

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Tinjauan Umum

Pada Tugas Akhir ini akan didesain ulang *flyover* jombor dengan menggunakan konstruksi tipe *Prestress Concrete I Girder* struktur *Simple Beam*. Perencanaan *flyover* ini hanya mencakup perencanaan struktur *flyover*. Agar perencanaan dapat dilaksanakan, maka analisis berdasarkan data yang diperlukan sesuai dengan struktur yang direncanakan.

B. Data Teknis Jembatan

Perencanaan *flyover* direncanakan menggunakan struktur balok prategang paskatarik penampang *Prestress Concrete I Girder* dengan data sebagai berikut:

- | | | |
|---|-------|------------|
| 1. Panjang gelagar PCI <i>girder</i> , | L_l | = 50 m |
| 2. Tebal slab lantai jembatan, | t_s | = 0,35 m |
| 3. Tebal lapisan aspal + <i>overlay</i> , | t_a | = 0,2 m |
| 4. Lebar total jembatan, | b | = 9,0 m |
| 5. Lebar jalur lalu lintas, | b_l | = 7,00 m |
| 6. Lebar trotoar, | b_2 | = 1,00 m |
| 7. Mutu beton K-500, | f_c | = 41,5 MPa |

C. Perhitungan Struktur Atas

Perencanaan dan perhitungan struktur atas jembatan meliputi perhitungan tiang sandaran (*railing*), *slab* lantai, plat injak dan balok *girder* jembatan.

1. Perhitungan Tiang sandaran (*Railing*)

Sandaran merupakan suatu konstruksi pengaman bagi pemakai jembatan, sandaran ini direncanakan dari dari beton bertulang. Adapun data tiang sandaran adalah sebagai berikut :

a) Beban *Railing*

- | | | |
|------------------------------------|----------|-------------|
| Jarak antar tiang <i>railing</i> , | L | = 2 m |
| | γ | = 0,75 kN/m |

Gaya horizontal pada tiang railing (H)

$$H = H_2 \times L = 0.75 \times 2 = 1.5 \text{ kN}$$

Lengan terhadap sisi bawah tiang sandaran, $y = 0.8 \text{ m}$

Momen pada tiang (M_{TP})

$$M_{TP} = H \times y = 1.5 \times 0.8 = 1.2 \text{ kNm}$$

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

Momen ultimit rencana (M_U)

$$M_U = K_{TP} \times M_{TP} = 2 \times 1.2 = 2.4 \text{ kNm}$$

Gaya geser ultimit rencana (V_U)

$$V_U = K_{TP} \times H = 2 \times 1.5 = 3 \text{ kN}$$

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 (β_1) = 0,85 $\rightarrow f'_c = 30 \text{ MPa}$

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

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

Lebar tiang railing, $d = 150 \text{ mm}$

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

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

Rasio tulangan berimbang,

$$\begin{aligned} \rho_b &= \beta_1 \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot f_y \cdot 600 / (600 + f_y) \\ &= 0,85 \cdot 0,85 \cdot 24,9 \cdot 240 \cdot 600 / (600 + 240) = 0,05354 \end{aligned}$$

Rasio tulangan maksimum,

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

Rasio tulangan minimum,

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

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{240}{0,85 \cdot 24,9} = 9,1765$$

Momen nominal rencana,

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{3,45}{0,8} = 3,0 \text{ kNm}$$

Faktor tahanan momen,

$$R_n = \frac{M_n \cdot 10^6}{b \cdot d^2} = \frac{4,3125 \cdot 10^6}{1000 \cdot 115^2} = 1,51229$$

Faktor tahanan momen maksimum,

$$\begin{aligned} R_{\max} &= \rho_{\max} \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \rho_{\max} \cdot m\right) \\ &= 0,034178 \cdot 390 \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot 0,034178 \cdot 9,1765\right) \\ &= 11,2392 \end{aligned}$$

Syarat: $R_n < R_{\max}$

OK

Rasio tulangan yang dibutuhkan

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \cdot f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c}}\right) = \frac{0,85 \cdot 24,9}{240} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 0,32609}{0,85 \cdot 24,9}}\right) = 0,00654$$

Rasio tulangan yang digunakan, $\rho = 0,00654$

1) Tulangan Pokok

Luas tulangan pokok,

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,00654 \cdot 150 \cdot 115 = 112,88 \text{ mm}^2$$

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

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

jumlah tulangan diperlukan

$$n = A_s / (\pi/4 \cdot D^2) = 112,88 / (3,14/4 \cdot 13^2) = 0,850$$

jadi digunakan tulangan pokok **2 D 13 – 190**

2) Kontrol Geser

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

Gaya geser yang mampu ditahan beton,

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d = \frac{1}{6} \sqrt{24,9} \cdot 150 \cdot 115 = 112,462 \text{ N}$$

$$\phi.V_c = 0,6.14346.2 = 8607.73 \text{ N}$$

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

Digunakan sengkang berpenampang $2 \phi 6$

$$A_v = \pi/4. \phi^2.2 = 3,14/4.6^2.2 = 56,55 \text{ mm}^2$$

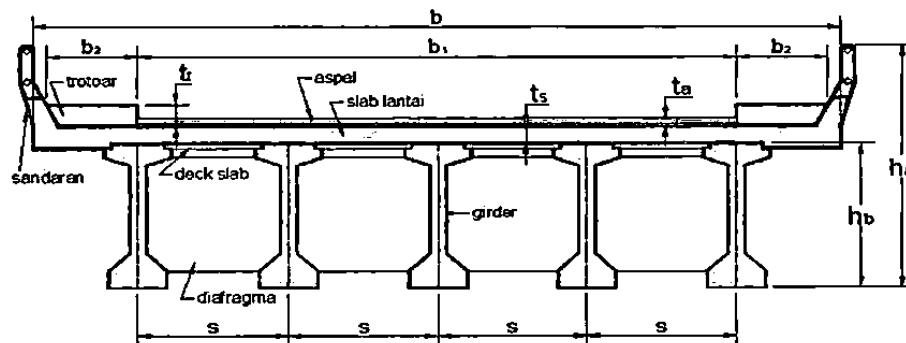
Jarak tulangan geser (sengkang) yang diperlukan,

$$S = A_v.f_y.d/V_s = 56,55.240.115/-9346 = -167$$

Jadi digunakan sengkang $2 \phi 6 - 150$

2. Perhitungan Plat Lantai (Slab) Flyover

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 5.1 Tampang Melintang Slab flyover (sumber : Ilham 2010)

a) Pembebanan Pada Lantai Jembatan

1) Berat Sendiri (MS)

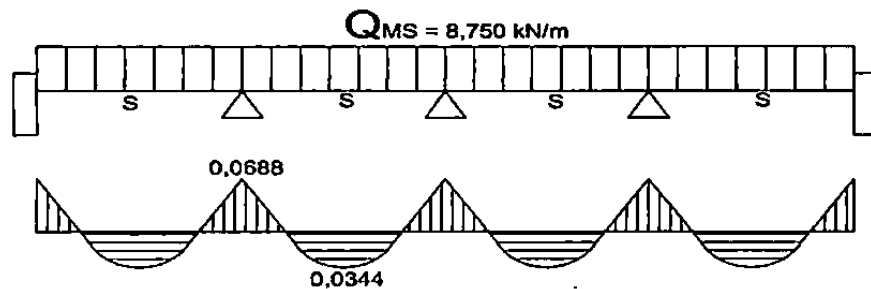
Faktor beban *ultimate* : $K_{MS} = 1,3$

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

Tebal *slab* lantai jembatan, $h = 0,35 \text{ m}$

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

Berat sendiri *slab* $Q_{slab} = b h w_c$



Gambar 5.2 Beban Berat Sendiri (*Hasil dari SAP2000*)

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

$$M_{MS} \text{ Tumpuan } M = k \cdot Q_{MS} \cdot S^2 = -0,0688 \cdot 8,75 \cdot 1,75 = 1,844 \text{ kNm}$$

$$M_{MS} \text{ Lapangan } M = k \cdot Q_{MS} \cdot S^2 = 0,0344 \cdot 8,75 \cdot 1,75 = 0,922 \text{ kNm}$$

Momen *ultimate* rencana (M_u)

$$\begin{aligned} M_u \text{ Tumpuan} &= K_{MS} \cdot M_{MS} \text{ Tumpuan} \\ &= 1,3 \cdot 1,844 \\ &= 2,397 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u \text{ Lapangan} &= K_{MS} \cdot M_{MS} \text{ Lapangan} \\ &= 1,3 \cdot 0,922 \\ &= 1,198 \text{ kNm} \end{aligned}$$

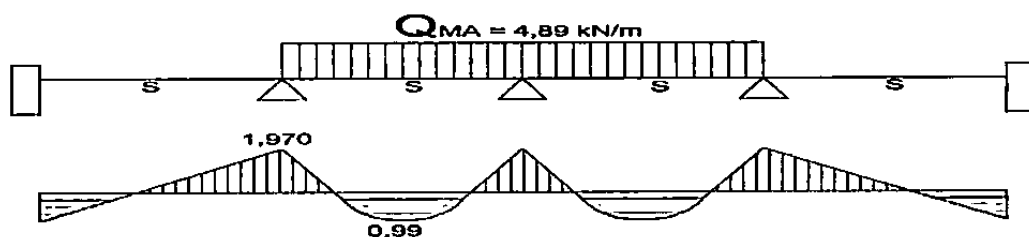
2) Beban Mati Tambahan (MA)

Faktor beban *ultimate* : $K_{MA} = 2,0$

$$\text{Lapisan aspal} = 0,2 \text{ m} \cdot 22 \text{ kN/m}^3 = 4,4 \text{ kN/m}$$

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

$$\text{Beban mati tambahan, } Q_{MA} = 4,89 \text{ kN/m}$$



Gambar 5.3 Beban Berat Mati Tambahan (*Hasil dari SAP2000*)

Momen maksimum akibat beban mati tambahan (M_{MA}) dengan asumsi

ketiga tumpuan jepit diperoleh momen tumpuan dan lapangan sebesar :

$$M_{MA} \text{ Tumpuan } M = k \cdot Q_{MA} \cdot S^2 = 1,97 \cdot 1,89 \cdot 1,75 = 29,502 \text{ kNm}$$

$$M_{MA} \text{ Lapangan } M = k \cdot Q_{MA} \cdot S^2 = 0,0517 \cdot 4,89 \cdot 1,75 = 14,826 \text{ kNm}$$

Momen *ultimate* rencana (M_u)

$$\begin{aligned} M_u \text{ Tumpuan} &= K_{MA} \cdot M_{MA} \text{ Tumpuan} \\ &= 2 \cdot 29,502 \\ &= 59,004 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u \text{ Lapangan} &= K_{MA} \cdot M_{MA} \text{ Lapangan} \\ &= 2 \cdot 14,826 \\ &= 29,652 \text{ kNm} \end{aligned}$$

3) Beban Hidup Truk "T" (TT)

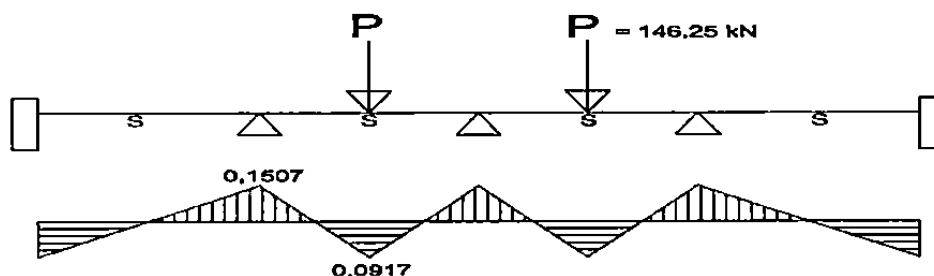
Beban hidup pada *slab* jembatan berupa roda ganda oleh Truk (beban T) yang besarnya beban hidup $T = 112,5 \text{ kN}$

Faktor beban *ultimate* : $K_{TT} = 1,8$

Faktor beban dinamis untuk pembebanan Truk diambil DLA (berdasarkan RSNI T-02-2005). Karena bentang jembatan $L = 50 \text{ m}$, maka :

$$\text{DLA} = 0,3$$

$$\begin{aligned} \text{Beban Truk, PTT} &= (1 + \text{DLA}) \cdot T \\ &= (1 + 0,3) \cdot 112,5 \\ &= 146,25 \text{ kN} \end{aligned}$$



Gambar 5.4 Beban Berat Hidup Truk (*Hasil dari SAP2000*)

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

$$M_{TT} \text{ Tumpuan } M = k \cdot P_{TT} \cdot S = -0,1507 \cdot 146,25 \cdot 1,75 = 38,570 \text{ kNm}$$

$$M_{TT} \text{ Lapangan } M = k \cdot P_{TT} \cdot S = -0,0917 \cdot 146,25 \cdot 1,75 = 23,469 \text{ kNm}$$

Momen *ultimate* rencana (M_u)

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

$$\begin{aligned}
 &= 1,8 \cdot 38,570 \\
 &= 69,426 \text{ kNm} \\
 M_u \text{ Lapangan} &= K_{TT} \cdot M_{TT} \text{ Lapangan} \\
 &= 1,8 \cdot 23,469 \\
 &= 42,24 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

4) Beban Angin (EW)

Beban angin yang bekerja pada struktur atas diperhitungkan dengan rumus

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

$$C_w = \text{Koefisien Seret} = 1,20 \quad (\text{Sumber : RSNI T-02-2005})$$

$$V_w = \text{Kecepatan Angin Rencana} = 30 \text{ m/dt} \quad (\text{Sumber: RSNI T-02-2005})$$

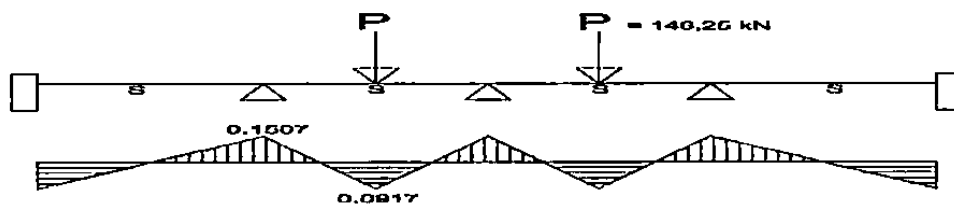
$$\begin{aligned}
 T_{EW} &= 0,0012 \cdot 1,20 \cdot (30)^2 \\
 &= 1,296 \text{ Kn/m}
 \end{aligned}$$

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

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 $x = 1,75$.

Transfer beban angin ke lantai jembatan :

$$P_{EW} = 0,5 \cdot h/x \cdot T_{EW} = 0,5 \cdot 2/1,75 \cdot 1,296 = 0,741 \text{ Kn}$$



Gambar 5.5 Beban Angin (Hasil dari SAP2000)

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

$$M_{EW} \text{ Tumpuan } M = k \cdot P_{EW} \cdot S = -0,1507 \cdot 0,741 \cdot 1,75 = 0,195 \text{ kNm}$$

$$M_{EW} \text{ Lapangan } M = k \cdot P_{EW} \cdot S = 0,0917 \cdot 0,741 \cdot 1,75 = 0,119 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,234 \text{ kNm} \\
 M_u \text{ Lapangan} &= K_{FW} \cdot M_{FW} \text{ Lapangan} \\
 &= 1,2 \cdot 0,119 \\
 &= 0,142 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Tabel 5.1 Rekap Momen Pada Lantai Jembatan

No	Jenis Beban	Kode Beban	Momen Tumpuan (kNm)	Momen Lapangan (kNm)
1	Berat sendiri	MS	-1,844	0,922
2	Beban mati tambahan	MA	-29,502	14,826
3	Beban truk "T"	TD	-38,57	23,469
4	Beban angin	TB	-0,195	0.119

Tabel 5.2 Rekap Momen Ultimate Pada Lantai Jembatan

No	Jenis Beban	Kode Beban	Faktor Beban	Momen Tumpuan (kNm)	Momen Lapangan (kNm)
1	Berat sendiri	MS	1.3	2,397	1,198
2	Beban mati tambahan	MA	2	59,004	29,652
3	Beban truk "T"	TD	2	69,426	42,245
4	Beban angin	TB	1.2	0,234	0,143
Total Momen Ultimate Slab			Mu =	131,061	73,238

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 = 131,061 kNm.

3. Penulangan Lantai Jembatan (Slab)

Pada perhitungan penulangan plat lantai Jembatan layang jombor 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 layang jombor

Panjang sisi pendek,	$L_x = 9\text{m} = 9000\text{ mm}$
Panjang sisi panjang,	$L_y = 50\text{ m} = 50000\text{ mm}$
Kuat tekan beton,	$f'_c = 29,05\text{ MPa}$
Tegangan leleh baja,	$f_y = 390\text{ MPa}$
Tebal <i>slab</i> ,	$t_s = 350\text{ mm}$
Diameter tulangan,	$D = 16\text{ mm}$
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton, d'	$= 35\text{ mm}$
Tebal efektif <i>slab</i> ,	$d = 350 - 35 = 315\text{ mm}$
Ditinjau <i>slab</i> selebar 1 m,	$b = 1000\text{ mm}$
Faktor beban distribusi tegangan beton, β_1	$= 0,85$
Faktor reduksi kekuatan lentur, ϕ	$= 0,8$
Momen rencana <i>ultimate</i> ,	$M_u = 131,061\text{ kNm}$

Rasio tulangan berimbang:

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \frac{0,85 \cdot 29,05}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,032616$$

Rasio tulangan maksimum :

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,032616 = 0,0244$$

Rasio tulangan minimum:

$$\rho_{min} = 0,25 \cdot \frac{1,4}{f_y} = 0,25 \cdot \frac{1,4}{390} = 0,00090$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{390}{0,85 \cdot 29,05} = 7,697$$

Faktor tahanan momen maksimum:

$$R_{max} = \rho_{max} \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \rho_{max} \cdot m \right)$$

$$= 0,0244 \cdot 390 \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot 0,0244 \cdot 7,697 \right)$$

Momen nominal rencana:

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{131,061 \cdot 10^3}{0,8} = 163,826 \text{ kNm}$$

Faktor tahanan momen:

$$R_n = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{163,826 \cdot 10^6}{1000 \cdot 315^2} = 1,65$$

Syarat: $R_n < R_{max}$ OK

Rasio tulangan yang dibutuhkan

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c}} \right) = \frac{0,85 \cdot 24,9}{240} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,65}{0,85 \cdot 24,9}} \right) = 0,00439$$

Karena $\rho_{min} = 0,0009 < \rho_{perlu} = 0,00439 < \rho_{max} = 0,0244$

Maka rasio tulangan yang dipakai, $\rho_{perlu} = 0,00439$

a) Tulangan pokok

Luas tulangan pokok:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,00439 \cdot 1000 \cdot 315 = 1381,38 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan pokok D16,

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

Jarak tulangan yang diperlukan:

$$s = \frac{A_d \cdot b}{A_s} = \frac{201,061 \cdot 1000}{1381,38} = 145,551 \text{ mm}$$

Dipakai jarak tulangan = 100 mm < 2 · h = 2 · 350 = 700 mm

Luas tulangan yang diperlukan:

$$\begin{aligned} A_s \text{ pakai} &= \frac{A_d \cdot b}{s} = \frac{201,061 \cdot 1000}{100} \\ &= 2011 \text{ mm}^2 > A_s = 1381,38 \text{ mm}^2 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

Jadi dipakai tulangan pokok **D16 – 100**

b) Tulangan susut

tulangan susut arah memanjang diambil 50% tulangan pokok

$$A_s' = 50\% \cdot 1381,38 = 691$$

Dipakai tulangan susut D13,

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$s = \frac{Ad \cdot 1000}{As} < 2 \cdot h = \frac{132,7323 \cdot 1000}{691} < 2 \cdot 350$$

$$= 367,093 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm} < 700 \text{ mm}$$

Dipakai jarak tulangan = 150 mm < 2 . h = 2 . 350 = 700 mm

Luas tulangan yang diperlukan:

$$As_{pakat} = \frac{Ad \cdot 1000}{s} = \frac{132,7323 \cdot 1000}{150}$$

$$= 884,882 \text{ mm}^2 > As' = 360 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

Jadi dipakai tulangan susut **D13 – 150**

4. Kontrol Lendutan Slab

Mutu beton	f_c'	= 29,05 MPa
Mutu baja	f_y	= 390 MPa
Modulus elastis beton	$E_c 4700 \cdot \sqrt{f_c'}$	= 30277,632 MPa
Modulus elastis baja	E_s	= 2,00E+05 MPa
Tebal slab	h	= 350 mm
Jarak tulangan terhadap sisi luar beton d'		= 35 mm
Tebal efektif slab	$d = h - d'$	= 315 mm
Luas tulangan slab	As	= 2011 mm ²
Panjang bentang slab	$L_x = 1,75 \text{ m}$	= 1750 mm
Ditinjau slab selebar	$b = 1,00 \text{ m}$	= 1000 mm
Beban terpusat	$P = \text{PTT}$	= 146,25 kN
Beban merata	$Q = \text{PMS} + \text{PMA}$	= 13,640 kN/m
Lendutan total yang terjadi (δ_{tot}) harus < $L_x/240 = 7,292 \text{ mm}$		
Inersia brutto penampang plat, I_g	$1/12 \cdot b \cdot h^3$	= 3,57E+09
Modulus keruntuhan lentur beton f_r	$= 0,7 \cdot \sqrt{f_c}$	= 4,509 MPa
Nilai perbandingan modulus elastis n	$= E_s/E_c$	= 7,90
	$n \cdot As$	= 15874,0928 mm ²

Inersia penampang retak yang ditransformasikan ke beton:

$$\begin{aligned} I_{cr} &= 1/3 \cdot b \cdot c^3 + n \cdot A_s \cdot (d - c)^2 \\ &= 1/3 \cdot 1000 \cdot 13,281 \cdot + 6,61 \cdot 2011 \cdot (315 - 13,281)^2 \\ &= 1421688580 \text{ mm}^4 \\ y_t &= h / 2 = 350 / 2 = 175 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen retak :

$$M_{cr} = f_r \cdot I_g / y_t = 4,059 \cdot 3,57E+09 / 175 = 7,70E+07$$

Momen maksimum akibat beban (tanpa faktor beban) :

$$\begin{aligned} M_a &= 1/8 \cdot Q \cdot L_x^2 \cdot + 1/4 \cdot P \cdot L_x \\ &= 1/8 \cdot 13,64 \cdot 1750^2 + 1/4 \cdot 146,25 \cdot 1750 = 69,206 \text{ kNm} \\ &= 6.92E+07 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Inersia efektif untuk perhitungan lendutan :

$$\begin{aligned} I_e &= (M_{cr} / M_a)^3 \cdot I_g + (1 - (M_{cr} / M_a)^3) \cdot I_{cr} \\ &= (7.07E+09/6.92E+07)^3 \cdot 3.57E+09 + (1 - (7.07E+09/6.92E+07)^3) \\ &\quad \cdot 1421688580 \\ &= 4.39E+09 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Lendutan elastis seketika akibat beban mati dan beban hidup :

$$\begin{aligned} \delta_e &= 5/384 \cdot Q \cdot L_x^4 / (E_c \cdot I_e) + 1/48 \cdot P \cdot L_x^3 / (E_c \cdot I_e) \\ &= 5/384 \cdot 10,34 \cdot 1750^4 / (30277,632 \cdot 4.390E+09) + \\ &\quad 1/48 \cdot 130,10,34^3 \cdot / (30277,632 \cdot 4.390E+09) \\ &= 0,162 \text{ mm} \end{aligned}$$

Rasio tulangan slab lantai :

$$\rho = A_s / (b \cdot d) = 2011 / (1000 \cdot 315) = 0,00638$$

Faktor ketergantungan waktu untuk beban mati (jangka waktu > 5 tahun) :

$$\lambda = \zeta / (1 + 50 \cdot \rho) = 2,0 / (1 + 50 \cdot 0,00638) = 1,5161$$

Lendutan jangka panjang akibat rangkakan dan susut :

$$\begin{aligned} \delta_g &= \lambda \cdot 5/384 \cdot Q \cdot L_x^4 / (E_c \cdot I_e) \\ &= 1,5161 \cdot 5/384 \cdot 10,34 \cdot 1750^4 / (30277,632 \cdot 4.390E+09) \end{aligned}$$

Lendutan total pada plat lantai :

$$L_x / 240 = 7,292 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{tot}} = \delta_e + \delta_g = 0,185$$

$$L_x/240 > \delta_{\text{tot}} \quad \text{Aman}$$

5. Kontrol Tegangan Geser Pons

Mutu beton $f_c' = 29,05 \text{ MPa}$

Kuat geser pons yang disyaratkan, $f_v = 0,3 \cdot \sqrt{f_c'} = 1,617 \text{ MPa}$

Faktor reduksi kekuatan geser $\phi = 0,60$

Beban roda truk pada *slab* $P_{TT} = 146,25 \text{ kN} = 146250 \text{ N}$

Tebal slab $h = 0,35 \text{ m}$

Tebal aspal + overlay $t_a = 0,2 \text{ m}$

Titik pusat berat $a = 0,30 \text{ m}$ $b = 0,50 \text{ m}$

$$u = a + 2 \cdot t_a + h = 0,30 + 2 \cdot 0,2 + 0,35 = 1,05 \text{ m} = 1050 \text{ mm}$$

$$v = b + 2 \cdot t_a + h = 0,50 + 2 \cdot 0,2 + 0,35 = 1,25 \text{ m} = 1250 \text{ mm}$$

Tebal efektif plat $d = 315 \text{ mm}$

$$\text{Luas bidang geser } A_v = 2 \cdot (u+h) \cdot d = 2 \cdot (1050 + 0,35) \cdot 315 = 1449000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Gaya geser pons nominal, } P_n = A_v \cdot f_v = 1449000 \cdot 1,933 = 2342948 \text{ N}$$

$$\phi \cdot P_n = 0,60 \cdot 2342948 = 1405769 \text{ N}$$

Faktor beba ultimit $K_{TT} = 1,8$

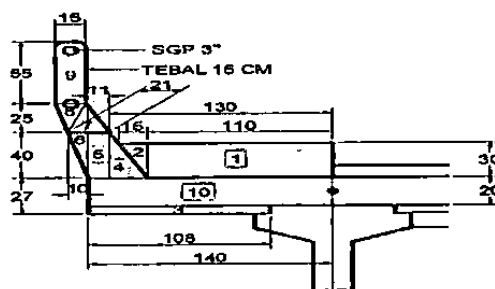
Beban ultimit roda truk pada slab $P_u = K_{TT} \cdot P_{TT} = 292500 \text{ N}$

Syarat $P_u < \phi \cdot P_n$ Aman OK

6. Perhitungan Slab Trotoar

Jarak antara tiang railing $L = 2,00 \text{ m}$

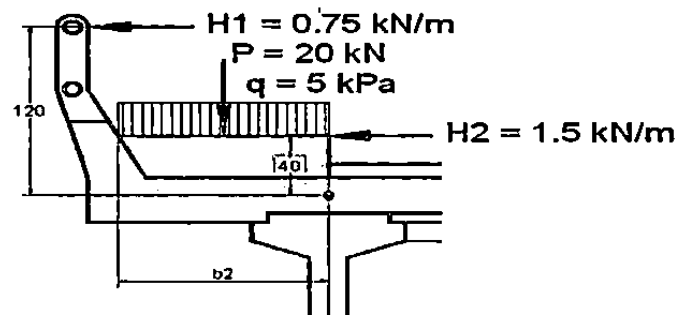
Berat beton bertulang $W_c = 25 \text{ kN/m}^3$



Tabel 5.3 Properties Slab Trotoar

No	b (m)	h (m)	Shape	L (m)	Berat (Kn)	Lengan (m)	Momen (kNm)
1	0,90	0,30	1	2,00	13,500	0,450	6,075
2	0,10	0,30	0,5	2,00	0,750	1,247	0,935
3	0,83	0,07	0,5	2,00	1,453	0,277	0,402
4	0,15	0,40	0,5	2,00	1,500	1,233	1,850
5	0,10	0,40	1	2,00	2,000	1,345	2,690
6	0,10	0,40	0,5	2,00	1,000	1,433	1,433
7	0,20	0,25	0,5	0,15	0,094	1,405	0,132
8	0,15	0,25	0,5	1,15	0,070	1,375	0,097
9	0,15	0,55	1	1,15	0,309	1,475	0,456
10	1,15	0,20	1	2,00	11,500	0,575	6,613
11	SGP 3" dengan berat/m =		0,63	4	2,52	1,330	3,352
Total					34,696		24,034
Berat sendiri trotoar per m lebar				P_{MS}	17,348	M_{MS}	12,017

a) Beban Hidup Pada Pedestrian



Gambar 5.7 Beban Hidup Pendestrian (sumber : Ilham 2010)

Tabel 5.4 Momen Beban Pendestrian

No	Jenis Beban	Gaya (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)
1	Beban horizontal pada railing (H_1)	0,75	1,20	0,90
2	Beban horizontal pada kerb (H_2)	1,50	0,40	0,60
3	Beban vertical terpusat (P)	20,00	0,50	10,00
4	Beban vertical merata = $q \cdot b_2$	5,00	0,50	2,50
Momen akibat beban hidup pada pedestrian : M_{TP}				14,00

b) Momen Ultimit Rencana Slab Trotoar

faktor beban ultimit untuk berat sendiri pedestrian $K_{MS} = 1,3$ Faktor beban ultimit untuk beban hidup pedestrian $K_{TP} = 2,0$

Momen akibat berat sendiri pedestrian

 $M_{MS} = 12,017$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen akibat beban hidup pedestrian} & \quad M_{TP} = 14,00 \\
 \text{Momen ultimit rencana slab trotoar } M_u &= K_{MS} \cdot M_{MS} + K_{TP} \cdot M_{TP} \\
 &= 1,3 \cdot 12,017 + 2,0 \cdot 14,00 \\
 &= 43,622 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

7. Penulangan Lantai Trotoar (Slab)

$$\begin{aligned}
 \text{Kuat tekan beton,} & \quad f'_c = 29,05 \text{ MPa} \\
 \text{Tegangan leleh baja,} & \quad f_y = 390 \text{ MPa} \\
 \text{Tebal slab,} & \quad h = 200 \text{ mm} \\
 \text{Jarak tulangan terhadap sisi luar beton, } d' &= 30 \text{ mm} \\
 \text{Tebal efektif slab,} & \quad d = h - d' = 170 \text{ mm} \\
 \text{Ditinjau slab selebar 1 m,} & \quad b = 1000 \text{ mm} \\
 \text{Faktor beban distribusi tegangan beton, } \beta_1 &= 0,85 \\
 \text{Faktor reduksi kekuatan lentur, } \phi &= 0,8 \\
 \text{Faktor reduksi kekuatan geser, } \phi &= 0,6 \\
 \text{Momen rencana ultimate,} & \quad M_u = 43,622 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Rasio tulangan berimbang:

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = 0,85 \frac{0,85 \cdot 29,05}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,00504$$

Rasio tulangan maksimum :

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,00504 = 0,00378$$

Rasio tulangan minimum:

$$\rho_{min} = \frac{0,5}{f_y} = \frac{0,5}{390} = 0,00128$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} = \frac{390}{0,85 \cdot 29,05} = 15,79$$

Faktor tahanan momen maksimum:

$$\begin{aligned}
 R_{max} &= \rho_{max} \cdot f_y \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \rho_{max} \cdot m \right) \\
 &= 0,00378 \cdot 390 \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot 0,00378 \cdot 15,79 \right)
 \end{aligned}$$

$$= 7,697$$

Momen nominal rencana:

$$M_n = \frac{Mu}{\phi} = \frac{69,783 \cdot 10^3}{0,8} = 54,528 \text{ kNm}$$

Faktor tahanan momen:

$$R_n = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{87,299 \cdot 10^6}{1000 \cdot 315^2} = 1,88677$$

Syarat: $R_n < R_{max}$

OK

Rasio tulangan yang dibutuhkan

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \cdot f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot R_n}{0,85 \cdot f_c}} \right) = \frac{0,85 \cdot 24,9}{240} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,88677}{0,85 \cdot 24,9}} \right) = 0,00504$$

Maka rasio tulangan yang dipakai, $\rho_{perlu} = 0,00504$

a) Tulangan pokok

Luas tulangan pokok:

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,00504 \cdot 1000 \cdot 170 = 856,52 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan pokok D16,

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

Jarak tulangan yang diperlukan:

$$s = \frac{A_d \cdot b}{A_s} = \frac{201,061 \cdot 1000}{856,69} = 234,695 \text{ mm}$$

Dipakai jarak tulangan = 100 mm < 2 . h = 2 . 200 = 400 mm

Luas tulangan yang diperlukan:

$$A_s \text{ pakai} = \frac{A_d \cdot b}{s} = \frac{201,061 \cdot 1000}{100}$$

$$= 2011 \text{ mm}^2 > A_s = 856,52 \text{ mm}^2$$

OK

Jadi dipakai tulangan pokok **D16 – 100**

b) Tulangan longitudinal

Tulangan Longitudinal diambil 30% tulangan pokok

$$A_s' = 30\% \cdot 856,52 = 256,96 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan susut D13,

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

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$s = \frac{A_d \cdot 1000}{A_s} < 2 \cdot h = \frac{132,7323 \cdot 1000}{256,96} < 2 \cdot 200$$

$$= 523,169 \text{ mm} \approx 150 \text{ mm} < 400 \text{ mm}$$

Dipakai jarak tulangan = 150 mm < 2 · h = 2 · 200 = 400 mm

Luas tulangan yang diperlukan:

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{A_d \cdot 1000}{s} = \frac{132,7323 \cdot 1000}{150}$$

$$= 885 \text{ mm}^2 > A_s' = 256,96 \text{ mm}^2 \quad \text{OK}$$

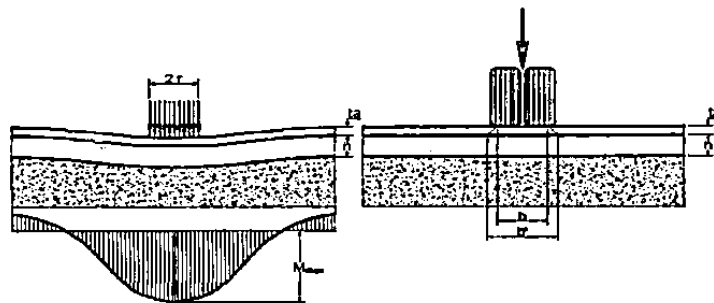
Jadi dipakai tulangan susut **D13 – 150**

8. Perhitungan Plat Injak Jembatan

Perencanaan plat injak jembatan dibagi menjadi dua, yaitu perencanaan arah melintang dan arah memanjang jembatan.

a) Perhitungan Plat Injak Arah Melintang Jembatan

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



Gambar 5.8 Plat Injak Arah Melintang Jembatan (sumber : Ilham 2010)

1) Beban truk "T"

Faktor beban *ultimate* (KTT) = 1,8

Dalam hidup pada plat injak hanya beban pada ujung oleh truk (beban T)

$$\begin{aligned}
 \text{Beban truk "T" } (T_{TT}) &= (1 + DLA) \times T \\
 &= (1 + 0,30) \times 112,5 \\
 &= 146,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2) Momen pada plat injak

$$\text{Tebal plat injak } (h) = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{Tebal lapisan aspal } (t_a) = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{Lebar bidang kontak roda truk } (b) = 0,50 \text{ m}$$

$$b' = b + t_a = 0,70 \text{ m}$$

$$\text{Kuat tekan beton } (f'_c) = 41,50 \text{ MPa}$$

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

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

$$\text{Angka poisson } (\nu) = 0,15$$

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

$$\text{Modulus elastis beton } (E_c) = 25332,1 \text{ MPa}$$

$$= 25332084 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Lebar penyebaran beban terpusat } (r) = \frac{b'}{2} = \frac{0,55}{2} = 0,275$$

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \left[\frac{E_c \times h^3}{12 \times (1 - \nu^2) \times k_s} \right]^{0,25} \\
 &= \left[\frac{25332084 \times 0,2^3}{12 \times (1 - 0,15^2) \times 81500} \right]^{0,25} \\
 &= 0,67854 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{max} &= \frac{T_{TT}}{2} \times \left[1 - \left(r \times \sqrt{\frac{2}{\lambda}} \right)^{0,6} \right] \\
 &= \frac{146,25}{2} \times \left[1 - \left(0,275 \times \sqrt{\frac{2}{0,67854}} \right)^{0,6} \right] \\
 &= 9,699 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

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

$$= 1,8 \times 9,699$$

$$= 17,459 \text{ kNm}$$

3) Penulangan plat injak arah melintang jembatan

$$\text{Momen rencana } \textit{ultimate} = 17,459 \text{ kNm}$$

$$\text{Kuat tekan beton rencana } (f'c) = 29,05 \text{ MPa}$$

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

$$\text{Tebal plat injak } (h) = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak tulangan ke sisi luar beton } (d') = 30 \text{ mm}$$

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

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

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

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

$$\text{Tebal efektif plat injak } (d) = h - d' = 200 - 30 = 170 \text{ mm}$$

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

Rasio tulangan berimbang :

$$\rho_b = \beta_1 \frac{0,85 f'c}{fy} \left(\frac{600}{600 + fy} \right) = 0,85 \frac{0,85 \cdot 50}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right) = 0,032616$$

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

$$= 0,75 \times 0,046595 \times 390 \times \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,046595 \times 390}{0,85 \times 41,5} \right)$$

$$= 7,697$$

Momen nominal rencana :

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{17,459}{0,8} = 21,823 \text{ kNm}$$

Faktor tahanan momen

$$R_n = \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} = \frac{21,823 \times 10^6}{1000 \times 170^2} = 0,75513$$

$$R_n < R_{max}$$

OK

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$0,85 \times f'c \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times R_n}{f'c}} \right]$$

$$= \frac{0,85 \times 29,05}{390} \times \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 0,755}{0,85 \times 29,05} \right)} \right]$$

$$= 0,00197$$

$$\rho_{min} = \frac{0,5}{f_y} = \frac{0,5}{390} = 0,00128$$

Maka rasio tulangan yang dipakai, $\rho_{perlu} = 0,00197$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,00197 \times 1000 \times 170 = 334,35 \text{ mm}^2$$

Digunakan diameter tulangan $\emptyset 13 \text{ mm}$

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$S = \frac{\frac{\pi}{4} \times \emptyset^2 \times b}{A_s} = \frac{\frac{\pi}{4} \times 13^2 \times 1000}{330,16} = 398,982 \text{ mm}$$

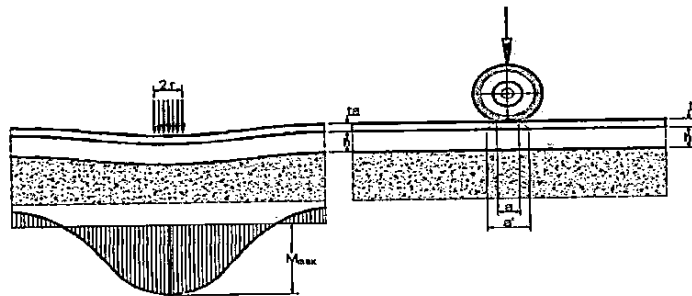
$$S_{pakai} = 150 \text{ mm}$$

Maka tulangan yang digunakan = D13 – 150

$$A_s = \frac{\frac{\pi}{4} \times \emptyset^2 \times b}{s} = \frac{\frac{\pi}{4} \times 13^2 \times 1000}{150} = 885 \text{ mm}^2 > 581,94 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

b) Perhitungan Plat Injak Arah Memanjang Jembatan

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



Gambar 5.9 Plat Injak Arah Memanjang Jembatan (sumber: Ilham 2010)

1) Beban truk "T"

$$\text{Faktor beban ultimate } (K_{TT}) = 1,8$$

Beban hidup pada plat injak berupa beban roda ganda oleh truk (beban T) yang besarnya, T = 146,25 kN

Faktor beban dinamis (DLA) = 0,30

$$\begin{aligned} \text{Beban truk "T" } (T_{TT}) &= (1 + DLA) \times T \\ &= (1 + 0,30) \times 112,5 \\ &= 146,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

2) Momen pada plat injak

Tebal plat injak (h) = 0,20 m

Tebal lapisan aspal (ta) = 0,20 m

Lebar bidang kontak roda truk (a) = 0,3 m

b' = a + ta = 0,5 m

Kuat tekan beton (f'c) = 41,50 MPa

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

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

Angka poisson (ν) = 0,15

Standard modulus of soil reaction (ks) = 81500 kN/m³

Modulus elastis beton (Ec) = 25332,1 MPa

$$= 25332084 \text{ kN/m}^2$$

Lebar penyebaran beban terpusat (r) = $\frac{b'}{2} = \frac{0,5}{2} = 0,25$

$$\begin{aligned} \lambda &= \left[\frac{Ec \times h^3}{12 \times (1 - \nu^2) \times ks} \right]^{0,25} \\ &= \left[\frac{25332084 \times 0,20^3}{12 \times (1 - 0,15^2) \times 81500} \right]^{0,25} \\ &= 0,67864 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{max} &= \frac{T_{TT}}{2} \times \left[1 - \left(r \times \sqrt{\frac{2}{\lambda}} \right)^{0,6} \right] \\ &= \frac{146,25}{2} \times \left[1 - \left(0,175 \times \sqrt{\frac{2}{0,70948}} \right)^{0,6} \right] \\ &= 18,209 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Momen ultimit plt injak arah melintang jembatan

$$M_u = 1,4 \times M_{max} = 1,4 \times 18,209 = 25,493 \text{ kNm}$$

3) Penulangan plat injak arah melintang jembatan

Kuat tekan beton	= 29,05 MPa
Tegangan leleh baja (f_y)	= 390 MPa
Tebal plat injak (h)	= 200 mm
Jarak tulangan ke sisi luar beton (d')	= 30 mm
Modulus elastis baja (E_s)	= 200000 MPa
Faktor distribusi teg. beton (β_1)	= 0,85
Faktor reduksi kekuatan lentur (Φ)	= 0,8
Faktor reduksi kekuatan geser (Φ)	= 0,6
Tebal efektif plat injak (d)	= $h - d' = 200 - 30 = 170$ mm
Ditinjau slab beton selebar 1 m (b)	= 1000 mm

Rasio tulangan berimbang :

$$\rho_b = \frac{0,85 \times f_c \times \beta_1}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) = \frac{0,85 \times 41,5 \times 0,85}{390} \left(\frac{600}{600 + 390} \right)$$

$$= 0,032616$$

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

$$= 0,75 \times 0,046595 \times 390 \times \left(1 - \frac{\frac{1}{2} \times 0,75 \times 0,046595 \times 390}{0,85 \times 41,5} \right)$$

$$= 7,697$$

Momen nominal rencana

$$M_n = \frac{Mu}{\Phi} = \frac{32,77}{0,8} = 40,971 \text{ kN}$$

Faktor tahanan momen

$$R_n = \frac{M_n \times 10^6}{b \times d^2} = \frac{40,971 \times 10^6}{1000 \times 170^2} = 1,417$$

$R_n < R_{max}$

OK

Rasio tulangan yang diperlukan :

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

$$= \frac{0,85 \times 29,05}{390} \times \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 1,417}{0,85 \times 29,05} \right)} \right]$$

$$= 0,00375$$

$$\rho_{min} = \frac{0,5}{f_y} = \frac{0,5}{390} = 0,00128$$

Maka rasio tulangan yang dipakai, $\rho_{perlu} = 0,00375$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,00375 \times 1000 \times 170 = 636,80 \text{ mm}^2$$

Digunakan diameter tulangan \emptyset 16 mm

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$S = \frac{\frac{\pi}{4} \times \emptyset^2 \times b}{A_s} = \frac{\frac{\pi}{4} \times 16^2 \times 1000}{636,80} = 225,148 \text{ mm}$$

$$S \text{ pakai} = 150 \text{ mm}$$

Maka tulangan yang digunakan = **D16 – 150**

$$A_s = \frac{\frac{\pi}{4} \times \emptyset^2 \times b}{s} = \frac{\frac{\pi}{4} \times 16^2 \times 1000}{150} = 1340 \text{ mm}^2 > 893,02 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

9. Perhitungan Balok prategang

Perhitungan *flyover* jombor direncanakan menggunakan struktur balok prategang paskatarik dikelompokkan dengan data sebagai berikut :

Tipe jembatan : Beton prategang profil PCI *Girder*

Panjang bentang (L) : 50 m

Jarak antara balok prategang(S) : 1,75 m

Tinggi balok prategang (H) : 2,1 m

Berat balok prategang W_{balok} : 960,0 kN

Tebal lantai jembatan (ho) : 0,20 m

Tebal aspal (ha) : 0,05 m

Data berat isi jenis material untuk beban mati :

Beton bertulang W_c = 25 kN/m³

Beton prategang W_c = 25 kN/m³

Beton W_c = 24 kN/m³

Aspal W_{aspal} = 22 kN/m³

Aspal W_{aspal} = 22 kN/m³

a) Tegangan ijin Balok Prategang

Penampang yang digunakan pada balok prategang adalah penampang PCI *Girder*. Penetapan batasan-batasan tegangan ijin:

Mutu beton		: K-500
Kuat tekan beton	f'_c	: 41,5 MPa
Modulus elastic beton	E_c	: 30277,6 MPa
Angka poisson	ν	: 0,15
Modulus geser	G	: 13164,2 MPa
Koefisien muai panjang untuk beton	α	: 100000/ $^{\circ}$ C

Mutu beton K-500 setara dengan kuat tekan beton $f'_c = 41,5$ 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:

$$f'_{ci} = 80\% \cdot f'_c = 0,80 \cdot 41,5 = 33,20 \text{ MPa}$$

Tegangan ijin beton:

1) Saat transfer

$$\text{serat tekan : } f'_{ci} = 0,60 \cdot f'_{ci} = 0,60 \cdot 33,20 = 19,92 \text{ MPa}$$

$$\text{serat tarik : } f_{ti} = 0,25 \cdot \sqrt{f'_{ci}} = 0,50 \cdot \sqrt{33,20} = 1,5811 \text{ MPa}$$

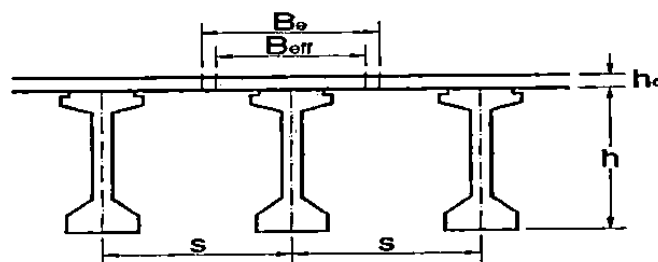
2) Saat layan,

$$\text{serat tekan : } f'_{cs} = 0,45 \cdot f'_c = 0,45 \cdot 41,5 = 18,68 \text{ MPa}$$

$$\text{serat tarik : } f_{ts} = 0,50 \cdot \sqrt{f'_c} = 0,50 \cdot \sqrt{41,5} = 3,22 \text{ MPa}$$

b) Penentuan lebar efektif plat lantai

Lebar efektif plat lantai bisa dilihat pada gambar berikut ini :



$$L/4 = 50/4 = 12,5 \text{ m}$$

$$S = 1,75$$

$$12 \cdot h_o = 12 \cdot 0,2 = 2,4 \text{ m}$$

Diambil lebar efektif plat lantai dari nilai terkecil diatas $B_e = 1,75 \text{ m}$

Kuat tekan beton $f_c' = 41,5 \text{ MPa}$

Modulus elastis plat beton $E_{\text{plat}} = 4700\sqrt{f_c'} = 3.03E+04 \text{ MPa}$

Modulus elastis balok prategang $E_{\text{balok}} = 0,043 \cdot (W_c)^{1,5} \cdot \sqrt{f_c'} = 3.57E+04 \text{ MPa}$

Nilai perbandingan modulus elastis plat dan balok :

$$n = E_{\text{plat}} / E_{\text{balok}} = 3.03E+04 / 3.57E+04 = 0,8488$$

Nilai lebar pengganti beton plat lantai jembatan

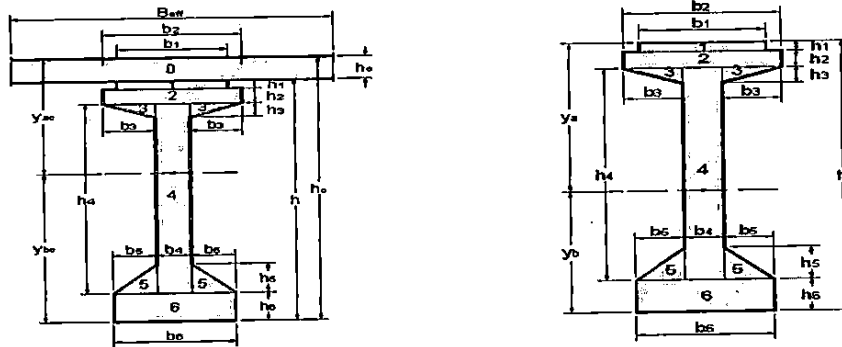
$$B_{\text{eff}} = n \cdot B_e = 0,8488 = 1,49$$

c) Properties penampang PCI Girder

Dengan menggunakan tinggi balok (H) = 2,1 m, maka properties penampang yang didapatkan sesuai dengan gambar dan tabel berikut :

Tabel 5.5 Properties Penampang Balok

No	Dimensi		Luas tampang A (m ²)	Jarak terhadap alas y (m)	Statis momen A.y (m ⁴)	Inersia momen A.y ² (m ⁴)	Inersia momen I _o (m ⁴)
	Lebar b (m)	Tinggi h (m)					
0	1,49	0,20	0,29709	2,20	0,65360	1,43793	0,00099
1	0,64	0,07	0,04480	2,07	0,09251	0,19104	0,00002
2	0,80	0,13	0,10400	1,97	0,20436	0,40157	0,00015
3	0,30	0,12	0,03600	1,86	0,06696	0,12455	0,00003
4	0,20	1,65	0,33000	1,08	0,35475	0,38136	0,07487
5	0,25	0,25	0,06250	0,33	0,02083	0,00694	0,00022
6	0,70	0,25	0,17500	0,13	0,02188	0,00273	0,00091
Total balok prategang			0,75230		0,76129	1,10819	0,07619
Total balok + plat			1,04939		1,41489	2,54610	0,07718



Gambar 5.11 (a) Balok Prategang+Plat (b). Balok Prategang

(sumber : Ilham 2010)

1) Section properties balok prategang

Tinggi balok prategang $H = 2,1$ m

Luas penampang balok prategang $A = 0,75230$ m²

Letak titik berat :

$$y_b = \Sigma A_i y_i / \Sigma A = 0,76129 / 0,75230 = 1,012$$
 m

$$y_a = h / y_b = 2,1 - 1,012 = 1,088$$
 m

Momen inersia terhadap alas balok :

$$I_b = \Sigma A_i y_i^2 + \Sigma I_{oi} = 0,76129 / 0,07619 = 1,18438$$
 m⁴

Momen inersia terhadap titik berat balok :

$$I_x = I_b - (A \cdot y_b^2) = 1,18438 - (0,7523 \cdot 1,012^2) = 0,41399$$
 m⁴

Tahanan momen sisi atas :

$$W_a = I_x / y_a = 0,41399 / 1,088 = 0,38049$$
 m³

Tahanan momen sisi bawah :

$$W_b = I_x / y_b = 0,41399 / 1,012 = 0,40910$$
 m³

2) Section properties balok prategang + plat (komposit)

Tinggi balok prategang + plat $H_c = 2,3$ m

Luas penampang balok prategang $A_c = 1,04939$ m²

Letak titik berat :

$$y_{bc} = \Sigma A_c y_c / \Sigma A_c = 0,141489 / 1,04939 = 1,348$$
 m

$$y_{ac} = h / y_{bc} = 2,3 - 1,348 = 0,952$$
 m

Momen inersia terhadap alas balok :

$$I_{bc} = \Sigma A c . y + \Sigma I_o = 0,141489 / 0,07718 = 2,62328 \text{ m}^4$$

Momen inersia terhadap titik berat balok :

$$I_{xc} = I_{bc} - (A c . y b c^2) = 2,62328 - (1,04939 . 1,348^2) = 0,71559 \text{ m}^4$$

Tahanan momen sisi atas plat :

$$W_{ac} = I_{xc} / y_{ac} = 0,71559 / 0,952 = 0,75191 \text{ m}^3$$

Tahanan momen sisi bawah balok:

$$W_{bc} = I_{xc} / y_{bc} = 0,71559 / 1,348 = 0,53074 \text{ m}^3$$

Tahanan momen sisi atas balok :

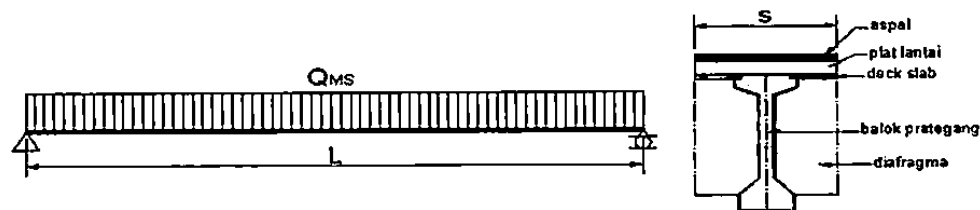
$$W'_{ac} = I_{xc} / (y_{ac} - h_o) = 0,71559 / (0,952 - 0,20) = 0,95196 \text{ m}^3$$

10. 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 structural ditambah dengan elemen non structural yang dipikulnya dan bersifat tetap. Berat sendiri dihitung sebagai berikut :



Gambar 5.12 Berat Sendiri (MS) Pada Balok (*sumber : Ilham 2010*)

1) Berat sendiri balok

Dari perhitungan modulus penampang dengan luas penampang $A = 0,75230 \text{ m}^2$ dan berat beton prategang $w_c = 25,5 \text{ kN/m}^3$, maka diperoleh berat sendiri balok $Q_{ms} = A \cdot w_c = 0,7523 \cdot 25,5 = 19,18 \text{ kN/m}$

Tinggi = 1,55 m

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

Berat diafragma persegi, = 12,0125 kN

Panjang jembatan, $L = 50 \text{ m}$

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

Jarak antar diafragma, $x = 6,25 \text{ m}$

Momen maksimum akibat beban diafragma di tengah bentang:

$$\begin{aligned} M_{\max} &= (0,5 \cdot n \cdot -x^4 - x^3 - x^2 - x^1) \cdot W_{\text{diafragma}} \\ &= (0,5 \cdot 9 \cdot 25 - 18,75 - 12,5 - 6,25) \cdot 12,0125 \\ &= 900,938 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berat diafragma ekuivalen:

$$\begin{aligned} Q_{\text{diafragma}} &= \frac{8 \cdot M_{\max}}{L^2} \\ &= \frac{8 \cdot 900,938}{50^2} = 2,883 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Tabel 5.6 Rekap Berat Sendiri Struktur Atas (Q_{MS})

No	Jenis berat sendiri konstruksi	Lebar b (m)	Tebal h (m)	Luas A (m^2)	Berat satuan W (kN/m)	Beban Q_{MS} (kN/m)
1	Balok prategang					19,184
2	Plat lantai	1,75	0,20	0,350	25,00	8,750
3	Deck slab	1,11	0,70	0,078	25,00	1,943
4	diafragma					2,833
Total						32,759

Momen akibat berat balok :

Momen maksimum di tengah bentang,

$$M_{MS} = \frac{1}{8} \cdot Q_{MS} \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 19,184 \cdot 50^2 = 5994,891 \text{ kNm}$$

Gaya geser maksimum di tumpuan,

$$V_{MS} = \frac{1}{2} \cdot Q_{MS} \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 19,184 \cdot 50 = 479,591 \text{ kN}$$

Momen akibat berat sendiri

Momen maksimum di tengah bentang,

$$M_{MS} = \frac{1}{8} \cdot Q_{MS} \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 32,759 \cdot 50^2 = 10237,234 \text{ kNm}$$

Gaya geser maksimum di tumpuan,

$$V_{MS} = \frac{1}{2} \cdot Q_{MS} \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 32,759 \cdot 50 = 818,979 \text{ kN}$$

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 50 mm untuk pelapisan kembali dikemudian hari (*overlay*)
- 2) Genangan air hujan setinggi 20 mm apabila saluran drainase tidak bekerja dengan baik.

Tabel 5.7 Rekap Beban Mati Tambahan Struktur Atas (Q_{MA})

No	Jenis Beban Mati Tambahan	b (m)	h (m)	A (m ²)	w (kN/m ³)	Q_{MA} (kN/m)
1	Lapisan aspal + overlay	1,75	0.05	0.088	22	1,925
2	Air hujan	1,75	0.025	0.044	9.8	0,429
3	Tiang listrik (LPJ)					0.1
Total berat sendiri					Q_{MA}	2,354

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 5.12. UDL mempunyai intensitas q (kPa) yang besarnya tergantung pada panjang total L yang dibebani dan dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

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

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

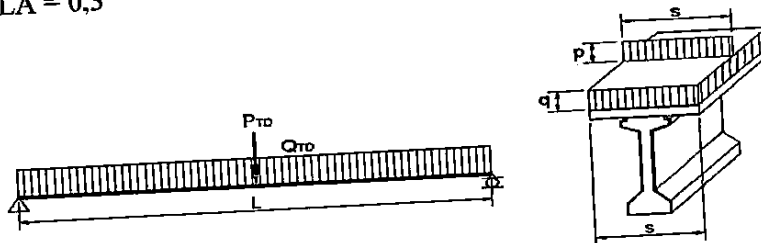
KEL mempunyai intensitas, $p = 49,0 \text{ kN/m}$

Faktor beban dinamis (*Dynamic 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 5.13 Pembebanan Lajur "D" Pada Balok (sumber : Ilham 2010)

Panjang bentang, $L = 50 \text{ m}$

Jarak antara balok prategang, $S = 1,75 \text{ m}$

1) Beban merata (UDL)

$$q = 8,0 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa, untuk } L = 50 \text{ m} > 30 \text{ m}$$

$$= 8,0 \cdot \left(0,5 + \frac{15}{50} \right)$$

$$= 6,40 \text{ kPa}$$

Pembebanan beban lajur D :

Beban merata pada balok (UDL):

$$Q_{TD} = q \cdot s = 6,40 \cdot 1,75 = 11,2 \text{ kN/m}$$

2) Beban Garis (KEL)

Beban garis KEL mempunyai intensitas $p = 49 \text{ kN/m}$

Dari peraturan Perencanaan Jembatan (RSNI T-02-2005), beban dinamis untuk pembebanan truk "T" diambil:

$$DLA = 0,4$$

Beban terpusat pada balok,

$$\begin{aligned} P_{TD} &= (1 + DLA) \cdot p \cdot s \\ &= (1 + 0,40) \cdot 49 \cdot 1,75 = 120,05 \text{ kN} \end{aligned}$$

Momen max akibat beban lajur "D" (T_D)

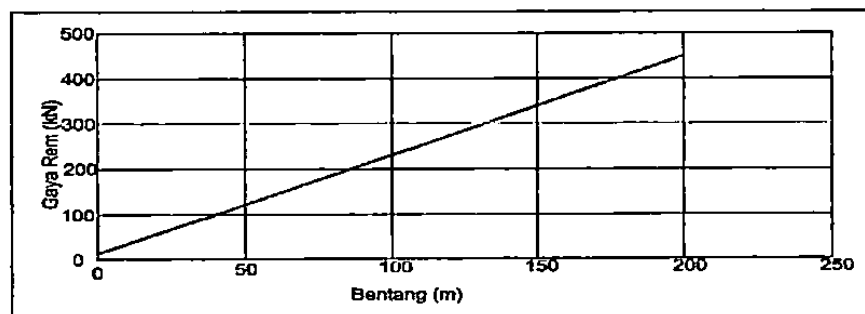
$$\begin{aligned} M_{TD} &= \frac{1}{8} \cdot Q_{TD} \cdot L^2 + \frac{1}{4} \cdot P_{TD} \cdot L \\ &= \frac{1}{8} \cdot 11,2 \cdot 50^2 + \frac{1}{4} \cdot 120,05 \cdot 50 = 5000,625 \text{ kNm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} V_{TD} &= \frac{1}{2} \cdot Q_{TD} \cdot L + \frac{1}{2} \cdot P_{TD} \\ &= \frac{1}{2} \cdot 11,2 \cdot 50 + \frac{1}{2} \cdot 120,05 = 340,025 \text{ kN} \end{aligned}$$

d) 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. Gaya rem dapat ditentukan berdasarkan gambar grafik sebagai berikut :



Gambar 5.14 Gaya Rem per lajur 2,75 m (TB)

(sumber : RSNI T-02-2005)

Berdasarkan gambar grafik di atas Untuk panjang jembatan 50 m

Panjang bentang, $L = 50 \text{ m}$

Jarak antara balok prategang, $S = 1,75 \text{ m}$

Jumlah balok prategang $n = 5$

Untuk bangunan Jembatan, $Ll \leq 80 \text{ m}$, maka diambil:

Gaya rem (H_{TB}) = 250 kN $T_{TB} = H_{TB} / n = 130 / 5 = 26 \text{ kN}$

Gaya rem, $T_{TB} = 5\%$ Beban lajur "D" tanpa faktor beban dinamis,

$$Q_{TD} = q \cdot s = 6,40 \cdot 1,75 = 11,2 \text{ kN/m}$$

$$P_{TD} = p \cdot s = 49 \cdot 1,75 = 85,75 \text{ kN}$$

$$T_{TB} = 0,05 \cdot (Q_{TD} \cdot L + P_{TD}) = 0,05 \cdot (11,2 \cdot 50 + 85,75) = 32,2875 \text{ kN}$$

Syarat $T_{TB} < H_{TB} / n$

OK

Diambil gaya rem 32,29 kN

Momen akibat Beban Rem (T_{TB})

Lengan terhadap titik berat balok

$$y = 1,80 + h_0 + h_a + Y_{ac} = 1,80 + 0,2 + 0,05 + 0,952 = 2,06 \text{ m}$$

Beban momen akibat gaya rem,

$$M = T_{TB} \cdot y = 32,29 \cdot 2,06 = 66,497 \text{ kNm}$$

Momen maksimum pada balok akibat gaya rem,

$$M_{TB} = \frac{1}{2} \cdot M = \frac{1}{2} \cdot 66,497 = 33,248 \text{ kNm}$$

Gaya geser maksimum pada balok akibat gaya rem,

$$V_{TB} = M / L = 66,497 / 50 = 1,330 \text{ kN}$$

e) 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,

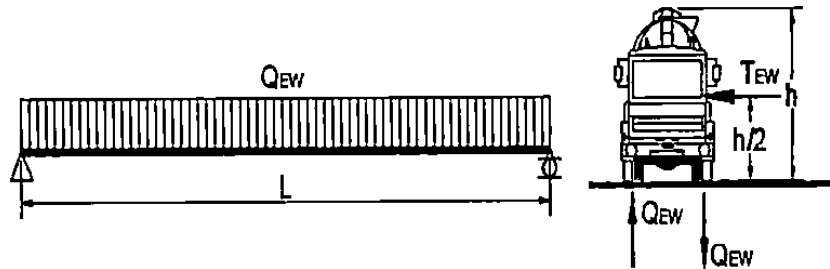
$$C_w = \text{koefisien seret} = 1,20 \quad (\text{Sumber : RSNI T-02-2005})$$

$$V_w = \text{kecepatan angin rencana} = 30 \text{ m/dt} \quad (\text{Sumber : RSNI T-02-2005})$$

$$T_{EW} = 0,0012 \cdot 1,20 \cdot (30)^2 = 1,296 \text{ kN/m}$$

Ridang vertikal yang ditumpu angin merupakan bidang samping

kendaraan dengan tinggi $h = 2,0$ m di atas lantai jembatan, sedangkan jarak antar roda kendaraan $x = 1,75$ m.



Gambar 5.15 Pembebanan Beban Angin (EW) Pada Balok
(sumber : Ilham 2010)

Transfer beban angin ke lantai jembatan,

$$\begin{aligned} Q_{EW} &= \left[0,5 \cdot \frac{h}{x} \cdot T_{EW} \right] \cdot 2 \\ &= \left[0,5 \cdot \frac{2,0}{1,75} \cdot 1,296 \right] \cdot 2 \\ &= 0,741 \text{ kN} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} M_{EW} &= \frac{1}{8} \cdot Q_{EW} \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot 0,741 \cdot 50^2 = 231,429 \text{ kNm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} V_{EW} &= \frac{1}{2} \cdot Q_{EW} \cdot L \\ &= \frac{1}{2} \cdot 0,741 \cdot 50 = 18,514 \text{ kN} \end{aligned}$$

f) Beban Gempa (EQ)

Gaya gempa vertical pada balok dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

W = Berat total = 14.000 kg, K_v = koefisien gempa, I = faktor penting dan beban mati

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

Berat sendiri, $Q_{MS} = 32,759 \text{ kN/m}$

Beban mati tambahan, $Q_{MA} = 2,354 \text{ kN/m}$

Panjang bentang, $L = 50 \text{ m}$

$$W_t = (Q_{MS} + Q_{MA}) \cdot L = 1755,65 \text{ kN}$$

Momen inersia balok prategang, $I_{xc} = 0,716 \text{ m}^4$

Modulus elastik beton, $E_c = 35669,73 \text{ MPa} = 35669973 \text{ kPa}$

Kekakuan balok, $K_p = 48 \cdot E_c \cdot I_x / L^3$
 $= 48 \cdot 35669973 \cdot 0,716 / 50^3$
 $= 9802 \text{ kN/m}$

Waktu getar struktur, $T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{W_t}{g \cdot K_p}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{1755,65}{9,81 \cdot 9802}}$
 $= 0,8490 \text{ detik}$

Untuk lokasi wilayah gempa 6 (Yogyakarta) di atas tanah lunak, dari grafik diperoleh,

Nilai koefisien geser dasar, $C = 0,07$

Faktor kepentingan bangunan, $I = 1$

Jumlah sendi plastis, $n = 1$

Faktor perangkaan, $F = 1,25 - 0,025 \cdot n > 1$
 $= 1,25 - 0,025 \cdot 1 = 1,225 > 1$

Faktor tipe struktur, $S = 1,3 \cdot F$
 $= 1,3 \cdot 1,225 = 1,5925$

Koefisien beban gempa horisontal, $K_h = C \cdot S$
 $= 0,07 \cdot 1,5925 = 0,111475$

Koefisien beban gempa vertikal, $K_v = 50\% \cdot K_h$
 $= 50\% \cdot 0,111475 = 0,0557 > 0,10$

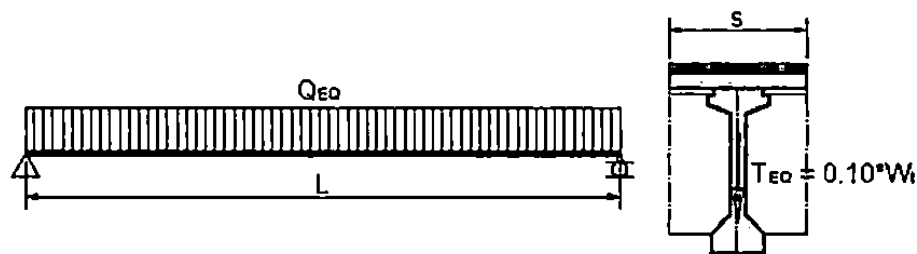
Diambil $= 0,10$

Gaya gempa vertikal, $T_{EQ} = K_v \cdot W_t$
 $= 0,10 \cdot 1755,65$
 $= 175,5645 \text{ kN}$

Beban gempa vertikal $Q_{EQ} = T_{EQ} / L$

$$= 175,5645/50$$

$$= 3,511 \text{ kN/m}$$



Gambar 5.16 Pembebanan Beban Gempa (EQ) Pada Balok

(sumber : Ilham 2010)

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

$$\begin{aligned} M_{EQ} &= \frac{1}{8} \cdot Q_{EQ} \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{8} \cdot 3,511 \cdot 50^2 = 1097,279 \text{ kNm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} V_{EQ} &= \frac{1}{2} \cdot Q_{EQ} \cdot L \\ &= \frac{1}{2} \cdot 3,511 \cdot 50 = 87,782 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tabel 5.8 Rekap Pembebanan Balok Prategang

No	Jenis Beban	Q (kN/m)	P (kN)	M (kNm)	Keterangan
1	Berat sendiri balok (bs)	19,184	-	-	Beban merata, Q_{bs}
2	Berat sendiri (MS)	32,759	-	-	Beban merata, Q_{MS}
3	Beban mati tambahan (MA)	8,129	-	-	Beban merata, Q_{MA}
4	Beban Lajur "D" (TD)	11,200	120,1	-	Beban merata, Q_{MA} dan terpusat P_{TD}
5	berat plat (TP)	8,750	-	-	Beban merata, Q_{TP}
6	Gaya rem (TB)	-	-	66,497	Beban momen, M_{TB}
7	Angin (EW)	0,741	-	-	Beban merata, Q_{EW}
8	Gempa (EO)	3,511	-	-	Beban merata, Q_{EO}

Tabel 5.9 Persamaan Momen dan Gaya Geser Pada Balok Prategang

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

11. Perhitungan Momen Dan Gaya Geser pada Balok

Data pembabanan

- a) Berat sendiri (MS) = 32,759 kN/m
- b) Mati Tambahan (MA) = 8,129 kN/m
- c) Lajur "D" (TD) = 11,200 kN/m
- d) Momen Gaya Rem (TB) = 66,497 kN/m
- e) Angin (EW) = 0,741 kN/m
- f) Gempa (EQ) = 3,511 kN/m

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

$L = 50$ m

Tabel 5.10 Kombinasi Pembebanan Tulangan Geser Balok Prategang

No	Aksi Beban	Kode	Kombinasi			
			1	2	3	4
1	Berat sendiri	MS	V	V	V	V
2	Beban mati tambahan	MA	V	V	V	V
3	Beban lajur D	TD	V	V	V	
4	Gaya rem	TB	V		V	
5	Beban angin	EW		V	V	
6	Beban gempa	EQ				V

1) Momen pada balok

Tabel 5.11 Momen pada balok prategang

x (m)	Momen Pada Balok Prategang Akibat Beban					
	MS	MA	TD	TB	EW	EQ
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3	998,13	247,67	416,28	1,66	22,56	106,98
2,5	1945,07	482,64	815,06	3,32	43,97	208,48
3,8	2840,83	704,92	1196,34	4,99	64,22	304,49
5,0	3685,40	914,48	1560,13	6,65	83,31	395,02
6,3	4478,79	1111,35	1906,41	8,31	101,25	480,06
7,5	5220,99	1295,52	2235,19	9,97	118,03	559,61
8,8	5912,00	1466,99	2546,47	11,64	133,65	633,68
10,0	6551,83	1625,75	2840,25	13,30	148,11	702,26
11,3	7140,47	1771,81	3116,53	14,96	161,42	765,35
12,5	7677,93	1905,18	3375,31	16,62	173,57	822,96
13,8	8164,19	2025,84	3616,59	18,29	184,56	875,08
15,0	8599,28	2133,80	3840,38	19,95	194,40	921,71
16,3	8983,17	2229,06	4046,66	21,61	203,08	962,86
17,5	9315,88	2311,61	4235,44	23,27	210,60	998,52
18,8	9597,41	2381,47	4406,72	24,94	216,96	1028,70
20,0	9827,7	2438,63	4560,50	26,60	222,17	1053,39
21,3	10006,9	2483,08	4696,78	28,26	226,22	1072,59
22,5	10134,9	2514,83	4815,56	29,92	229,11	1086,31
23,8	10211,6	2533,88	4916,84	31,59	230,85	1094,53
25,0	10237,2	2540,23	5000,63	33,25	231,43	1097,28

x (m)	Kombinasi Pembebanan			
	Kombi 1	Kombi 2	Kombi 3	Kombi 4
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3	1663,87	1684,65	1686,43	1370,38
2,5	3246,35	3286,75	3290,32	2670,49
3,8	4747,44	4806,31	4811,66	3900,32
5,0	6167,15	6243,33	6250,46	5059,88
6,3	7505,47	7597,80	7606,72	6149,16
7,5	8762,40	8869,73	8880,43	7168,16
8,8	9937,94	10059,11	10071,59	8116,89
10,0	11032,10	11165,94	11180,21	8995,34

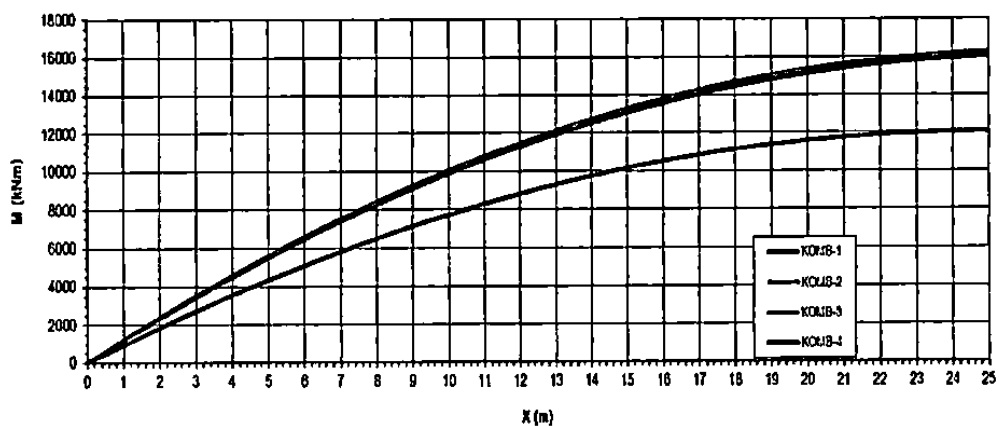
11,3	12044,87	12190,24	12206,29	9803,51
12,5	12976,25	13131,99	13149,82	10541,41
13,8	13826,24	13991,19	14010,81	11209,03
15,0	14594,85	14767,85	14789,25	11806,38
16,3	15282,07	15461,96	15485,15	12333,45
17,5	15887,90	16073,53	16098,50	12790,25
18,8	16412,35	16602,56	16629,31	13176,76
20,0	16855,41	17049,04	17077,58	13493,01
21,3	17217,08	17412,98	17443,30	13738,97
22,5	17497,36	17694,37	17726,47	13914,66
23,8	17696,26	17893,22	17927,11	14020,08
25,0	17813,76	18009,52	18045,19	14055,22

2) Gaya geser pada balok

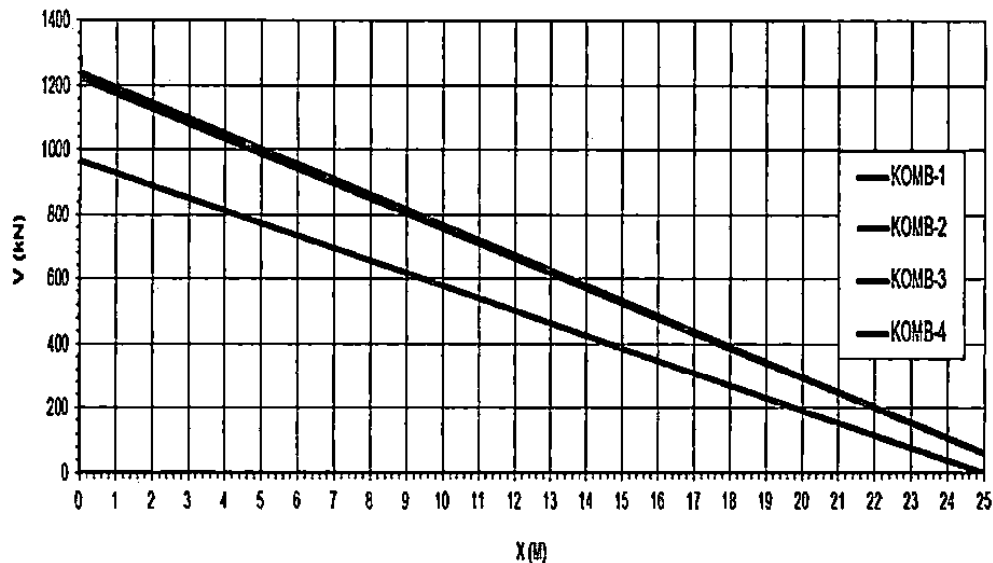
Tabel 5.12 Gaya Geser

x (m)	Momen pada balok prategang akibat beban					
	MS	MA	TD	TB	EW	EQ
0,0	818,98	203,22	340,03	1,33	18,51	87,78
1,3	778,03	193,06	326,03	1,33	17,59	83,39
2,5	737,08	182,90	312,03	1,33	16,66	79,00
3,8	696,13	172,74	298,03	1,33	15,74	74,61
5,0	655,18	162,58	284,03	1,33	14,81	70,23
6,3	614,23	152,41	270,03	1,33	13,89	65,84
7,5	573,29	142,25	256,03	1,33	12,96	61,45
8,8	532,34	132,09	242,03	1,33	12,03	57,06
10,0	491,39	121,93	228,03	1,33	11,11	52,67
11,3	450,44	111,77	214,03	1,33	10,18	48,28
12,5	409,49	101,61	200,03	1,33	9,26	43,89
13,8	368,54	91,45	186,03	1,33	8,33	39,50
15,0	327,59	81,29	172,03	1,33	7,41	35,11
16,3	286,64	71,13	158,03	1,33	6,48	30,72
17,5	245,69	60,97	144,03	1,33	5,55	26,33
18,8	204,74	50,80	130,03	1,33	4,63	21,95
20,0	163,80	40,64	116,03	1,33	3,70	17,56
21,3	122,85	30,48	102,03	1,33	2,78	13,17
22,5	81,90	20,32	88,03	1,33	1,85	8,78
23,8	40,95	10,16	74,03	1,33	0,93	4,39
25,0	0,00	0,00	60,03	1,33	0,00	0,00

x (m)	Kombinasi Pembebanan			
	Kombi 1	Kombi 2	Kombi 3	Kombi 4
0,0	1363,65	1380,74	1382,16	1124,42
1,3	1298,54	1314,70	1316,13	1068,20
2,5	1233,43	1248,67	1250,09	1011,98
3,8	1168,32	1182,63	1184,06	955,75
5,0	1103,21	1116,59	1118,02	899,53
6,3	1038,10	1050,56	1051,99	843,31
7,5	972,99	984,52	985,95	787,09
8,8	907,88	918,49	919,91	730,87
10,0	842,77	852,45	853,88	674,65
11,3	777,66	786,42	787,84	618,43
12,5	712,55	720,38	721,81	562,21
13,8	647,44	654,35	655,77	505,99
15,0	582,33	588,31	589,74	449,77
16,3	517,22	522,27	523,70	393,55
17,5	452,11	456,24	457,67	337,33
18,8	387,00	390,20	391,63	281,10
20,0	321,89	324,17	325,59	224,88
21,3	256,78	258,13	259,56	168,66
22,5	191,67	192,10	193,52	112,44
23,8	126,56	126,06	127,49	56,22
25,0	61,45	60,03	61,45	0,00



Gambar 5.17 Diagram Momen Balok Bentang



Gambar 5.18 Diagram Gaya Geser balok prategang

12. 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, yaitu:

- a) Kondisi Awal (Transfer)
- b) Kondisi Akhir (*Service*)

Penetapan batasan-batasan tegangan ijin:

Kuat desak beton, $f'_c = 41,50$ MPa

Saat transfer umur beton baru 14 hari sehingga kekuatan beton baru mencapai 80%, maka: $f'_{ci} = 80\% \cdot f'_c = 0,80 \cdot 41,5 = 33,20$ MPa

Tegangan ijin beton:

- 1) Saat transfer

$$\text{serat tekan} : f'_{ci} = 0,60 \cdot f'_{ci} = 0,60 \cdot 33,20 = 19,92 \text{ MPa}$$

$$\text{serat tarik} : f_{ti} = 0,50 \cdot \sqrt{f'_{ci}} = 0,50 \cdot \sqrt{33,20} = 2,83 \text{ MPa}$$

- 2) Saat layan,

$$\text{serat tekan} : f'_{cs} = 0,45 \cdot f'_c = 0,45 \cdot 41,5 = 18,675 \text{ MPa}$$

$$\text{serat tarik} : f_t = 0,50 \cdot \sqrt{f'_c} = 0,50 \cdot \sqrt{41,5} = 3,22 \text{ MPa}$$

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 balok:

Luas penampang netto balok, $A = 0,74230 \text{ m}^2$

Tahanan momen atas, $w_a = 0,38049 \text{ m}^3$

Tahanan momen bawah, $w_b = 0,40910 \text{ m}^3$

Letak titik berat balok terhadap sisi bawah, $y_b = 1,012 \text{ m}$

Ditetapkan jarak pusat berat tendon terhadap sisi bawah, $z_o = 0,19 \text{ m}$

Eksentrisitas tendon, $e_s = y_b - z_o = 1,012 - 0,19 = 0,822 \text{ m}$

Momen akibat berat sendiri, $M_{bs} = 6594,38 \text{ kNm}$

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

Tegangan pada serat atas,

$$P_t = \frac{M_{BS}}{(e_s - W_a) / A}$$

$$P_t = \frac{6594,38}{(0,822 - 0,38049) / 0,7423}$$

$$P_t = 20855,99 \text{ kN}$$

Tegangan pada serat bawah,

$$P_t = \frac{0,60 \cdot f_{ci} \cdot W_b + M_{bs}}{(W_b / A + e_s)}$$

$$P_t = \frac{0,60 \cdot 33,20 \cdot 0,40910 + 6594,38}{(0,40910 / 0,7523 + 0,822)}$$

$$= 10795,28 \text{ kN}$$

Diambil nilai terkecil, $P_t = 10795,28 \text{ kN}$

Digunakan kabel yang terdiri dari beberapa kawat baja untai

“G. 1. 11” standar VSI dengan data pada tabel 5.13 sebagai

Tabel 5.13 Data Strands Cable

DATA STRANDS CABLE - STANDAR VSL		
Jenis strands	Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270	
Tegangan leleh strand (fpy)	1581	MPa
Kuat tarik strand (fpu)	1860	MPa
Diameter nominal strands	100	mm (1/2")
Luas tampang nominal satu strands	0,00010	m ²
Beban putus minimal satu strands	187.32	kN (100% UTS)
Jumlah kawat untai (strands cable)	17	kawat untai tiap tendon
Diameter selubung ideal	80	mm
Luas tampang strands	0,002152	m ²
Beban putus satu tendon (P _{b1})	3184,44	kN
Modulus elastis strands (Es)	190000	MPa
Tipe dongkrak	VSL 19	

1) Jumlah tendon

Gaya prategang awal, $P_i = 10795,28$ 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 $f_{pu} = 1296,42 \text{ MPa}$

Gaya prategang awal $P_{i1} = 10795,28$ kN

$$A_s = \frac{P_t}{f_{pi}}$$

$$= \frac{10795,28 \cdot 10}{1296,42}$$

$$= 8326,99 \text{ tendon}$$

Beban putus minimum 1 tendon,

$$P_{b1} = P_{bs1} \cdot \text{jumlah strands per tendon}$$

$$= 187,32 \cdot 17 = 3184,44 \text{ kN}$$

Jumlah tendon yang diperlukan,

$$n_t = \frac{P_{t1}}{0,85 \cdot 0,8 \cdot P_{b1}}$$

$$= \frac{10795,28}{0,85 \cdot 0,8 \cdot 3184,44}$$

$$= 4,985 \text{ tendon}$$

Jumlah tendon aktual yang digunakan,

$$n_t = 5 \text{ tendon}$$

Digunakan jumlah *strands* dengan susunan seperti pada tabel 5.12 sebagai berikut:

Tabel 5.14 Jumlah *strands* pada balok prategang

ns1	3	Tendon	17	Strands	51	Selubung tendon	80	mm
ns2	1	Tendon	17	Strands	17	Selubung tendon	80	mm
ns3	1	Tendon	17	Strands	17	Selubung tendon	80	mm
nt	5	jumlah strands ns			85	strands	80	mm

Luas actual area baja prategang yang digunakan dalam desain,

$$A_{ps} = n_s \cdot A_{st} = 85 \cdot 100 = 8500 \text{ mm}^2 > A_s = 8326,99 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

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

$$P_o = \frac{P_t}{0,85 \cdot n_s \cdot P_{bs}} = \frac{10795,28}{0,85 \cdot 85 \cdot 187,32} = 79,765 \% < 80 \% \text{ OK}$$

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

$$P = P_o \cdot n_s \cdot P_{bs} = 79,765 \% \cdot 85 \cdot 187,32 = 12700,33 \text{ kN}$$

Tegangan baja prategang saat *jacking*,

$$\begin{aligned}
 f_{pj} &= \frac{P_j}{A_{ps}} \\
 &= \frac{12700,33 \cdot 10^3}{8500} \\
 &= 1494,15 \text{ MPa} < 0,85 \cdot f_{pu} = 1581 \text{ Mpa} \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Diperkirakan kehilangan tegangan (loss of prestress) = 30%

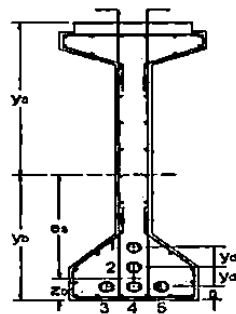
Gaya prategang akhir setelah kehilangan tegangan (loss of prestress) sebesar 30%

$$\begin{aligned}
 P_{\text{eff}} &= 70\% \times f_{pj} \\
 &= 70\% \times 1494,15 \\
 &= 1045,91 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2) Tata Letak Posisi Tendon (*Lay Out Tendon*)

Perencanaan tata letak tendon dilakukan dengan peninjauan pada tengah bentang dan pada ujung balok atau pada tumpuan.

a) Posisi Tendon di Tengah Bentang



Gambar 5.19 Posisi Tendon Di Tengah Bentang (*sumber : Ilham 2010*)

Tabel 5.15 Penentuan Jarak Alas Balok pada Tengah Bentang

Jumlah tendon baris ke-1	n1 = 3 tendon	17 strands	51 strands
Jumlah tendon baris ke-2	n2 = 1 tendon	17 strands	17 strands
Jumlah tendon baris ke-3	n3 = 1 tendon	17 strands	17 strands
Jumlah strands ns			85

Ditentukan jarak dari alas balok ke es baris tendon ke-1 $a = 0,10 \text{ m}$

Eksentrisitas $e_s = 0,822$ m

Jarak dari alas ke titik berat tendon, $z_o = y_b - e_s = 1,012 - 0,822 = 0,19$ m

Momen statis tendon terhadap alas,

$$y_d = ns.(z_o - a)/(n2 + 2.n3)$$

$$= (85.(0,19 - 0,10)/(17+2.17) = 0,150$$

Diambil $y_d = 0,14$

Diameter selubung tendon rata-rata = 0,08 m

Jarak bersih vertikal antara selubung tendon $y_d - d = 0,14 - 0,08 = 0,06$

Syarat $y_d - d > 25$ mm

OK

Jarak masing-masing baris tendon terhadap alas,

$$\text{Baris 1 : } z_1 = a + 2 \cdot y_d = 0,10 + 2 \cdot 0,06 = 0,38 \text{ m}$$

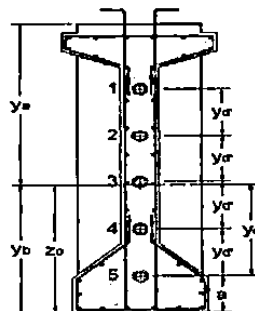
$$\text{Baris 2 : } z_2 = a + y_d = 0,10 + 0,06 = 0,24 \text{ m}$$

$$\text{Baris 3 : } z_3 = a = 0,10 \text{ m}$$

$$\text{Baris 4 : } z_4 = a = 0,10 \text{ m}$$

$$\text{Baris 5 : } z_5 = a = 0,10 \text{ m}$$

b) Posisi tendon di tumpuan



Gambar 5.20 Posisi Tendon Di Tumpuan (*sumber : Ilham 2010*)

Tabel 5.16 Penentuan Jarak Alas Balok Pada Tumpuan

Jumlah tendon baris ke-1	$n1 = 1$ tendon	17 strands	17 strands
Jumlah tendon baris ke-2	$n2 = 1$ tendon	17 strands	17 strands
Jumlah tendon baris ke-2	$n3 = 1$ tendon	17 strands	17 strands
Jumlah tendon baris ke-2	$n4 = 1$ tendon	17 strands	17 strands
Jumlah tendon baris ke-3	$n5 = 1$ tendon	17 strands	17 strands
Jumlah strands			85 strands

Ditetapkan jarak dari alas balok ke as baris tendon ke-1 = 0,3 m

y_e = letak titik berat tendon terhadap pusat tendon terbawah

letak titik berat penampang balok terhadap alas $y_b = 1,012$ m

Tabel 5.17 Momen Statis Tendon Terhadap Pusat Tendon Terbawah

n_i	y_d	$n_i \cdot y_d$
17	1	17
17	2	34
17	3	51
17	4	68
$\Sigma n_i \cdot y_d^2 / y_d^2$		170

$$\Sigma n_i \cdot y_d' = n_s \cdot y_e$$

$$y_e / y_d' = (\Sigma n_i \cdot y_d^2 / y_d^2) / n_s = 170 / 85 = 2,00 \text{ m}$$

$$y_e = y_b - a = 1,012 - 0,3 = 0,712 \text{ m}$$

$$y_d' = y_e / (y_e / y_d') = 0,712 / 2,00 = 0,356 \text{ m}$$

$$z_0 = y_b = 1,012 \text{ m}$$

Jarak tendon bawah terhadap alas,

$$a' = c_b - 1,5 \cdot y_d' = 1,7856 - 1,5 \cdot 0,4 = 1,1856 \text{ m}$$

Jarak masing-masing baris tendon terhadap alas,

$$\text{Baris 1 : } z_1' = a' + 4 \cdot y_d' = 0,30 + 4 \cdot 0,356 = 1,724 \text{ m}$$

$$\text{Baris 2 : } z_2' = a' + 3 \cdot y_d' = 0,30 + 3 \cdot 0,356 = 1,368 \text{ m}$$

$$\text{Baris 3 : } z_3' = a' + 2 \cdot y_d' = 0,30 + 2 \cdot 0,356 = 1,012 \text{ m}$$

$$\text{Baris 4 : } z_4' = a' + y_d' = 0,30 + 0,356 = 0,656 \text{ m}$$

$$\text{Baris 5 : } z_5' = a' = 0,30 \text{ m}$$

c) Eksentrisitas masing-masing tendon

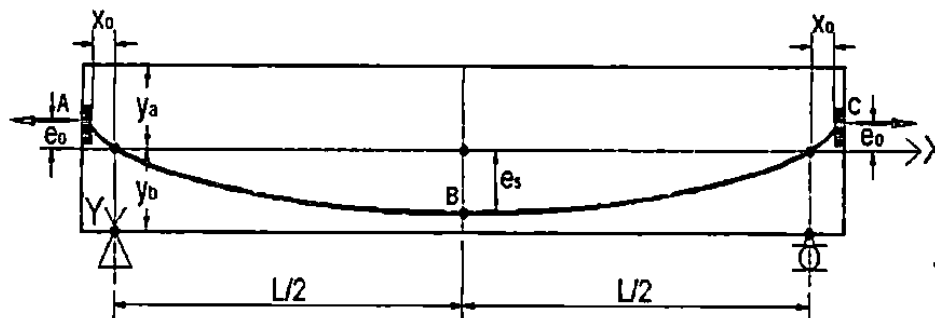
$$\text{Baris 1 : } f_1 = z_1' - z_1 = 1,724 - 0,380 = 1,344 \text{ m}$$

$$\text{Baris 2 : } f_2 = z_2' - z_2 = 1,368 - 0,240 = 1,128 \text{ m}$$

$$\text{Baris 3 : } f_3 = z_3' - z_3 = 1,012 - 0,100 = 0,912 \text{ m}$$

$$\text{Baris 4 : } f_4 = z_4' - z_4 = 0,656 - 0,100 = 0,556 \text{ m}$$

$$\text{Baris 5 : } f_5 = z_5' - z_5 = 0,300 - 0,100 = 0,200 \text{ m}$$

d) Lintasan inti tendon (*cable*)

Gambar 5.21 Lintasan Inti Tendon (*sumber : Ilham 2010*)

Panjang balok, $L = 50$ m

Eksentrisitas, $e_s = 0,82$ m (lihat gambar 5.20)

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 Berikut:

Tabel 5.18 Lintasan Tendon

X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
-0,25	-0,017	17,00	0,738	35,00	0,690
0,00	0,000	18,00	0,758	36,00	0,663
1,00	0,064	19,00	0,775	37,00	0,633
2,00	0,126	20,00	0,789	38,00	0,600
3,00	0,185	21,00	0,801	39,00	0,564
4,00	0,242	22,00	0,810	40,00	0,526
5,00	0,296	23,00	0,817	41,00	0,485
6,00	0,347	24,00	0,821	42,00	0,442
7,00	0,396	25,00	0,822	43,00	0,396
8,00	0,442	26,00	0,821	44,00	0,347
9,00	0,485	27,00	0,817	45,00	0,296
10,00	0,526	28,00	0,810	46,00	0,242
11,00	0,564	29,00	0,801	47,00	0,185
12,00	0,600	30,00	0,789	48,00	0,126
13,00	0,633	31,00	0,775	49,00	0,064
14,00	0,663	32,00	0,758	50,00	0,000
15,00	0,690	33,00	0,738	0,25	0,016
16,00	0,715	34,00	0,715		

$$x_0 = 48 \text{ m}$$

$$e_0 = 0,126 \text{ m}$$

$$\text{Jarak AB} = \text{jarak BC} = \frac{L}{2} + x_0 = \frac{50}{2} + 48 = 73,00 \text{ m}$$

$$e_s + e_0 = 0,82 + 0,126 = 0,948 \text{ m}$$

$$\alpha_{AB} = \alpha_{BC} = \frac{2 \cdot (e_s + e_0)}{\left(\frac{L}{2} + x_0\right)} = \frac{2 \cdot 0,948}{73,00} = 0,026 \text{ rad}$$

e) Sudut angkur

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

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

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

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

Tabel 5.19 Sudut Angkur

No Tendon	Jumlah strands	Diameter Selubung	Eksen trisitas f_i (m)	$dY/dX = 4 \cdot f_i / L$	Sudut Angkur $\alpha = \text{ATAN}(dY/dX)$ (°)			
					α_1	rad	rad	°
1	17	80	1,344	0,10751	α_1	0,10710	rad	6,136
2	17	80	1,128	0,09023	α_2	0,08999	rad	5,156
3	17	80	0,912	0,07296	α_3	0,07283	rad	4,173
4	17	80	0,556	0,04448	α_4	0,04445	rad	2,547
5	17	80	0,200	0,01600	α_5	0,01600	rad	0,917

a. Tata letak kabel tendon

Panjang jembatan, $L = 50 \text{ m}$

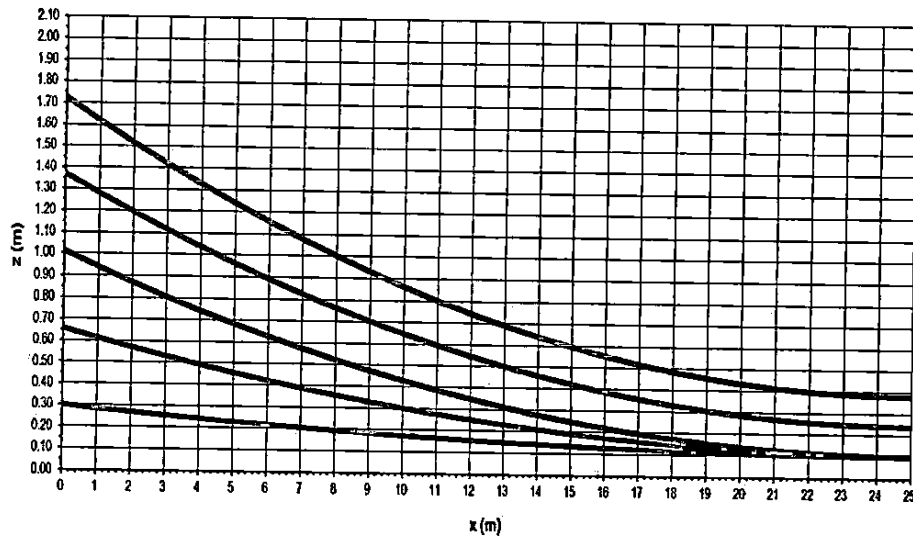
$$f_0 = e_s = 0,82 \text{ m dan } y_b = 1,012 \text{ m}$$

$$f_1 = 1,344 \text{ m} \cdot f_2 = 1,128 \text{ m} \cdot f_3 = 0,912 \text{ m} \cdot f_4 = 0,556 \text{ m} \cdot f_5 = 0,200 \text{ m}$$

Untuk hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.20 Tata Letak Tendon

Jarak X (m)	Trace Z_0 (m)	Posisi masing-masing kabel				
		Z_1 (m)	Z_2 (m)	Z_3 (m)	Z_4 (m)	Z_5 (m)
0,00	1,0120	1,7239	1,3679	1,0120	0,6560	0,3000
1,00	0,9475	1,6185	1,2795	0,9405	0,6124	0,2843
2,00	0,8857	1,5175	1,1947	0,8719	0,5706	0,2693
3,00	0,8265	1,4207	1,1135	0,8062	0,5305	0,2549
4,00	0,7700	1,3283	1,0359	0,7435	0,4923	0,2411
5,00	0,7160	1,2401	0,9619	0,6836	0,4558	0,2280
6,00	0,6648	1,1562	0,8915	0,6267	0,4211	0,2155
7,00	0,6161	1,0767	0,8247	0,5728	0,3882	0,2037
8,00	0,5701	1,0014	0,7616	0,5217	0,3571	0,1925
9,00	0,5267	0,9305	0,7020	0,4735	0,3277	0,1819
10,00	0,4859	0,8638	0,6461	0,4283	0,3002	0,1720
11,00	0,4478	0,8014	0,5937	0,3860	0,2744	0,1627
12,00	0,4123	0,7434	0,5450	0,3466	0,2503	0,1541
13,00	0,3794	0,6896	0,4999	0,3101	0,2281	0,1461
14,00	0,3491	0,6402	0,4584	0,2766	0,2076	0,1387
15,00	0,3215	0,5950	0,4205	0,2459	0,1890	0,1320
16,00	0,2965	0,5542	0,3862	0,2182	0,1721	0,1259
17,00	0,2742	0,5176	0,3555	0,1934	0,1569	0,1205
18,00	0,2544	0,4854	0,3284	0,1715	0,1436	0,1157
19,00	0,2373	0,4574	0,3050	0,1525	0,1320	0,1115
20,00	0,2229	0,4338	0,2851	0,1365	0,1222	0,1080
21,00	0,2110	0,4144	0,2689	0,1233	0,1142	0,1051
22,00	0,2018	0,3994	0,2562	0,1131	0,1080	0,1029
23,00	0,1953	0,3886	0,2472	0,1058	0,1036	0,1013
24,00	0,1913	0,3822	0,2418	0,1015	0,1009	0,1003
25,00	0,1900	0,3800	0,2400	0,1000	0,1000	0,1000



Gambar 5.22 Posisi Tendon

13. 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 (*loss prestress*) dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu:

- a) Kehilangan prategang jangka pendek
- b) Kehilangan prategang jangka panjang

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

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

Gaya prestress saat *jacking*,

$$P_j = 12700,33 \text{ kN}$$

Tegangan baja *prestress* saat *jacking*,

$$\begin{aligned} f_{pj} &= \frac{P_j}{A_{ps}} \\ &= \frac{12700,33 \cdot 10^3}{8500} \\ &= 1494,15 \text{ MPa} \end{aligned}$$

a) Kehilangan Prategang Jangka Pendek

1) Kehilangan tegangan akibat gesekan angkur (*Anchorage Friction*)

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

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

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

Panjang tendon, $L = 50 \text{ mm}$

Luas tampang nominal strands $A_{st} = 0,00013 \text{ m}^2$

Jumlah total strands $n = 85 \text{ buah}$

Luas tampang tendon prategang A_t :

$$A_t = n_s \cdot A_{st} = 85 \cdot 0,00013 = 0,01105 \text{ m}^2$$

Kehilangan prategang akibat pergeseran angkur:

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta A}{L} \cdot E_s = \frac{6 \cdot 190000}{50000} = 22,8 \text{ MPa} = 22800 \text{ kPa}$$

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

Sudut lintasan tendon dari ujung ke tengah:

$$\alpha_{AB} = \alpha_{BC} = 0,0826 \text{ rad}$$

Perubahan sudut total lintasan tendon,

$$\begin{aligned} \alpha &= \alpha_{AB} + \alpha_{BC} \\ &= 0,026 + 0,026 = 0,052 \text{ rad} \end{aligned}$$

Berdasarkan ACI diperoleh:

Koefisien gesek, $\mu = 0,2$

Koefisien Wobble, $K = 0,002$

Kehilangan tegangan akibat gesekan:

Bilangan natural, $e = 2,7183$

Untuk, $L_x = 20,40 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= f_p j \cdot [1 - e^{-\mu(\alpha + \beta \cdot L_x)}] \\ &= 1494,15 \cdot [1 - 2,7183^{-0,2(0,052 + 0,012 \cdot 20,4)}] \\ &= 86,1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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

Jarak titik berat tendon baja terhadap titik berat balok, $e_s = 0,821 \text{ m}$

Momen inersia tampang balok, $I_x = 0,413 \text{ m}^4$

Luas tampang balok, $A = 0,752 \text{ m}^2$
 $= 752300 \text{ mm}^2$

Modulus elastisitas balok beton $E_{ci} = 3,567\text{E}+07 \text{ kPa}$

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

Kuat tekan beton prategang $f'_c = 41,5 \text{ Mpa}$

Modulus elastis beton balok *girder* saat transfer :

$$f'_{ci} = 80\% f'_c = 80\% \cdot 41,5 = 40 \text{ Mpa}$$

Modulus elastis balok, saat transfer :

$$E_{ci} = 0,043 \cdot W_c^{1,5} \cdot \sqrt{f'_{ci}} = 0,043 \cdot 25,5^{1,5} \cdot (41,5)^{0,5} = 35670 \text{ MPa}$$

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

Jumlah total *strands*, $n_s = 85 \text{ strands}$

Luas tampang tendon prategang, $A_{ps} = 8500 \text{ mm}^2$

Momen akibat berat sendiri balok, $M_{ps} = 6594,379 \text{ kNm}$

Modulus ratio antara baja prategang dengan balok,

$$n = \frac{E_s}{E_{ci}} = \frac{190000}{35670} = 5,32$$

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

$$\begin{aligned} f_{pi} &= f_{pj} - \Delta f_{pA} - \Delta f_{pF} \\ &= 1494,15 - 22,80 - 86,1 = 1385,25 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Gaya prategang setelah *loss of prestress* akibat friksi,

$$P_i = f_{pi} \cdot A_{ps} = 1385,25 \cdot 10^{-3} \cdot 8500 = 11774,625 \text{ kN}$$

Tegangan beton di pusat berat tendon saat transfer,

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

$$= -\frac{11774,62510^3}{0,752 \cdot 10^6} - \frac{11774,25 \cdot D^3 \cdot (0,821 \cdot 10^3)^2}{0,413 \cdot 10^2} + \frac{6594379 \cdot 10^6 \cdot 0,821 \cdot 10^3}{0,413 \cdot 10^2}$$

$$= -21,77 \text{ MPa}$$

Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis,

$$\begin{aligned} \Delta f_{pES} &= n \cdot f_{cs} \\ &= 5,32 \cdot 21,77 \\ &= 115,82 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Untuk balok paskatarik dengan 5 tendon yang ditarik 1 tendon setiap penarikan:

$$\begin{aligned} \Delta f_{pES} &= \frac{(4/4) + (3/4) + (2/4) + (1/4)}{5} \cdot 115,81 \\ &= 57,905 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tegangan baja prategang setelah transfer,

$$\begin{aligned} f_{ps} &= f_{pi} - (\Delta f_{pA} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pES}) \\ &= 1494,15 - (22,80 + 86,1 + 57,905) \\ &= 1327,345 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Gaya prategang setelah transfer,

$$\begin{aligned} P_i &= A_{ps} \cdot f_{ps} \\ &= 8500 \cdot 1327,345 \cdot 10^{-3} \\ &= 11282,43 \text{ kN} \end{aligned}$$

b) Kehilangan Prategang Jangka Panjang

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

Untuk prategang paskatarik ditentukan,

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

$E_s = 190000 \text{ MPa}$

$E_c = 30277,6 \text{ MPa}$

Rasio modulus, $n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{190000}{35670} = 5,32$

Tegangan tendon diujung bebas beton

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

$$= -\frac{11282,43 \cdot 10^3}{0,752 \cdot 10^6} - \frac{11282,43 \cdot 10^3 \cdot (0,821 \cdot 10^3)^2}{0,413 \cdot 10^{12}} + \frac{6594,379 \cdot 10^6 \cdot 0,821 \cdot 10^3}{0,413 \cdot 10^{12}}$$

$$= -20,31 \text{ MPa}$$

Momen akibat beban tambahan, $M_D = 735,547 \text{ kNm}$

Tegangan beton di pusat berat tendon saat transfer,

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

$$= \frac{735,547 \cdot 10^6 \cdot 0,821 \cdot 10^3}{0,413 \cdot 10^{12}}$$

$$= 1,462 \text{ MPa}$$

Kehilangan prategang akibat pengaruh rangkai,

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

$$= 5,32 \cdot 1,6 \cdot (20,31 - 1,462)$$

$$= 160,43 \text{ MPa}$$

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

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

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

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

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

$$E_{SH,t} = \frac{t}{(t+35)} \cdot E_{SHu}$$

$$= \frac{30}{(30+35)} \cdot 800 \cdot 10^{-6} = 3,69 \cdot 10^{-4}$$

Kehilangan prategang akibat pengaruh susut,

$$\Delta f_{PSH} = E_{SH,t} \cdot E_{ps}$$

$$= 3,69 \cdot 10^{-4} \cdot 190000$$

$$= 70,1538 \text{ MPa}$$

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

Relaksasi tendon mengalami tegangan tarik dalam waktu yang cukup lama.

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

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

Tegangan baja prategang setelah transfer, $f_{ps} = 1054,94$ MPa

Diperhitungkan tegangan tendon 3 bulan setelah transfer

$t_1 = 1$ hari

$t_2 = 1$ bulan = 30 hari = 720 jam

Kehilangan prategang akibat *relaxation of tendon*:

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

$$\begin{aligned} \Delta f_{pR} &= 1054,94 \left(\frac{\log 720 - \log 1}{45} \right) \left(\frac{1054,94}{1581} - 0,55 \right) \\ &= 7,85 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tabel 5.21 Total Kehilangan Gaya Prategang

No	Level Tegangan	Tegangan Baja (Mpa)	Persentase (%)
	Setelah Penegangan	1494,15	100%
	Kehilangan tegangan :		
1	Pergeseran ankur (<i>anchorage friction</i>)	22,80	1,52%
2	Gesekan kabel (<i>jack friction</i>)	86,1	5,76%
3	Perpendekan elastis beton (<i>elastic shortening</i>)	57,91	3,88%
4	Rangakak beton (<i>creep</i>)	160,43	10,74%
5	Susut beton (<i>shrinkage</i>)	70,154	4,70%
6	Relaksasi tendon (<i>relaxation of tendon</i>)	7,85	0,53%
	Tegangan Akhir (f_{pe})	1088,91	67,581%
	Kehilangan Tegangan Total (<i>loss of prestress</i>)		27,13%

Jadi tegangan akhir/tegangan efektif,

$$f_{cr} = 1088,91 \text{ MPa} < 0,7 \cdot f_{pu} = 0,70 \cdot 1860 = 1302 \text{ MPa} \quad \text{Aman}$$

Gaya efektif di tengah bentang

$$P_{eff} = Aps \cdot f_{eff} = 8500 \cdot 1088,91 = 9255,735 \text{ kN}$$

14. 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

$$\text{a) serat tekan : } f_{ci} = 0,60 \cdot f'_{ci} = 0,60 \cdot 33,2 = 19,92 \text{ MPa}$$

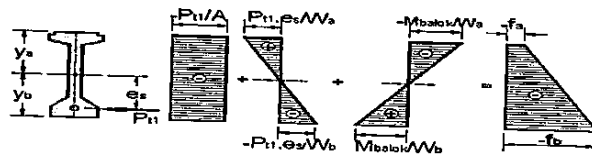
$$\text{b) serat tarik : } f_{ti} = 0,25 \cdot \sqrt{f'_{ci}} = 0,50 \cdot \sqrt{33,2} = 2,88 \text{ MPa}$$

Saat layan,

$$\text{c) serat tekan : } f_{cs} = 0,45 \cdot f'_c = 0,45 \cdot 41,5 = 18,675 \text{ MPa}$$

$$\text{d) serat tarik : } f_{ts} = 0,50 \cdot \sqrt{f'_c} = 0,50 \cdot \sqrt{41,5} = 3,22 \text{ MPa}$$

1) Keadaan Awal (Transfer)



Gambar 5.23 Tegangan Saat Transfer (sumber : Ilham 2010)

Balok direncanakan dengan beton prategang paskatarik dengan tendon terekat, maka pada saat transfer digunakan penampang netto.

Section properties penampang balok:

$$\text{Luas penampang netto balok, } A = 0,74230 \text{ m}^2$$

$$\text{Tahanan momen atas, } w_a = 0,38049 \text{ m}^3$$

$$\text{Tahanan momen bawah, } w_b = 0,40910 \text{ m}^3$$

$$\text{Letak titik berat balok terhadap sisi bawah, } y_b = 1,012 \text{ m}$$

$$\text{Ditetapkan jarak pusat berat tendon terhadap sisi bawah, } z_o = 0,19 \text{ m}$$

$$\text{Eksentrisitas tendon, } e_s = y_b - z_o = 1,012 - 0,19 = 0,822 \text{ m}$$

$$\text{Momen akibat berat sendiri, } M_{bs} = 6594,38 \text{ kNm}$$

$$\text{Gaya prategang awal } P_{t1} = 10795,3 \text{ kN}$$

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

Tegangan-tegangan yang terjadi saat transfer ,

a) Tegangan pada serat atas:

$$\begin{aligned} f_{ca} &= -\frac{P_{ti}}{A} + \frac{P_{ti} \cdot e_s}{W_a} - \frac{M_{bs}}{W_a} \\ &= -\frac{10795,3}{0,75230} + \frac{10795,3 \cdot 0,82195}{0,38049} - \frac{6594,4}{0,38049} \\ &= -8361 \text{ kPa} = -8,361 \text{ MPa} < f_{ct} = 2,88 \text{ MPa} \end{aligned}$$

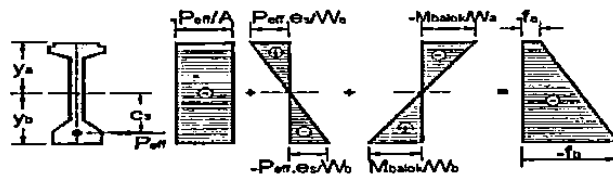
OK

b) Tegangan pada serat bawah:

$$\begin{aligned} f_{cb} &= -\frac{P_{ti}}{A} + \frac{P_{ti} \cdot e_s}{W_b} - \frac{M_{bs}}{W_b} \\ &= -\frac{10795,3}{0,75230} + \frac{10795,3 \cdot 0,82195}{0,40910} - \frac{6594,4}{0,40910} \\ &= -19920 \text{ kPa} = -19,920 \text{ MPa} < f_{ct} = 19,92 \text{ MPa} \end{aligned}$$

OK

2) Kadaan setelah loss of prestress (Service)



Gambar 5.24 Tegangan Saat servis (sumber : Ilham 2010)

Karena prategang paskatarik dengan tendon terekat, maka digunakan penampang transformasi

Section properties penampang balok:

Kuat tekan beton $f_{c'} = 0,83 \cdot K \cdot 100 = 41,5 \text{ MPa}$

Tegangan ijin beton $-0,45 \cdot f_{c'} = 18,675 \text{ MPa}$

Luas penampang netto balok, $A = 0,74230 \text{ m}^2$

Tahanan momen atas, $w_a = 0,38049 \text{ m}^3$

Tahanan momen bawah, $w_b = 0,40910 \text{ m}^3$

Letak titik berat balok terhadap sisi bawah, $y_b = 1,012 \text{ m}$

Ditetapkan jarak pusat berat tendon terhadap sisi bawah, $z_o = 0,19 \text{ m}$

Momen akibat berat sendiri, $M_{bs} = 6594,38 \text{ kNm}$

Gaya efektif di tengah bentang $P_{eff} = 9255,735 \text{ kN}$

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

Tegangan-tegangan yang terjadi saat service ,

a) Tegangan pada serat atas:

$$\begin{aligned} f_a &= -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e_s}{W_a} - \frac{M_{bs}}{W_a} \\ &= -\frac{9255,74}{0,75230} + \frac{9255,74 \cdot 0,82195}{0,38049} - \frac{6594,4}{0,38049} \\ &= -9640 \text{ kPa} = -9,640 \text{ MPa} < f_{ci} = 3,22 \text{ MPa} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

b) Tegangan pada serat bawah:

$$\begin{aligned} f_b &= -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e_s}{W_b} - \frac{M_{bs}}{W_b} \\ &= -\frac{9255,74}{0,75230} + \frac{9255,74 \cdot 0,82195}{0,40910} - \frac{6594,4}{0,40910} \\ &= -14780 \text{ kPa} = 14,780 \text{ MPa} < f_{ci} = 18,675 \text{ MPa} \quad \text{OK} \end{aligned}$$

3) Keadaan setelah plat lantai selesai dicor (beton muda)

Section properties penampang balok :

Kuat tekan beton $f_c' = 0,83 \cdot K \cdot 100 = 41,5 \text{ MPa}$

Tegangan ijin beton $-0,45 \cdot f_c' = 18,675 \text{ MPa}$

Luas penampang netto balok , $A = 0,74230 \text{ m}^2$

Tahanan momen atas, $w_a = 0,38049 \text{ m}^3$

Tahanan momen bawah, $w_b = 0,40910 \text{ m}^3$

Letak titik berat balok terhadap sisi bawah, $y_b = 1,012 \text{ m}$

Ditetapkan jarak pusat berat tendon terhadap sisi bawah , $z_o = 0,19 \text{ m}$

Eksentrisitas tendon, $e_s = y_b - z_o = 1,012 - 0,19 = 0,822 \text{ m}$

Momen akibat berat sendiri balok dan plat , $M_{bs} = 9328,8 \text{ kNm}$

Gaya efektif di tengah bentang $P_{eff} = 9255,735 \text{ kN}$

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

Tegangan-tegangan yang terjadi saat service ,

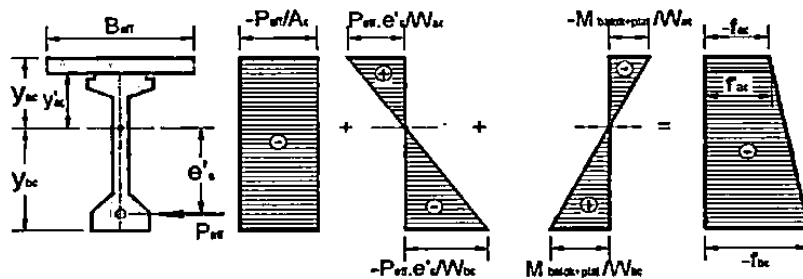
a) Tegangan pada serat atas:

$$\begin{aligned} f_a &= -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e_s}{W_a} - \frac{M_{bs}}{W_a} \\ &= -\frac{9255,74}{0,75230} + \frac{9255,74 \cdot 0,82195}{0,38049} - \frac{9328,8}{0,38049} \\ &= -16826 \text{ kPa} = -16,826 \text{ MPa} < f_{ci} = 3,22 \text{ MPa} \end{aligned} \quad \text{OK}$$

b) Tegangan pada serat bawah:

$$\begin{aligned} f_b &= -\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e_s}{W_b} - \frac{M_{bs}}{W_b} \\ &= -\frac{9255,74}{0,75230} + \frac{9255,74 \cdot 0,82195}{0,40910} - \frac{9328,8}{0,40910} \\ &= -8096 \text{ kPa} = -8,096 \text{ MPa} < f_{ci} = 18,675 \text{ MPa} \end{aligned} \quad \text{OK}$$

4) Keadaan setelah plat dan balok menjadi komposit



Gambar 5.25 Tegangan Balok Komposit (sumber : Ilham 2010)

Karena prategang paskatarik dengan tendon terekat, maka digunakan penampang transformasi.

Section properties penampang balok :

Kuat tekan beton $f_c' = 0,83 \cdot K \cdot 100 = 41,5 \text{ MPa}$

Tegangan ijin beton $-0,45 \cdot f_c' = 18,675 \text{ MPa}$

Luas penampang netto balok, $A = 0,74230 \text{ m}^2$

Luas tampang balok komposit, $A_c = 1,04939 \text{ m}^2$

...

Tahanan momen bawah balok,

$$W_{bc} = 0,53074 \text{ m}^3$$

Tahanan momen atas balok

$$W'_{ac} = 0,95196 \text{ m}^3$$

Letak titik berat balok terhadap sisi bawah,

$$y_b = 1,012 \text{ m}$$

Ditetapkan jarak pusat berat tendon terhadap sisi bawah, $z_o = 0,19 \text{ m}$

Eksentrisitas tendon untuk penampang komposit,

$$e'_s = es + (y_{bc} - y_b) = 0,82 + (1,348 - 1,012) = 1,158 \text{ m}$$

Momen akibat berat sendiri balok dan plat, $M_{bs} = 9328,75 \text{ kNm}$

Gaya efektif di tengah bentang

$$P_{eff} = 9255,735 \text{ kN}$$

Perhitungan besar gaya prategang awal dihitung dengan persamaan

tegangan di kondisi saat transfer.

Tegangan-tegangan yang terjadi saat service,

a) Tegangan pada serat atas plat :

$$\begin{aligned} f_{ac} &= -\frac{P_{eff}}{Ac} + \frac{P_{eff} \cdot e'_s}{W_{ac}} - \frac{M_{bs}}{W_{ac}} \\ &= -\frac{9255,74}{1,049} + \frac{9255,74 \cdot 0,82195}{0,75191} - \frac{9328,75}{0,75191} \\ &= -6969 \text{ kPa} = -6,969 \text{ MPa} < f_{ct} = 3,22 \text{ MPa} \end{aligned}$$

OK

b) Tegangan pada serat bawah balok :

$$\begin{aligned} f_{bc} &= -\frac{P_{eff}}{Ac} + \frac{P_{eff} \cdot e'_s}{W_{bc}} - \frac{M_{bs}}{W_{bc}} \\ &= -\frac{9255,74}{1,049} + \frac{9255,74 \cdot 0,82195}{0,53074} - \frac{9328,75}{0,53074} \\ &= -11443 \text{ kPa} = 11,443 \text{ MPa} < f_{ct} = 18,675 \text{ MPa} \end{aligned}$$

OK

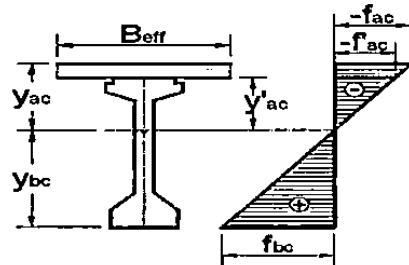
c) Tegangan pada serat atas balok :

$$\begin{aligned} f_{bc} &= -\frac{P_{eff}}{Ac} + \frac{P_{eff} \cdot e'_s}{W'_{ac}} - \frac{M_{bs}}{W'_{ac}} \\ &= -\frac{9255,74}{1,049} + \frac{9255,74 \cdot 0,82195}{0,75191} - \frac{9328,75}{0,75191} \\ &= -7358 \text{ kPa} = -7,358 \text{ MPa} < f_{ct} = 3,22 \text{ MPa} \end{aligned}$$

OK

5) Tegangan Yang Terjadi Pada Balok Komposit

a) Tegangan akibat berat sendiri (MS)



Gambar 5.26 Tegangan Akibat Berat Sendiri (*sumber : Ilham 2010*)

Karena prategang pascatarik dengan tendon terekat, maka digunakan penampang transformasi

Section properties penampang balok :

Luas tampang balok komposit,	$A_c = 1,04939 \text{ m}^2$
Tahanan momen atas plat,	$w_{ac} = 0,75191 \text{ m}^3$
Tahanan momen bawah balok,	$w_{bc} = 0,53074 \text{ m}^3$
Tahanan momen atas balok	$w'_{ac} = 0,95196 \text{ m}^3$
Momen akibat berat sendiri balok dan plat ,	$M_{MS} = 10237 \text{ kNm}$
Momen akibat berat mati tambahan ,	$M_{MA} = 2540 \text{ kNm}$

Perhitungan luas penampang transformasi dilakukan dengan persamaan

3) Tegangan pada serat atas balok :

$$f_{bc} = + \frac{M_{MS}}{W_{bc}} = - \frac{10237}{0,53074}$$

$$= - 19289 \text{ kPa} = 19,289 \text{ MPa}$$

b) Tegangan Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

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

Tegangan-tegangan yang terjadi saat transfer ,

1) Tegangan pada serat atas plat :

$$f_{ac} = - \frac{M_{MA}}{W_{ac}} = - \frac{736}{0,75191}$$

$$= - 3378 \text{ kPa} = 3,378 \text{ MPa}$$

2) Tegangan pada serat atas balok :

$$f_{ac} = - \frac{M_{MA}}{W'_{ac}} = - \frac{736}{0,95196}$$

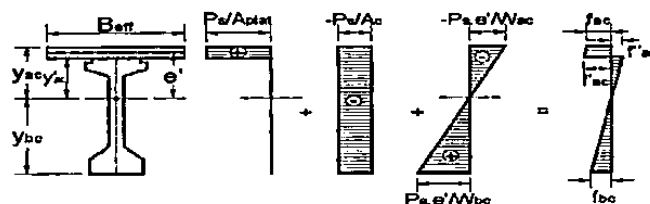
$$= - 2668 \text{ kPa} = 2,668 \text{ MPa}$$

3) Tegangan pada serat atas balok :

$$f_{bc} = + \frac{M_{MA}}{W_{bc}} = - \frac{10237}{0,53074}$$

$$= - 4786 \text{ kPa} = 4,786 \text{ MPa}$$

6) Tegangan Akibat Susut (shrinkage)



Gambar 5.27 Tegangan Akibat Susut (sumber : Ilham 2010)

Internal yang timbul akibat susut dinyatakan dengan :

$$P_s = A_{\text{plat}} \cdot E_{\text{balok}} \cdot \Delta e_{\text{su}} \cdot n \left(\frac{1 - e^{-cf}}{cf} \right)$$

Luas penampang plat, $A_{\text{plat}} = B_{\text{plat}} \cdot h_0 = 0,29709 \text{ m}^2$

Modulus elastis balok, $E_{\text{balok}} = 3.567\text{E}+07 \text{ kPa}$

Perbandingan modulus elastis plat dan balok	$n = 0,848$
Koefisien yang tergantung pada pemakaian air semen,	$kb = 0,905$
Koefisien yang tergantung pada kelembaban udara,	$kc = 3$
Koefisien yang tergantung pada derajat pengerasan beton,	$kd = 0,938$
koefisien yang tergantung pada tebal teoritis,	$ke = 0,734$
koefisien yang tergantung pada waktu,	$ktn = 0,2$
koefisien yang tergantung pada luas tulangan baja,	$kp = 0,999$
Regangan dasar susut ,	$\varepsilon = 0,0006$

Section properties penampang balok:

Luas tampang balok komposit,	$A_c = 1,04939 \text{ m}^2$
Tahanan momen atas plat,	$w_{ac} = 0,75191 \text{ m}^3$
Tahanan momen bawah balok,	$w_{bc} = 0,53074 \text{ m}^3$
Tahanan momen atas balok	$w'_{ac} = 0,95196 \text{ m}^3$
Eksentrisitas tendon,	$e' = y_{ac} - h_0/2 = 0,952 - 0,20/2 = 0,0003982$

Gaya internal yang timbul akibat susut :

$$\begin{aligned} \Delta\varepsilon_{su} &= \varepsilon b \cdot kb \cdot ke \cdot kp \\ &= 0,0006 - 0,905 - 0,734 - 0,999 = 0,0003982 \\ cf &= kb \cdot kc \cdot kd \cdot ke \cdot (1 - ktn) \\ &= 0,905 \cdot 3 \cdot 0,938 \cdot 0,734 \cdot (1 - 0,2) = 1,495 \\ P_s &= A_{plat} \cdot E_{balok} \cdot \Delta\varepsilon_{su} \cdot n \cdot ((1 - e^{-cf})/cf) \\ &= 0,29809 \cdot 3,567E+07 \cdot 0,0003982 \cdot 0,8488 \cdot ((1 - 2,71^{-1,495})/1,495) \\ &= 1858,18 \text{ kN} \end{aligned}$$

Tegangan-tegangan yang terjadi saat transfer ,

a) Tegangan pada serat atas plat :

$$\begin{aligned} f_{ac} &= -\frac{P_s}{A_{plat}} + \frac{P_s}{A_c} - \frac{P_s \cdot e'}{W_{ac}} \\ &= -\frac{1858,18}{0,29709} + \frac{1858,18}{1,04939} - \frac{1858,18}{0,75191} \\ &= -2379 \text{ kPa} = 2,379 \text{ MPa} \end{aligned}$$

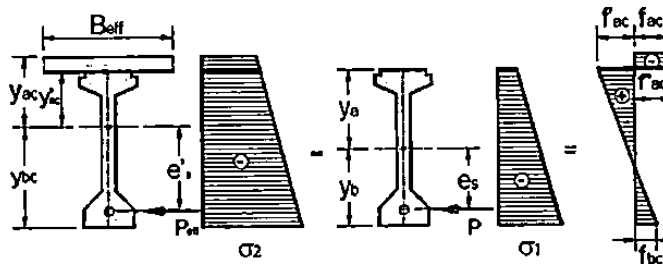
b) Tegangan pada serat bawah plat :

$$\begin{aligned} f_{bc} &= -\frac{P_s}{A_{plat}} + \frac{P_s}{Ac} - \frac{P_s \cdot e'}{W'ac} \\ &= -\frac{1858,18}{0,29709} + \frac{1858,18}{1,04939} - \frac{1858,18}{0,95196} \\ &= -2821 \text{ kPa} = 2,821 \text{ MPa} \end{aligned}$$

c) Tegangan pada serat atas balok :

$$\begin{aligned} f_{ac} &= -\frac{P_s}{Ac} - \frac{P_s \cdot e'}{W'ac} \\ &= -\frac{1858,18}{1,04939} - \frac{1858,18}{0,95196} \\ &= -3433 \text{ kPa} = 3,433 \text{ MPa} \end{aligned}$$

7) Tegangan Akibat Rangkak Beton (*Creep*)



Gambar 5.28 Tegangan Akibat Rangkak (*sumber : Ilham 2010*)

Residual creep dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\sigma_{cr} = (1 - e^{-cf}) \cdot (\sigma_1 - \sigma_2)$$

σ_1 = tegangan pada balok setelah plat lantai selesai dicor (beton muda)

σ_2 = tegangan pada balok setelah plat lantai balok menjadi komposit

Faktor residu rangkak beton $cf = 1,4954$

Bilangan natural , $= 2,7183$

Tegangan beton diserat atas plat, $f_{ca} = \sigma_2 = -6997 \text{ kPa}$

Tegangan beton diserat bawah plat, $f'_{ca} = \sigma_2 = -7371 \text{ kPa}$

Tegangan beton diserat atas balok, $f'_{ca} = \sigma_2 = -7371 \text{ kPa}$

$f_a = \sigma_1 = 16867 \text{ kPa}$

a) Residu rangkai beton pada serat atas plat :

$$\begin{aligned}\sigma_{cr} &= (1 - e^{-cf}) \cdot (\sigma_2 - \sigma_1) \\ &= (1 - 2,7183^{-1,4954}) \cdot (-6997 - 0) \\ &= -5429 \text{ kPa}\end{aligned}$$

b) Residu rangkai beton pada serat bawah plat :

$$\begin{aligned}\sigma_{cr} &= (1 - e^{-cf}) \cdot (\sigma_2 - \sigma_1) \\ &= (1 - 2,7183^{-1,4954}) \cdot (-7371 - 0) \\ &= -5718 \text{ kPa}\end{aligned}$$

c) Residu rangkai beton pada serat bawah plat :

$$\begin{aligned}\sigma_{cr} &= (1 - e^{-cf}) \cdot (\sigma_2 - \sigma_1) \\ &= (1 - 2,7183^{-1,4954}) \cdot (-7371 - 16867) \\ &= 7368 \text{ kPa}\end{aligned}$$

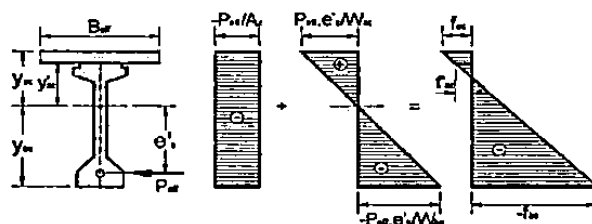
d) Residu rangkai beton pada serat bawah plat :

$$\begin{aligned}\sigma_{cr} &= (1 - e^{-cf}) \cdot (\sigma_2 - \sigma_1) \\ &= (1 - 2,7183^{-1,4954}) \cdot (-11291 - 7934) \\ &= -2604 \text{ kPa}\end{aligned}$$

Tabel 5.22 Superposisi tegangan susut dan rangkai

Tegangan pada beton	Susut (kPa)	Rangkai (kPa)	Susut + rangkai (kPa)
Tegangan diserat atas plat	2379	-5407	-3028
Tegangan diserat bawah plat	2821	-5708	-2887
Tegangan diserat atas balok	-3433	7346	3913
Tegangan diserat bawah balok	1211	2596	-1386

8) Tegangan akibat prategang (PR)



Gambar 5.20 Tegangan Akibat Prategang (sumber : Ilham 2010)

Karena prategang paskatarik dengan tendon terekat, maka digunakan penampang transformasi .

Section properties penampang balok:

Luas tampang balok komposit, $A_c = 1,04939 \text{ m}^2$
 Tahanan momen atas plat, $W_{ac} = 0,75191 \text{ m}^3$
 Tahanan momen bawah balok, $W_{bc} = 0,53074 \text{ m}^3$
 Tahanan momen atas balok $W'_{ac} = 0,95196 \text{ m}^3$
 Eksentrisitas tendon untuk penampang komposit,

$$e'_s = es + (y_{bc} - yb) = 0,82 + (1,348 - 1,012) = 1,158 \text{ m}$$

Gaya efektif di tengah bentang $P_{eff} = 9255,70 \text{ kN}$

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

Tegangan-tegangan yang terjadi saat transfer ,

a) Tegangan pada serat atas plat :

$$\begin{aligned} f_{ac} &= -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e'_s}{W_{ac}} \\ &= -\frac{9255,70}{1,049} + \frac{9255,70 \cdot 1,158}{0,75191} \\ &= -5438 \text{ kPa} = 5,438 \text{ MPa} \end{aligned}$$

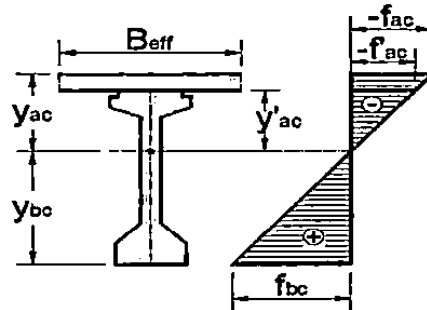
b) Tegangan pada serat bawah balok :

$$\begin{aligned} f_{bc} &= -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e'_s}{W_{bc}} \\ &= -\frac{9255,70}{1,049} + \frac{9255,70 \cdot 1,158}{0,53074} \\ &= -2442 \text{ kPa} = 2,442 \text{ MPa} \end{aligned}$$

c) Tegangan pada serat atas balok :

$$\begin{aligned} f_{ac} &= -\frac{P_{eff}}{A_c} + \frac{P_{eff} \cdot e'_s}{W'_{ac}} \\ &= -\frac{9207,1}{1,049} + \frac{9207,1 \cdot 1,158}{0,75191} \\ &= -28868 \text{ kPa} = -28,868 \text{ MPa} \end{aligned}$$

9) Tegangan akibat beban lajur "D" (TD)



Gambar 5.30 Tegangan Akibat Beban Lajur (*sumber : Ilham 2010*)

Karena prategang paskatarik dengan tendon terikat, maka digunakan penampang transformasi .

Section properties penampang balok:

Tahanan momen atas plat, $w_{ac} = 0,75191 \text{ m}^3$

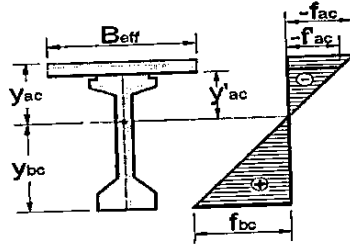
Tahanan momen bawah balok, $w_{bc} = 0,53074 \text{ m}^3$

Tahanan momen atas balok $w'_{ac} = 0,95196 \text{ m}^3$

Momen akibat beban lajur "D" $M_{TD} = 5000,63 \text{ kNm}$

Diketahui bahwa semua pascatarik awal dihitung dengan penampang

10) Tegangan akibat gaya rem (TB)



Gambar 5.31 Tegangan Akibat Gaya Rem (sumber : Ilham 2010)

Karena prategang pascatarik dengan tendon terekat, maka digunakan penampang transformasi.

Section properties penampang balok:

Tahanan momen atas plat, $w_{ac} = 0,75191 \text{ m}^3$

Tahanan momen bawah balok, $w_{bc} = 0,53074 \text{ m}^3$

Tahanan momen atas balok $w'_{ac} = 0,95196 \text{ m}^3$

Momen akibat gaya rem "TB" $M_{TB} = 35,67 \text{ kNm}$

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

Tegangan-tegangan yang terjadi saat transfer,

a) Tegangan pada serat atas plat :

$$f_{ac} = -\frac{M_{TB}}{W_{ac}} = -\frac{51,49}{0,75191}$$

$$= -47 \text{ kPa} = 0,047 \text{ MPa}$$

b) Tegangan pada serat atas balok :

$$f_{ac} = -\frac{M_{TB}}{W'_{ac}} = -\frac{51,49}{0,95196}$$

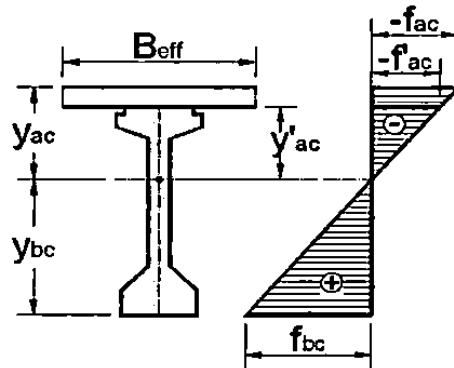
$$= -37 \text{ kPa} = -0,037 \text{ MPa}$$

c) Tegangan pada serat bawah balok :

$$f_{bc} = -\frac{M_{TB}}{W_{bc}} = -\frac{51,49}{0,53074}$$

$$= -67 \text{ kPa} = -0,067 \text{ MPa}$$

11) Tegangan akibat beban angin (EW)



Gambar 5.32 Tegangan Akibat Beban Angin (*sumber : Ilham 2010*)

Karena prategang paskatarik dengan tendon terikat, maka digunakan penampang transformasi.

Section properties penampang balok:

Tahanan momen atas plat, $w_{ac} = 0,75191 \text{ m}^3$

Tahanan momen bawah balok, $w_{bc} = 0,53074 \text{ m}^3$

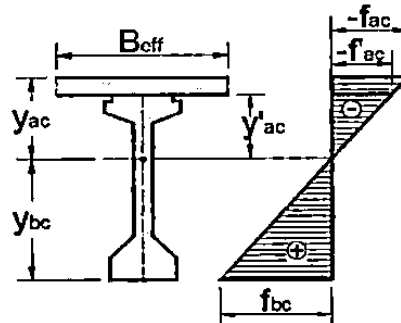
Tahanan momen atas balok $w'_{ac} = 0,95196 \text{ m}^3$

Momen akibat beban angin (EW) $M_{EW} = 231,43 \text{ kNm}$

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

Tegangan tegangan yang terjadi saat transfer (lihat gambar 5.31)

12) Tegangan akibat beban gempa (EQ)



Gambar 5.33 Tegangan Akibat Beban Gempa (*sumber : Ilham 2010*)

Karena prategang paskatarik dengan tendon terekat, maka digunakan penampang transformasi (lihat gambar 5.32).

Section properties penampang balok:

Tahanan momen atas plat, $w_{ac} = 0,75191 \text{ m}^3$

Tahanan momen bawah balok, $w_{bc} = 0,53074 \text{ m}^3$

Tahanan momen atas balok $w'_{ac} = 0,95196 \text{ m}^3$

Momen akibat beban angin (EW) $M_{EQ} = 1097,28 \text{ kNm}$

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

Tegangan-tegangan yang terjadi saat transfer ,

a) Tegangan pada serat atas plat :

$$f_{ac} = -\frac{M_{EQ}}{W_{ac}} = -\frac{1097,28}{0,75191}$$

$$= -1459 \text{ kPa} = 1,459 \text{ MPa}$$

b) Tegangan pada serat atas balok :

$$f_{ac} = -\frac{M_{EQ}}{W'_{ac}} = -\frac{1097,28}{0,95196}$$

$$= -1153 \text{ kPa} = -1,153 \text{ MPa}$$

c) Tegangan pada serat bawah balok :

$$f_{bc} = -\frac{M_{EQ}}{W_{bc}} = -\frac{1097}{0,53074}$$

15. Kontrol Tegangan Terhadap Kombinasi Pembebanan

Mutu beton K-500

Kuat tekan beton $f'_c = 0,83.K.100 = 41500 \text{ kPa}$

Tegangan ijin tekan beton $f_c' = -0,6.f'_c = -24900 \text{ kPa}$

Tegangan ijin tarik beton $f_c = 0,50.\sqrt{f'_c} = 102 \text{ kPa}$

Tabel 5.23 Kombinasi Pembebanan

No	Beban	Simbol	Kombinasi Pembebanan		
			1	2	3
A	Aksi Tetap				
1	Berat Sendiri	MS	√	√	√
2	Beban Mati Tambahan	MA	√	√	√
3	Susut Dan Rangkak	SR	√	√	√
5	Prategang	PR	√	√	√
B	Aksi Transien				
1	Beban Lajur "D"	TD	√	√	√
2	Gaya Rem	TB	√	√	
C	Aksi Lingkungan				
1	Beban Angin	EW		√	
2	Beban Gempa	EQ			√

a) Kontrol Tegangan Terhadap Kombinasi 1

Tabel 5.24 Kontrol Tegangan Kombinasi 1

Tegangan	MS	MA	SR	PR	TD	TB	Total	Keterangan
fac	-13615	-3378	-3028	5438	-6651	-47	-21281	< f_c' (aman)
f'ac	-10754	-2668	-2887	2442	-5253	-37	-19158	< f_c' (aman)
f'ac	-10754	-2668	3913	2442	-5253	-37	-12358	< f_c' (aman)
fbc	19289	4786	-1385	29020	9422	67	-3159	< f_c' (aman)

Tegangan beton diserat bawa balok : $f_{bc} < 0$ (tekan) sisitim

b) Kontrol Tegangan Terhadap Kombinasi 2

Tabel 5.25 Kontrol Tegangan Kombinasi 2

Tegangan	MS	MA	SR	PR	TD	TB	EW	Total	Keterangan
fac	-13615	-3378	-3028	5438	-6651	-47	-308	-21589	< f_c' (aman)
f'ac	-10754	-2668	-2887	2442	-5253	-37	-243	-19401	< f_c' (aman)
f ² ac	-10754	-2668	3913	2442	-5253	-37	-243	-12601	< f_c' (aman)
fbc	19289	4786	-1385	29020	9422	67	436	3595	< f_c' (aman)

Tegangan beton diserat bawa balok : $fbc < 0$ (tekan) sisitim sambungan segmental Aman.

c) Kontrol Tegangan Terhadap Kombinasi 3

Tabel 5.26 Kontrol Tegangan Kombinasi 3

Tegangan	MS	MA	SR	PR	TD	EQ	Total	Keterangan
fac	-13615	-3378	-3028	5438	-6651	-1459	-22933	< f_c' (aman)
f'ac	-10754	-2668	-2887	2442	-5253	-1153	-20463	< f_c' (aman)
f ² ac	-10754	-2668	3913	2442	-5253	-1153	-13663	< f_c' (aman)
fbc	19289	4786	-1385	29020	9422	2067	5499	< f_c' (aman)

Tegangan beton diserat bawa balok : $fbc < 0$ (tekan) sisitim sambungan segmental Aman.

16. Tinjauan *Ultimit* Balok *Prestress* Setelah *Grouting*a) Kapasitas Momen *Ultimate*

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

Jumlah total *strands*, $n_s = 85$ *strands*

Luas tampang nominal satu *strand*, $A_{st} = 0,00010$ m²

Tegangan leleh tendon baja prategang, $f_{py} = 1580$ MPa

Luas tampang tendon baja prategang,

Kuat tekan beton, $f'_c = 41,5$ MPa

Kuat leleh baja prestress pada keadaan ultimit :

Untuk nilai, $L/H \leq 35$: $f_{ps} = f_{eff} + 150 + f'_c / (100 \cdot \rho_p) \leq 0,8 \cdot f_{py}$

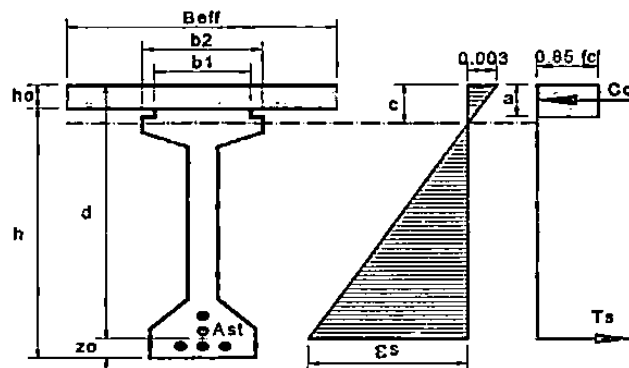
Panjang balok prategang, $L = 50$ m

Gaya prestress efektif setelah kehilangan gaya prategang, $P_{eff} = 9255,7$ kN

Tegangan efektif baja prestress, $f_{eff} = P_{eff} / A_{PS} \cdot 10^{-3} = 1088,9$ MPa

Luas penampang balok komposit, $A_c = 1,049$ m²

luas penampang baja prestress, $\rho_p = A_{PS} / A_c = 0,010256$



Gambar 5.34 Kapasitas Penampang balok (sumber : Ilham 2010)

$B_1 = 0,64$ m , $B_2 = 1,00$ m , $B_3 = 0,30$ m , $B_4 = 0,20$ m $B_5 = 0,25$,
 $B_6 = 0,70$ m , $H_1 = 0,07$ m , $H_2 = 0,13$ m , $H_3 = 0,12$ m , $H_4 = 1,65$ m ,
 $H_5 = 0,25$ m , $H_6 = 0,25$ m , $H = 2,1$ m , $H_0 = 0,2$ m , $B_{eff} = 1,49$ m

Tinggi balok prategang, $H = H + H_0 = 2,1 + 0,2 = 2,3$ m

$$L/H = 50/2,3 = 21,739 \text{ m}$$

Syarat $L/H < 35$

OK

Kuat leleh prestress pada keadaan *ultimit*

$$f_{ps} = f_{eff} + 150 + f'_c / (100 \cdot \rho_p) = 855,5 + 150 + 41,5 / (100 \cdot 0,0102) = 1046 \text{ MPa}$$

$$f_{ps} = f_{cr} + 400 = 855,5 + 400 = 1256 \text{ MPa}$$

$$f_{ps} = 0,8 \cdot f_{py} = 0,85 \cdot 1580 = 1264 \text{ MPa}$$

diambil kuat leleh baja prategang terkecil $f_{ps} = 1046$ MPa

β_1 = harus $\geq 0,65$ untuk f'_c 41,5 MPa

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot (f'_c - 30) / 7 = 0,85 - 0,05 \cdot (41,5 - 30) / 7 = 0,7678$$

Letak titik berat tendon baja prategang terhadap alas balok $z_o = 0,10$ m

Tinggi efektif balok , $d = h + h_0 - z_0 = 2,1 + 0,2 - 0,19 = 2,11 \text{ m}$

Kuat leleh baja , $f_{ps} = 1045978,8 \text{ kPa}$

Gaya tarik baja prestress, $T_s = A_{ps} \cdot f_{ps} = 0,0107 \cdot 1045978,8 = 11256,90 \text{ kN}$

$H_0 + H_1 = 0,2 + 0,07 = 0,27 \text{ m}$

$$a = (T_s / (0,85 \cdot f_c') - \beta_{eff} \cdot h_0) / b_1 + h_0$$

$$= (11256,90 / (0,85 \cdot 41,5) - 1,49 \cdot 0,2) / 0,64 + 0,2 = 0,234$$

Syarat $a < h_0 + h_1$ **OK**

Jarak garis netral terhadap sisi atas , $c = a / \beta_1 = 0,234 / 0,7678 = 0,305 \text{ m}$

Regangan baja prestress , $\epsilon_{ps} = 0,003 \cdot (d - c) / c$

$$= 0,003 \cdot (2,11 - 0,305) / 0,305 = 0,0177$$

Syarat $\epsilon_{ps} < 0,03$ **OK**

Luas penampang tekan beton , $A_1 = L \cdot H_0 = 1,49 \cdot 0,2 = 0,297 \text{ m}^2$

$$A_2 = L \cdot H = 0,64 \cdot 0,0344 = 0,022 \text{ m}^2$$

Lengan terhadap pusat baja prestress ,

$$y_1 = d - h_0 / 2 = 2,11 - 0,2 / 2 = 2,010 \text{ m}$$

$$y_2 = d - h_0 - (a - h_0) / 2 = 2,11 - 0,2 - (0,234 - 0,2) / 2 = 1,893 \text{ m}$$

gaya internal tekan beton :

$$C_{c1} = \Sigma (A_1 \cdot 0,85 \cdot f_c') = 0,297 \cdot 0,85 \cdot 41,5 = 10479,8 \text{ kN}$$

$$C_{c2} = \Sigma (A_2 \cdot 0,85 \cdot f_c') = 0,0075 \cdot 0,85 \cdot 41,5 = 264,2 \text{ kN}$$

Momen nominal :

$$M_{n1} = C_{c1} \cdot y_1 = 10479,8 \cdot 2,010 = 21064,46 \text{ kNm}$$

$$M_{n2} = C_{c2} \cdot y_2 = 264 \cdot 1,90 = 503,02 \text{ kNm}$$

$$\text{Total } M_{n1} + M_{n2} = 21064,46 + 503,02 = 21567,48 \text{ kNm}$$

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

Kapasitas momen *ultimate* balok *prestress*:

$$\phi \cdot M_n = 0,9 \cdot 21567,48 = 19410,73 \text{ kNm}$$

b) Momen ultimit balok

1) momen akibat susut dan rangkai

gaya internal akibat susut $P_s = 1858,18 \text{ kNm}$

eksentrisitas susut $e' = 0,852 \text{ m}$

$M_{s} = P_s \cdot e' = 1858,18 \cdot 0,852 = 1583,15 \text{ kNm}$

Eksentrisitas balok prategang $e_s = 0,821 \text{ m}$

Gaya efektif $P_{\text{eff}} = 9255,74 \text{ kN}$

momen akibat susut $M_s = -P_s \cdot e' = 1858,18 \cdot 0,852 = -1582,62 \text{ kNm}$

Momen akibat rangkai $M_R = P_{\text{eff}} \cdot (e_s' - e_s) = 3233,20 \text{ kNm}$

Momen akibat susut dan rangkai $M_{SR} = M_s + M_R = 1650,59 \text{ kNm}$

2) Momen akibat gaya prategang

Gaya prategang efektif $P_{\text{eff}} = 9255,7 \text{ kN}$

Eksentrisitas tendon prategang $e'_s = 0,821 \text{ m}$

Momen akibat prategang $M_{PR} = -P_{\text{eff}} \cdot e'_s = 9255,74 \cdot 0,821 = -7607,76 \text{ kNm}$

c) Momen *Ultimate* Akibat Beban

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

Untuk hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel 5.21 berikut.

Tabel 5.27 Perhitungan Momen *Ultimate* Akibat Beban yang Bekerja

No	Aksi Beban	Faktor Beban	Momen (kNm)	Momen Ultimate
1	Berat Sendiri	K_{MS} 1,3	10237,2	13308,40
2	Beban Mati Tambahan	K_{MA} 2,0	735,5	1471,09
3	Susut dan Rangkai	K_{SR} 1,0	1650,59	1650,59
4	Prategang	K_{PR} 1,0	-7607,76	-7607,76
3	Beban lajur "D"	K_{TD} 1,8	5000,6	9001,13
5	Gaya rem	K_{TB} 1,8	51,5	92,68
6	Beban angin	K_{EW} 1,2	231,4	277,71
7	Beban gempa	K_{EQ} 1,0	1097,3	1097,28
Total momen <i>ultimate</i> yg bekerja				19291,12

Kontrol momen kapasitas,

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

$$= 0,9 \cdot 21567,48$$

$$= 19410,73 \text{ kNm} > M_{uk} = 19291,12 \text{ kNm} \quad \text{OK}$$

17. Lendutan Pada balok Prategang

a) Lendutan Pada Keadaan Awal (Transfer)

Jarak titik berat tendon baja terhadap titik berat balok prategang,

$$e_s = 0,82195 \text{ m}$$

Momen inesia tampang balok, $I_x = 0,41399 \text{ m}^4$

Panjang bentang, $L = 50 \text{ m}$

Modulus elastis balok prategang $E_c = 3.57E+04 \text{ MPa}$

Gaya prategang awal, $P_{t1} = 10795,3 \text{ kN}$

Momen akibat berat sendiri balok, $M_{bs} = 6594,38 \text{ kNm}$

Lendutan pada keadaan awal (transfer)

Beban akibat gaya prategang P_{t1} :

$$Q_{PT1} = 8.P_{t1}.e_s/L^2 = 8.10795,3.0,821/50^2 = 28,394 \text{ kN/m}$$

Beban akibat beban sendiri balok :

$$Q_{MS} = 8.M_{bs}/L^2 = 8.6594,38/50^2 = 21,102 \text{ kN/m}$$

Total beban bekerja $Q_{bs} = Q_{PT1} + Q_{MS} = 28,394 + 21,102 = 49,496 \text{ kN/m}$

Lendutan ke atas (*chamber*)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5}{384} \frac{Q_{bs} \cdot L^4}{(E_c \cdot I_x)} \\ &= \frac{5}{384} \frac{49,49650^4}{(3.6E+07 \cdot 0,413)} = -0,040 \text{ m, } (\uparrow) \text{ ke atas} \end{aligned}$$

b) Lendutan Setelah Kehilangan Gaya Prategang

Jarak titik berat tendon baja terhadap titik berat balok prategang,

$$e_s = 0,82195 \text{ m}$$

Momen inesia tampang balok, $I_x = 0,41399 \text{ m}^4$

Panjang bentang, $L = 50 \text{ m}$

Modulus elastis balok prategang $E_c = 3.57E+04 \text{ MPa}$

Gaya prategang efektif, $P_{eff} = 9255,74 \text{ kN}$

Momen akibat berat sendiri balok, $M_{bs} = 6594,38 \text{ kNm}$

Lendutan pada keadaan awal (transfer)

Beban akibat gaya prategang P_{t1} :

$$Q_{Pt1} = 8 \cdot P_{eff} \cdot e_s / L^2 = 8 \cdot 9255,74 \cdot 0,821 / 50^2 = 24,217 \text{ kN/m}$$

Beban akibat beban sendiri balok :

$$Q_{MS} = 8 \cdot M_{bs} / L^2 = 8 \cdot 6594,38 / 50^2 = 21,102 \text{ kN/m}$$

Total beban bekerja $Q_{bs} = Q_{Pt1} + Q_{MS} = 24,217 + 21,102 = 45,319 \text{ kN/m}$

Lendutan ke bawah (*chamber*)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{bs} \cdot L^4}{(Ec \cdot I_x)} \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{45,319 \cdot 50^4}{(3,6E + 07,0,413)} = -0,018 \text{ m, } (\uparrow) \text{ ke atas} \end{aligned}$$

c) Lendutan setelah plat selesai dicor (beton muda)

Jarak titik berat tendon baja terhadap titik berat balok prategang,

$$e_s = 0,82195 \text{ m}$$

Momen inersia tampang balok, $I_x = 0,41399 \text{ m}^4$

Panjang bentang, $L = 50 \text{ m}$

Modulus elastis balok prategang $E_c = 3,57E+04 \text{ MPa}$

Gaya prategang awal, $P_{t1} = 9255,74 \text{ kN}$

Momen akibat berat sendiri balok+plat, $M_{bs} = 9328,75 \text{ kNm}$

Lendutan pada keadaan awal (transfer)

Beban akibat gaya prategang P_{t1} :

$$Q_{Pt1} = 8 \cdot P_{eff} \cdot e_s / L^2 = 8 \cdot 9255,74 \cdot 1,0,821 / 50^2 = 24,217 \text{ kN/m}$$

Beban akibat beban sendiri balok :

$$Q_{MS} = 8 \cdot M_{bs} / L^2 = 8 \cdot 9328,75 / 50^2 = 29,852 \text{ kN/m}$$

Total beban bekerja $Q_{bs} = Q_{Pt1} + Q_{MS} = 24,217 + 29,852 = 54,069 \text{ kN/m}$

Lendutan ke bawah (*deflection*)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{bs} \cdot L^4}{(Ec \cdot I_x)} \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{54,069 \cdot 50^4}{(3,6E + 07,0,413)} = 0,030 \text{ m, } (\downarrow) \text{ ke bawah} \end{aligned}$$

d) Lendutan setelah balok dan plat menjadi komposit

Jarak titik berat tendon baja terhadap titik berat balok prategang,

$$e'_s = e_s + (y_{bc} - y_b) = 0,82195 + (1,348 - 1,012) = 1,158 \text{ m}$$

Momen inersia tampang balok dan plat, $I_x = 0,71559 \text{ m}^4$

Panjang bentang, $L = 50 \text{ m}$

Modulus elastis balok prategang $E_c = 3.57E+04 \text{ MPa}$

Gaya prategang awal, $P_{\text{eff}} = 9255,74 \text{ kN}$

Momen akibat berat sendiri balok+plat, $M_{bs} = 9328,75 \text{ kNm}$

Lendutan pada keadaan awal (transfer)

Beban akibat gaya prategang P_{11} :

$$Q_{\text{eff}} = 8 \cdot P_{\text{eff}} \cdot e_s / L^2 = 8 \cdot 9207,11 \cdot 1,158 / 50^2 = 34,127 \text{ kN/m}$$

Beban akibat beban sendiri balok :

$$Q_{MS} = 8 \cdot M_{bs} / L^2 = 8 \cdot 9328,75 / 50^2 = 29,852 \text{ kN/m}$$

Total beban bekerja $Q_{bs} = Q_{PT1} + Q_{MS} = 34,127 + 21,102 = 63,979 \text{ kN/m}$

Lendutan ke bawah (*deflection*)

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{bs} \cdot L^4}{(E_c \cdot I_x)} \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{63,979 \cdot 50^4}{(3.6E+07 \cdot 0,71559)} = -0,014 \text{ m, } (\uparrow) \text{ ke atas} \end{aligned}$$

e) Lendutan Pada Keadaan Akhir (*Service*)

Jarak titik berat tendon baja terhadap titik berat balok prategang,

$$e'_s = e_s + (y_{bc} - y_b) = 0,82195 + (1,348 - 1,012) = 1,158 \text{ m}$$

Momen inersia tampang balok dan plat, $I_x = 0,71559 \text{ m}^4$

Panjang bentang, $L = 50 \text{ m}$

Modulus elastis balok prategang $E_c = 3.57E+04 \text{ MPa}$

Luas tampang balok komposit, $A_c = 1,04939 \text{ m}^2$

Tahanan momen atas plat, $w_{ac} = 0,75191 \text{ m}^3$

Tahanan momen bawah balok, $w_{bc} = 0,53074 \text{ m}^3$

Gaya prategang awal, $P_{\text{eff}} = 9207,09 \text{ kN}$

Momen akibat berat sendiri balok+plat $M_{bs} = 9328,75 \text{ kNm}$

f) Lendutan yang terjadi akibat beban yang bekerja

1) Lendutan Akibat Berat Sendiri (MS)

$$\text{Beban } Q_{MS} = 32,759 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{MS} \cdot L^4}{(EcI_x)} \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{32,759 \cdot 50^4}{(3.6E + 07.0,71559)} = 0,10444 \text{ m, } (\downarrow) \text{ ke bawah} \end{aligned}$$

2) Lendutan Akibat Beban Mati Tambahan (MA)

$$\text{Beban } Q_{MA} = 2,354 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{MA} \cdot L^4}{(EcI_x)} \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{8,129 \cdot 50^4}{(3.6 + E + 07.0,71559)} = 0,02592 \text{ m, } (\downarrow) \text{ ke bawah} \end{aligned}$$

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

$$\text{Beban : } Q_{TD} = 11,200 \text{ kN/m}$$

$$P_{TD} = 120,050 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{1}{48} \cdot \frac{P_{TD} \cdot L^3}{(EcI_x)} + \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{TD} \cdot L^4}{(EcI_x)} \\ &= \frac{1}{48} \cdot \frac{120,050 \cdot 50^3}{(3.6E + 07.0,71559)} + \frac{5}{384} \cdot \frac{11,200 \cdot 50^4}{(3.6E + 07.0,71559)} \\ &= 0,04796 \text{ m, } (\downarrow) \text{ ke bawah} \end{aligned}$$

4) Lendutan Akibat Beban Rem (TB)

$$\text{Beban : } M_{TB} = 102,976 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \delta &= 0,0642 \cdot \frac{M_{TB} \cdot L^2}{(EcI_x)} \\ &= 0,0642 \cdot \frac{102,976 \cdot 50^2}{(3.6E + 07.0,71559)} = 0,00015 \text{ m, } (\downarrow) \text{ ke bawah} \end{aligned}$$

$$= \frac{5}{384} \cdot \frac{0,741 \cdot 50^4}{(3.6E + 07.0,71559)} = 0,00236 \text{ m, } (\downarrow) \text{ ke bawah}$$

6) Lendutan Akibat Beban Gempa (EQ)

Beban : $Q_{EQ} = 3,511 \text{ kN/m}$

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{EQ} \cdot L^4}{(Ec \cdot I_x)} \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{3,511 \cdot 50^4}{(3.6E + 07.0,71559)} = 0,01304 \text{ m, } (\downarrow) \text{ ke bawah} \end{aligned}$$

7) Lendutan akibat prestress (PR)

Beban : $Q_{eff} = 24,217 \text{ kN/m}$

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{eff} \cdot L^4}{(Ec \cdot I_x)} \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{-24,217 \cdot 50^4}{(3.6E + 07.0,71559)} = 0,07762 \text{ m, } (\downarrow) \text{ ke atas} \end{aligned}$$

g) Lendutan jangka panjang

1) Lendutan akibat susut

Eksentrisitas tendon $e' = 0,852 \text{ m}$

Gaya prategang akibat susut $P_s = 1858,18 \text{ kN}$

Beban akibat susut ,

$$Q_{PS} = 8 \cdot P_s \cdot e' / L^2 = 8 \cdot 1858,18 \cdot 0,852 / 50^2 = 5,064 \text{ kN/m}$$

Lendutan ke atas (*deflection*) :

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_{PS} \cdot L^4}{(Ec \cdot I_x)} \\ &= \frac{5}{384} \cdot \frac{1858,18 \cdot 50^4}{(3.6E + 07.0,71559)} = 0,01615 \text{ m, } (\uparrow) \text{ ke atas} \end{aligned}$$

2) Lendutan akibat rangkai

Lendutan pada balok setelah plat lantai selesai dicor $\delta_1 = 0,03106 \text{ m}$

Lendutan pada balok setelah plat lantai menjadi komposit:

$$\delta_2 = -0,01363 \text{ m}$$

Lendutan akibat rangkai :

Lendutan akibat susut dan rangkai :

$$\delta_{\text{rangkai}} + \delta_{\text{susut}} = -0,04468 - 0,01615 = -0,02854 (\uparrow) \text{ ke atas}$$

Untuk dapat mengetahui total lendutan yang terjadi pada balok selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 5.28 Rangkuman Perhitungan Lendutan

No	Jenis Lendutan	Kode Beban	Lendutan (m)	Keterangan
A. Lendutan pada balok prategang (sebelum Komposit)				
1	Keadaan awal (transfer)	-	-0,040	Chamber
2	Setelah kehilangan gaya prategang	-	-0,017	Chamber
3	Setelah plat selesai dicor	-	0,031	Deflection
4	Setelah plat dan balok menjadi komposit	-	-0,014	Chamber
B. Lendutan Setelah Balok Menjadi Komposit				
5	Berat sendiri	MS	0,10444	Deflection
6	Mati tambahan	MA	0,00750	Deflection
7	Lajur "D"	TD	0,04796	Deflection
8	Gaya rem	TB	0,00065	Deflection
9	Angin	EW	0,00236	Deflection
10	Gempa	EQ	0,01119	Deflection
11	Akibat prategang	-	-0,07762	Chamber
12	Susut dan rangkai	-	-0,02854	Chamber
Total Lendutan			0,08814	

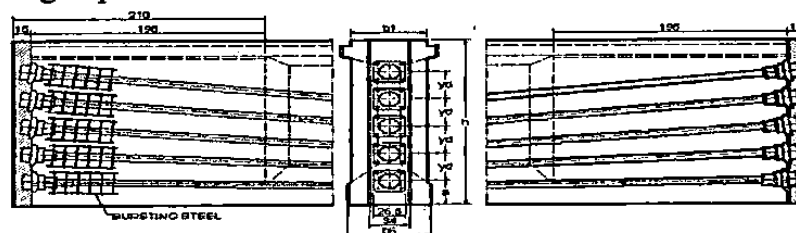
Jadi total lendutan adalah $\delta_r = 0,06808 \text{ m}$

Lendutan maksimum yang diijinkan,

$$\delta = \frac{L}{240} = \frac{50}{240} = 0,208 \text{ m} > \delta_r = 0,06808 \text{ m} \quad \text{OK}$$

18. Perhitungan *End Block*

a) Penulangan pada end block



Angkur yang digunakan yaitu angkur tegangan *VSL tipe E5-45*

Jumlah *strand* dalam 1 tendon $n = 17$

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

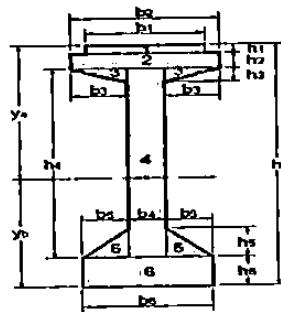
Tegangan leleh pada baja $P_0 = 79,765\%$

Gaya prategang satu tendon $P_j = 187,32 \cdot 17 \cdot 79,765\% = 2540,07$ kN

Tabel 5.29 Pembesian Angkur

No Kabel	Angkur Hidup VSL		Angkur mati VSL		ns (strands)	Sudut (°)
	Sc(ton)	Dim (mm)	P(Ton)	Dim(mm)		
1	17	265	17	250	17	6,136
2	17	265	17	250	17	5,156
3	17	265	17	250	17	4,173
4	17	265	17	250	17	2,547
5	17	265	17	250	17	0,917

b) Momen statis penampang balok



Gambar 5.36 Momen Statis (sumber : Ilham 2010)

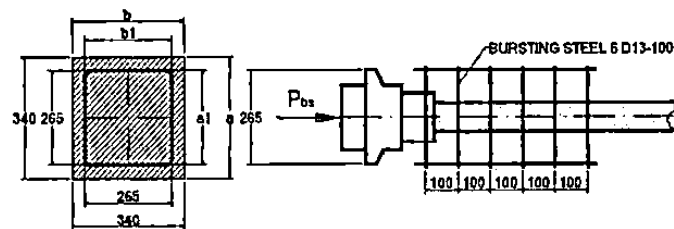
Letak titik berat : $y_a = 1,088$ m , $y_b = 1,012$ m

Tabel 5.30 Momen Statis Luasan Bagian Atas (Sxa)

No	Lebar b (m)	Tinggi h (m)	Shape	Luas A (m ²)	Lengan y (m)	Momen A.y (m ³)
1	0,64	0,07	1	0,04480	1,053	0,04718
2	0,80	0,13	1	0,10400	0,953	0,099,12
3	0,30	0,12	1	0,03600	0,848	0,03053
4	0,20	0,89	1	0,17761	0,444	0,07886
Total (Sxa)						0,25569

Tabel 5.31 Momen statis luasan bagian bawah (Sxb)

No	Lebar b (m)	Tinggi h (m)	Shape	Luas A (m ²)	Lengan y (m)	Momen A.y (m ³)
1	0,20	0,76	1	0,15239	0,381	0,05806
2	0,25	0,25	1	0,06250	0,679	0,04241
3	0,70	0,25	1	0,17500	0,887	0,15522
Total (Sxb)						0,25569

19) Perhitungan *Bursting Force***Gambar 5.37** *Bursting Force* (sumber : Ilham 2010)

Perhitungan sengkang angkur hidup dan mati VSL

Section properties :

Lebar $a = b = 340$ mm

Lebar $a_1 = b_1 = 250$ mm

Gaya prategang satu tendon $P_j = 2540,07$ kN

Tegangan ijin tarik baja sengkang U-32 :

Tegangan leleh baja sengkang $f_y = 320000$ kPa

Tegangan ijin baja sengkang $f_s = 0,578 \cdot f_y = 0,578 \cdot 320000 = 184960$ kPa

Digunakan sengkang tertutup berdiameter : 2 D 13 mm

Luas penampang sengkang :

$$A_s = 2 \cdot \pi / 4 \cdot D^2 = 2 \cdot \pi / 4 \cdot 13^2 = 265,465 \text{ mm}^2$$

Rasio perbandingan lebar plat angkur untuk sengkang arah vertical dan horizontal:

$$r_a = r_b = a_1 / a = 250 / 340 = 0,735$$

bursting force sengkang arah vertical dan horizontal :

$$P_{bta} = P_{btb} = 0,30 \cdot (1 - r_a) \cdot P_j = 0,30 \cdot (1 - 0,735) \cdot 2540,07 = 221,88 \text{ kN}$$

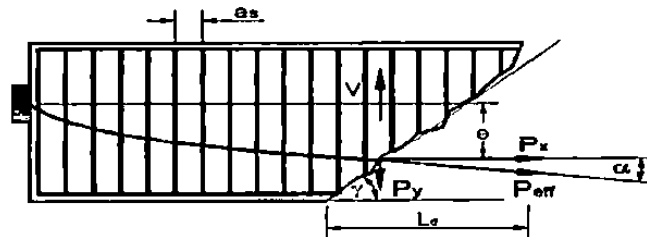
Luas tulangan sengkang arah vertical dan horizontal :

Jumlah sengkang arah vertikal dan horisontal :

$$n = A_{ra} / A_s = 0,001411 / 265,465 = 5,32$$

jadi digunakan sengkang tertutup diameter 2 D 13 jumlah 6

20. Tinjauan terhadap Geser Balok Prategang



Gambar 5.38 Tulangan Geser Balok (sumber : Ilham 2010)

Momen inersia tampang balok, $I_x = 0,41399 \text{ m}^4$

Panjang bentang , $L = 50 \text{ m}$

Gaya prategang efektif, $P_{eff} = 9255,70 \text{ kN}$

Tahanan momen atas $w_a = 0,380486 \text{ m}^3$

Tahanan momen bawah $w_b = 0,409099 \text{ m}^3$

Eksentrisitas tendon $f = 0,8219505 \text{ m}$

Lebar $b = 0,30 \text{ m}$

Momen statis luasan bagian atas (S_{xa}) $= 0,25569 \text{ m}^3$

Luas tampang nominal satu strands $A_{st} = 0,00010 \text{ m}^2$

Gaya geser akibat akibat beban (V)

Momen akibat beban (M)

Tabel 5.32 Tulangan Geser

No	Tinjauan geser	Persamaan
1	Eksentrisitas tendon	$e = 4.f.X/L^2.(L-X)$
2	Sudut kemiringan tendon	$\alpha = \text{ATAN} [4.f.(L-2.X)/L^2]$
3	Komponen gaya arah x	$P_x = P_{eff}.\cos \alpha$
4	Komponen gaya arah y	$P_y = P_{eff}.\sin \alpha$
5	Resultan gaya geser	$V_r = V - P_y$
6	Tegangan geser	$f_v = V_r.S_x/(b.I_x)$
7	Tegangan beton diserat atas	$f_a = -P_x/A + P_x.e/W_a - M/W_a$
8	Sudut bidang geser	$\gamma = 1/2.[\text{ATAN}(2.f_v/f_a)]$
9	Jarak sengkang yang diperlukan	$a_s = f_a.A_t/(f_v.b.\tan \gamma)$

Tabel 5.33 kombinasi beban

x (m)	Kombinasi		Pers (1) e (m)	Pers (2) α (rad)	Pers (3) Px (kN)	Pers (4) Py (kN)	Pers (5) Vr (kN)
	Momen M (kNm)	Geser V (kN)					
0,0	0,0	1382,16	0,00000	0,06566	9592	631	751
1,3	1686,4	1316,13	0,08014	0,06239	9594	599	717
2,5	3290,3	1250,09	0,15617	0,05911	9596	568	682
3,8	4811,7	1184,06	0,22809	0,05583	9598	536	648
5,0	6250,5	1118,02	0,29590	0,05256	9599	505	613
6,3	7606,7	1051,99	0,35960	0,04928	9601	473	578
7,5	8880,4	985,95	0,41919	0,04600	9603	442	544
8,8	10071,6	919,91	0,47468	0,04272	9604	410	509
10,0	11180,2	853,88	0,52605	0,03943	9605	379	475
11,3	12206,3	787,84	0,57331	0,03615	9606	347	440
12,5	13149,8	721,81	0,61646	0,03287	9608	316	406
13,8	14010,8	655,77	0,65551	0,02958	9609	284	371
15,0	14789,3	589,74	0,69044	0,02630	9609	253	337
16,3	15485,1	523,70	0,72126	0,02301	9610	221	303
17,5	16098,5	457,67	0,74797	0,01972	9611	190	268
18,8	16629,3	391,63	0,77058	0,01644	9611	158	234
20,0	17077,6	325,59	0,78907	0,01315	9612	126	199
21,3	17443,3	259,56	0,80346	0,00986	9612	95	165
22,5	17726,5	193,52	0,81373	0,00658	9613	63	130
23,8	17927,1	127,49	0,81990	0,00329	9613	32	96
25,0	18045,2	61,45	0,82195	0,00000	9613	0	61

x (m)	Kombinasi		Pers (6) fv (kPa)	Pers (7) fa (kPa)	Pers (8) γ (rad)	Pers (9) a _s (m)
	Momen M(kNm)	Geser V (kN)				
0,0	0,0	1382,16	1546,99	-12750	-0,119	0,030
1,3	1686,4	1316,13	1475,71	-15165	-0,096	0,047
2,5	3290,3	1250,09	1404,46	-17465	-0,080	0,069
3,8	4811,7	1184,06	1333,26	-19650	-0,067	0,097
5,0	6250,5	1118,02	1262,09	-21722	-0,058	0,132
6,3	7606,7	1051,99	1190,95	-23680	-0,050	0,175
7,5	8880,4	985,95	1119,85	-25524	-0,044	0,230
8,8	10071,6	919,91	1048,77	-27255	-0,038	0,299

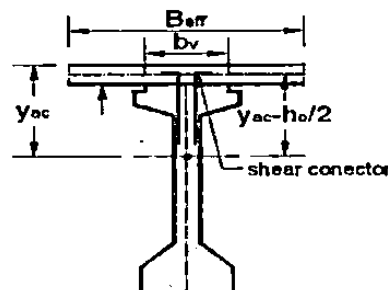
10,0	11180,2	853,88	977,72	-28872	-0,034	0,386
11,3	12206,3	787,84	906,70	-30375	-0,030	0,497
12,5	13149,8	721,81	835,70	-31765	-0,026	0,640
13,8	14010,8	655,77	764,72	-33042	-0,023	0,826
15,0	14789,3	589,74	693,76	-34205	-0,020	1,076
16,3	15485,1	523,70	622,82	-35255	-0,018	1,418
17,5	16098,5	457,67	551,89	-36192	-0,015	1,903
18,8	16629,3	391,63	480,97	-37016	-0,013	2,621
20,0	17077,6	325,59	410,07	-37727	-0,011	3,745
21,3	17443,3	259,56	339,17	-38324	-0,009	5,649
22,5	17726,5	193,52	268,28	-38809	-0,007	9,259
23,8	17927,1	127,49	197,40	-39180	-0,005	17,431
25,0	18045,2	61,45	126,51	-39438	-0,003	42,996

x (m)	Kombinasi		Pers (7') fb (kPa)	Pers (8') γ (rad)	Pers (9') a_s (m)
	Momen M (kNm)	Geser V (kN)			
0,0	0,0	1382,16	-12750	-0,1190	0,030
1,3	1686,4	1316,13	-14996	-0,0972	0,046
2,5	3290,3	1250,09	-17135	-0,0812	0,066
3,8	4811,7	1184,06	-19168	-0,0691	0,092
5,0	6250,5	1118,02	-21095	-0,0595	0,124
6,3	7606,7	1051,99	-22917	-0,0518	0,164
7,5	8880,4	985,95	-24632	-0,0453	0,215
8,8	10071,6	919,91	-26242	-0,0399	0,277
10,0	11180,2	853,88	-27746	-0,0352	0,357
11,3	12206,3	787,84	-29144	-0,0311	0,458
12,5	13149,8	721,81	-30437	-0,0274	0,587
13,8	14010,8	655,77	-31624	-0,0242	0,757
15,0	14789,3	589,74	-32706	-0,0212	0,984
16,3	15485,1	523,70	-33683	-0,0185	1,295
17,5	16098,5	457,67	-34554	-0,0160	1,735
18,8	16629,3	391,63	-35321	-0,0136	2,386
20,0	17077,6	325,59	-35982	-0,0114	3,407
21,3	17443,3	259,56	-36537	-0,0093	5,135
22,5	17726,5	193,52	-36988	-0,0073	8,410
23,8	17927,1	127,49	-37333	-0,0053	15,826
25,0	18045,2	61,45	-37574	-0,0034	39,027

Tabel 5.34 Jarak Sengkang

x (m)	Jarak sengkang D13		
	Tinjaun Geser-1	Tinjaun Geser-2	Jarak yang diambil
0,0	30	30	100
1,3	47	46	100
2,5	69	66	100
3,8	97	92	100
5,0	132	124	100
6,3	175	164	150
7,5	230	215	150
8,8	299	277	150
10,0	386	357	150
11,3	497	458	150
12,5	640	587	200
13,8	826	757	200
15,0	1076	984	200
16,3	1418	1295	200
17,5	1903	1735	200
18,8	2621	2386	300
20,0	3745	3407	300
21,3	5649	5135	300
22,5	9259	8410	300
23,8	17431	15826	300
25,0	42996	39027	300

21. Perhitungan Penghubung Geser (*Shear Conector*)

Gambar 5.39 *Shear Conector* (sumber : Ilham 2010)

Mutu beton, K-500 :

Kuat tekan beton, $f_c' = 41,5 \text{ Mpa}$

Tegangan ijin beton, $f_{ci} = 0,30 f_c' = 12,45 \text{ Mpa}$

Tegangan geser beton $f_{vi} = 0,20 \cdot f_c' = 2,490 \text{ Mpa}$

Mutu baja , U-32 :

Tegangan leleh , $f_y = U \cdot 10^4 = 320,0 \text{ MPa}$

Tegangan ijin $f_s = 0,578 \cdot f_y = 184,960 \text{ MPa}$

Section properties :

Lebar bidang gesek , $b_v = 0,64 \text{ m}$

Lebar efektif plat, $b_{eff} = 1,49 \text{ m}$

Tebal plat, $h_o = 0,20 \text{ m}$

Inersia penampang balok komposit, $I_{xc} = 0,71559 \text{ m}^4$

Letak titik berat, $y_{ac} = 0,952 \text{ m}$

Digunakan tulangan, D 13

Jumlah tulangan $n_s = 2$

Luas tulangan :

$$A_s = \pi/4 \cdot D^2 = \pi/4 \cdot 13^2 = 0,00013 \text{ m}^2$$

Luas total tulangan :

$$A_{st} = n_s \cdot A_s = 2 \cdot 0,00013 \text{ m}^2$$

Momen statis luasan plat terhadap titik berat penam pang komposit :

$$S_x = b_{eff} \cdot h_o \cdot (y_{ac} - h_o/2) = 1,49 \cdot 0,20 \cdot (0,952 - 0,20/2) = 0,25302 \text{ m}^3$$

Tabel 5.35 Jarak Shear Conector

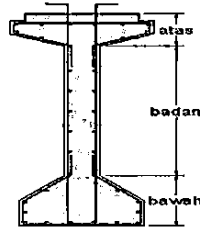
x (cm)	Kombl Vi (kN)	Komb 2 Vi (kN)	Komb 3 Vi (kN)	Komb 1 fv (kPa)	Komb 2 fv (kPa)	Komb 3 fv (kPa)	Kontrol fvi = 2490
0,0	1219,91	1236,36	1238,42	673,99	683,09	684,22	Aman
1,3	1162,02	1177,54	1179,60	642,01	650,59	651,73	Aman
2,5	1104,12	1118,73	1120,79	610,03	618,09	619,23	Aman
3,8	1046,23	1059,91	1061,97	578,04	585,60	586,74	Aman
5,0	988,34	1001,09	1003,15	546,06	553,10	554,24	Aman
6,3	930,45	942,28	944,34	514,07	520,61	521,74	Aman
7,5	872,56	883,46	885,52	482,09	488,11	489,25	Aman
8,8	814,67	824,64	826,70	450,10	455,61	456,75	Aman
10,0	756,78	765,83	767,89	418,12	423,12	424,25	Aman
11,3	698,89	707,01	709,07	386,13	390,62	391,76	Aman
12,5	641,00	648,19	650,25	354,15	358,12	359,26	Aman
13,8	583,10	589,38	591,44	322,16	325,63	326,77	Aman

15,0	525,21	530,56	532,62	290,18	293,13	294,27	Aman
16,3	467,32	471,74	473,80	258,19	260,64	261,77	Aman
17,5	409,43	412,93	414,99	226,21	228,14	229,28	Aman
18,8	351,54	354,11	356,17	194,22	195,64	196,78	Aman
20,0	293,65	295,29	297,35	162,24	163,15	164,29	Aman
21,3	235,76	236,48	238,54	130,26	130,65	131,79	Aman
22,5	177,87	177,66	179,72	98,27	98,16	99,29	Aman
23,8	119,98	118,84	120,90	66,29	65,66	66,80	Aman
25,0	62,08	60,03	62,08	34,30	33,16	34,30	Aman

Tabel 5.36 Jarak *Shear Conector*

x (m)	Komb 1 as (m)	Komb 2 as (m)	Komb 3 as (m)	Diambil jarak <i>shear conector</i> (mm)
0,0	0,11	0,11	0,11	100
1,3	0,12	0,12	0,12	100
2,5	0,13	0,12	0,12	100
3,8	0,13	0,13	0,13	100
5,0	0,14	0,14	0,14	100
6,3	0,15	0,15	0,15	100
7,5	0,16	0,16	0,16	150
8,8	0,17	0,17	0,17	150
10,0	0,18	0,18	0,18	150
11,3	0,20	0,20	0,20	150
12,5	0,22	0,21	0,21	150
13,8	0,24	0,24	0,23	200
15,0	0,26	0,26	0,26	200
16,3	0,30	0,29	0,29	200
17,5	0,34	0,34	0,33	200
18,8	0,40	0,39	0,39	200
20,0	0,47	0,47	0,47	300
21,3	0,59	0,59	0,58	300
22,5	0,78	0,78	0,77	300
23,8	1,16	1,17	1,15	300
25,0	2,24	2,31	2,24	300

22. Pembesian Balok Prategang



Gambar 5.40 Penampang Balok

Tulangan arah memanjang digunakan besi diameter = D 13 mm

Luas tulangan :

$$A_s = \pi/4 \cdot D^2 = \pi/4 \cdot 13^2 = 0,00013 \text{ m}^2$$

Luas tampang bagian bawah :

$$A_{\text{bawah}} = 0,28750 \text{ m}^2$$

Luas tulangan bagian bawah :

$$A_{s_{\text{bawah}}} = 0,5\% \cdot A_{\text{bawah}} = 0,5\% \cdot 0,28750 = 0,00144 \text{ m}^2$$

Jumlah tulangan:

$$n = A_{s_{\text{bawah}}} / (\pi/4 \cdot D^2) = 0,00144 / (\pi/4 \cdot 13^2) = 10,83 = 12 \text{ buah}$$

Digunakan 12 D 13

Luas tampang bagian atas :

$$A_{\text{atas}} = 0,20880 \text{ m}^2$$

Luas tulangan bagian atas :

$$A_{s_{\text{atas}}} = 0,5\% \cdot A_{\text{atas}} = 0,5\% \cdot 0,20880 = 0,00104 \text{ m}^2$$

Jumlah tulangan :

$$n = A_{s_{\text{atas}}} / (\pi/4 \cdot D^2) = 0,00104 / (\pi/4 \cdot 13^2) = 7,87 = 10 \text{ buah}$$

Digunakan 10 D 13

Luas tampang bagian badan :

$$A_{\text{badan}} = 0,330 \text{ m}^2$$

Luas tulangan susut memanjang bagian badan :

$$A_{s_{\text{badan}}} = 0,5\% \cdot A_{\text{badan}} = 0,5\% \cdot 0,330 = 0,00165 \text{ m}^2$$

Jumlah tulangan :

$$n = A_{s_{\text{badan}}} / (\pi/4 \cdot D^2) = 0,00165 / (\pi/4 \cdot 13^2) = 12,43 = 14 \text{ buah}$$

Digunakan 14 D 13

D. RENCANA ANGGARAN BIAYA

Dalam melaksanakan suatu proyek, diperlukan perencanaan yang matang agar waktu pelaksanaan proyek dapat selesai tepat waktu dengan biaya yang efisien. Besarnya biaya pelaksanaan suatu proyek dapat dihitung dari analisis harga satuan pekerjaan. Untuk melakukan analisis ini diperlukan harga satuan dasar tenaga, bahan, dan peralatan yang sesuai dengan kondisi di lokasi proyek.

1. Harga Satuan Dasar Tenaga Dan Bahan

Harga satuan tenaga dan bahan untuk pekerjaan peningkatan jalan ruas Solo-Gamping dan Yogyakarta-Magelang dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 5.37 Harga Satuan Tenaga Dan Bahan

No	Uraian	Satuan	Harga (Rp)
	Upah		
1	Pekerja	Jam	5.714,29
2	Tukang	Jam	7.428,57
3	Mandor	Jam	6.285,71
4	Operator	Jam	9.285,71
5	Pembantu operator	Jam	5.714,29
6	Sopir	Jam	9.285,71
7	Pembantu sopir	Jam	5.714,29
8	Mekanik	Jam	9.285,71
9	Pembantu mekanik	Jam	5.000,00
	Bahan bangunan		
1	Air	m ³	23.000,00
2	Pasir beton	m ³	114.900,00
3	Batu kali	m ³	106.500,00
4	Agregat kasar	m ³	236.600,00
5	Agregat halus	m ³	206.413,75
6	Filler	m ³	1.250,00
7	Gravel	m ³	109.000,00
8	Aspal	kg	6.952,50
9	Keresone/minyak tanah	liter	6.985,00
10	Semen	kg	1.250,00
11	Kawat beton	kg	14.000,00
12	Kawat bronjong	kg	25.500,00
13	Sirtu	m ³	104.700,00

14	Cat marka	kg	71.400,00
15	Paku	kg	17.400,00
16	Kayu perancah	m ³	2.875.000,00
17	Bensin	liter	6.297,00
18	Solar	liter	6.765,00
19	Oli	liter	37.950,00
20	Agregat base kelas a	m ³	208.758,32
21	Agregat base kelas b	m ³	266.424,77
22	Agregat base kelas c	m ³	279.733,91
23	Thinner	liter	14.500,00
24	Glassbit	kg	15.600,00
25	Plat rambu	bh	120.000,00
26	Beton k-250	m ³	946.466,56
27	Beton K-500	m ³	1.116.742,35
28	Beton K-350	m ³	1.051.648,84
29	Cat	kg	71.400,00
30	Baja struktur BJ 34	kg	11.800,00
31	Baja struktur BJ 37	kg	11.800,00
32	Baja struktur BJ 40	kg	11.800,00
33	Baja struktur BJ 50	kg	11.800,00
34	Baja struktur BJ 55	kg	11.800,00
35	Cable duct + strand	kg	26.000,00
36	Angker	bh	1.000.000,00
37	Kayu	m ³	4.000.000,00
38	Kayu bekisting	m ³	2.875.000,00
39	Baja	kg	11.000,00
40	Baja Gelombang	kg	11.500,00
41	Baja tulangan (polos)	kg	11.000,00
42	Baja tulangan (ulir)	kg	11.500,00
43	Pipa PVC Dia. 4"	m'	3.958,33
44	Pipa galvanis dia 1,5"	m'	67.400,00
45	Baja tulangan terpasang	kg	15.892,74

(Sumber : Tata Ruang Provinsi D.I.Yogyakarta)

2. Harga Satuan Dasar Peralatan

Harga satuan dasar peralatan untuk pekerjaan peningkatan jalan ruas

Tabel 5.38 Harga Satuan Dasar Peralatan

No	Uraian	Satuan	Harga (Rp)
1	Asphal mixing plant, 50 ton/jam	Jam	3.729.402,59
2	Asphalt finisher 60 ton/jam	Jam	285.239,06
3	Pneumatic tyre roller, 10 ton	Jam	255.150,00
4	Asphalt sprayer, 800 liter	Jam	55.070,93
5	Dump truck, 4 m ³	Jam	154.180,00
6	Dump truck, 10 m ³	Jam	178.975,75
7	Crane on track	Jam	369.612,50
8	Concrete vibrator	Jam	38.394,40
9	Concrete mixer 500 liter	Jam	51.720,04
10	Generator set 125 KVA	Jam	439.169,68
11	Air compresor	Jam	143.385,56
12	Concrete pump	Jam	210.454,29
13	Batching plant	Jam	637.711,00
14	Truck mixer	Jam	267.949,71
15	Trailer	Jam	324.753,32
16	Stressing jack	Jam	397.765,17
17	Impacting hammer	Jam	145.627,98
18	Cold milling machine	Jam	441.474,23
19	Tanden roller	Jam	176.056,90
20	Wheel loader	Jam	263.864,14
21	Asphalt liquid mixer	Jam	178.927,15
22	Alat bantu	Jam	100,00

(Sumber : Tata Ruang Provinsi D.I.Yogyakarta)

3. Analisis Harga Satuan

Analisis harga satuan untuk pekerjaan peningkatan jalan ruas Solo-Gamping dan Yogyakarta-Magelang dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 5.39 Analisi Harga Satuan

jmlh	Sat	Uraian pekerjaan	Harga satuan	Upah kerja	Harga alat/ bahan	Jumlah (Rp)
Perkerasan Aspal						
Lapis Resep Pengikat Aspal-Cair						
0,008	Jam	Pekerja	5.714,29	48,19		48,19
0,002	Jam	Mandor	6.285,71	13,25		13,25
0,706	Kg	Aspal	6.952,50		4.905,68	4.905,68
0,528	Liter	Kerosen	6.985,00		3.688,08	3.688,08
0,002	Jam	Asphalt sprayer	55.070,93		116,11	116,11
0,002	Jam	Air compresor	143.385,56		275,74	275,74

0,002	jam	Dump truck	154.180,00		325,08	325,08
Jumlah				61,45	9.310,69	9.372,14
Lapis perekat-aspal cair						
0,008	Jam	Pekerja	5.714,29	48,19		48,19
0,002	Jam	Mandor	6.285,71	13,25		13,25
1,500	kg	Aspal	6.952,50		10.428,75	10.428,75
0,253	Liter	Kerosen	6.985,00		1.767,21	1.767,21
0,002	Jam	Asphalt sprayer	55.070,93		116,11	116,11
0,002	Jam	Air compresor	143.385,56		275,74	275,74
0,002	Jam	Dump truck	154.180,00		325,08	325,08
Jumlah				61,45	12.912,89	12.974,33
Laston Lapis Aus (AC-WC) (Gradasi Halus/Kasar)						
0,152	Jam	Pekerja	5.714,29	867,47		867,47
0,025	Jam	Mandor	6.285,71	159,04		159,04
0,517	m3	Agregat kasar	227.700,00		117.748,4	117.748,4
0,308	m3	Agregat halus	197.613,75		60.841,17	60.841,17
0,022	Jam	Wheel loader	263.864,14		5.887,2	5.887,2
0,025	Jam	Asphalt mixing plant	3.729.402,59		94.358,38	94.358,38
0,025	Jam	Generator set	439.169,68		11.111,52	11.111,52
0,093	Jam	Dump truck, 10 m3	178.975,00		16.577,85	16.577,85
0,021	Jam	Asphalt finisher	285.239,06		6.014,08	6.014,08
0,018	Jam	Tanden roller	176.056,90		3.227,86	3.227,86
0,037	Jam	Pneumatic tyre	255.150,00		9.355,95	9.355,95
0,025	Jam	Aspalt liquid mixer	100,00		4.527,07	4.527,07
1,050	Jam	Alat bantu			105,00	105,00
Jumlah				1,026,5	329.754,1	330.780,98
Laston Lapis Antara (AC -BC) (Gradasi Halus/Kasar)						
0,101	Jam	Pekerja	5.714,29	578,31		578,31
0,025	Jam	Mandor	6.285,71	159,04		159,04
0,606	m3	Agregat kasar	227.700,00		137.891,71	137.891,71
0,219	m3	Agregat halus	197.613,75		43.359,40	43.359,40
0,028	Jam	Wheel loader	263.864,14		7.359,00	7.359,00
0,025	Jam	Asphalt mixing plant	3.729.402,59		94.358,38	94.358,38
0,025	Jam	Generator set	439.169,68		11.111,52	11.111,52
0,093	Jam	Dump truck, 10 m3	178.975,00		16.577,85	16.577,85
0,021	Jam	Asphalt finisher	285.239,06		6.014,08	6.014,08
0,015	Jam	Tanden roller	176.056,90		2.582,29	2.582,29
0,029	Jam	Pneumatic tyre	255.150,00		7.484,76	7.484,76
1,050	Jam	Alat bantu	100,00		105,00	105,00
Jumlah				737,35	326844	327.581,34
Aspal Minyak						
1071,00	kg	Aspal	6.952,50		7.446.127,5	7.446.127,5
Jumlah						7.446.127,5
Aditif anti pengelupasan						

1,071	kg	Aditif	50.402,50		53.981,08	53.981,08
Jumlah						53.981,08
Bahan Pengisi (Filler) Tambahan (Semen)						
1,071	kg	Semen	1.250,00		1.338,75	1.338,75
Jumlah						1.338,75
Pekerjaan Struktur						
Beton Mutu Sedang, Fc' 30 Mpa Atau K-350						
2,410	Jam	Pekerja	5.714,29	13.769,36		13.769,36
0,402	Jam	Mandor	6.285,71	2.524,38		2.524,38
0,803	Jam	Tukang	7.428,57	5.966,72		5.966,72
383,6	kg	Semen	1.250,00		479.587,00	479.587,00
0,914	m3	Pasir beton	110.500,0		101.022,89	101.022,89
0,469	m3	Agregat kasar	236.500,0		110.944,87	110.944,87
0,065	m3	Kayu bekisting	2.875.000,		187.162,50	187.162,50
0,094	kg	Paku kecil	17.250,00		1.613,82	1.613,82
0,197	m3	Air	23.000,00		4.538,27	4.538,27
0,402	jam	Concretee mixer 500 L	51.720,04		20.771,10	20.771,10
0,047	jam	Water tank truck 4000	267.625,3		12.188,24	12.188,24
0,402	jam	Concrete vibrator	9		15.419,44	15.419,44
1,00	ls	Alat bantu	38.394,40		100,00	100,00
			100,00			
Jumlah				22.260,47	933.783,93	956.044,40
Unit Pracetak Gelagar Tipe I Bentang 50 Meter						
26,417	Jam	Pekerja	5.714,29	151.260,5		151.260,5
8,824	Jam	Mandor	6.285,71	55.462,18		55.462,18
3,529	Jam	Tukang	7.428,57	26.218,49		26.218,49
73,5	m3	Beton K-500	1.116.742,3		66.977.739,1	66.977.739,1
11.539,5	kg	Baja tulangan (terpasang)	15.892,80		103.176.057,6	103.176.057,6
5769,75	kg	Cable duct+strand	26.000,00		78.960.960,0	78.960.960,00
10,00	bh	Angker	1.000.000,0		10.000.000,0	10.000.000,00
1,00	ls	Bahan lain	5.000.000,0		5.000.000,0	5.000.000,00
7,226	jam	Batching plant	637.711,00		4.608.115,0	4.608.115,03
7,226	jam	Generator set 125 KVA	439.169,69		3.173.450,7	3.173.450,71
30,016	jam	Truck mixer	267.949,71		8.042.778,6	8.042.778,62
7,226	jam	Concrete vibrator	38.394,40		277.438,8	277.438,85
7,226	jam	Concretee pump	210.454,29		1.520.747,74	1.520.747,74
0,797	jam	Trailer	324.753,32		258.828,396	258.828,396
1,765	jam	Crane on track	369.612,50		652.366,06	652.366,06
5,00	jam	Stressing jack	397.765,17		1.988.825,83	1.988.825,83
0,850	ls	Alat bantu	50.000.000		42.500.000,00	42.500.000,
Jumlah				232941,1	327.137.305,2	327.370.246,4

Beton Diafragma K350 Termasuk Pekerjaan Penegangan						
2,41	Jam	Pekerja	5.714,29	13.769,36		13.769,36
0,402	Jam	Mandor	6.285,71	2.524,38		2.524,38
0,803	Jam	Tukang	7.428,57	5.966,72		5.966,72
365,4	kg	Semen	1.250,00		456.750,00	456.750,00
0,871	m3	Pasir beton	110.500,00		96.212,28	96.212,28
0,391	m3	Agregat kasar	236.500,00		92.454,06	92.454,06
0,062	m3	kayu bekisting	2.875.000,0		178.250,00	178.250,00
0,089	kg	Paku kecil	17.250,00		1.536,98	1.536,98
0,402	jam	Concretee mixer 500 liter	51.720,04		20.771,10	20.771,10
0,047	jam	Water tank truck 4000	267.625,39		12.623,53	12.623,53
0,402	jam	Concrete vibrator	38.394,40		15.419	15.419
2,00	jam	Stressing jack	397.765,17		795.530,33	795.530,33
1,00	jam	Alat bantu	100,00		100,00	100,00
				22.260,47	1.669.647,72	1.691.908,19
Baja Tulangan U39 Ulir						
0,070	Jam	Pekerja	5.714,29	400,00		400,00
0,035	Jam	Mandor	6.285,71	220,00		220,00
0,035	Jam	Tukang	7.428,57	260,00		260,00
1,100	kg	Baja tulangan ulir	11.500,00		12.650,00	12.650,00
		Kawat beton				
0,020	kg	Alat bantu	14.000,00		280,00	280,00
1,00	ls		100,00		100,00	100,00
				880,00	12.930,00	13.910,00
Pembongkaran Beton						
0,630	Jam	Pekerja	5.714,29	3.600,00		3.600,00
0,105	Jam	Mandor	6.285,71	660,00		660,00
0,140	Jam	Rock breaker	241.961,25		33.874,58	33.874,58
0,056	Jam	Excavator	265.065,15		14.903,26	14.903,26
0,105	Jam	Dump truck	154.180,00		16.225,16	16.225,16
1,000	Ls	Alat bantu	105,00		105,00	105,00

4. Perhitungan Volume Pekerjaan

a) Pekerjaan Perkerasan Aspal

1) Lapis Resap Pengikat – Aspal Cair

$V = \text{lebar jalan} \times \text{panjang jembatan} \times \text{diperlukan aspal cair 1,2 liter}$

$$= 7,00 \times 50,00 \times 1,2$$

$$= 420 \text{ liter}$$

2) Lapis Perekat Aspal Emulsi

$V = \text{lebar jalan} \times \text{panjang jembatan} \times \text{diperlukan aspal emulsi 0,25 liter}$

$$= 7,00 \times 50,00 \times 0,35$$

$$= 122,5 \text{ liter}$$

3) Laston lapis Aus (AC-WC) tebal 4 cm

$$V = \text{lebar jalan} \times \text{tebal lapisan} \times \text{panjang jalan} \times \text{BJ} (2,3)$$

$$= 7,00 \times 0,04 \times 50 \times 2,3$$

$$= 32,2 \text{ ton}$$

4) Laston lapis antara (AC-BC) tebal 6 cm

$$V = \text{lebar jalan} \times \text{tebal lapisan} \times \text{panjang jalan} \times \text{BJ} (2,3)$$

$$= 7 \times 0,06 \times 50 \times 2,3$$

$$= 48,3 \text{ ton}$$

5) Aspal minyak

$$V = (\text{luas AC-WC} \times \text{tebal lapisan}) + (\text{luas AC-WC} \times \text{tebal lapisan})$$

$$= (32,2 \times 0,056) + (48,3 \times 0,056)$$

$$= 1,803 + 2,71$$

$$= 4,51 \text{ ton}$$

6) Aditif anti pengelupasan

$$V = \text{luas aspal minyak} \times \text{tebal lapisan} \times \text{panjang jembatan}$$

$$= 4,51 \times 0,003 \times 50$$

$$= 0,6765 \text{ kg}$$

7) Bahan pengisi (filler) tambahan (semen)

$$V = (\text{luas AC-WC} \times \text{tebal lapisan}) + (\text{luas AC-WC} \times \text{tebal lapisan})$$

$$= (32,2 \times 0,020) + (48,3 \times 0,020)$$

$$= 0,644 + 0,966$$

$$= 1,61 \text{ kg}$$

c) Pekerjaan Beton K-350

Tabel 5.40 Pekerjaan Beton K-350

No	Uraian	Lebar	Panjang	Tebal	jumlah	Volume (m ³)
1	Plat lantai	7,00	50,00	0,35		122,50
2	Trotoar	1,00	50,00	0,20	2,00	20,00
3	Railing	1,00	2,00	0,15	50,00	15,00

4	Plat deck	1,11	50,00	0,07	4,00	15,54
5	Plat injak	0,60	9,00	0,20	2,00	2,16
Jumlah total						175,2

c) Pekerjaan Beton Diafragma K-350

Tabel 5.41 Pekerjaan Beton Diafragma K-350

No	Uraian	Lebar	Tebal	Tinggi	Jumlah	Volume (m ³)
1	Diafragma	1,55	0,20	1,55	36	17,298
Jumlah total						17,298

d) Pekerjaan Unit Pracetak Tipe I Bentang 50 M

gelagar bentang 50 meter = 5 buah

e) Pekerjaan *Expansion Jonit Tipe Asfaltic Plug*

luas 20 m²

f) Perletakan Elastomerik Jenis III (400x450x45)

perletakan elastomerik = 10 buah

g) Pekerjaan Pipa Cucuran Galvanis

luas = 1 m², panjang = 2 m, jumlah = 20 bh

volume = luas x panjang = 1 x 2 x 20 = 40 m³

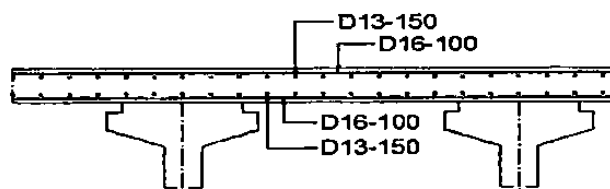
h) Baja Prategang

berat = 0,786 /m, panjang = 60, jumlah = 425

volume = 0,786 x 60 x 425 = 20043 kg

h) Pekerjaan Baja Tulangan U-39 Ulir

1) Plat Lantai



Gambar 5.41 Tulangan Plat Lantai (sumber : Ilham 2010)

Volume arah melintang

D 16 – 100

Volume arah memanjang = (panjang jembatan x lebar jembatan x jumlah

$$= \left(\frac{50}{0,100} + 1 \right) \times 9,8 \times 2$$

$$= 9819,6$$

Berat besi D 16 = $1,578 \text{ kg/m}^3$

Volume berat = $9819,6 \times 1,578 = 15495,33 \text{ kg}$

Volume arah memanjang

D 13 – 150

$$\text{Volume panjang} = \left(\frac{\text{Lebar jembatan}}{\text{jarak antar tulangan}} + 1 \right) \times \text{panjang jembatan} \times \text{jumlah}$$

$$= \left(\frac{9,8}{0,150} + 1 \right) \times 50 \times 2$$

$$= 6633,33 \text{ m}$$

Berat besi D 13 = $1,040 \text{ kg/m}^3$

Volume berat = $6633,33 \times 1,04 = 6898,66 \text{ kg}$

Jumlah total = $15495,33 + 6898,66 = 22393,99 \text{ kg}$

2) Plat Injak

D 16 – 150

$$\text{Volume panjang} = \left(\frac{\text{Lebar jembatan}}{\text{jarak antar tulangan}} + 1 \right) \times \text{lebar jembatan} \times \text{jumlah sisi}$$

$$\times \text{jumlah buah}$$

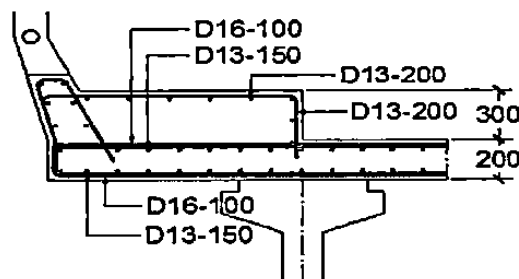
$$= \left(\frac{9,8}{0,150} + 1 \right) \times 9,8 \times 2 \times 2$$

$$= 2600,26 \text{ m}$$

Berat besi D 16 = $1,578 \text{ kg/m}^3$

Volume berat = $2600,26 \times 1,578 = 4103,21 \text{ kg}$

3) Trotoar



$$\begin{aligned}\text{Volume panjang} &= \left(\frac{\text{panjang jembatan}}{\text{jarak antar tulangan}} + 1 \right) \times \text{lebar jembatan} \times \text{jumlah} \\ &= \left(\frac{50}{0,200} + 1 \right) \times 1,4 \times 2 \\ &= 702,8\end{aligned}$$

$$\text{Berat besi D 13} = 1,040 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume berat} = 702,8 \times 1,040 = 703,912 \text{ kg}$$

Volume arah memanjang

D 13 – 200

$$\begin{aligned}\text{Volume panjang} &= \left(\frac{\text{Lebar jembatan}}{\text{jarak antar tulangan}} + 1 \right) \times \text{panjang jembatan} \times \text{jumlah} \\ &= \left(\frac{1,4}{0,200} + 1 \right) \times 50 \times 2 \\ &= 800 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Berat besi D 13} = 1,040 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume berat} = 800 \times 1,04 = 832 \text{ kg}$$

$$\text{Jumlah total} = 703,912 + 832 = 1535,912 \text{ kg}$$

$$\text{Volume total} = 22939,99 + 4103,21 + 1535,912 = 28579,112 \text{ kg}$$

5. Estimasi Harga Pekerjaan

Estimasi harga untuk pekerjaan peningkatan jalan ruas Solo-Gamping dan Yogyakarta-Magelang

Tabel 5.42 Estimasi Harga Pekerjaan

Uraian	Sat	Volume	Harga satuan	Harga pekerjaan
Pekererasan Aspal				
lapis resap pengikat – Aspal cair	Ltr	420	9.372,14	3.936.298,8
Lapis perekat aspal emulsi	Ltr	122,5	12.974,33	1.589.355,425
Laston Lapis Aus (AC-WC)(Gradasi Halus/Kasar)	ton	32,2	330.780,98	10.651.147,56
Laston Lapis Antara (AC – BC)(Gradasi Halus/Kasar)	ton	48,3	327.581,34	15.822.178,72
Aspal Minyak	ton	4,51	7.446.127,50	33.582.035,03
Adiftif anti pengelupasan	kg	0,6765	53.981,08	36518,200
Bahan pengisi (filler)	kg	1,61	1.338,75	2155,39
Jumlah				656.196.89,13

Struktur Atas				
Beton K-350	m3	175,2	956.044,40	167.498.978,9
Unit pracetak I 50 meter	buah	5	327.370.246,4	1.636.851.232
Baja prategang	kg	204,51	35.000,00	7.157.850
Beton diafragma K-350	m3	17,298	1.691.908,19	29.266.627,87
Baja tulangan U39 Ulir	kg	28579,112	13.910,00	397.535.477,9
Expansion joint tipe asphaltic plug	m'	20	1.500.000,00	30.000.000,00
Perletakan elastomerik jenis 3 (400 x 450 x 45)	buah	10	750.000.000	7.500.000,00
Pipa cucuran galvanis	m'	40	150.000,00	6.000.000,00
Jumlah				2.281.340.166,7
Jumlah total				2.360.888.708,27
Jasa kontraktor = 10 %				236.088.870,8
Pajak pertambahn nilai (PPN) = 10 %				259.697.757,9
Jumlah total harga				2.856.675.337

Tabel 5.43 Perbandingan Biaya Pekerjaan

No	Nama Pekerjaan	Total biaya PCI Girder precast (Rp)	Total biaya box girder insitu (Rp)	Selisih biaya : PCI – Box Girder
1.	Perkerasan Aspal lapis resap pengikat – Aspal cair	3.936.298,8	4.519.330,2	583.031,4
2.	Lapis perekat aspal emulsi	1.589.355,425	1.360.973,75	-228.381,675
3.	Laston Lapis Aus (AC-WC)(Gradasi Halus/Kasar)	10.651.147,56	14.368.303,00	3.717.155,44
4.	Laston Lapis Antara (AC – BC)(Gradasi Halus/Kasar)	15.822.178,72	21.064.554,95	5.242.376,23
5.	Aspal Minyak	33.582.035,03	36.691.200,31	3.109.165,28
6.	Adiftif anti pengelupasan	36.518,20	40.590	4071,8
7.	Bahan pengisi (filler)	2155,39	673.624	-1.481,766
Jumlah		65.619.689,13	78.045.625,83	12.425.936,7
Struktur				
1.	Beton K-350	167.498.978,9	59.891.555,4	-107.607423,5
2.	Pekerjaan Girder K-500	1.636.851.232	1.846.214.428,0	209.363.196,0
3.	Baja prategang	284.675.739,8	247.702.407,5	-36.973.332,3
4.	Beton diafragma K-350	29.266.627,87		29.266.627,87

5.	Baja tulangan U39 Ulir	397.535.477,9	904.365.180,6	506.829.702,7
6.	<i>Expansion Joint Tipe Asphaltic Plug</i>	30.000.000	34.553.400,0	4.553.400,0
7.	Perletakan elastomerik jenis 3 (400 x 450 x 45) / <i>Pot Beiring</i>	7.500.000,00	166.059.760,0	158.559.760,0
8.	Pipa Cucuran galvanis / PVC	6.000.000,00	8.400.000,00	2.400.000,00
		2.530.061.428,6	3.267.186.731,50	737.125.302,9