cdot Q_{MA} \cdot (L \cdot X - X^2)$	$V_x = Q_{MA} \cdot (L/2 - X)$
4	Beban Lajur "D"	$M_x = 1/2 \cdot Q_{TD} \cdot (L \cdot X - X^2) + 1/2 \cdot P_{TD} \cdot X$	$V_x = Q_{TD} \cdot (L/2 - X) + 1/2 \cdot P_{TD}$
5	Beban pejalan kaki	$M_x = 1/2 \cdot Q_{TP} \cdot (L \cdot X - X^2)$	$V_x = Q_{TP} \cdot (L/2 - X)$
6	Gaya rem	$M_x = X/L \cdot M_{TB}$	$V_x = M_{TB}/L$
7	Angin	$M_x = 1/2 \cdot Q_{EW} \cdot (L \cdot X - X^2)$	$V_x = Q_{EW} \cdot (L/2 - X)$
8	Gempa	$M_x = 1/2 \cdot Q_{EQ} \cdot (L \cdot X - X^2)$	$V_x = Q_{EQ} \cdot (L/2 - X)$

## 6. Perhitungan Gaya Prategang, Eksentrisitas dan Jumlah Tendon

Pada dasarnya baik pada sistem pratarik maupun paskatarik, pola tegangan umumnya ditinjau atau diperiksa pada dua keadaan yang berbeda, yakni: Kondisi awal (*Transfer*), kondisi akhir (*service*).

Penetapan batasan-batasan tegangan ijin:

Kuat desak beton,  $f'_c = 50$  MPa

Saat transfer umur beton baru 14 hari sehingga kekuatan beton baru mencapai 80%, maka:  $f'_{ci} = 80\% \cdot f'_c = 0,80 \cdot 50 = 40$  MPa

Tegangan ijin beton:

### a. Saat transfer

$$\text{serat tekan} : f_{ci} = 0,60 \cdot f'_{ci} = 0,60 \cdot 40 = 24 \text{ MPa}$$

$$\text{serat tarik} : f_{ti} = 0,25 \cdot \sqrt{f'_{ci}} = 0,25 \cdot \sqrt{40} = 1,5811 \text{ MPa}$$

### b. Saat layan,

$$\text{serat tekan} : f_{cs} = 0,45 \cdot f'_c = 0,45 \cdot 50 = 22,5 \text{ MPa}$$

$$\text{serat tarik} : f_{ts} = 0,50 \cdot \sqrt{f'_c} = 0,50 \cdot \sqrt{50} = 3,5355 \text{ Mpa}$$

### a. Gaya Prategang awal dan Eksentrisitas

Menghitung gaya prategang awal ditinjau pada kondisi transfer yaitu pemeriksaan tegangan saat pemberian gaya prategang (penarikan tendon pada sistem paskatarik, pemotongan tendon pada sistem pratarik).

Section properties penampang *box girder*:

$$\text{Luas penampang netto } \textit{box girder}, A = 7,032 \text{ m}^2$$

$$\text{Tahanan momen atas, } s_a = 7,6855 \text{ m}^3$$

$$\text{Tahanan momen bawah, } s_b = 7,3793 \text{ m}^3$$

$$\text{Letak titik berat } \textit{box girder} \text{ terhadap sisi bawah, } c_b = 1,2469 \text{ m}$$

$$\text{Ditetapkan jarak pusat berat tendon terhadap sisi bawah } \textit{box girder}, z_o = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Eksentrisitas tendon, } e_s = c_b - z_o = 1,2469 - 0,35 = 0,896 \text{ m}$$

Momen akibat berat sendiri,  $M_{bs} = 35863,2 \text{ kNm}$

Perhitungan besar gaya prategang awal dihitung dengan persamaan tegangan di kondisi saat transfer.

Tegangan pada serat atas,

$$f_t = -\frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e_s}{s_t} - \frac{M_{bs}}{s_t}$$

$$1,5811 = -\frac{P_i}{7,032 \cdot 10^6} + \frac{P_i \cdot 1,4356 \cdot 10^3}{7,6855 \cdot 10^9} - \frac{145480,85 \cdot 10^6}{7,6855 \cdot 10^9}$$

$$P_i = 129205,608 \text{ kN}$$

Tegangan pada serat bawah,

$$f_b = -\frac{P_i}{A} - \frac{P_i \cdot e_s}{s_b} + \frac{M_{bs}}{s_b}$$

$$-24 = -\frac{P_i}{9,3145 \cdot 10^6} - \frac{P_i \cdot 1,4356 \cdot 10^3}{7,3793 \cdot 10^9} + \frac{145480,85 \cdot 10^6}{7,3793 \cdot 10^9}$$

$$= 89933,539 \text{ kN}$$

Diambil nilai terkecil,  $P_i = 89933,539 \text{ kN}$

Digunakan kabel yang terdiri dari beberapa kawat baja untaian "Strands cable" standar VSL, dengan data pada tabel 5.12.

Tabel 5.12 Data Strands Cable

DATA STRANDS CABLE - STANDAR VSL			
Jenis strands		Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270	
Tegangan leleh strand	$f_{py} =$	1581	MPa
Kuat tarik strand	$f_{pu} =$	1860	MPa
Diameter nominal strands		12,7	mm (1/2")
Luas tampang nominal satu strands	$A_{st} =$	100	mm <sup>2</sup>
Beban putus minimal satu strands	$P_{bs} =$	187.32	kN (100% UTS)
Jumlah kawat untaian (strands cable)		48	kawat untaian tiap tendon
Diameter selubung ideal		101,6	mm
Luas tampang strands		4800	mm <sup>2</sup>
Beban putus satu tendon	$P_{bt} =$	8992,36	kN
Modulus elastis strands	$E_s =$	190000	MPa
Tipe dongkrak		VSL E43	



## b. Jumlah tendon

Gaya prategang awal,  $P_i = 89933,539$  kN

Kuat tarik *strand*,  $f_{pu} = 1860$  MPa

Tegangan leleh *strand*,  $f_{py} = 0,85 \cdot f_{pu} = 0,85 \cdot 1860 = 1581$  MPa

Tegangan ijin tendon sesaat setelah transfer,

$$f_{pi} = 0,74 \cdot f_{pu} = 0,74 \cdot 1860 = 1376,40 \text{ MPa}$$

$$f_{pi} = 0,82 \cdot f_{py} = 0,82 \cdot 1581 = 1296,42 \text{ MPa}$$

Karena  $0,82 \cdot f_{py} = 1296,42 \text{ MPa} < 0,74 \cdot f_{pu} = 1376,4 \text{ MPa}$ , maka digunakan tegangan ijin tendon sesaat setelah transfer  $f_{pu} = 1296,42$  MPa

Luas area baja prategang yang diperlukan,

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{P_i}{f_{pi}} \\ &= \frac{89933,5396}{1296,42 \cdot 10^3} = 69370,682 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah kawat untai (*strands cable*) = 48 kawat untai tiap tendon

Beban putus minimum 1 tendon,

$$\begin{aligned} P_{b1} &= P_{bs1} \cdot \text{jumlah strands per tendon} \\ &= 187,32 \cdot 48 = 8991,36 \text{ kN} \end{aligned}$$

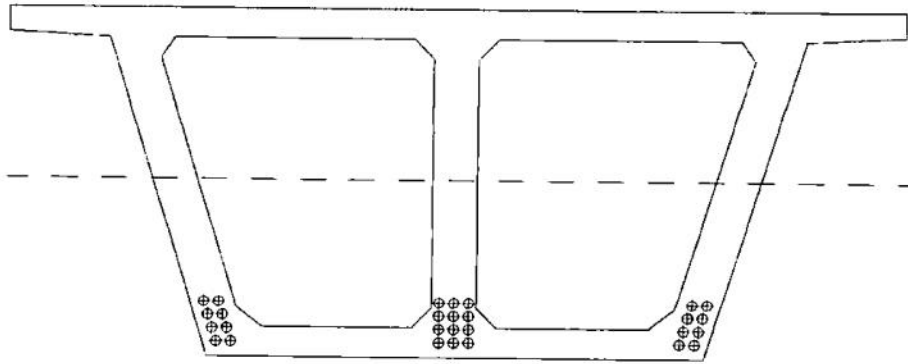
Jumlah tendon yang diperlukan,

$$\begin{aligned} n_t &= \frac{P_i}{0,85 \cdot 0,8 \cdot P_{b1}} \\ &= \frac{89933,539}{0,85 \cdot 0,8 \cdot 8991,36} \\ &= 28 \text{ tendon} \end{aligned}$$

Jumlah tendon aktual yang digunakan,

$$n_t = 28 \text{ tendon}$$

Tendon berjumlah 28 pada *box girder* dengan susunan 4 baris. tiap baris berjumlah 7 tendon tiap baris seperti terlihat pada gambar 4.18 sebagai berikut.



Gambar 5.18 Susunan tendon pada *box girder* di tengah bentang (Jati, 2013)

Digunakan jumlah *strands* dengan susunan seperti pada tabel 5.13.

Tabel 5.13 Jumlah *strands* pada *box girder* prategang

ns1 =	7	Tendon	48	Strands/ tendon	336	Selubung tendon	101.6	mm
ns2 =	7	Tendon	48	Strands/ tendon	336	Selubung tendon	101.6	mm
ns3 =	7	Tendon	48	Strands/ tendon	336	Selubung tendon	101.6	mm
ns4 =	7	Tendon	48	Strands/ tendon	336	Selubung tendon	101.6	mm
nt =	28	jumlah strands ns =			1344	strands	101.6	mm

Luas aktual area baja prategang yang digunakan dalam design,

$$A_{ps} = n_s \cdot A_{st} = 1344 \cdot 126,6769 = 145931,75 \text{ mm}^2 > A_s = 111691,5382 \text{ mm}^2$$

Beban satu tendon,

$$P_{1 \text{ tendon}} = \frac{P_t}{n_t} = \frac{89933,539}{48} = 3211,912 \text{ kN}$$

Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% *jacking force*):

$$P_o = \frac{P_t}{0,85 \cdot n_t \cdot P_{bs}} = \frac{89933,539}{0,85 \cdot 1344 \cdot 187,32} = 42,026\% < 80\% \quad \text{OK}$$

Gaya prategang (aktual) yang terjadi akibat *jacking*:

$$P_j = P_o \cdot (n_t \cdot P_{bt}) = 42,026\% \cdot 48 \cdot 8991,36 = 105804,16 \text{ kN}$$

Tegangan baja prategang saat *jacking*,

$$\begin{aligned}
 f_{\text{B}} &= \frac{P_j}{A_{ps}} \\
 &= \frac{105804,16 \cdot 10^3}{170253,71} \\
 &= 621,449 \text{ MPa} < 0,80 \cdot f_{pu} = 1581 \text{ Mpa} && \text{OK} \\
 & < 0,94 \cdot f_{py} = 1486,14 \text{ Mpa} && \text{OK}
 \end{aligned}$$

## 7. Tendon

### a. Daerah Aman Tendon

Perencanaan Tata letak tendon dilakukan dengan peninjauan pada tengah bentang, seperempat bentang dan ujung balok.

#### 1) Momen-momen

- a) Tengah bentang:  $M = \frac{1}{8} \cdot w \cdot L^2$
- b) Seperempat bentang:  $M = \left(\frac{1}{2} \cdot w \cdot L\right) \frac{L}{4} - \left(w \cdot \frac{L}{4} \cdot \frac{L}{8}\right) = \frac{3}{32} \cdot w \cdot L^2$
- c) Pada ujung balok (tumpuan):  $M = 0$

Momen di tengah bentang jembatan

Panjang bentang jembatan = 40 m

#### (1) Momen akibat berat sendiri balok

Berat sendiri balok, (WG) = 179,316 kN/m

$$M_G = \frac{1}{8} \cdot w_G \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 179,316 \cdot 40^2 = 35863,2 \text{ kNm}$$

#### (2) Momen akibat beban mati *box girder*

Tabel 5.14 Pembebanan akibat beban mati *Box Girder*

N0	Jenis Berat sendiri konstruksi	Berat (kN/m)
1	Box girder prestress	179.316
2	Diafragma	14.17939453
3	Trotoar dan dinding pagar tepi	10.95375
<b>Total berat sendiri</b>	<b>Q<sub>MS</sub></b>	<b>204.4491445</b>

$$\text{Total beban mati (MS)} = 204.449 \text{ kN/m}$$

$$M_{MS} = \frac{1}{8} \cdot Q_{MS} \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 204.449 \cdot 40^2 = 40899,8 \text{ kNm}$$

(3) Momen akibat beban hidup lalu lintas,

Beban hidup (T<sub>D</sub>):

$$Q_{TD} = 40,25 \text{ kN/m}$$

$$P_{TD} = 360,525 \text{ kN}$$

$$M_{TD} = \frac{1}{8} \cdot Q_{TD} \cdot L^2 + \frac{1}{4} \cdot P_{TD} \cdot L$$

$$= \frac{1}{8} \cdot 40,25 \cdot 40^2 + \frac{1}{4} \cdot 360,525 \cdot 40 = 11655,3 \text{ kNm}$$

Gaya prategang awal, P<sub>o</sub> = 89933,539kN

Kehilangan gaya prategang (LOF) untuk paskatitik diperkirakan sebesar 34 %, maka rasio kehilangan gaya prategang

$$(R) = 1 - \text{LOF} = 1 - 34 \% = 66 \%$$

Untuk hasil perhitungan momen di bagian lain dapat dilihat di tabel 5.15.

Tabel 5.15 Perhitungan momen pada bentang

Beban (kN/m)	Momen Pada (kNm)		
	Tengah	Seperempat	Ujung
Berat gelagar (MG)	35863.2	26897.4	0
Beban mati (MD)	8274.62891	6205.97168	0
Beban hidup (ML)	11655.25	9642.75	0
M <sub>0</sub> = MG + 50%.MD =	40000.5145	30000.38584	0
MT = MG + MD + ML =	55793.0789	42746.12168	0

Maka gaya prategangng efektif

$$P_{eff} = R \cdot P_o = 66 \% \cdot 89933,539 = 59356,136 \text{ kN}$$

Luas penampang *box girder* prategang,  $A = 7,032 \text{ m}^2$

Inersia balok prategang,  $I_c = 5,0258 \text{ m}^4$

$$\text{Radius girasi, } r^2 = \frac{I}{A_c} = \frac{5,0258}{7,032} = 0,7147 \text{ m}$$

Batas *Kern*:

- Batas *Kern* atas:  $k_t = \frac{r^2}{c_b} = \frac{0,7147}{1,7856} = 0,5731 \text{ m}$
- Batas *Kern* bawah:  $k_b = \frac{r^2}{c_t} = \frac{0,7147}{1,7144} = 0,5703 \text{ m}$

(a) Batas bawah letak tendon:

$$a_{\min} = \frac{M_o}{P_i} \text{ dan } e_b = a_{\min} + k_b$$

Diasumsikan beban mati belum bekerjasaat transfer, maka:

$$M_o = M_G = 35863,2 \text{ kNm}$$

Jika diperkenankan terjadi tegangan tarik pada beton saat transfer, maka lebar daerah tendon bertambah besar:

$$e_b' = \frac{f_u \cdot A_c \cdot k_b}{P_i} \text{ dan } e_{b1} = e_b + e_b' = a_{\min} + k_b + e_b'$$

Untuk batas bawah letak tendon di bagian tengah bentang,

$$a_{\min} = \frac{M_o}{P_i} = \frac{35863,2}{89933,53} = 0,3987 \text{ m}$$

$$\text{dan } e_b = a_{\min} + k_b = 0,3987 + 0,5703 = 0,9691 \text{ m}$$

Pertambahan lebar daerah tendon jika diperbolehkan terjadi tegangan tarik:

$$e_b' = \frac{f_u \cdot A_c \cdot k_b}{P_i} = \frac{1,5811 \cdot 7,0325 \cdot 0,5703}{89933,53} = 0,0703 \text{ m}$$

$$\text{dan } e_{b1} = e_b + e_b' = a_{\min} + k_b + e_b' = 0,3987 + 0,8251 + 0,0703 = 1,039 \text{ m}$$

Untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada tabel 5.16.

Tabel 5.16 Batas bawah letak tendon

Bagian Penampang	Tidak Terjadi Tarik		Terjadi Tarik	
	$a_{\min}$ (m)	$e_b$ (m)	$e_{b'}$ (m)	$e_{b1}$ (m)
Tengah bentang	0.3988	0.9691	0.0704	1.0395
Seperempat bentang	0.2991	0.8694	0.0704	0.9398
Ujung	0.0000	0.5704	0.0704	0.6407

(b) Batas atas letak tendon:

$$a_{\max} = \frac{M_T}{P_e} \text{ dan } e_t = a_{\max} - k_t$$

$$M_T = 55793,078 \text{ kNm}$$

Jika diperkenankan terjadi tegangan tarik pada beton saat layan, maka lebar daerah tendon bertambah sebesar:

$$e_t' = \frac{f_{ts} \cdot A_c \cdot k_t}{P_e} \text{ dan } e_{t1} = e_t - e_t' = a_{\max} - k_t + e_t'$$

Untuk batas atas letak tendon di bagian tengah bentang,

$$a_{\max} = \frac{M_T}{P_e} = \frac{55793,078}{89933,53} = 0,9399 \text{ m}$$

$$\text{dan } e_t = a_{\max} - k_t = 0,9399 - 0,7922 = 0,3667 \text{ m}$$

Pertambahan lebar daerah tendon jika diperbolehkan terjadi tegangan tarik:

$$e_t' = \frac{f_{ts} \cdot A_c \cdot k_t}{P_e} = \frac{3,5355 \cdot 7,032 \cdot 0,7922}{89933,53} = 0,157 \text{ m}$$

$$\text{dan } e_{t1} = e_t - e_t' = a_{\max} - k_t - e_t' = 0,9399 - 0,7922 - 0,157 = 0,209 \text{ m}$$

Untuk hasil selengkapnya dapat dilihat pada tabel 7.17.

Eksentrisitas tengah bentang aktual yang diasumsikan,

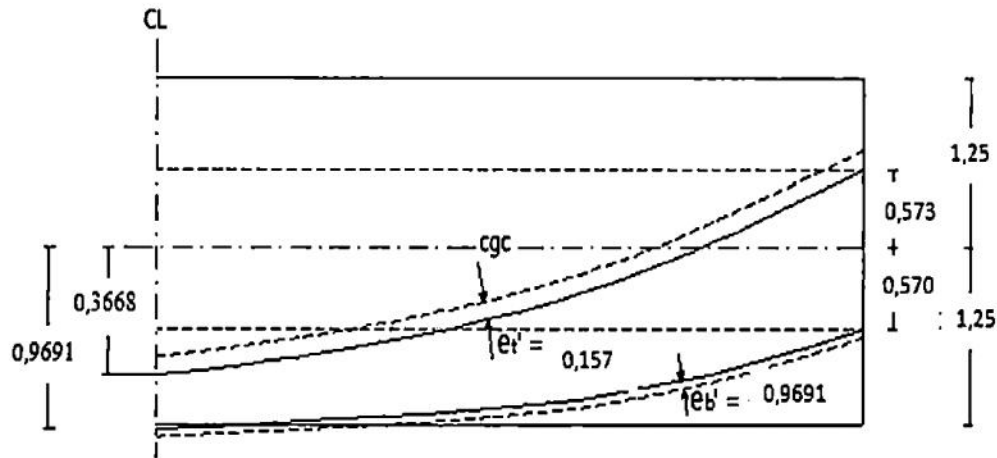
$$e_t = 0,366785 \text{ m} < e_s = 0,896919 \text{ m} < e_b = 0,96914 \quad \text{OK}$$

Jadi tendon ada di dalam selubung di tengah bentang.

(lihat gambar 4.18)

Tabel 5.17 Batas Atas Letak Tendon

Bagian Penampang	Tidak Terjadi Tarik		Terjadi Tarik	
	$a_{min}$ (m)	$e_t$ (m)	$e_r$ (m)	$e_{b1}$ (m)
Tengah bentang	0.9400	0.3668	0.1574	0.2094
Seperempat bentang	0.7202	0.1470	0.1574	-0.0104
Ujung	0.0000	-0.5732	0.1574	-0.7305

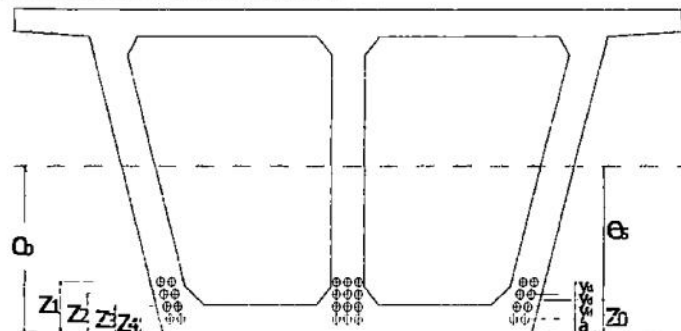


Gambar 5.19 Daerah aman tendon (Jati, 2013)

#### b. Tata Letak Posisi Tendon (*Lay Out Tendon*)

Perencanaan tata letak tendon dilakukan dengan peninjauan pada tengah bentang dan pada ujung balok atau pada tumpuan. (lihat gambar 5.19)

##### 1) Posisi Tendon di Tengah Bentang



Gambar 5.20 Posisi tendon di tengah bentang (Jati, 2013)

Ditetapkan jarak dari alas balok ke as baris tendon ke-1,  $a = 0,15$  m

Jarak dari alas ke titik berat tendon,  $z_0 = 0,35$  m

$$\begin{aligned} \text{Jarak vertikal antara as ke as tendon, } y_d &= (z_0 - a) / 1,5 = \\ &= (0,35 - 0,15) / 1,5 \\ &= 0,1333 \text{ m} \end{aligned}$$

Jarak masing-masing baris tendon terhadap alas,

$$\begin{aligned} \text{Baris 1} &: z_1 = a + 3 \cdot y_d = 0,15 + 3 \cdot 0,1333 = 0,55 \text{ m} \\ \text{Baris 2} &: z_2 = a + 2 \cdot y_d = 0,15 + 2 \cdot 0,1333 = 0,4167 \text{ m} \\ \text{Baris 3} &: z_3 = a + y_d = 0,15 + 0,1333 = 0,2833 \text{ m} \\ \text{Baris 4} &: z_4 = a = 0,15 \text{ m} \end{aligned}$$

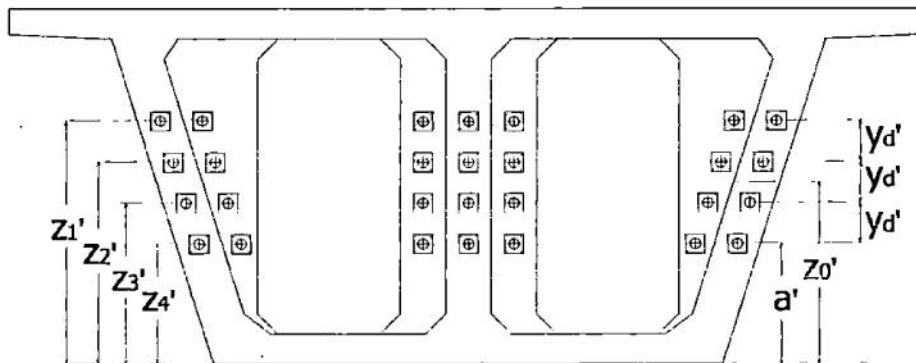
2) Posisi tendon di tumpuan (lihat gambar 5.20)

Ditetapkan jarak antar tendon,  $y_d' = 0,4$  m

$$\begin{aligned} \text{Jarak tendon bawah terhadap alas, } a' &= c_b - 1,5 \cdot y_d' = 1,7856 - 1,5 \cdot 0,4 \\ &= 1,1856 \text{ m} \end{aligned}$$

Jarak masing-masing baris tendon terhadap alas,

$$\begin{aligned} \text{Baris 1} &: z_1' = a' + 3 \cdot y_d' = 0,6469 + 3 \cdot 0,4 = 1,8469 \text{ m} \\ \text{Baris 2} &: z_2' = a' + 2 \cdot y_d' = 0,6469 + 2 \cdot 0,4 = 1,4469 \text{ m} \\ \text{Baris 3} &: z_3' = a' + 1 \cdot y_d' = 0,6469 + 0,4 = 1,0469 \text{ m} \\ \text{Baris 4} &: z_4' = a' = 0,6469 \text{ m} \end{aligned}$$



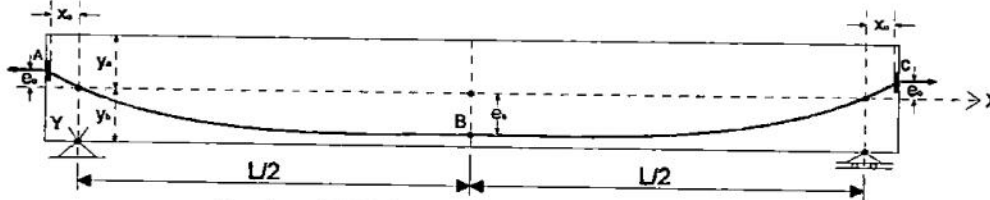
Gambar 5.21 Posisi tendon di tumpuan (Jati, 2013)

3) Eksentrisitas masing-masing tendon

$$\begin{aligned} \text{Baris 1} &: f_1 = z_1' - z_1 = 1,8469 - 0,55 = 1,2969 \text{ m} \\ \text{Baris 2} &: f_2 = z_2' - z_2 = 1,4469 - 0,4167 = 1,03025 \text{ m} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Baris 3} & : f_3 = z_3' - z_3 = 1,0469 - 0,2833 = 0,7635 \text{ m} \\ \text{Baris 4} & : f_4 = z_4' - z_4 = 0,6469 - 0,15 = 0,4969 \text{ m} \end{aligned}$$

4) Lintasan inti tendon (*cable*)

Gambar 5.22 Lintasan inti tendon (Jati, 2013)

Panjang *box girder*,  $L = 40 \text{ m}$

Eksentrisitas,  $e_s = 0,8969 \text{ m}$  (lihat gambar 5.22)

Persamaan lintasan tendon  $Y = 4 \cdot f \cdot \frac{X}{L^2} \cdot (L - X)$  dengan  $f = e_s$  untuk hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel 5.18.

$$x_0 = 0,25 \text{ m}$$

$$e_0 = 0,0223 \text{ m}$$

$$\text{Jarak AB} = \text{jarak BC} = \frac{L}{2} + x_0 = \frac{40}{2} + 0,25 = 20,25 \text{ m}$$

$$e_s + e_0 = 1,4356 + 0,02043 = 1,456 \text{ m}$$

$$\alpha_{AB} = \alpha_{BC} = \frac{2 \cdot (e_s + e_0)}{\left(\frac{L}{2} + x_0\right)} = \frac{2 \cdot 0,9192}{20,25} = 0,090791 \text{ rad}$$

## 5) Sudut angkur

Persamaan lintasan tendon,  $Y = 4 \cdot f \cdot \frac{X}{L^2} \cdot (L - X)$

$$\frac{dY}{dX} = 4 \cdot f \cdot \left(\frac{L - 2X}{L}\right)$$

Untuk  $X = 0$  (posisi angkur di tumpuan), maka  $\frac{dY}{dX} = \frac{4 \cdot f_i}{L}$

Tabel 5.18 Perhitungan lintasan tendon

X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
-0.25	-0.0226	19	0.8947	39	0.0874
0	0	20	0.8969	40	0.0000
1	0.0874	21	0.8947	0.25	0.0223
2	0.1704	22	0.8880		
3	0.2489	23	0.8767		
4	0.3229	24	0.8610		
5	0.3924	25	0.8409		
6	0.4574	26	0.8162		
7	0.5180	27	0.7870		
8	0.5740	28	0.7534		
9	0.6256	29	0.7153		
10	0.6727	30	0.6727		
11	0.7153	31	0.6256		
12	0.7534	32	0.5740		
13	0.7870	33	0.5180		
14	0.8162	34	0.4574		
15	0.8409	35	0.3924		
16	0.8610	36	0.3229		
17	0.8767	37	0.2489		
18	0.8880	38	0.1704		

Persamaan sudut angkur,  $\alpha = \text{ATAN}(dY/dX)$ . Hasil dari perhitungan sudut angkur dapat dilihat pada tabel 5.19 dibawah ini.

Tabel 5.19 Sudut angkur

No Tendon	Jumlah Strands	Diameter Selubung	Eksentrisitas $f_1$ (m)	$dY/dX = 4*f_1/L$	Sudut Angkur $\alpha = \text{ATAN}(dY/dX)$				
					$\alpha_1 =$	$\alpha_2 =$	rad =	$\alpha_3 =$	
1	336	101.6	1.29691944	0.1296919	$\alpha_1 =$	0.128972	rad =	7.389554	°
2	336	101.6	1.030252773	0.1030253	$\alpha_2 =$	0.102663	rad =	5.882161	°
3	336	101.6	0.763586106	0.0763586	$\alpha_3 =$	0.076211	rad =	4.366553	°
4	336	101.6	0.49691944	0.0496919	$\alpha_4 =$	0.049651	rad =	2.844799	°

## 6) Tata letak kabel tendon

Panjang jembatan,  $L = 40$  m

$f_0 = e_s = 0,8969$  m dan  $c_b = 1,2469$  m

$f_1 = 1,2969$  m;  $f_2 = 1,03025$  m ;  $f_3 = 0,7635$  m ;  $f_4 = 0,4969$  m

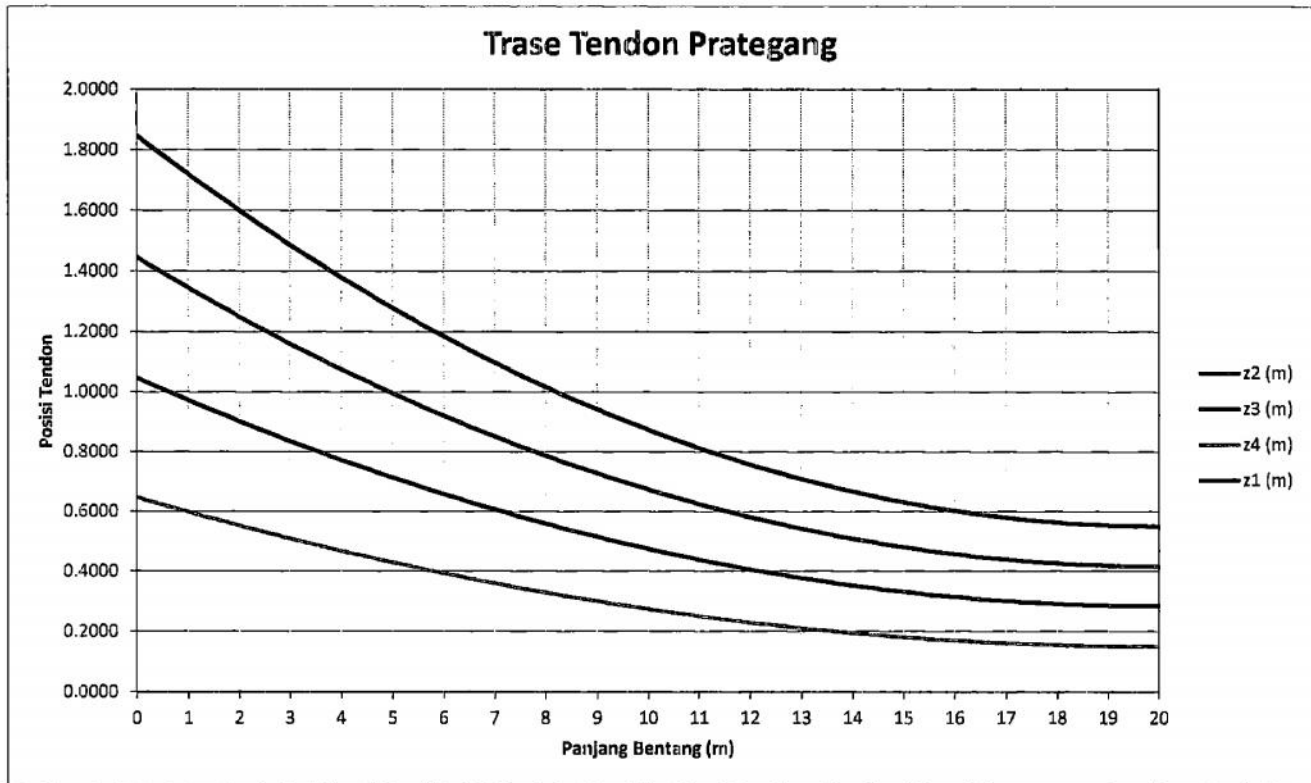
Posisi masing-masing cable:

$$z_i = z_i' - 4 \cdot f_i \cdot \frac{X}{L^2} \cdot (L - X)$$

Untuk hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel 5.20 berikut.

Tabel 5.20 Tata letak kabel tendon

Jarak X (m)	Trace $z_0$ (m)	Posisi Baris Tendon			
		$z_1$ (m)	$z_2$ (m)	$z_3$ (m)	$z_4$ (m)
0.00	1.0469	1.8469	1.4469	1.0469	0.6469
1.00	0.9725	1.7205	1.3465	0.9725	0.5985
2.00	0.9018	1.6005	1.2512	0.9018	0.5525
3.00	0.8350	1.4870	1.1610	0.8350	0.5090
4.00	0.7720	1.3800	1.0760	0.7720	0.4680
5.00	0.7129	1.2795	0.9962	0.7129	0.4295
6.00	0.6575	1.1855	0.9215	0.6575	0.3935
7.00	0.6059	1.0979	0.8519	0.6059	0.3599
8.00	0.5582	1.0169	0.7876	0.5582	0.3289
9.00	0.5143	0.9423	0.7283	0.5143	0.3003
10.00	0.4742	0.8742	0.6742	0.4742	0.2742
1.00	0.4380	0.8126	0.6253	0.4380	0.2506
12.00	0.4055	0.7575	0.5815	0.4055	0.2295
13.00	0.3769	0.7089	0.5429	0.3769	0.2109
14.00	0.3521	0.6667	0.5094	0.3521	0.1947
15.00	0.3311	0.6311	0.4811	0.3311	0.1811
16.00	0.3139	0.6019	0.4579	0.3139	0.1699
17.00	0.3005	0.5792	0.4398	0.3005	0.1612
18.00	0.2910	0.5630	0.4270	0.2910	0.1550
19.00	0.2852	0.5532	0.4192	0.2852	0.1512
20.00	0.2833	0.5500	0.4167	0.2833	0.1500



Gambar 5.23 Grafik *Trace Cable*

## 8. Kehilangan Gaya Prategang (*Loss of Prestress*)

Pengaruh gaya prategang dibagi menjadi dua yaitu sebelum kehilangan gaya prategang dan sesudah kehilangan gaya prategang. Kehilangan gaya prategang (*lossprestress*) dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yakni : Kehilangan prategang jangka pendek dan kehilangan prategang jangka panjang.

Luas aktual area baja prategang,  $A_{ps} = n_s \cdot A_{st} = 1344.126,6768 = 170253,71 \text{ mm}^2$

Kuat tarik strand,  $f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$

Tegangan leleh strand,  $f_{py} = 0.85 \cdot f_{pu} = 0.85 \cdot 1860 = 1581 \text{ MPa}$

Gaya prestress saat *jacking*,

$P_j = 1505804,16 \text{ kN}$

Tegangan baja *prestress* saat *jacking*,

$$f_{pj} = \frac{P_j}{A_{ps}} = \frac{1505804,16}{170253,71} = 8,84 \text{ MPa}$$

### a. Kehilangan Prategang Jangka Pendek

#### 1) Kehilangan tegangan akibat gesekan ankur (*Anchorage Friction*)

Kehilangan gaya prategang karena slip ankur pada komponen paskatarik diakibatkan adanya blok-blok pada ankur pada saat gaya pendongkrak disalurkan ke ankur. Panjang tarik masuk berkisar antara 2 – 7 mm.

Pergeseran ankur,  $\Delta A = 6 \text{ mm} = 0,006 \text{ m}$

Modulus elastis baja prategang,  $E_s = 190000 \text{ MPa}$

Panjang tendon,  $L = 40 \text{ m}$

Kehilangan prategang akibat pergeseran ankur:

$$\begin{aligned} \Delta f_{pA} &= \frac{\Delta A}{L} \cdot E_s \\ &= \frac{0,006}{40} \cdot 190000 = 28,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

#### 2) Kehilangan tegangan akibat gesekan *cable* (*Jack Friction*)

Sudut lintasan tendon dari ujung ke tengah:

$$\alpha_{AB} = \alpha_{BC} = 0,09078 \text{ rad}$$

Perubahan sudut total lintasan tendon,

$$\alpha = \alpha_{AB} + \alpha_{BC}$$

$$= 0,09078 + 0,09078 = 0,1815 \text{ rad}$$

Dari Tabel 14 (SK SNI 03 – 202 pasal 20.6.2) diperoleh:

Koefisien gesek,  $\mu = 0,2$

Koefisien Wobble,  $K = 0,002$

Kehilangan tegangan akibat gesekan:

Bilangan natural,  $e = 2,7183$

Untuk,  $L_x = 40 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \Delta f_{pF} &= f_{pj} \left[ 1 - e^{-(\mu \alpha) + (\beta L_x)} \right] \\ &= 621,449 \left[ 1 - 2,7183^{-(0,2 \cdot 0,1815) + (0,002 \cdot 40)} \right] \\ &= 27,7504 \text{ MPa} \end{aligned}$$

### 3) Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis (*Elastic Shortening*)

Jarak titik berat tendon baja terhadap titik berat *box girder*,

$$e_s = 0,8969 \text{ m}$$

Momen inersia tampang *box girder*,  $I_x = 5,0258 \text{ m}^4$

Luas tampang *box girder*,  $A = 7,032 \text{ m}^2$

Berat jebis beton prategang  $W_c = 25,5 \text{ kN/m}^3$

Kuat tekan beton prategang  $f'_c = 49,8 \text{ Mpa}$

Modulus elastis beton *box girder* saat transfer

$$f'_{ci} = 80\% f'_c = 80\% \cdot 49,8 = 39,84 \text{ Mpa}$$

Modulus elastis *box girder*, saat transfer

$$E_{ci} = 0,043 W_c^{1,5} \cdot \sqrt{f'_{ci}} = 0,043 \cdot 25,5^{1,5} \cdot (39,84)^{0,5} = 24949292,71 \text{ MPa}$$

Modulus elastis baja prategang (*strand*),  $E_s = 190000 \text{ MPa}$

Jumlah total *strands*,  $n_s = 1344 \text{ strands}$

Luas tampang tendon prategang,  $A_{ps} = 170253,713 \text{ mm}^2$

Momen akibat berat sendiri *box girder*,  $M_{bs} = 35863,2 \text{ kNm}$

Modulus ratio antara baja prategang dengan *box girder*,

$$n = \frac{E_s}{E_{ci}} = \frac{190000}{34949292,71} = 5,436$$

Tegangan baja setelah memperhitungkan *loss of prestress* akibat pengaruh pengangkuran dan gesekan kabel,

$$\begin{aligned} f_{pi} &= f_{pj} - \Delta f_{pA} - \Delta f_{pF} \\ &= 621,449 - 28,5 - 27,7504 = 518,949 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Gaya prategang setelah *loss of prestress* akibat friksi,

$$P_i = f_{pi} \cdot A_{ps} = 518,949 \cdot 10^{-3} \cdot 170253,713 = 88353,005 \text{ kN}$$

Tegangan beton di pusat berat tendon saat transfer,

$$\begin{aligned} f_{cs} &= -\frac{P_i}{A} - \frac{P_i \cdot e_s^2}{I_x} + \frac{M_{bs} \cdot e_s}{I_x} \\ &= -\frac{88353,005 \cdot 10^3}{7,032 \cdot 10^6} - \frac{88353,005 \cdot 10^3 \cdot (0,8969 \cdot 10^3)^2}{5,0258 \cdot 10^{12}} + \frac{35863,2 \cdot 10^6 \cdot 0,8969 \cdot 10^3}{5,05258 \cdot 10^{12}} \\ &= -22,6856 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis,

$$\begin{aligned} \Delta f_{pES} &= n \cdot f_{cs} \\ &= 5,436 \cdot 22,6865 \\ &= 123,3344 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Untuk balok paskatarik dengan 28 tendon yang ditarik 7 tendon setiap penarikan tendon,

$$\begin{aligned} \Delta f_{pES} &= \frac{(2/2) + (1/2)}{4} \cdot 123,3344 \\ &= 46,2504 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tegangan baja prategang setelah transfer,

$$\begin{aligned} f_{ps} &= f_{pj} - (\Delta f_{pA} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pES}) \\ &= 621,449 - (28,5 + 132,2356 + 46,3504) \\ &= 518,949 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Gaya prategang setelah transfer,

$$P_i = A_{ps} \cdot f_{ps}$$

$$= 170253,713 \cdot 518,949 \cdot 10^{-3}$$

$$= 88353,0054 \text{ kN}$$

b. Kehilangan Prategang Jangka Panjang

1) Kehilangan tegangan akibat pengaruh rangkai (*Creep*)

Untuk prategang paskatarik ditentukan,

$K_{cr}=1,6$  – untuk komponen paskatarik

$E_s = 190000 \text{ MPa}$

$E_c = 39074,497 \text{ MPa}$

$$\text{Rasio modulus, } n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{190000}{39074,497} = 4,8625$$

Tegangan tendon dipusat berat beton,

$$f_{cs} = -\frac{P_i}{A} - \frac{P_i \cdot e_s^2}{I_x} + \frac{M_{bs} \cdot e_s}{I_x}$$

$$= -\frac{88353,0054 \cdot 10^3}{7,032 \cdot 10^6} - \frac{88353,0054 \cdot 10^3 \cdot (0,896 \cdot 10^3)^2}{5,0258 \cdot 10^{12}} + \frac{35863,2 \cdot 10^6 \cdot 0,896 \cdot 10^3}{5,0258 \cdot 10^{12}}$$

$$= -20,3064 \text{ MPa}$$

Momen akibat beban tambahan,  $M_D = 8274,6289 \text{ kNm}$

Tegangan beton di pusat berat tendon saat transfer,

$$f_{csd} = \frac{M_{SD} \cdot e_s}{I_x}$$

$$= \frac{8274,6289 \cdot 10^6 \cdot 0,896 \cdot 10^3}{7,032 \cdot 10^{12}}$$

$$= 1,4766 \text{ MPa}$$

Kehilangan prategang akibat pengaruh rangkai,

$$\Delta f_{PCR} = n \cdot K_{cr} \cdot (f_{cs} - f_{csd})$$

$$= 4,8621,6 \cdot (-20,3064 - 1,4766)$$

$$= 146,4954 \text{ MPa}$$

Peningkatan tegangan tarik akibat beban mati tambahan saat *toping*,



$$\begin{aligned}\Delta f_{pSD} &= n \cdot f_{csd} \\ &= 4,86251,476\epsilon \\ &= 7,1803 \text{ MPa}\end{aligned}$$

2) Kehilangan tegangan akibat pengaruh susut (*Shrinkage*)

Kehilangan prategang akibat susut dengan menggunakan metode perawatan basah selama 7 hari.

$$t = 30 \text{ hari}$$

$$E_{ps} = 190000 \text{ MPa}$$

$$\text{Regangan susut ultimate } E_{SHu} = 800 \cdot 10^{-6}$$

$$\begin{aligned}E_{SH,t} &= \frac{t}{(t+35)} \cdot E_{SHu} \\ &= \frac{30}{(30+35)} \cdot 800 \cdot 10^{-6} = 3,69 \cdot 10^{-4}\end{aligned}$$

Kehilangan prategang akibat pengaruh susut,

$$\begin{aligned}\Delta f_{pSH} &= E_{SH,t} \cdot E_{ps} \\ &= 3,69 \cdot 10^{-4} \cdot 190000 \\ &= 70,1538 \text{ MPa}\end{aligned}$$

3) Kehilangan tegangan akibat relaksasi tendon (*Relaxation of Tendon*)

Relaksasi tendon mengalami tegangan tarik dalam waktu yang cukup lama,

$$\text{Kuat tarik tendon, } f_{pu} = 1860 \text{ MPa}$$

$$\text{Kuat leleh tendon, } f_{py} = 0,85 \cdot f_{pu} = 0,85 \cdot 1860 = 1581 \text{ MPa}$$

$$\text{Tegangan baja prategang setelah transfer, } f_{ps} = 518,949 \text{ MPa}$$

Diperhitungkan tegangan tendon 3 bulan setelah transfer

$$t_1 = 1 \text{ hari}$$

$$t_2 = 1 \text{ bulan} = 30 \text{ hari} = 720 \text{ jam}$$

Kehilangan prategang akibat *relaxation of tendon*:

$$\Delta f_{pR} = f_{pi} \left( \frac{\log t_2 - \log t_1}{45} \right) \left( \frac{f_{ps}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

$$\Delta f_{pR} = 518,949 \left( \frac{\log 720 - \log 1}{45} \right) \left( \frac{518,949}{1581} - 0,55 \right)$$

$$= -7,307 \text{ MPa}$$

Tabel 5.21 Total Kehilangan Gaya Prategang

No	Level Tegangan	Tegangan Baja (Mpa)	Persentase (%)
	Setelah Penegangan		
	<b>Kehilangan tegangan :</b>	<b>621.4500</b>	<b>100%</b>
1	Pergeseran ankur ( <i>anchorage friction</i> )	28.5000	4.586%
2	Gesekan kabel ( <i>jack friction</i> )	27.7505	4.465%
3	Perpendekan elastis beton ( <i>elastic shortening</i> )	46.2504	7.442%
4	Rangkak beton ( <i>creep</i> )	146.4955	23.573%
5	Susut beton ( <i>shrinkage</i> )	70.1538	11.289%
6	Relaksasi tendon ( <i>relaxation of tendon</i> )	-7.3073	-1.176%
	<b>Beban mati tambahan :</b>		
1	Beban mati tambahan topping	7.1804	1.155%
Tegangan Akhir ( $f_{pe}$ )		316.7874	50.976%
Kehilangan Tegangan Total ( <i>loss of prestress</i> )			<b>49.024%</b>

Jadi total kehilangan tegangan akhir/tegangan efektif,

$$f_{eff} = 316,7874 \text{ MPa}$$

Gaya efektif di tengah bentang balok:

$$P_{eff} = A_{ps} \cdot f_{eff}$$

$$= 170253,713 \cdot 316,7874 \cdot 10^{-3}$$

$$= 53934,2319 \text{ kN}$$

#### 9. Tegangan Yang Terjadi Akibat Gaya Prategang

Menurut SNI, Tegangan beton pada kondisi saat transfer dan kondisi layan (setelah memperhitungkan semua kehilangan tegangan) tidak boleh melebihi nilai sebagai berikut:

Saat transfer

- serat tekan :  $f_{ci} = 0,60 \cdot f_{ci}^n = 0,60 \cdot 40 = 24 \text{ MPa}$

- serat tarik :  $f_{ti} = 0,25 \cdot \sqrt{f_{ci}} = 0,25 \cdot \sqrt{40} = 1,5811 \text{ MPa}$

Saat layan,

$$\text{Statis momen} = A_{se \text{ lub ung}} \cdot y = 0,227 \cdot 0,35 = 0,0795 \text{ m}^3$$

Maka letak garis netral:

$$c_b = \frac{16,6317 - 0,0795}{6,894} = 1,2768 \text{ m}$$

$$c_t = h - c_b = 2,5 - 1,2768 = 1,223 \text{ m}$$

Eksentrisitas tendon di tengah bentang:

$$e = c_b - z_o = 1,2768 - 0,35 = 0,9268 \text{ m}$$

Momen Inersia Penampang Netto:

Jarak terhadap titik berat,  $y = e = 0,9268 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Momen Inersia selubung tendon} &= n_t \left( \frac{1}{64} \pi D^4 + \frac{1}{4} \pi D^2 \cdot y^2 \right) \\ &= \\ &= 28 \left( \frac{1}{64} \pi \cdot 0,1016^4 + \frac{1}{4} \pi \cdot 0,1016^2 \cdot 0,9268^2 \right) \\ &= 0,1951 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Jadi momen inersia penampang *netto*:

$$\begin{aligned} I_x &= I_i - (I_{se \text{ lub ung}} + A_{se \text{ lub ung}} \cdot y_{se \text{ lub ung}}^2) \\ &= 5,0258 - 0,1951 = 4,8307 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Modulus penampang bagian atas:

$$s_t = \frac{I_x}{c_t} = \frac{4,8307}{1,223} = 3,949 \text{ m}^3$$

Modulus penampang bagian bawah:

$$s_b = \frac{I_x}{c_b} = \frac{4,8307}{1,276} = 3,7833 \text{ m}^3$$

Tegangan-tegangan yang terjadi saat transfer (lihat gambar 5.22),

1) Tegangan pada serat atas:

$$f_t = -\frac{P_t}{A} + \frac{P_t \cdot e_s}{s_t} - \frac{M_{MS}}{s_t}$$

$$= \frac{89933,539 \cdot 10^3}{7,032 \cdot 10^6} + \frac{89933,539 \cdot 10^3 \cdot 0,926 \cdot 10^3}{3,949 \cdot 10^9} - \frac{40889,828 \cdot 10^6}{3,949 \cdot 10^9}$$

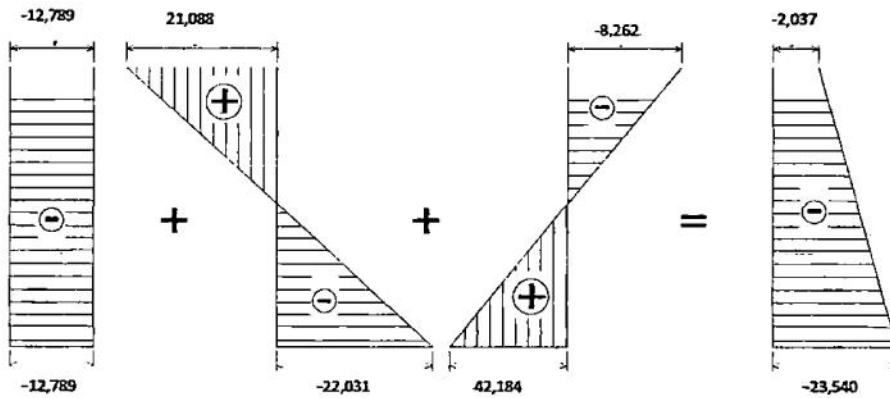
$$= -2,037 \text{ MPa} < f_{ci} = 24 \text{ MPa OK}$$

2) Tegangan pada serat bawah:

$$f_b = \frac{P_i}{A} - \frac{P_i \cdot e_s}{s_b} + \frac{M_{MS}}{s_b}$$

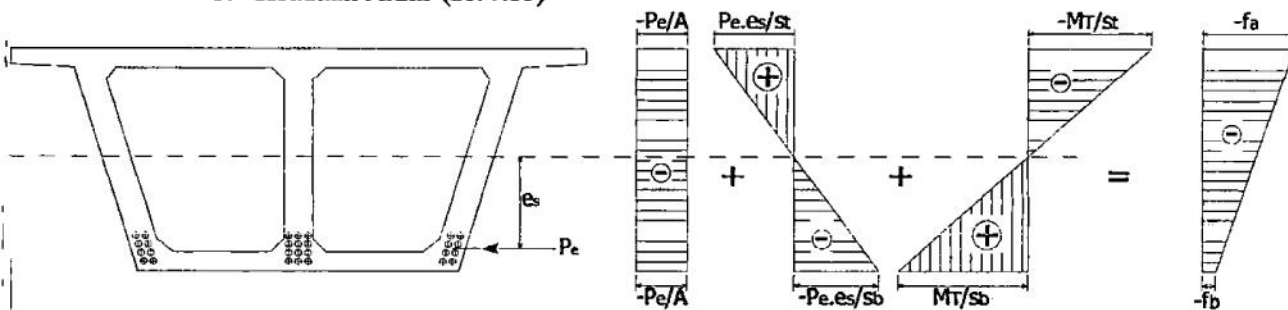
$$= \frac{89933,539 \cdot 10^3}{7,032 \cdot 10^6} - \frac{89933,539 \cdot 10^3 \cdot 0,9268 \cdot 10^3}{3,7833 \cdot 10^9} + \frac{159595,444 \cdot 5 \cdot 10^6}{3,7833 \cdot 10^9}$$

$$= -23,54 < f_{ci} = 24 \text{ MPa OK}$$



Gambar 5.25 Diagram tegangan *box girder* saat transfer

b. Keadaan Akhir (*Service*)



Gambar 5.26 Tegangan saat *service* (Aboe, 2006)

Karena prategang paskatarik dengan tendon terekat, maka digunakan penampang transformasi (lihat gambar 5.24).

Luas penampang bruto,  $A_{bruto} = 7,032 \text{ m}^2$

Modulus elastis baja,  $E_s = 190000 \text{ MPa}$

Modulus elastis beton,  $E_c = 34949,292 \text{ MPa}$

Angka ekuivalensi ( $n$ ) =  $\frac{190000}{34949,292} = 5,436$

Luas tampang tendon prategang,  $A_{ps} = 0,1702 \text{ m}^2$

Luas penampang transformasi,  $A_t = A + (n-1)A_{ps}$   
 $= 7,032 + (5,436-1) \cdot 0,1702$   
 $= 7,787 \text{ m}^2$

Letak garis netral dicari dengan statis momen sisi bawah:

$$c_b = \frac{(\sum A_i \cdot y_i) - ((n-1) \cdot (A_{ps} \cdot y))}{A_{transformasi}}$$

Momen inersia terhadap titik berat balok:

$$I_x = 5,0258 \text{ m}^4$$

Untuk selubung tendon:

Jarak terhadap sisi bawah,  $y = 0,35 \text{ m}$

Statis momen =  $(n-1)(A_{ps} \cdot y) = (5,436-1)(0,1702 \cdot 0,35) = 0,2643 \text{ m}^3$

Maka letak garis netral:

$$c_b = \frac{8,7683 - 0,2643}{7,787} = 1,092 \text{ m}$$

$$c_t = h - c_b = 2,5 - 1,092 = 1,4079 \text{ m}$$

Eksentrisitas tendon di tengah bentang:

$$e = c_b - z_o = 1,092 - 0,35 = 0,742 \text{ m}$$

Momen Inersia Penampang Transformasi:

Untuk selubung tendon,

Jarak terhadap titik berat,  $y = e = 0,742 \text{ m}$

$$\text{Momen Inersia selubung tendon} = (n-1)(A_{ps} \cdot y^2)$$

$$= (5,436-1)(0,17020,742^2)$$

$$= 0,4158\text{m}^4$$

Jadi momen inersia penampang *transformasi*:

$$I_x = I_i + [(n-1)(A_{ps} \cdot y^2)]$$

$$= 5,0258 + 0,4158 = 5,441 \text{ m}^4$$

Modulus penampang bagian atas:

$$s_i = \frac{I_x}{c_i} = \frac{5,441}{1,4079} = 3,8649 \text{ m}^3$$

Modulus penampang bagian bawah:

$$s_b = \frac{I_x}{c_b} = \frac{5,441}{1,092} = 4,983 \text{ m}^3$$

Gaya prategang efektif,

$$P_{eff} = 53934,231 \text{ kN}$$

Momen-momen yang bekerja saat layan,

$$M_T = M_{MS} + M_A + M_{TD} + M_{TB} + M_{EW} + M_{EQ}$$

$$= 61940,40961 \text{ kNm}$$

1) Tegangan pada serat atas:

$$f_i = -\frac{P_e}{A} + \frac{P_e \cdot e_s}{s_i} - \frac{M_T}{s_i}$$

$$= \frac{53934,231 \cdot 10^3}{7,03210^6} + \frac{53934,231 \cdot 10^3 \cdot 0,74210^3}{3,864910^9} - \frac{61940,40910^6}{3,864910^9}$$

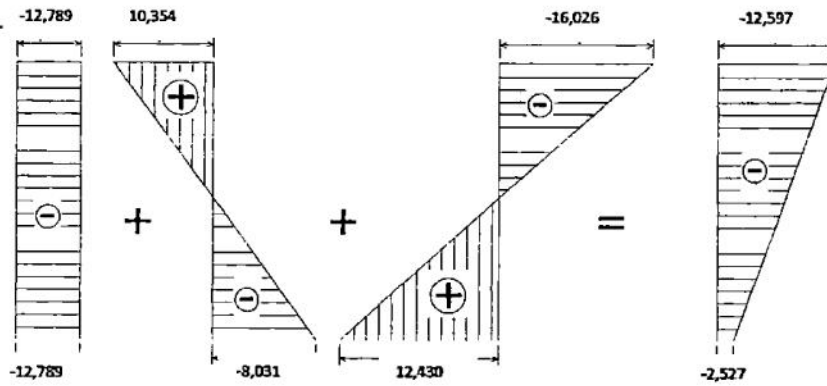
$$= -12,597 \text{ MPa} < f_{cs} = 22,5 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$

2) Tegangan pada serat bawah:

$$f_b = -\frac{P_e}{A} - \frac{P_e \cdot e_s}{s_b} + \frac{M_T}{s_b}$$

$$= \frac{53934,231 \cdot 10^3}{7,03210^6} - \frac{53934,231 \cdot 10^3 \cdot 0,74210^3}{4,98310^9} + \frac{61940,40910^6}{4,98310^9}$$

$$= -2,527 \text{ MPa} < f_{cs} = 22,5 \text{ MPa} \quad \text{OK}$$



Gambar 5.27 Diagram tegangan *box girder* saat *service*

## 10. Tinjauan *Ultimate Box girder* Prategang

### a. Kapasitas Momen *Ultimate*

Modulus elastis baja prategang (*strands*) ASTM A-416,  $E_s = 190000$  MPa

Jumlah total *strands*,  $n_s = 1344$  *strands*

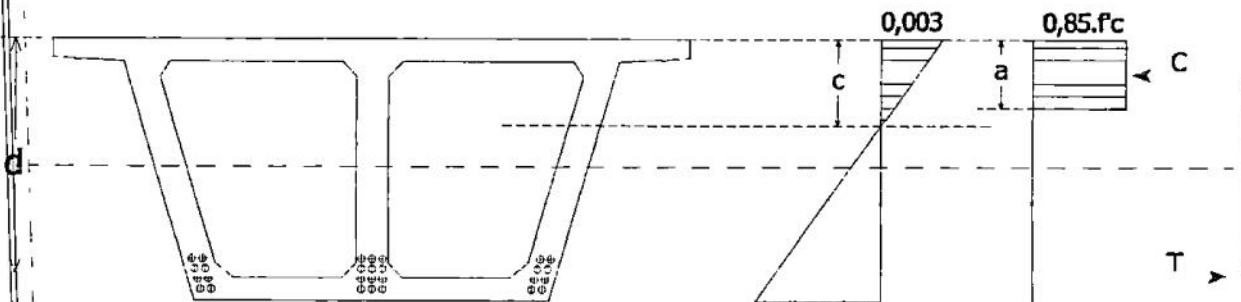
Luas tampang nominal satu *strand*,  $A_{st} = 126,677$  mm<sup>2</sup>

Tegangan leleh tendon baja prategang,  $f_{py} = 1581$  MPa

Luas tampang tendon baja prategang,

$$A_{ps} = n_s \cdot A_{st} = 1344 \cdot 126,677 = 170253,713 \text{ mm}^2 = 0,1702 \text{ m}^2$$

Kuat tekan beton,  $f'_c = 50$  MPa



Gambar 5.28 Kapasitas penampang *box girder* (Aboe,2013)

$$B_1 = 7 \text{ m} \quad t_1 = 0,25 \text{ m} \quad c_t = 1,253 \text{ m}$$

$$B_2 = 1,00 \text{ m} \quad t_2 = 0,20 \text{ m} \quad e_s = 0,896 \text{ m}$$

Tegangan batas prategang ( $f_{ps}$ ) pada keadaan *ultimate*, ditetapkan sebagai berikut:

$$f_{ps} = f_{pu} \left[ 1 - \frac{\gamma_p \cdot \rho_p \cdot f_{pu}}{\beta_1 \cdot f'_c} \right]$$

Gaya prategang efektif (setelah *loss of prestress*),  $P_{eff} = 53934.231 \text{ kN}$

Tegangan efektif baja prategang,

$$f_{eff} = \frac{P_{eff}}{A_{ps}} = \frac{53934.231 \cdot 10^3}{170253713} = 316,787 \text{ MPa}$$

Lebar flens *box girder*,

$$b = B_1 + (2 \cdot B_2) = 6 + (2 \cdot 1,00) = 8 \text{ m}$$

Tinggi efektif *box girder*,

$$d = c_1 + e_s = 1,253 + 0,896 = 2,15 \text{ m}$$

Rasio luas penampang baja prategang,

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{b \cdot d} = \frac{170253713 \cdot 10^{-6}}{8,215} = 0,008989$$

Untuk baja *Low Relaxation*,  $\gamma_p = 0,4$

Untuk  $f'_c = 49,80 \text{ MPa} > 30 \text{ MPa}$  maka nilai:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= 0,85 - 0,08 \cdot \left( \frac{f'_c - 30}{10} \right) \\ &= 0,85 - 0,08 \cdot \left( \frac{50 - 30}{10} \right) \\ &= 0,69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{ps} &= f_{pu} \left[ 1 - \frac{\gamma_p \cdot \rho_p \cdot f_{pu}}{\beta_1 \cdot f'_c} \right] \\ &= 1860 \cdot \left[ 1 - \frac{0,4 \cdot 0,008989 \cdot 1860}{0,69 \cdot 50} \right] \\ &= 1462,287 \text{ MPa} > f_{py} = 0,85 \cdot f_{pu} = 1581 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Maka dipakai  $f_{ps} = f_{py} = 1581 \text{ MPa}$

Cek daktilitas penampang,



$$\omega_p = \frac{\rho_p \cdot f_{ps}}{f'c}$$

$$= \frac{0,008989 \cdot 1581}{50}$$

$$= 0,2906 < 0,36 \cdot \beta_1 = 0,36 \cdot 0,69 = 0,2489, \text{ daktail.} \quad \text{OK}$$

Gaya internal tendon baja prategang,

$$T_{ps} = A_{ps} \cdot f_{ps}$$

$$= 170253,713 \cdot 1581 \cdot 10^{-3} = 248959,8051 \text{ kN}$$

Tinggi blok tekan,

$$a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{(0,85 \cdot f'c \cdot b)} = \frac{170253,713 \cdot 10^{-6} \cdot 1581}{(0,85 \cdot 50 \cdot 8)} = 0,7351 \text{ m}$$

Momen nominal,

$$M_n = A_{ps} \cdot f_{ps} \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 170253,713 \cdot 10^{-3} \cdot 1581 \left( 2,15 - \frac{0,7351}{2} \right)$$

$$= 443749,016 \text{ kNm}$$

Faktor reduksi kekuatan lentur,  $\phi = 0,8$

Kapasitas momen *ultimate* box girder prategang,

$$M_{uk} = \phi \cdot M_n$$

$$= 0,8 \cdot 443749,016$$

$$= 354999,2128 \text{ kNm}$$

#### b. Momen *Ultimate* Akibat Beban

Momen *ultimate* dihitung dengan mengalikan momen yang bekerja dengan faktor beban *ultimate*.

Untuk hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel 5.22.

Tabel 5.22 Perhitungan momen *ultimate* akibat beban yang bekerja

No	Aksi Beban	Faktor Beban		Momen (kNm)	Momen Ultimate
1	Berat sendiri	$K_{MS}$	1.3	40889.83	53156.78
2	Beban mati tambahan	$K_{MA}$	2	3248.00	6496.00
3	Beban lajur "D"	$K_{TD}$	2	11655.25	23310.50
4	Beban pedestrian	$K_{TP}$	2	467.00	934.00
5	Gaya rem	$K_{TB}$	2	394.14	788.27
6	Beban angin	$K_{EW}$	1.2	420.00	504.00
7	Beban gempa	$K_{EQ}$	1.2	4866.20	5839.43
Total momen ultimate yg bekerja					91028.98

Kontrol momen kapasitas,

$$\begin{aligned}
 M_{uk} &= \phi \cdot M_n \\
 &= 0,8 \cdot 354999,2128 \\
 &= 72823,18599 \text{ kNm} > M_{uk} = 524110,4951 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

keamanan 3.899848

## 11. Lendutan Pada *Box girder* Prategang

### a. Lendutan Pada Keadaan Awal (Transfer)

Jarak titik berat tendon baja terhadap titik berat *box girder* prategang,

$$e_s = 0,8969 \text{ m}$$

Momen inersia tampang *box girder*,  $I_x = 5,0258 \text{ m}^4$

Gaya prategang awal,  $P_0 = 89933,539 \text{ kN}$

Lendutan ke atas/lawan lendut (*chamber*)

$$\begin{aligned}
 \delta_c &= \frac{5}{48} \cdot \frac{P_0 \cdot e_s \cdot L^2}{(E_c \cdot I_x)} \\
 &= \frac{5}{48} \cdot \frac{89933,539 \cdot 0,8969 \cdot 40^2}{(39074,497 \cdot 10^3 \cdot 5,0258)} = -0,068 \text{ m, } (\uparrow) \text{ ke atas}
 \end{aligned}$$

Lendutan ke bawah (*deflection*)

$$\begin{aligned}\delta_D &= \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{bs} \cdot L^4}{(Ec \cdot I_x)} \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{179,316.40^4}{(39074,497.10^3 \cdot 5,0258)} = +0,0304 \text{ m, } (\downarrow) \text{ ke bawah}\end{aligned}$$

Total lendutan saat transfer,

$$\begin{aligned}\delta_T &= \delta_c + \delta_D \\ &= -0,068 + 0,0304 = -0,038 \text{ m, } (\uparrow) \text{ ke atas}\end{aligned}$$

b. Lendutan Pada Keadaan Akhir (*Service*)

1) Lendutan ke atas (*chamber*)

$$\begin{aligned}\delta_c &= \frac{5}{48} \cdot \frac{P_e \cdot e_s \cdot L^2}{(Ec \cdot I_x)} \\ &= \frac{5}{48} \cdot \frac{50298.4790.8969.40^2}{(39074,497.10^3 \cdot 5,0258)} = -0,0382 \text{ m, } (\uparrow) \text{ ke atas}\end{aligned}$$

2) Lendutan yang terjadi akibat beban yang bekerja

a) Lendutan Akibat Berat Sendiri (MS)

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{MS} \cdot L^4}{(Ec \cdot I_x)} \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{204,449.40^4}{(39074,497.10^3 \cdot 5,0258)} = 0,034 \text{ m, } (\downarrow) \text{ ke bawah}\end{aligned}$$

b) Lendutan Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{MA} \cdot L^4}{(Ec \cdot I_x)} \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{16,24.40^4}{(39074,497.10^3 \cdot 5,0258)} = 0,0027 \text{ m, } (\downarrow) \text{ ke bawah}\end{aligned}$$

c) Lendutan Akibat Beban Lajur "D" (TD)

$$\begin{aligned}\delta &= \frac{1}{48} \cdot \frac{P_{TD} \cdot L^3}{(Ec \cdot I_x)} + \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{TD} \cdot L^4}{(Ec \cdot I_x)} \\ &= \frac{1}{48} \cdot \frac{360,525.40^3}{(39074,497.10^3 \cdot 5,025)} + \frac{5}{384} \cdot \frac{360,525.40^4}{(39074,497.10^3 \cdot 5,025)}\end{aligned}$$

$$= 0,00928 \text{ m, } (\downarrow) \text{ ke bawah}$$

d) Lendutan Akibat Beban Pejalan Kaki (TP)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5}{384} \frac{Q_{TP} \cdot L^4}{(EcI_x)} \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{2,335.40^4}{(39074,497.10^3 \cdot 5,0258)} = 0,00039 \text{ m, } (\downarrow) \text{ ke bawah} \end{aligned}$$

e) Lendutan Akibat Beban Rem (TB)

$$\begin{aligned} \delta &= 0,0642 \cdot \frac{M_{TB} \cdot L^2}{(EcI_x)} \\ &= 0,0642 \cdot \frac{394,135.40^2}{(39074,497.10^3 \cdot 5,0258)} = 0,000042 \text{ m, } (\downarrow) \end{aligned}$$

ke bawah

f) Lendutan Akibat Beban Angin (EW)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5}{384} \frac{Q_{EW} \cdot L^4}{(EcI_x)} \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{2,1.40^4}{(39074,497.10^3 \cdot 5,0258)} = 0,00035 \text{ m, } (\downarrow) \text{ ke bawah} \end{aligned}$$

g) Lendutan Akibat Beban Gempa (EQ)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5}{384} \frac{Q_{EQ} \cdot L^4}{(EcI_x)} \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{24,330.40^4}{(39074,497.10^3 \cdot 5,0258)} = 0,0041 \text{ m, } (\downarrow) \text{ ke bawah} \end{aligned}$$

Untuk dapat mengetahui total lendutan yang terjadi pada *box girder* selengkapnya dapat dilihat pada tabel 5.23 berikut ini.

Tabel 5.23 Rangkuman Perhitungan Lendutan

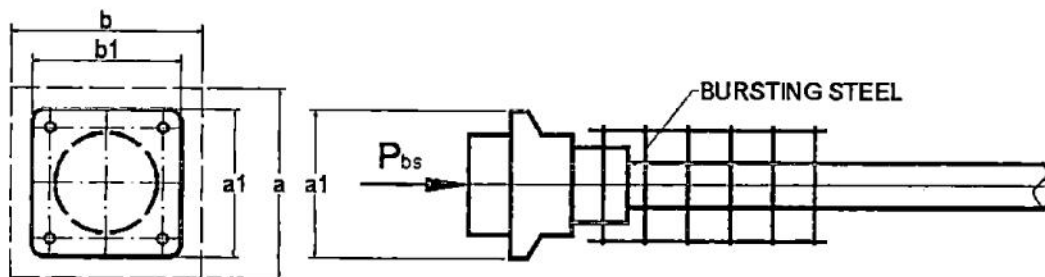
No	Jenis Beban	Kode Beban	Lendutan (m)	Keterangan
A	Lendutan ke atas	PR	-0.038287	CHAMBER
B	Lendutan ke bawah			
1	Berat sendiri	MS	0.034702	DEFLECTION
2	Mati tambahan	MA	0.002756	DEFLECTION
3	Lajur "D"	TD	0.009280	DEFLECTION
4	Pejalan kaki	TP	0.000396	DEFLECTION
5	Gaya rem	TB	0.000042	DEFLECTION
6	Angin	EW	0.000356	DEFLECTION
7	Gempa	EQ	0.004130	DEFLECTION
Total Lendutan			0.0133758	

Jadi total lendutan adalah  $\delta_r = 0,01337$  m (↓) ke bawah

Lendutan maksimum yang diijinkan,

$$\delta = \frac{L}{240} = \frac{40}{240} = 0,1667 \text{ m} > \delta_r = 0,01337 \text{ m OK}$$

## 12. Perhitungan EndBlock



Gambar 5.29 Pembesian angkur

Angkur yang digunakan yaitu angkur tegangan *VSL tipe E5-45* (lihat gambar 5.27).

Jumlah *strand* dalam 1 tendon = 48

Beban putus 1 *strand*,  $P_{bs}$  1 *strand* = 187,32 kN

Beban putus 1 tendon,  $P_{bs}$  1 tendon =  $187,32 \cdot 48 \cdot 42,026\% = 3778,720$  kN

Lebar angkur,  $a = 130$  mm

H balok = 2,5 m

$$\begin{aligned} \text{Gaya tarik angkur, } T &= 0,25 \cdot P_{bs(tendon)} \left( 1 - \frac{a}{h} \right) \\ &= 0,25 \cdot 3778,720 \left( 1 - \frac{130}{2500} \right) \\ &= 895,556 \text{ kN} = 895556,676 \text{ N} \end{aligned}$$

$f_y$  baja untuk angkur yang digunakan = 390 MPa

Tegangan ijin baja untuk angkur =  $0,6 \cdot 390 = 234$  MPa

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan yang dibutuhkan, } A_s &= \frac{T}{0,6 \cdot f_y} \\ &= \frac{895556,676}{0,6 \cdot 390} = 3827,165 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Diameter tulangan yang digunakan,  $D = 16$  mm

$$\text{Luas tulangan, } A_{1D} = A_s = 2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 2 = 402,124 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tulangan angkur yang digunakan, } = \frac{A_s}{A_{1D}} = \frac{3827,165}{402,124} = 9,517 \text{ buah} = 10 \text{ buah}$$

Maka digunakan tulangan pada angkur 10 D16

### 13. Perhitungan Pembesian Non-Prategang

Untuk ketentuan perhitungan tulangan non-prategang minimum pada balok prategangan dapat dilihat ketentuannya pada SK-SNI-15-1991-03 pasal 3.11.9. butir 2, yaitu luas tulangan non-prategang minimum harus dihitung dari 0,4% A.

Tulangan arah memanjang digunakan besi diameter,  $D = 16$  mm

$$\text{Luas tulangan, } A_{1D} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

#### a. Bagian Tepi

Tebal plat dinding,  $t_s = 0,45 \text{ m} = 450 \text{ mm}$

Rasio tulangan susut,  $\rho = 0,4\%$

$$\text{Luas tulangan susut, } A_s = \rho \cdot t_s \cdot 1000 = 0,4 \cdot 450 \cdot 1000 = 1800 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jarak tulangan yang diperlukan : } s = \frac{A_{1D} \cdot 1000}{A_s} = \frac{201,06 \cdot 1000}{1800} = 111,7$$

mm

Dipakai D16-100

b. Bagian Tengah

Tebal plat dinding,  $t_3 = 0,45 \text{ m} = 450 \text{ mm}$

Rasio tulangan susut,  $\rho = 0,4\%$

Luas tulangan susut,  $A_s = \rho \cdot t_3 \cdot 1000 = 0,4 \cdot 450 \cdot 1000 = 1800 \text{ mm}^2$

Jarak tulangan yang diperlukan :  $s = \frac{A_{1D} \cdot 1000}{A_s} = \frac{201,062 \cdot 1000}{1800} =$   
 $= 111,7 \text{ mm}$  Dipakai D16-100

c. Bagian Atas

Tebal plat dinding,  $t_1 = 0,25 \text{ m} = 250 \text{ mm}$

Rasio tulangan susut,  $\rho = 0,4\%$

Luas tulangan susut,  $A_s = \rho \cdot t_1 \cdot 1000 = 0,4 \cdot 250 \cdot 1000 = 1000 \text{ mm}^2$

Jarak tulangan yang diperlukan :  $s = \frac{A_{1D} \cdot 1000}{A_s} = \frac{201,062 \cdot 1000}{1000} =$   
 $= 201,062 \text{ mm}$  Dipakai D16-160

d. Bagian Bawah

Tebal plat dinding,  $t_5 = 0,30 \text{ m} = 300 \text{ mm}$

Rasio tulangan susut,  $\rho = 0,4\%$

Luas tulangan susut,  $A_s = \rho \cdot t_1 \cdot 1000 = 0,4 \cdot 300 \cdot 1000 = 1200 \text{ mm}^2$

Jarak tulangan yang diperlukan :  $s = \frac{A_{1D} \cdot 1000}{A_s} = \frac{201,062 \cdot 1000}{1200} =$   
 $= 167,552 \text{ mm}$  Dipakai D16-160

#### 14. Perhitungan Tulangan Geser

a. Gaya Geser Pada Balok Prategang

Data Pembebanan:

- 1) Beban balok (MS Balok) = 204,449 kN/m
- 2) Beban Mati Tambahan (MA) = 16,240 kN/m
- 3) Beban hidup + DLA :

	QTD	= 40,250	kN/m
	PTD	= 360,525	kN
4)	Beban Momen Rem (MTB)	= 394,135	kNm
5)	Beban Pejalan kaki (IP)	= 2,335	kN/m
6)	Beban Angin (EW)	= 2,1	kN/m
7)	Beban Gempa (EQ)	= 24,330	kN/m

Perhitungan gaya geser yang terjadi pada balok prategang ditumpuan  $x = 0$

$L = 40 \text{ m}$

- 1) Gaya geser akibat berat sendiri (MS),

$$V_{MS} = \frac{1}{2} \cdot Q_{MS} \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 204,449 \cdot 40 = 4088,9828 \text{ kN}$$

- 2) Gaya geser maksimum akibat beban mati tambahan (MA),

$$V_{MA} = \frac{1}{2} \cdot Q_{MA} \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 16,240 \cdot 40 = 324,80 \text{ kN}$$

- 3) Gaya geser maksimum akibat beban lajur "D" (TD),

$$V_{TD} = \frac{1}{2} \cdot Q_{TD} \cdot L + \frac{1}{2} \cdot P_{TD} = \frac{1}{2} \cdot 40,25 \cdot 40 + \frac{1}{2} \cdot 360,525 = 985,2625 \text{ kN}$$

- 4) Gaya geser maksimum akibat gaya rem (TB),

$$V_{TB} = \frac{M}{L} = \frac{394,135}{40} = 9,853 \text{ kN}$$

- 5) Gaya geser maksimum akibat beban pedestrian (QTP),

$$V_{TP} = \frac{1}{2} \cdot Q_{TP} \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 2,335 \cdot 40 = 46,7 \text{ kN}$$

- 6) Gaya geser maksimum akibat beban angin (QEW),

$$V_{EW} = \frac{1}{2} \cdot Q_{EW} \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 2,1 \cdot 40 = 42 \text{ kN}$$

- 7) Gaya geser balok akibat beban gempa (EQ),

$$V_{EQ} = \frac{1}{2} \cdot Q_{EQ} \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 24,330 \cdot 40 = 486,619 \text{ kN}$$



Tabel 5.24 Kombinasi pembebanan untuk desain tulangan geser balok prategang

No	Aksi Beban	Kode	Kombinasi			
			1	2	3	4
1	Berat sendiri	KMS	1,3	1,3	1,3	1,3
2	Beban mati tambahan	KMA	2	2	2	2
3	Beban lajur D	KTD	2	1	1	
4	Gaya rem	KTB	2	1	1	
5	Beban pedestrian	KTP		2		
6	Beban angin	KEW			1,2	
7	Beban gempa	KEQ				1

Gaya geser pada box girder prategang dapat dilihat pada tabel 4.23 di bawah ini.

Gaya geser akibat beban merata,  $V = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot L - Q \cdot x$

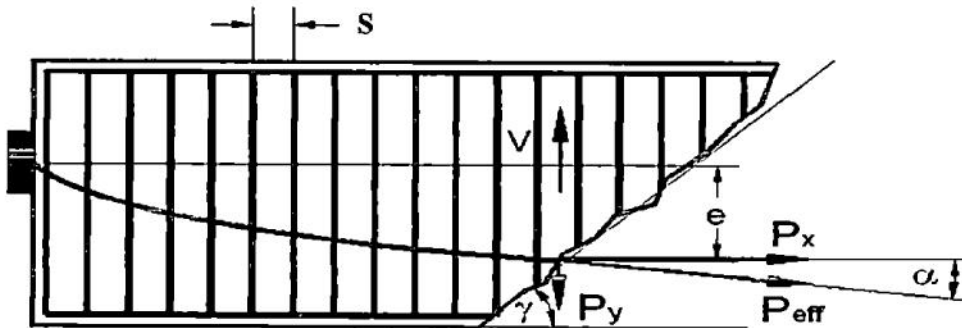
Gaya geser akibat beban terpusat,  $V = 1/2 \cdot P$

Tabel 5.25 Rekap gaya geser dan kombinasi gaya geser *box girder*

Jarak x (m)	Gaya Geser pd Box Girder Akibat Beban							KOMB I	KOMB II	KOMB III	KOMB IV
	MS (kN)	MA (kN)	TD (kN)	TB (kN)	TP (kN)	EW (kN)	EQ (kN)				
0	4088.98	324.80	985.26	9.85	46.70	42.00	486.62	7955.51	7053.79	7010.79	6451.90
1.25	3833.42	304.50	934.95	9.85	43.78	39.38	456.21	7482.05	6624.81	6584.50	6048.65
2.5	3577.86	284.20	884.64	9.85	40.86	36.75	425.79	7008.60	6195.83	6158.21	5645.41
3.75	3322.30	263.90	834.33	9.85	37.94	34.13	395.38	6535.14	5766.85	5731.92	5242.17
5	3066.74	243.60	784.01	9.85	35.03	31.50	364.96	6061.69	5337.87	5305.62	4838.92
6.25	2811.18	223.30	733.70	9.85	32.11	28.88	334.55	5588.24	4908.89	4879.33	4435.68
7.5	2555.61	203.00	683.39	9.85	29.19	26.25	304.14	5114.78	4479.91	4453.04	4032.44
8.75	2300.05	182.70	633.08	9.85	26.27	23.63	273.72	4641.33	4050.93	4026.75	3629.19
10	2044.49	162.40	582.76	9.85	23.35	21.00	243.31	4167.87	3621.95	3600.45	3225.95
11.25	1788.93	142.10	532.45	9.85	20.43	18.38	212.90	3694.42	3192.97	3174.16	2822.71
12.5	1533.37	121.80	482.14	9.85	17.51	15.75	182.48	3220.96	2764.00	2747.87	2419.46
13.75	1277.81	101.50	431.83	9.85	14.59	13.13	152.07	2747.51	2335.02	2321.58	2016.22
15	1022.25	81.20	381.51	9.85	11.68	10.50	121.65	2274.05	1906.04	1895.29	1612.97
16.25	766.68	60.90	331.20	9.85	8.76	7.88	91.24	1800.60	1477.06	1468.99	1209.73
17.5	511.12	40.60	280.89	9.85	5.84	5.25	60.83	1327.14	1048.08	1042.70	806.49
18.75	255.56	20.30	230.58	9.85	2.92	2.63	30.41	853.69	619.10	616.41	403.24
20	0.00	0.00	180.26	9.85	0.00	0.00	0.00	380.23	190.12	190.12	0.00

### b. Tulangan Geser Balok Prategang

Berdasarkan tabel 5.24 diperoleh gaya geser ultimit terbesar pada ujung bentang pada kombinasi I.



Gambar 5.31 Tulangan Geser *Box Girder* (Jati, 2013)

Gaya geser ultimit rencana pada tumpuan,  $V_{ult} = 7955.509 \text{ kN}$

Gaya geser ultimit rencana lapangan,  $V_{ult}' = 380,23 \text{ kN}$

Tinggi balok,  $h = 2500 \text{ mm}$

Tebal *web*,  $b = 450 \text{ mm}$

Lebar total *web*,  $b_w = 3 \cdot 450 = 1350 \text{ mm}$

Penutup beton,  $P_b = 40 \text{ mm}$

Tinggi efektif,  $d = h - P_b - D.\text{tul sengkang} / 2$   
 $= 2500 - 40 - 16/2 = 2452 \text{ mm}$

Tegangan leleh baja,  $f_y = 390 \text{ MPa}$

Kuat tekan beton,  $f'_c = 50 \text{ MPa}$

Kekuatan beton menahan geser (lihat gambar 5.31):

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{50} \cdot 1350 \cdot 2452 = 3893,298 \text{ kN}$$

Faktor reduksi kekuatan geser,  $\phi = 0,6$ , maka:

$$\phi \cdot V_c = 0,6 \cdot 3893,298 = 1167,989 \text{ kN}$$

$$\frac{1}{2} \phi \cdot V_c = \frac{1}{2} \cdot 3893,298 = 2335,978 \text{ kN}$$

$$3 \phi \cdot V_c = 3 \cdot 0,6 \cdot 3893,298 = 7007,936 \text{ kN}$$

$$5 \phi \cdot V_c = 5 \cdot 0,6 \cdot 3893,298 = 11679,894 \text{ kN}$$

Dari perhitungan diatas diperoleh:

$$V_{ult} = 7026,780 \text{ kN} < 5\phi \cdot V_c = 11679,894 \text{ kNOK}$$

Ukuran penampang dapat digunakan, tidak perlu diperbesar

$$\phi \cdot V_c = 1167,989 \text{ kN} < V_u = 7026,780 \text{ OK}$$

Diperlukan tulangan geser, bukan tulangan geser minimum

Untuk itu ukuran penampang memenuhi/dapat digunakan, tetapi diperlukan tulangan geser.  $V_u$  maks terletak sejauh  $d$  dari tumpuan:

$$V_{u,d} = \left[ \frac{\left(\frac{L}{2}\right) - d}{\left(\frac{L}{2}\right)} \right] (V_{ult} - V_{ult}') + V_{ult}'$$

$$= \left[ \frac{\left(\frac{40000}{2}\right) - 2452}{\left(\frac{40000}{2}\right)} \right] (7026,780 - 380,23) + 380,23 = 7026,780 \text{ kN}$$

Koordinat titik-titik penting (lihat gambar 4.30):

Titik dimana nilai  $V_u = 3\phi \cdot V_c = 7007,937 \text{ kN}$

$$X_1 = \frac{7007,937 - 380,23}{7955,509 - 380,23} \cdot \frac{40000}{2} = 1749,498 \text{ mm} \approx 17,49 \text{ m dari tengah}$$

bentang

Titik dimana nilai  $V_u = \phi \cdot V_c = 2335,979 \text{ kN}$

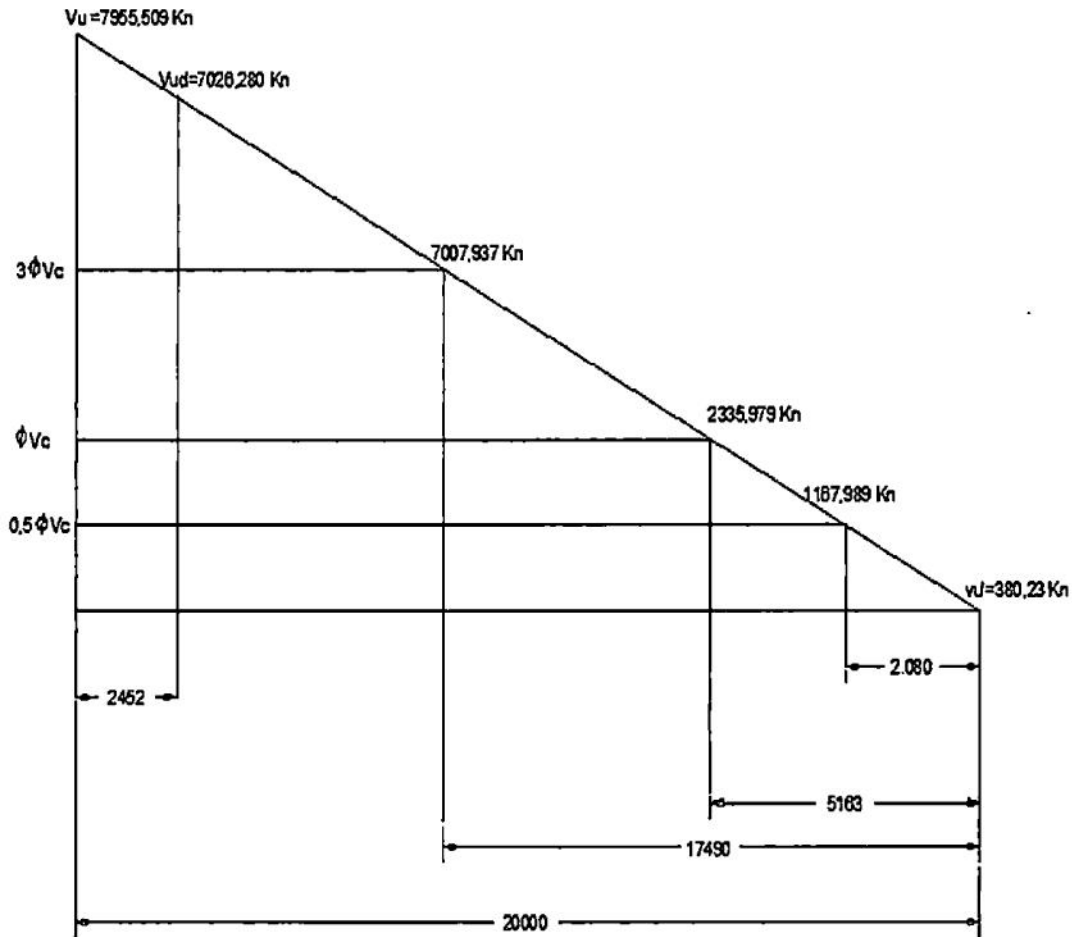
$$X_2 = \frac{2335,979 - 380,23}{7955,509 - 380,23} \cdot \frac{40000}{2} = 5163,49 \text{ mm} \approx 5,163 \text{ m dari tengah}$$

bentang

Titik dimana nilai  $V_u = \frac{1}{2}\phi \cdot V_c = 1167,898 \text{ kN}$

$$X_3 = \frac{1167,898 - 380,23}{7955,509 - 380,23} \cdot \frac{40000}{2} = 2079,81 \text{ mm} \approx 2,08 \text{ dari tengah}$$

bentang



Gambar 5.31 Diagram gaya geser *box girder*

Jumlah kaki sengkang,  $n_t = 4$  buah, digunakan diameter tulangan 16 mm

Luas tulangan geser sengkang,

$$A_v = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot n_t = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 4 = 804,2477 \text{ mm}^2$$

Daerah I:

$$\phi \cdot V_s = V_{ud} - \phi \cdot V_c = 7026,78 - 2335,9788 = 4690,801 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{\phi \cdot V_s}{\phi} = \frac{4690,801}{0,6} = 7818,003 \text{ kN}$$

$$\text{Jarak sengkang, } s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{804,2477 \cdot 390 \cdot 2452}{7818,003 \cdot 10^3} = 98,373 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$$

Dipakai sengkang 4D16-50

**Daerah IIa:**

Bagian dengan lebar daerah 6167,374 mmdengan  $V_u = 7007,936 \text{ kN}$

$$\phi \cdot V_s = V_u - \phi V_c = 7007,936 - 2335,978 = 4671,957 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{\phi V_s}{\phi} = \frac{4671,957}{0,6} = 7786,5961 \text{ kN}$$

$$\text{Jarak sengkang, } s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{804,2477 \cdot 390 \cdot 3452}{7786,5961 \cdot 10^3} = 98,77 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$$

Dipakai sengkang 4D16-90

**Daerah IIb:**

Bagian dengan lebar daerah 6167,374 mmdengan  $V_u = 4671,957 \text{ kN}$

$$\phi \cdot V_s = V_u - \phi V_c = 4671,957 - 2335,978 = 2335,978 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{\phi V_s}{\phi} = \frac{2335,978}{0,6} = 3893,298 \text{ kN}$$

$$\text{Jarak sengkang, } s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{804,2477 \cdot 390 \cdot 3452}{3893,298 \cdot 10^3} = 197,54 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$$

Dipakai sengkang 4D16-190

**Daerah III :**

Daerah tulangan geser minimum:

$$\text{Jarak sengkang, } s = \frac{2 \cdot A_v \cdot f_y}{b_w} = \frac{4 \cdot 804,2477 \cdot 390}{1350} = 464,67 \text{ mm} < 600 \text{ mm}$$

Dipakai sengkang 4D16-400

### C. Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis struktur atas Jembatan Gajah Wong menggunakan *box girder* tipe trapesium dapat diketahui :

1. Jika direncanakan menggunakan I girder memiliki berat total  $W_t = 6349,29$  Kn,MEQ=6220,658 kNm sedang jika menggunakan box girder  $W_t = 8827,566$  Kn,MEQ=4866,196 kNm
2. Kelebihan dan kekurangan menggunakan box girder dan I Girder

Kelebihan		Kekurangan	
<i>I Girder</i>	<i>Box Girder</i>	<i>I Girder</i>	<i>Box Girder</i>
Mampu menahan tekuk dan geseran	Mampu menahan lendutan, gesekan dan torsi	Tidak mampu menahan torsi dan lendutan	Rumit dan Biaya mahal
Mudah dalam pengerjaan dan biaya murah	Memiliki nilai estetika	Tidak memiliki Estetika yang lebih baik	

3. Batas ultimate jembatan box girder  $M_u = 354999,2138$  kNm
4. Penulangan tiang Sandaran direncanakan menggunakan memakai pelat beton ukuran 150 mm, dengan tulangan pokok D13-190 dan tulangan susut mm D10-260 mm.
5. Sistem pelat lantai menggunakan plat satu arah dengan ketebalan 300 mm, tulangnya direncanakan menggunakan tulangan pokok D19-100 mm dan tulangan susut D13-200 mm.
6. *Box girder* pada perancangan struktur baloknya menggunakan balok prategang *full-prestress* pasca tarik dengan penampang *box* trapesium dengan tinggi 2,5 m . Baja prategang menggunakan Untaian kawat (*strand*) untuk sistem prategang menggunakan *strand* 7 kawat yang sesuai dengan spesifikasi ASTM A-416 dan angkur yang digunakan yaitu angkur tegangan *VSL tipe E-*

43 dengan jumlah tendon 28 buah. Pemeriksaan tegangan beton pada saat transfer pada serat atas dari perhitungan didapatkan  $f_t = -2,037 \text{ MPa}$  lebih kecil dari tegangan yang diijinkan  $f_{ci} = -24 \text{ MPa}$  dan pada serat bawah didapatkan  $f_b = -23,54$  lebih kecil dari tegangan yang diijinkan  $f_{ci} = -24 \text{ MPa}$  maka tegangan beton pada saat transfer dinyatakan aman. Kemudian untuk tegangan beton yang terjadi pada saat layan yang terjadi pada serat atas  $f_t = -12,597 \text{ MPa}$  lebih kecil dari tegangan yang diijinkan  $f_{cs} = -22,5 \text{ MPa}$  dan pada serat bawah  $f_b = -2,527 \text{ MPa}$  lebih kecil dari tegangan yang diijinkan  $f_{cs} = -22,5 \text{ MPa}$ , maka struktur beton prategang dinyatakan