

## BAB III

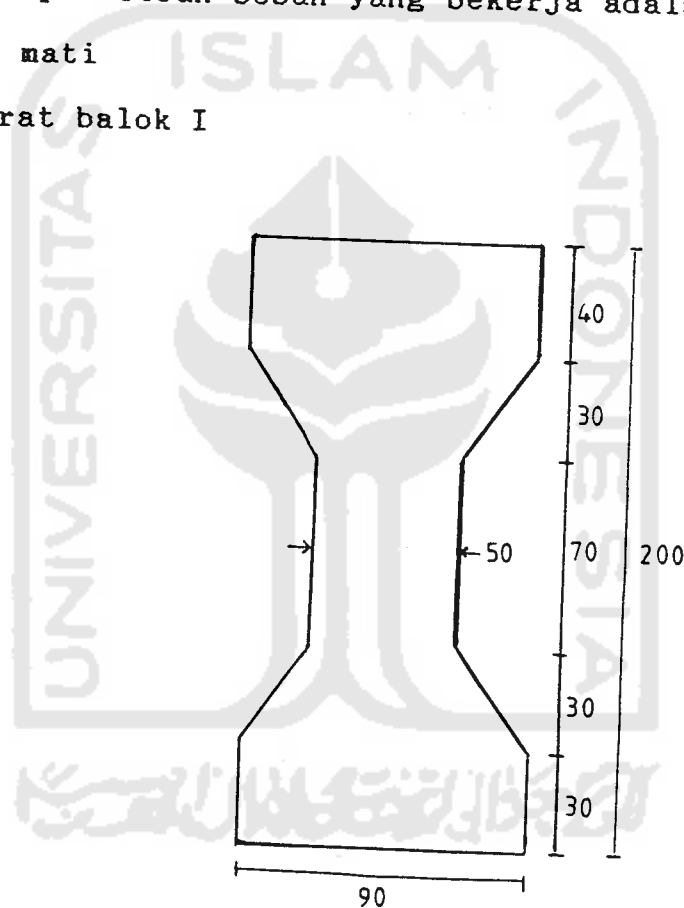
### PEMBAHASAN

#### 3.1. Perhitungan pembebanan

Pada pembahasan ini ditinjau jembatan dengan dukungan sendi rol yang mempunyai panjang bentangan 20 meter. Adapun beban-beban yang bekerja adalah:

##### 1. Beban mati

###### a. Berat balok I



Gambar 3.1. Tampang balok I

$$A = 14000 \text{ cm}^2$$

$$y_a = 98,5714 \text{ cm}$$

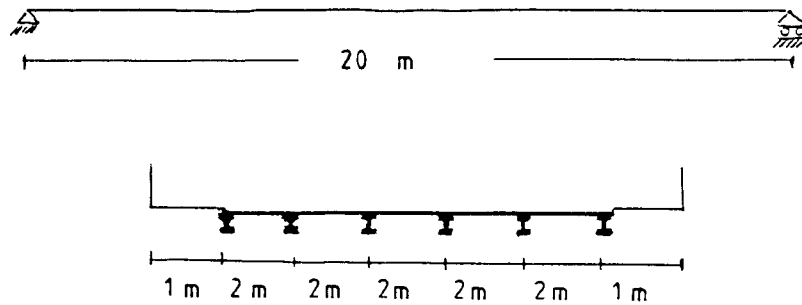
$$y_b = 101,4286 \text{ cm}$$

$$I = 56238095 \text{ cm}^2$$

$$k_a = 38,6043 \text{ cm}$$

$$k_b = 40,7522 \text{ cm}$$





Gambar 3.2. Panjang bentang dan potongan melintang

$$q_{bs} = 1,4 \cdot 2,5 = 3,5 \text{ ton/meter}$$

$$M_{bs} = 1/8 q_{bs} L^2 = 1/8 \cdot 3,5 \cdot 20^2$$

$$= 175 \text{ TM}$$

b. Berat aspal dan plat

$$\text{Berat aspal} = 0,07 \cdot 2 \cdot 2,5 = 0,35 \text{ t/m}$$

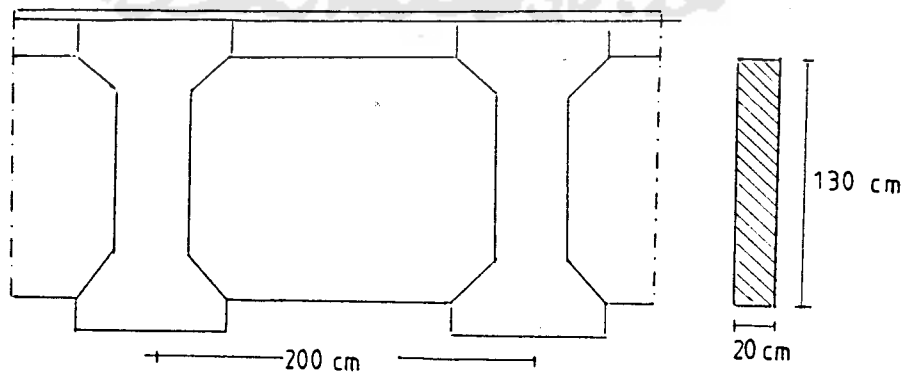
$$\text{Berat plat} = 0,15 \cdot 2 \cdot 2,5 = 0,75 \text{ t/m}$$

$$q_{ap} = 1,10 \text{ t/m}$$

$$M_{ap} = 1/8 q_{ap} L^2 = 1/8 \cdot 1,10 \cdot 20^2$$

$$= 55 \text{ TM}$$

c. Berat diafragma



Gambar 3.3. Diafragma



$$A = 150 \cdot 130 - 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 20$$

$$= 18300 \text{ cm}^2$$

$$= 1,83 \text{ m}^2$$

$$P = 1,83 \cdot 0,2 \cdot 2,5$$

$$= 0,915 \text{ ton}$$

$$M_d = RA \cdot 10 - P(5 + 10)$$

$$= 2,2875 \cdot 10 - 0,915 \cdot 15$$

$$= 9,15 \text{ TM}$$

## 2. Beban hidup

### a. Air

$$q_a = 0,05 \cdot 1 \cdot 2$$

$$= 0,1 \text{ t/m}$$

$$M_a = \frac{1}{8} q_a L^2 = \frac{1}{8} \cdot 0,1 \cdot 20^2$$

$$= 5 \text{ TM}$$

### b. Beban terbagi rata

Koefisien kejut untuk  $L < 30$  meter,

$$k = 1 + \frac{20}{50 + L} = 1 + \frac{20}{50 + 20}$$

$$= 1,2857$$

Untuk selebar jembatan,

$$q_m = 2,2 \cdot 5,5 + \frac{50}{100} \cdot 2,2 \cdot 4,5$$

$$= 17,05 \text{ t/m}$$

Untuk lebar plat 2,0 meter,

$$q_m = 17,05 \cdot \frac{2}{10} = 3,41 \text{ t/m}$$

Dikalikan dengan koefisien kejut,

$$q_m' = 3,41 \cdot 1,2857$$

$$= 4,3842 \text{ t/m}$$



$$M_m = 1/8 q_m L^2 = 1/8 \cdot 4,3842 \cdot 20^2$$

$$= 219,2119 \text{ TM}$$

c. Beban terpusat

$$P = \frac{12}{2,75} = 4,3616 \text{ ton}$$

Untuk selebar jembatan,

$$P = 4,3616 \cdot 5,5 + \frac{50}{100} \cdot 4,3616 \cdot 4,5$$

$$= 33,8024 \text{ ton}$$

Untuk plat selebar 2,0 meter,

$$P = \frac{2}{10} \cdot 33,8024 = 6,7605 \text{ ton}$$

Dikalikan dengan koefisien kejut,

$$P' = 6,7605 \cdot 1,2857 = 8,6920 \text{ ton}$$

$$M_t = 1/4 P' L = 1/4 \cdot 8,6920 \cdot 20$$

$$= 43,4597 \text{ TM}$$

3. Beban rem

$$R = 5\%(P + q_m L) = 5\% \cdot (8,6920 + 4,3842 \cdot 20)$$

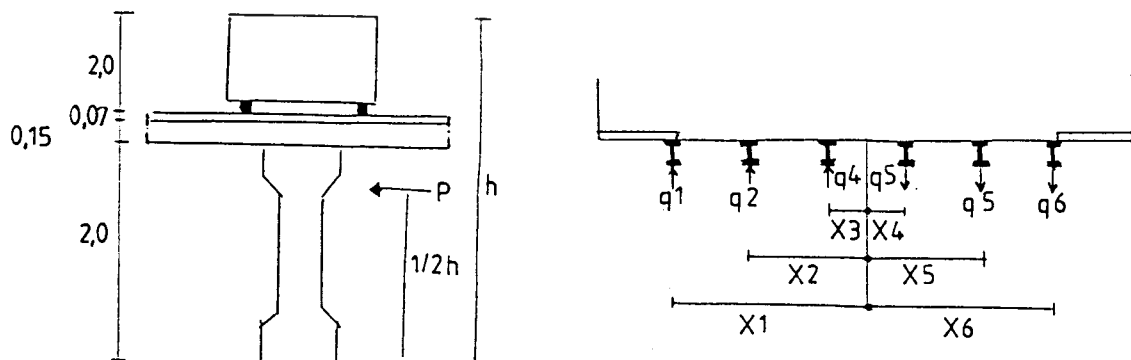
$$= 4,8188 \text{ ton}$$

$$M_r = R \cdot 1,2 = 4,8188 \cdot 1,2$$

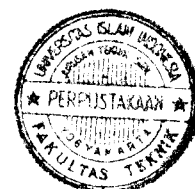
$$= 5,7826 \text{ Tm}$$

4. Beban angin

Tekanan angin,  $w = 100 \text{ kg/cm}^2$



Gambar 3.4. Bidang tekanan angin



$$\begin{aligned} \text{Tinggi bidang tekanan angin, } h &= 2 + 0,15 + 0,07 + 2 \\ &= 4,22 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= 150\% \cdot 100 \cdot 4,22 \cdot 20 = 12660 \text{ kg} \\ &= 12,66 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_o &= P \cdot 1/2h = 12,66 \cdot 1/2 \cdot 4,22 \\ &= 26,7126 \text{ TM} \end{aligned}$$

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{x_1}{x_2} \quad ; \quad q_2 = \frac{q_1}{x_1} x_2 \quad ; \quad q_5 = \frac{q_1}{x_1} x_5$$

$$q_3 = \frac{q_1}{x_1} x_3 \quad ; \quad q_4 = \frac{q_1}{x_1} x_4 \quad ; \quad q_6 = \frac{q_1}{x_1} x_6$$

$$\begin{aligned} M_o &= q_1 \cdot x_1 + q_2 \cdot x_2 + q_3 \cdot x_3 + q_4 \cdot x_4 \\ &= \frac{q_1}{x_1} x_1^2 + \frac{q_1}{x_1} x_2^2 + \frac{q_1}{x_1} x_3^2 + \frac{q_1}{x_1} x_4^2 + \frac{q_1}{x_1} x_5^2 + \frac{q_1}{x_1} x_6^2 \\ &= \frac{q_1}{x_1} (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2 + x_6^2) \end{aligned}$$

$$26,7126 = \frac{q_1}{5} (5^2 + 3^2 + 1^2 + 1^2 + 3^2 + 5^2)$$

$$q_1 = 1,9080 \text{ t/m}$$

$$\begin{aligned} M_A &= 1/8 q_a L^2 = 1/8 \cdot 1,9080 \cdot 20^2 \\ &= 95,4021 \text{ Tm} \end{aligned}$$

$$M_{bs} = 175 \text{ TM}$$

$$\begin{aligned} M \text{ total} &= M_{bs} + M_{ap} + M_m + M_t + M_R + M_A + M_a \\ &= 175 + 55 + 9,15 + 219,2119 + 43,4597 \\ &\quad + 5,7826 + 95,4021 + 5 \\ &= 608,0063 \text{ TM} \end{aligned}$$

### 3.2. Perhitungan balok pratekan

$$A = 14000 \text{ cm}^2$$

$$I = 56238095,26 \text{ cm}^4$$

$$y_a = 98,5714 \text{ cm}$$

$$k_a = 39,6043 \text{ cm}$$

$$y_b = 101,4286 \text{ cm}$$

$$k_b = 40,7522 \text{ cm}$$

Keadaan awal

- tegangan desak ditepi bawah,  $f_1 = 0,6 f_{ci} = 0,6 \cdot 45$

$$= 27 \text{ Mpa}$$

$$= 270 \text{ kg/cm}^2$$

- tegangan tarik ditepi atas,  $f_2 = \sqrt{f_{ci}}/4 = \sqrt{45}/4$

$$= 1,6771 \text{ Mpa}$$

$$= 16,771 \text{ kg/cm}^2$$

Besarnya prestress,  $P = \frac{M_{max}}{0,65 \cdot h} = \frac{608,0063}{0,65 \cdot 2,0}$   
 $= 467,6972 \text{ ton}$

Kehilangan gaya pratekan diperkirakan sebesar 15%,

$$P_o = \frac{100}{85} 467,6972$$
$$= 550,2319 \text{ ton}$$

a. Menentukan titik berat kabel,

$$e - k_b = \frac{M_{bs}}{P_o}$$
$$= \frac{175 \cdot 10^5}{550,2319}$$
$$= 28,3815 \text{ cm}$$

$$e = 28,3815 + 40,7522$$

$$= 75,5570 \text{ cm}$$

Gaya prategang efektif,  $P_{eff} = \frac{M_{total}}{e + k_a}$   
 $= \frac{608,0063 \cdot 10^5}{75,5570 + 39,6043}$   
 $= 542,082 \text{ ton}$



Gaya prategang awal,  $P_0 = \left(\frac{100}{85}\right) \cdot P_{eff}$   
 $= 637,7436 \text{ ton}$

b Pemeriksaan terhadap penampang yang direncanakan,

$$A_c = \frac{P_0 \cdot h}{f_1 \cdot y_a} = \frac{637,7436 \cdot 10^3 \cdot 200}{270 \cdot 98,5714}$$

$$= 4792,4923 \text{ cm}^2$$

$$A_c = \frac{P \cdot h}{f_2 \cdot y_b} = \frac{542,082 \cdot 10^3 \cdot 200}{180 \cdot 101,4286}$$

$$= 5938,2988 \text{ cm}^2$$

c. Menghitung tegangan yang timbul,

Keadaan awal,  $f_1 = 0,60 f_{ci} = 0,6 \cdot 45 = 27 \text{ Mpa}$   
 $= 270 \text{ kg/cm}^2$

$$f_2 = \sqrt{f_{ci}} / 4 = \sqrt{45} / 4 = 1,6771 \text{ Mpa}$$

$$= 16,771 \text{ kg/cm}^2$$

Keadaan akhir,  $f_1' = 0,45 f_{c'} = 0,45 \cdot 40$   
 $= 18 \text{ Mpa} = 180 \text{ kg/cm}^2$

$$f_2' = \sqrt{f_{c'}} / 2 = \sqrt{40} / 2$$

$$= 3,1623 \text{ Mpa}$$

$$= 31,623 \text{ kg/cm}^2$$

$$f = -\frac{P}{A} + \frac{P \cdot e \cdot y}{I} + \frac{M \cdot y}{I}$$

Pada saat peralihan

Serat atas,

$$f = -\frac{637,7436 \cdot 10^3}{140000} + \frac{637,7436 \cdot 10^3 \cdot 72,5570 \cdot 98,5714}{56238095,26}$$

$$- \frac{175 \cdot 10^5 \cdot 98,5714}{56238095,26}$$

$$= 4,8784 \text{ kg/cm}^2 < 16,771 \text{ kg/cm}^2$$

Serat bawah,

$$f = - \frac{637,7436 \cdot 10^3}{14000} - \frac{637,7436 \cdot 10^3 \cdot 72,5570 \cdot 101,4286}{56238095,26}$$
$$+ \frac{175 \cdot 10^5 \cdot 101,4286}{56238095,26}$$
$$= - 97,4464 \text{ kg/cm}^2 < 270 \text{ kg/cm}^2$$

Pada saat beban telah bekerja,

Serat atas,

$$f = - \frac{542,082 \cdot 10^3}{56238095,26} + \frac{542,082 \cdot 10^3 \cdot 72,5570 \cdot 98,5714}{56238095,26}$$
$$- \frac{608,0063 \cdot 10^5 \cdot 98,5714}{56238095,26}$$
$$= - 76,3496 \text{ kg/cm}^2 < 180 \text{ kg/cm}^2$$

Serat bawah,

$$f = - \frac{542,082 \cdot 10^3}{14000} - \frac{542,082 \cdot 10^3 \cdot 101,4286}{56238095,26}$$
$$+ \frac{608,0063 \cdot 10^5 \cdot 101,4286}{56238095,26}$$
$$= 0,000033 \text{ kg/cm}^2 < 31,623 \text{ kg/cm}^2$$

d. Perhitungan jumlah kabel

Dipakai baja dengan kuat tarik ultimit,

$$f_u = 1035 \text{ Mpa} = 10350 \text{ kg/cm}^2$$

- tegangan awal,  $f_1 = 0,85 \cdot f_u = 0,85 \cdot 10350$   
 $= 8797,5 \text{ kg/cm}^2$

- tegangan akhir,  $f_2 = 0,74 \cdot f_u = 0,74 \cdot 10350$   
 $= 7659 \text{ kg/cm}^2$

dipergunakan kabel dengan diameter 34,92 mm, dan luas kabel,  $A = 1051,6 \text{ mm}^2$ .



Luas kabel yang diperlukan,

$$\begin{aligned} \text{- keadaan awal, } A &= \frac{P_o}{f_1} = \frac{637,7436 \cdot 10^3}{8797,5} \\ &= 72,4915 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- keadaan akhir, } A &= \frac{P_{eff}}{f_2} = \frac{542,082 \cdot 10^3}{7659} \\ &= 70,7771 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Banyaknya kabel yang diperlukan,

$$n = \frac{72,4915}{1051,6} \cdot 10^2 = 6,8934 \sim 7 \text{ buah.}$$

e. Garis perjalanan kabel

Letak kabel pratekan di dalam beton mengikuti lengkung parabola. Agar konstruksi tetap aman titik berat kabel harus diletakkan diantara dua garis daerah kabel, yaitu:

$a_1$  = batas atas

$a_2$  = batas bawah

Pada saat diberikan tegangan awal ( $P_o$ ), serat atas masih diperkenankan menerima tegangan tarik sebesar:

$$\begin{aligned} f_1 &= \sqrt{f_{ci}/4} = \sqrt{45/4} = 1,6771 \text{ Mpa} \\ &= 16,771 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

sehingga batas bawah daerah aman bergeser sebesar,

$$\begin{aligned} \Delta a_1 &= \frac{f_1 \cdot A_c \cdot k_b}{P_o} = \frac{16,771 \cdot 14000 \cdot 40,7522}{637,7436 \cdot 10^3} \\ &= 15,0035 \text{ cm} \end{aligned}$$

Pada akhir pembebanan, setelah muatan bekerja, serat bawah masih diperkenankan menerima tegangan tarik sebesar:

$$f_z = \sqrt{f_c' / 2} = \sqrt{40 / 2} = 3,16228 \text{ Mpa}$$

$$= 31,6228 \text{ kg/cm}^2$$

dan batas aman daerah bawah bergeser sebesar:

$$\Delta a_z = \frac{f_z \cdot A_c \cdot k_a}{P_{eff}} = \frac{31,6228 \cdot 14000 \cdot 39,6043}{542,082 \cdot 10^3}$$

$$= 32,3449 \text{ cm}$$

Jarak batas atas sampai kern atas adalah:

$$a_a = M_{max} / P_{eff}$$

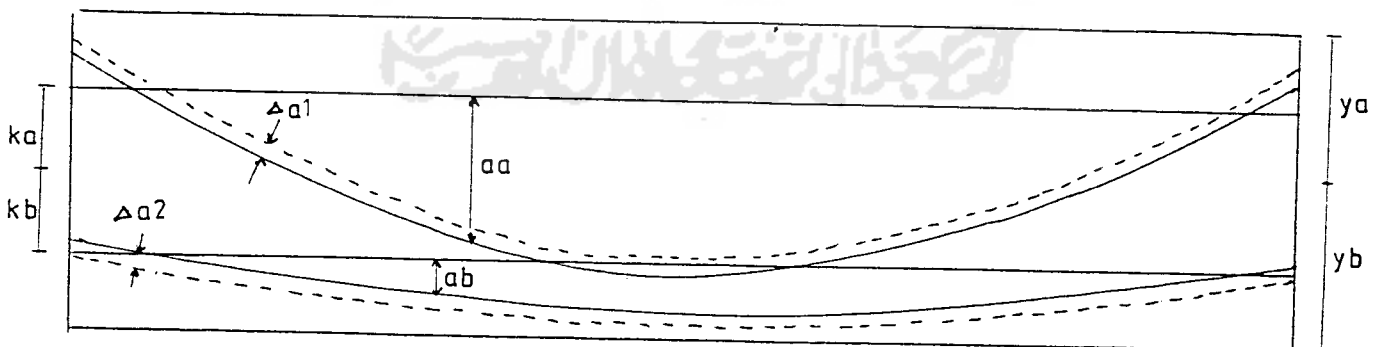
Jarak batas bawah sampai kern bawah adalah:

$$a_b = M_{min} / P_o$$

sehingga bila diukur dari sisi bawah, adalah:

$$\text{batas atas} = y_b + k_a - a_a + \Delta a_z$$

$$\text{batas bawah} = y_b - k_b - a_b - \Delta a_1$$



Gambar 3.5. Daerah perjalanan kabel



Tabel 3.1. Nilai batas atas dan batas bawah daerah tendon

No.	Mmax (TM)	Mmin (TM)	aa (CM)	ab (CM)	Batas Atas (CM)	Batas Bawah (CM)
1	0	0	0	0	173.3778	45.6677
2	260.5333	76.5625	48.0616	12.0052	125.3162	33.6677
3	446.6433	131.2500	82.3828	20.5804	90.9950	25.0925
4	561.6433	164.0625	103.6086	25.7255	69.7692	19.9474
5	608.0026	175.0000	112.1606	27.4405	61.2172	18.2324
6	561.6433	164.0625	103.6086	25.7255	69.7692	19.9474
7	446.5826	131.2500	82.3828	20.5804	90.9950	25.0925
8	260.5333	76.5625	48.0616	12.0052	125.3162	33.6677
9	0	0	0	0	173.3778	45.6677

### 3.3. Perhitungan kehilangan tegangan

1. Bentuk tendon parabola tepat pada batas bawah

a. Akibat peristiwa gesekan

$$\Delta f = f(kL + \alpha\mu)$$

Untuk  $x = 100$  cm,  $y = 41,2040$

$$\operatorname{tg}(\alpha/2) = \frac{45,6729 - 41,2040}{100}$$

$$= 0,0447$$

$$\alpha/2 = 0,0447$$

$$\alpha = 0,0893$$

Diambil,  $k = 0,0003$

$$L = 20 \text{ meter}$$

$$\alpha = 0,0893$$

$$\mu = 0,08$$

$$kL + \alpha\mu = 0,0003 \cdot 20 + 0,0893 \cdot 0,08$$

$$= 0,0131 < 0,3$$

$$\Delta f = 7.8797,5 \cdot 0,0131$$

$$= 115,6343 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Prosentase kehilangan tegangan} = \frac{115,6343}{7.8797,5} \cdot 100\%$$

$$= 1,3144\%$$

b. Akibat peristiwa slip pada pengankuran

$$\Delta f = 2E_s \frac{\delta}{X}$$

Diambil,  $E_s = 1930000 \text{ kg/cm}^2$

$$\delta = 0,5 \text{ cm}$$



$$X = \sqrt{\frac{E_s \cdot \delta}{f_{PJ} \cdot \lambda}}$$

$$\lambda = \frac{Z}{L} \cdot \frac{1}{f_{PJ}}$$

$$\begin{aligned} Z &= f_{PJ}(k_1 + \alpha\mu) = 7.8797,5 \cdot 0,0131 \\ &= 809,4401 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\lambda = \frac{809,4401}{1000} \cdot \frac{1}{7.8797,5} = 6,572 \cdot 10^{-6}$$

$$X = \sqrt{\frac{1930000 \cdot 0,5}{7.8797,5 \cdot 6,572 \cdot 10^{-6}}} = 1544,1384 \text{ cm}$$

$$\Delta f = 2 \cdot 1930000 \cdot \frac{0,5}{1544,1384} = 1249,8880 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Prosentase kehilangan tegangan} &= \frac{1249,8880}{7.8797,5} \cdot 100\% \\ &= 2,0296\% \end{aligned}$$

c. Akibat peristiwa rangkai

$$\Delta f = E_s \cdot g(t) \cdot C_{CU} \cdot K_{CA} \cdot K_{CH} \cdot K_{CS} \cdot \epsilon_{ci}$$

$$\epsilon_{ci} = \frac{f_c}{E_c}$$

dimana,

$$\begin{aligned} E_c &= 4730 \sqrt{f_c'} = 4730 \sqrt{40} \\ &= 29915,1467 \text{ Mpa} \\ &= 299151,467 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$f_c = -P_e \left( \frac{1}{A_c} + \frac{e \cdot y}{I} \right) + \frac{M \cdot y}{I}$$

$$\begin{aligned}
&= - 542,0820 \cdot 10^3 \left( \frac{1}{14000} + \frac{83,1962 \cdot 101,4286}{56238095,26} \right) \\
&\quad + \frac{608,0063 \cdot 10^5 \cdot 101,4286}{56238095,26} \\
&= 10,4017 \text{ kg/cm}^2
\end{aligned}$$

$$\varepsilon_{ci} = \frac{10,4017}{299151,467} = 3,4771 \cdot 10^{-5}$$

$$E_s = 1930000 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
g(t) &= \frac{t^{0,6}}{10 + t^{0,6}} = \frac{100^{0,6}}{10 + 100^{0,6}} \\
&= 0,6131
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_{cA} &= 1,25 \cdot t^{0,118} = 1,25 \cdot 80^{0,118} \\
&= 2,1523
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_{cH} &= 1,27 - 0,0067 \cdot H = 1,27 - 0,0067 \cdot 80 \\
&= 0,734
\end{aligned}$$

Dengan mempergunakan tabel 2.8 dimana perbandingan antara volume dengan luas permukaan adalah,

$$r = \frac{14000 \cdot 20}{684,2220 \cdot 20} = 23,1703$$

sehingga didapatkan harga Kcs sebesar,

$$K_{cs} = 0,68$$

Harga Ccu didapatkan dengan mempergunakan interpolasi linier dari tabel 2.10 dimana tegangan desak beton adalah 27 Mpa, yaitu,

$$C_{cu} = 3,0826$$

$$\Delta f = 1930000 \cdot 0,6131 \cdot 3,0826 \cdot 2,1523 \cdot 0,734 \cdot$$

$$0,68 \cdot 3,4771 \cdot 10^{-5}$$

$$= 136,2463 \text{ kg/cm}^2$$



$$\begin{aligned} \text{Prosentase kehilangan tegangan} &= \frac{136,2463}{7.8797,5} \cdot 100\% \\ &= 0,2212 \% \end{aligned}$$

d. Akibat peristiwa susut

$$\Delta f = E_s \cdot g(t) \cdot \varepsilon_{su} \cdot K_{SH} \cdot K_{SS}$$

dimana,

$$\varepsilon_{su} = \left[ 2 + \frac{11}{1337} (\omega - 1279) \right] \cdot 10^{-4}$$

diambil,

$$\omega = 1280$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{su} &= \left[ 2 + \frac{11}{1337} (1280 - 1279) \right] \cdot 10^{-4} \\ &= 0,0002 \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 2.8 didapatkan,

$$K_{SS} = 0,6$$

$$\begin{aligned} K_{SH} &= 3 - 0,003 \cdot H = 3 - 0,003 \cdot 80 \\ &= 2,76 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g(t) &= \frac{t}{b + t} = \frac{100}{35 + 100} \\ &= 0,7407 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta f &= 1930000 \cdot 0,7407 \cdot 0,0002 \cdot 2,76 \cdot 0,6 \\ &= 473,4673 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Prasentase kehilangan tegangan} &= \frac{473,4673}{7.8797,5} \cdot 100\% \\ &= 0,7688 \% \end{aligned}$$

e. Akibat peristiwa relaksasi baja

$$\Delta f = f_{pi} \cdot \frac{\log t}{10} \left( \frac{f_{pi}}{f_{py}} - 0,55 \right)$$

dimana,

$$f_{pi} = 7245 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{py} = 8797,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$t = 100$$

$$\Delta f = 7245 \cdot \frac{\log 100}{10} \left( \frac{7245}{8797,5} - 0,55 \right)$$

$$= 396,3015 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Prosentase kehilangan tegangan} = \frac{396,3015}{8797,5} \cdot 100\%$$

$$= 4,5047\%$$

$$\text{Total kehilangan tegangan} = 1,3144 + 2,0296 + 0,2212$$

$$+ 0,7688 + 4,5047$$

$$= 8,8387 \%$$

2. Bentuk tendon tepat pada batas atas

a. Akibat peristiwa gesekan

Untuk  $x = 100 \text{ cm}$  ,  $y = 152,0704 \text{ cm}$

$$\text{tg}(\alpha/2) = \frac{173,3778 - 152,0704}{100}$$

$$= 0,2131$$

$$\alpha/2 = 0,2099$$

$$\alpha = 0,4199$$

$$kL + \alpha\mu = 0,0003 \cdot 20 + 0,4199 \cdot 0,08$$

$$= 0,0396 < 0,3$$

$$\Delta f = 7.8797,5 \cdot 0,0396$$

$$= 2438,1743 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Prosentase kehilangan tegangan} = \frac{2438,1743}{7.8797,5} \cdot 100\%$$

$$= 3,9592 \%$$

b Akibat peristiwa slip pada pengangkuran

$$Z = f_{pj}(kL + \alpha\mu) = 7 \cdot 8797,8 \cdot 0,0396$$

$$= 2438,1743 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda = \frac{Z}{L} \cdot \frac{1}{f_{pj}} = \frac{2438,1743}{1000} \frac{1}{7.8797,5}$$

$$= 1,979610^{-5}$$





$$X = \sqrt{\frac{E_s \cdot \delta}{f_{pj} \cdot \lambda}} = \sqrt{\frac{1930000 \cdot 0,5}{7.8797,5 \cdot 1,9796 \cdot 10^{-5}}} \\ = 889,7055 \text{ cm}$$

$$\Delta f = 2 \cdot 1930000 \cdot \frac{0,5}{889,7055} = 2169,2571 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Prosentase kehilangan tegangan} = \frac{2169,2571}{7.8797,5} \cdot 100\% \\ = 3,5225 \%$$

c. Akibat peristiwa rangkai

$$f_c = -542,082 \cdot 10^3 \left( \frac{1}{14000} + \frac{40,2114 \cdot 101,4286}{56238095,256} \right) \\ + \frac{608,0063 \cdot 10^5 \cdot 101,4286}{56238095,26} \\ = 31,6235 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varepsilon_c = \frac{31,6235}{299151,467} = 1,0571 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta f = 1930000 \cdot 0,6131 \cdot 3,0826 \cdot 2,1523 \cdot 0,734 \cdot \\ 0,68 \cdot 1,0571 \cdot 10^{-4} \\ = 414,2218 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Prosentase kehilangan tegangan} = \frac{414,2218}{7.8797,5} \cdot 100\% \\ = 0,6726\%$$

$$\text{Total kehilangan tegangan} = 3,9592 + 3,5225 + 0,6726 \\ + 0,7688 + 4,5047 \\ = 13,4278 \%$$

3. Bentuk tendon lurus pada sisi atas batas bawah

a. Akibat peristiwa gesekan

$$\alpha = 0$$

$$kL + \alpha\mu = 0,0003 \cdot 20 + 0$$

$$= 0,006$$

$$\Delta f = 7 \cdot 8797,5 \cdot 0,006$$

$$= 369,495 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Kehilangan tegangan} = \frac{369,4950}{7 \cdot 8797,5} \cdot 100\% = 0,6\%$$

b. Akibat slip pada saat pengangkutan

$$z = 7 \cdot 8797,5 \cdot 0,006$$

$$= 369,4950 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda = \frac{369,4950}{2000} \cdot \frac{1}{7 \cdot 8797,5}$$

$$= 3 \cdot 10^{-6}$$

$$X = \sqrt{\frac{1930000 \cdot 0,5}{7 \cdot 8789,5 \cdot 3 \cdot 10^{-6}}}$$

$$= 2285,4639$$

$$\Delta f = 2 \cdot 1930000 \cdot \frac{0,5}{2285,4639}$$

$$= 844,4675 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Kehilangan tegangan} = \frac{844,467}{7 \cdot 8797,5} \cdot 100\% = 0,7313\%$$

c. Akibat peristiwa rangkai

$$f_c = - 542,082 \cdot 10^3 \left( \frac{1}{14000} + \frac{55,7557 \cdot 101,4286}{56238095,26} \right)$$

$$+ \frac{608,0063 \cdot 10^5 \cdot 101,4286}{562388095,26}$$

$$= 16,4263 \text{ kg/cm}^2$$



$$\epsilon_c = \frac{16,4263}{299151,467} = 5,4909 \cdot 10^{-5}$$

$$\begin{aligned} \Delta f &= 1930000 \cdot 0,6131 \cdot 3,0826 \cdot 2,1523 \cdot 0,734 \\ &\quad 0,68 \cdot 5,4909 \cdot 10^{-5} \\ &= 215,1578 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Kehilangan tegangan} = \frac{215,1578}{7 \cdot 8797,5} \cdot 100\% = 0,3494\%$$

$$\begin{aligned} \text{Kehilangan tegangan total} &= 0,6 + 0,3713 + 0,3494 \\ &\quad + 0,7688 + 4,5047 \\ &= 7,5942\% \end{aligned}$$

4. Bentuk tendon parabola dan segitiga

Kondisi dimana  $y_t$  (y ditengah bentang) tepat di sisi bawah batas bawah,  $y_t = 18,2324$  dan  $y_u$  (y di ujung bentang) tepat di sisi atas batas bawah,  $y_u = 45,2172$ , kemudian  $y_u$  dinaikkan hingga batas atas sisi atas.

Letak I ;  $y_u = 45,2172$       Letak V ;  $y_u = 145$

II ;  $y_u = 70$       VI ;  $y_u = 170$

III ;  $y_u = 95$       VII ;  $y_u = 173,3778$

IV ;  $y_u = 140$

Persamaan parabola,  $y = ax^2 + 18,2324$



Tabel 3.2. Kehilangan tegangan akibat peristiwa gesekan pada bentuk tendon parabola

	$a \cdot 10^{-5}$	$\alpha$	$kL + \alpha\mu$	$\Delta f$	P %
I	-	0,0893	0,0131	115,6343	1,3144
II	5,1768	0,0217	0,0217	1335,6014	2,1688
III	7,6768	0,2898	0,0292	1797,2234	2,9184
IV	0,1018	0,3821	0,0366	2253,9195	3,6568
V	0,1268	0,4728	0,0438	2698,7915	4,3824
VI	0,1517	0,5616	0,0509	3136,2736	5,0928
VII	0,1552	0,5733	0,0519	3193,9148	5,1864

Tabel 3.3. Kehilangan tegangan akibat peristiwa slip pada saat pengangkutan pada bentuk tendon parabola

	Z	$\lambda \cdot 10^{-5}$	X	$\Delta f$	P %
I	809,4401	65,720	1544,1384	1249,8880	2,0296
II	1335,6014	1,0844	1202,0990	1605,5250	2,6071
III	1797,4759	1,4592	1036,2811	1862,4290	3,0242
IV	2251,9490	1,8284	925,7621	2084,7689	3,3853
V	2698,7915	2,1912	857,8804	2249,7308	3,6532
VI	3136,2736	2,5464	784,4616	2460,2862	3,9951
VII	3193,9148	2,5932	777,3507	2482,7919	4,0317



Tabel 3.4. Kehilangan tegangan total pada bentuk tendon parabola

	G	D	R	S	Rel	Total
I	1,3144	2,0296	0,2212	0,7688	4,5047	8,8387
II	2,1688	3,4225	0,2212	0,7688	4,5047	10,2706
III	2,9184	3,0242	0,2212	0,7688	4,5047	11,4374
IV	3,6568	3,3853	0,2212	0,7688	4,5047	12,5366
V	4,3824	3,6531	0,2212	0,7688	4,5047	13,5303
VI	5,0928	3,9951	0,2212	0,7688	4,5047	14,5826
VII	5,1864	4,0317	0,2212	0,7688	4,5047	14,7128

Keterangan, G = gesekan,  
 D = draw-in atau slip,  
 R = rangkak,  
 S = susut,  
 Rel = relaksasi.

Tabel 3.5. Kehilangan tegangan akibat peristiwa gesekan pada bentuk tendon segitiga

	$\alpha$	$kL + \alpha\mu$	$\Delta f$	P %
I	0,0540	0,0103	634,2998	1,0300
II	0,1034	0,0143	880,6298	1,4300
III	0,1532	0,0183	1126,9598	1,8300
IV	0,2028	0,0222	1367,1315	2,2200
V	0,2522	0,0262	1613,4615	2,6200

Tabel 3.6. Kehilangan tegangan akibat peristiwa slip pada saat pengangkuran pada bentuk tendon segitiga

	Z	$\lambda \cdot 10^{-6}$	X	$\Delta f$	P %
I	634,2998	5,15	1744,3410	1106,4350	1,7967
II	880,6297	7,15	1480,4099	1303,6930	2,1170
III	1126,9598	9,15	1308,6528	1474,7991	2,3948
IV	1367,1315	11,10	1188,1561	1624,3657	2,6377
V	1613,4615	13,10	1093,7029	1764,6474	2,8655

Tabel 3.7. Kehilangan tegangan total pada bentuk tendon segitiga

	G	D	R	S	Rel	Total
I	1,03	1,7967	0,2212	0,7688	4,5047	8,3214
II	1,43	2,1170	0,2212	0,7688	4,5047	9,0417
III	1,83	2,3948	0,2212	0,7688	4,5047	9,7195
IV	2,22	2,6377	0,2212	0,7688	4,5047	10,3524
V	2,62	2,8655	0,2212	0,7688	4,5047	10,9802

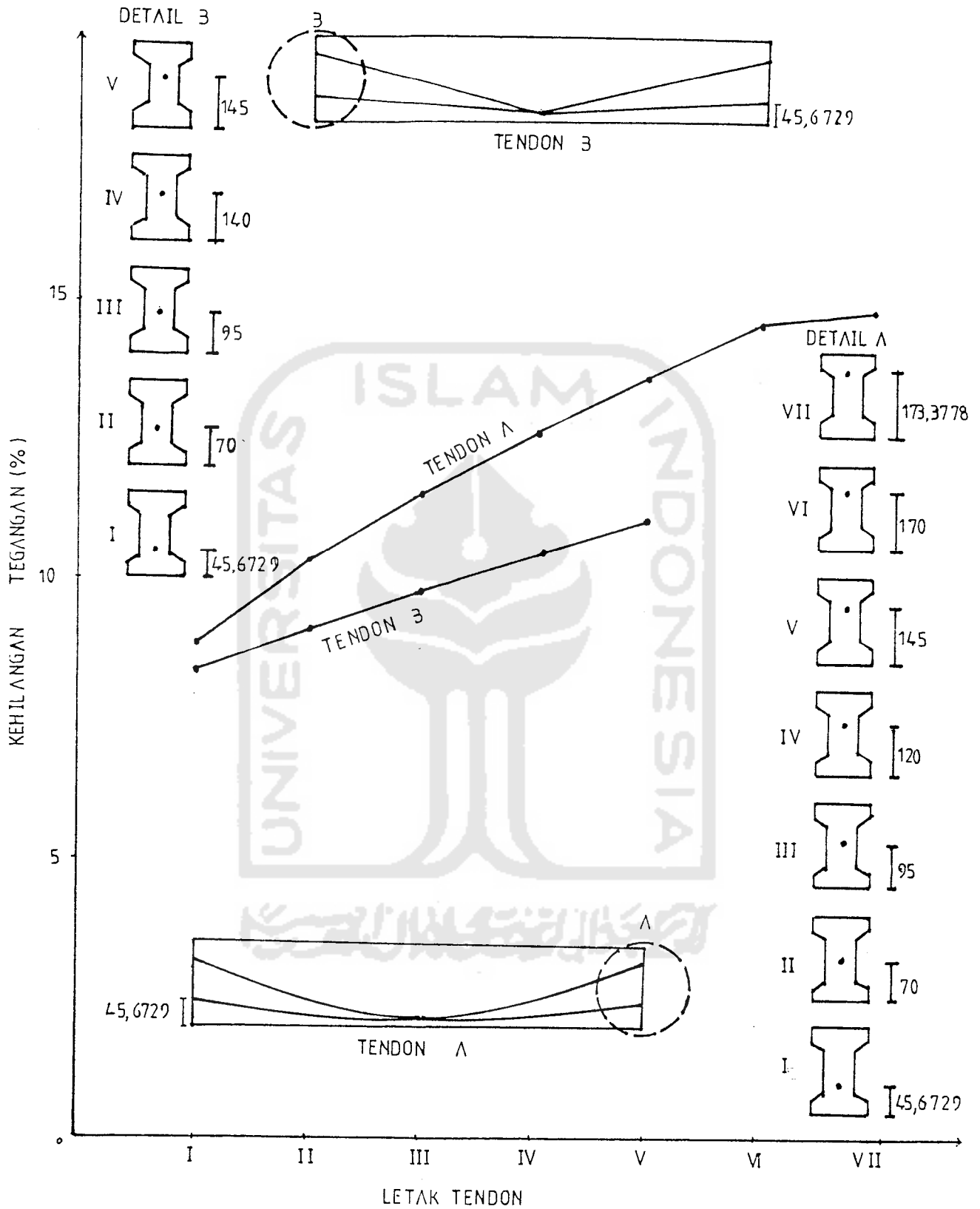
Keterangan, G = gesekan,

D = draw-in atau slip,

R = rangkai,

S = susut,

Rel = relaksasi.



Gambar 3.6. Grafik hubungan letak tendon dengan prosentase kehilangan tegangan

5. Bentuk tendon parabola

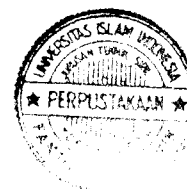
Kondisi dimana  $y_t$  berada disisi bawah batas atas,  $y_t = 61,2172$  dan  $y_u$  berada di sisi atas batas atas,  $y_u = 173,3778$ , kemudian  $y_u$  diturunkan hingga di sisi bawah batas atas ( $y_u = y_t$ ) atau tendon dalam keadaan lurus.

Letak I ;  $y_u = 61,2172$                       Letak V ;  $y_u = 145$   
 II ;  $y_u = 70$                                       VI ;  $y_u = 170$   
 III ;  $y_u = 95$                                       VII ;  $y_u = 173,3778$   
 IV ;  $y_u = 120$

Persamaan parabola,  $y = ax^2 + 61,2172$

Tabel 3.8. Kehilangan tegangan akibat peristiwa gesekan

	$a \cdot 10^{-5}$	$\alpha$	$kL + \alpha\mu$	$\Delta f$	P %
I	-	0	0,0060	369,4950	0,6000
II	87,858	0,0334	0,0087	534,0404	0,8672
III	3,3783	0,1186	0,0155	953,7598	1,5488
IV	5,8783	0,2225	0,0238	1465,6635	2,3800
V	8,3783	0,3123	0,0310	1908,0722	3,0984
VI	1,0878	0,4077	0,0396	2378,0698	3,8616
VII	-	0,4199	0,0396	2433,1743	3,9592





Tabel 3.9. Kehilangan tegangan akibat peristiwa slip pada saat pengangkuran

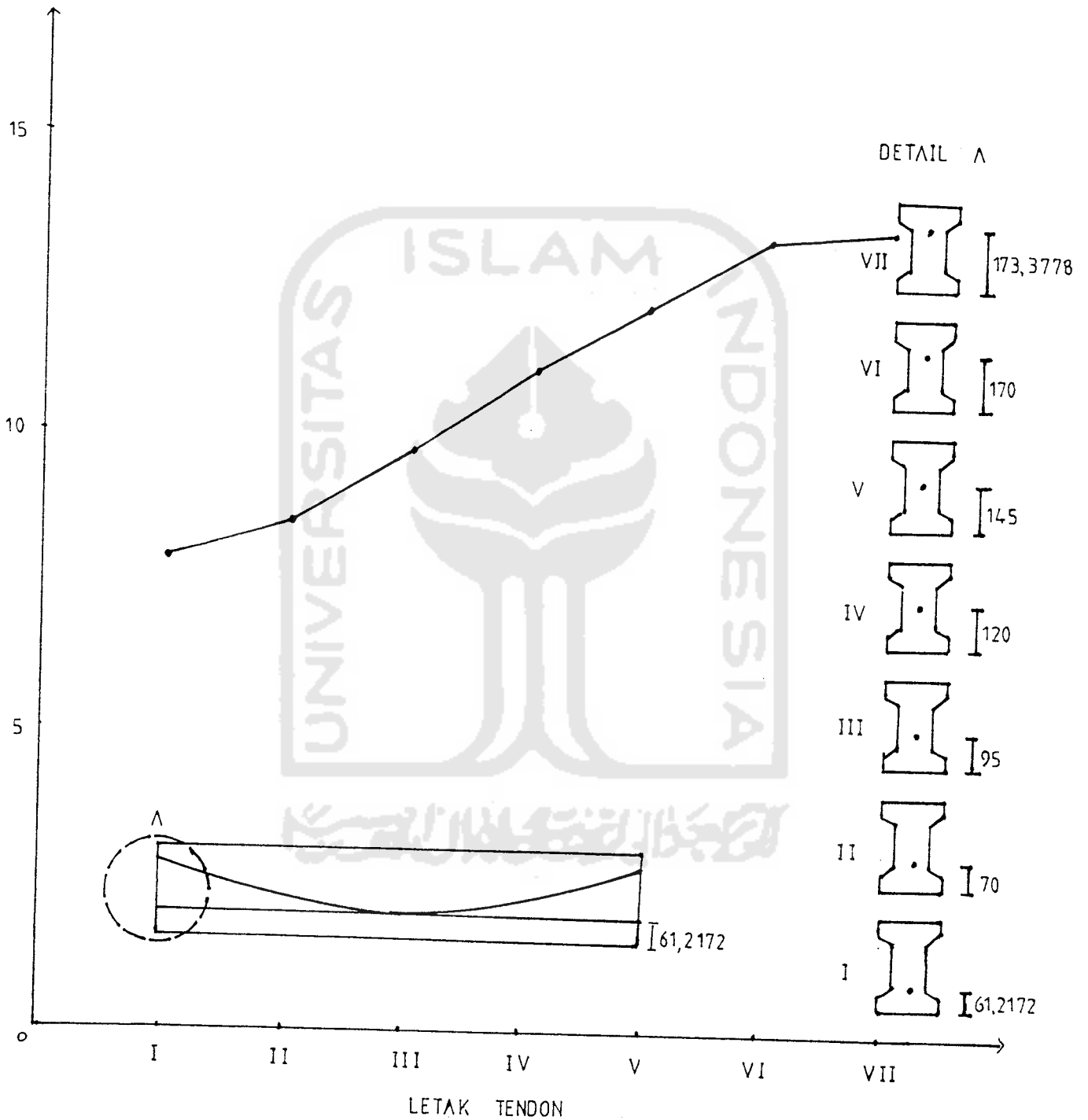
	Z	$\lambda \cdot 10^{-5}$	X	$\Delta f$	P %
I	369,4950	30,000	2285,4639	844,4675	1,3713
II	534,0434	4,3360	1901,0361	1015,2359	1,6486
III	953,7898	7,7440	1422,5233	1356,7661	2,2032
IV	1465,6635	1,1900	1147,5233	1681,8830	2,7311
V	1908,0722	1,5492	1005,7297	1919,0048	3,1162
VI	2378,0698	1,9308	900,8788	2142,3526	3,4788
VII	2438,1743	1,9796	889,7055	2169,2571	3,5225

Tabel 3.10. Kehilangan tegangan total

	G	D	R	S	Rel	Total
I	0,6000	1,3173	0,6726	0,7688	4,5047	7,9174
II	0,8672	1,6486	0,6726	0,7688	4,5047	8,4619
III	1,5488	2,2032	0,6726	0,7688	4,5047	9,6981
IV	2,3800	2,7311	0,6726	0,7688	4,5047	11,0572
V	3,0984	3,1162	0,6726	0,7688	4,5047	12,1607
VI	3,8616	3,4788	0,6726	0,7688	4,5047	13,2867
VII	3,9592	3,5225	0,6726	0,7688	4,5047	13,4278

Keterangan, G = gesekan, D = draw-in (slip)  
R = rangkai, S = susut,  
Rel = relaksasi.





Gambar 3.7. Grafik hubungan letak tendon dengan prosentase kehilangan tegangan



6. Untuk tendon parabola dan segitiga

Koefisiensi dimana  $y_u$  berada di sisi bawah batas atas,  $y_u = 61,72$  dan  $y_t$  berada di sisi bawah batas bawah,  $y_t = 18,24$ , kemudian  $y_t$  dinaikkan hingga sisi bawah batas atas ( $y_u = y_t$ ) atau tendon dalam keadaan lurus.

Letak I ;  $y_t = 18,2324$

Letak IV ;  $y_t = 45$

II ;  $y_t = 25$

V ;  $y_t = 61,2172$

III ;  $y_t = 35$

Persamaan parabola,  $y = ax^2 + c$  dimana  $c = y_t$ .

Tabel 3.11. Kehilangan tegangan akibat peristiwa gesekan pada tendon parabola

	$a \cdot 10^{-5}$	$\alpha$	$kL + \alpha\mu$	$\Delta f$	P %
I	4,2980	0,1630	0,0190	1170,0675	1,90
II	3,6213	0,1374	0,0170	1046,9025	1,70
III	2,6213	0,0996	0,0140	862,1550	1,40
IV	1,6213	0,0616	0,0109	671,2493	1,09
V	-	0	0,0060	369,4950	0,60



Tabe 3.12. Kehilangan tegangan akibat peristiwa slip pada saat pengangkuran pada tendon parabola

	Z	$\lambda \cdot 10^{-6}$	X	$\Delta f$	P %
I	1170,0675	9,50	1284,3199	1502,7409	2,4402
II	1046,9025	8,50	1357,7679	1421,4506	2,3082
III	862,1550	7,00	1496,1874	1289,9454	2,0947
IV	371,1493	5,45	1695,6521	1138,2052	1,8483
V	369,4050	3,00	2285,4639	844,4675	1,3713

Tabel 3.13. Kehilangan tegangan total pada tendon parabola

	G	D	R	S	Rel	Total
I	7,90	2,4402	0,2212	0,7688	4,5047	9,8349
II	1,70	2,3082	0,0805	0,7688	4,5047	9,7572
III	1,40	2,0947	0,1274	0,7688	4,5047	8,8956
IV	1,09	1,8483	0,3354	0,7688	4,5047	8,5472
V	0,60	1,3713	0,6726	0,7688	4,5047	7,9174

Keterangan, G = gesekan,  
 D = draw-in atau slip  
 R = rangkak,  
 S = susut,  
 Rel = relaksasi.



Tabel 3.14. Kehilangan tegangan akibat peristiwa gesekan pada tendon segitiga

	$\alpha$	$kL + \alpha\mu$	$\Delta f$	P %
I	0,0859	0,0129	794,4143	1,29
II	0,0724	0,0118	726,6735	1,18
III	0,0524	0,0102	628,1415	1,02
IV	0,0324	0,0086	529,6095	0,86
V	0	0,0060	369,4950	0,60

Tabel 3.15. Kehilangan tegangan akibat peristiwa slip pada saat pengangkuran pada tendon bentuk segitiga

	Z	$\lambda \cdot 10^{-6}$	X	$\Delta f$	P %
I	794,4143	6,4500	1558,6735	1238,2324	2,0107
II	726,6735	5,9000	1629,7050	1184,2634	1,9231
III	628,1415	5,1000	1752,8708	1101,0509	1,7879
IV	529,6095	4,3000	1908,9773	1011,0125	1,6417
V	369,4950	3,0000	2285,4639	844,4675	1,3713

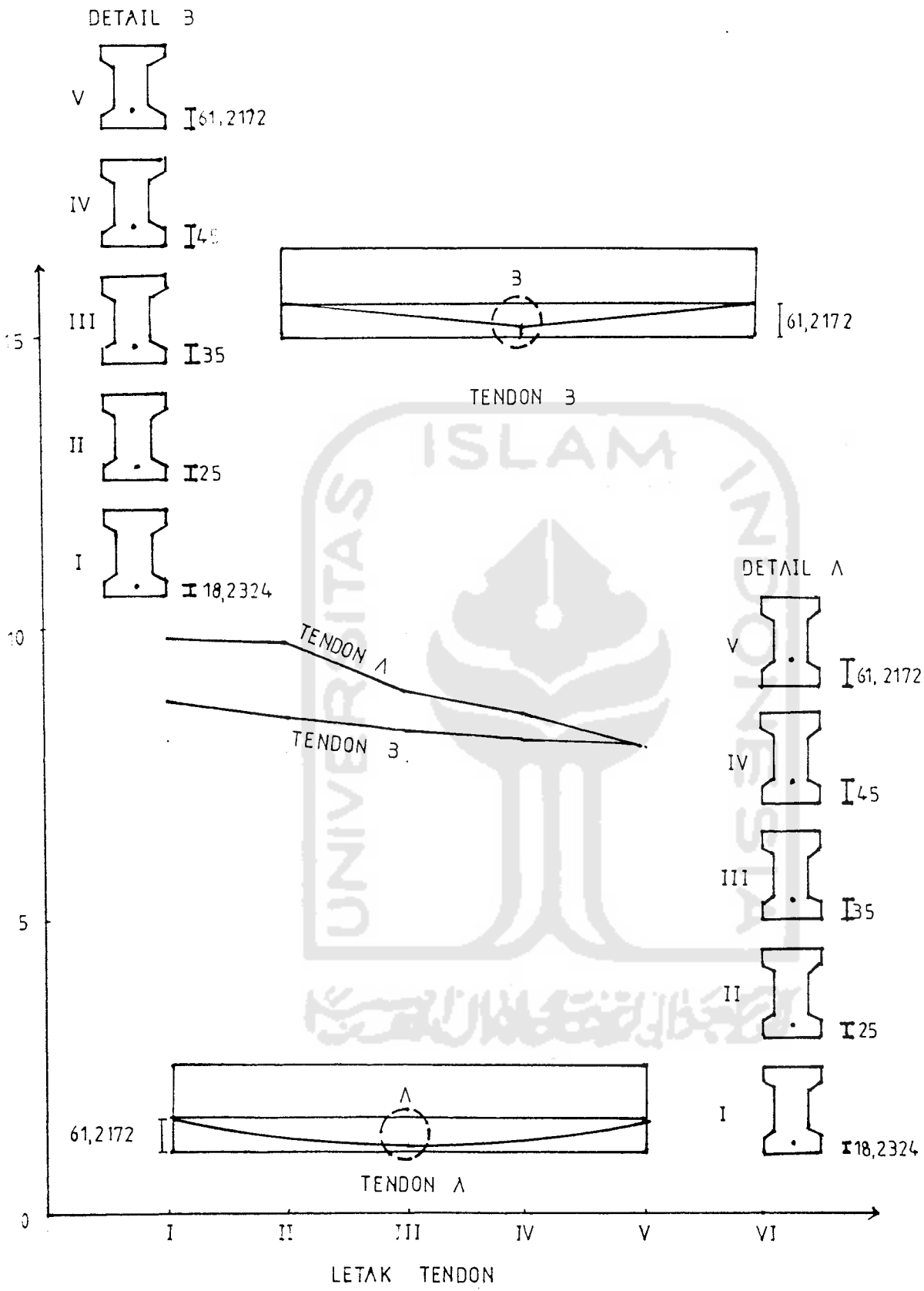


Tabel 3.16. Kehilangan tegangan total

	G	D	R	S	Rel	Total
I	1,29	2,0107	0,2212	0,7688	4,5047	8,7954
II	1,18	1,9231	0,0805	0,7688	4,5047	8,4571
III	1,02	1,7879	0,1274	0,7688	4,5047	8,2088
IV	0,86	1,6417	0,3354	0,7688	4,5047	8,1106
V	0,60	1,3713	0,6726	0,7688	4,5047	7,9174

Keterangan, G = gesekan,  
D = draw-in atau slip,  
R = rangkak,  
S = susut,  
Rel = relaksasi.





Gambar 3.8. Grafik hubungan letak tendon dengan prosentase kehilangan tegangan



7. Bentuk tendon parabola

Keadaan dimana  $y_u$  tepat berada di sisi atas batas atas,  $y_u = 173,3778$  dan  $y_u$  tepat berada di sisi bawah batas bawah,  $y_u = 18,2324$ , kemudian  $y_u$  dinaikkan hingga sisi bawah batas atas.

Letak I ;  $y_u = 18,2324$

Letak IV ;  $y_u = 45$

II ;  $y_u = 25$

V ;  $y_u = 61,2172$

III ;  $y_u = 35$

Persamaan parabola,  $y = ax^2 + c$ , dimana  $c = y_u$ .

Tabel 3.17. Kehilangan tegangan akibat peristiwa gesekan

	$a \cdot 10^{-4}$	$\alpha$	$kL + \alpha\mu$	$\Delta f$	P %
I	1,5515	0,5733	0,0519	3193,9148	5,1864
II	1,4838	0,5495	0,0500	3076,6617	4,9960
III	1,3838	0,5142	0,0471	2900,5358	4,7100
IV	1,2838	0,4785	0,0443	2726,8731	4,4280
V	1,1217	0,4199	0,0396	2438,1743	3,9592





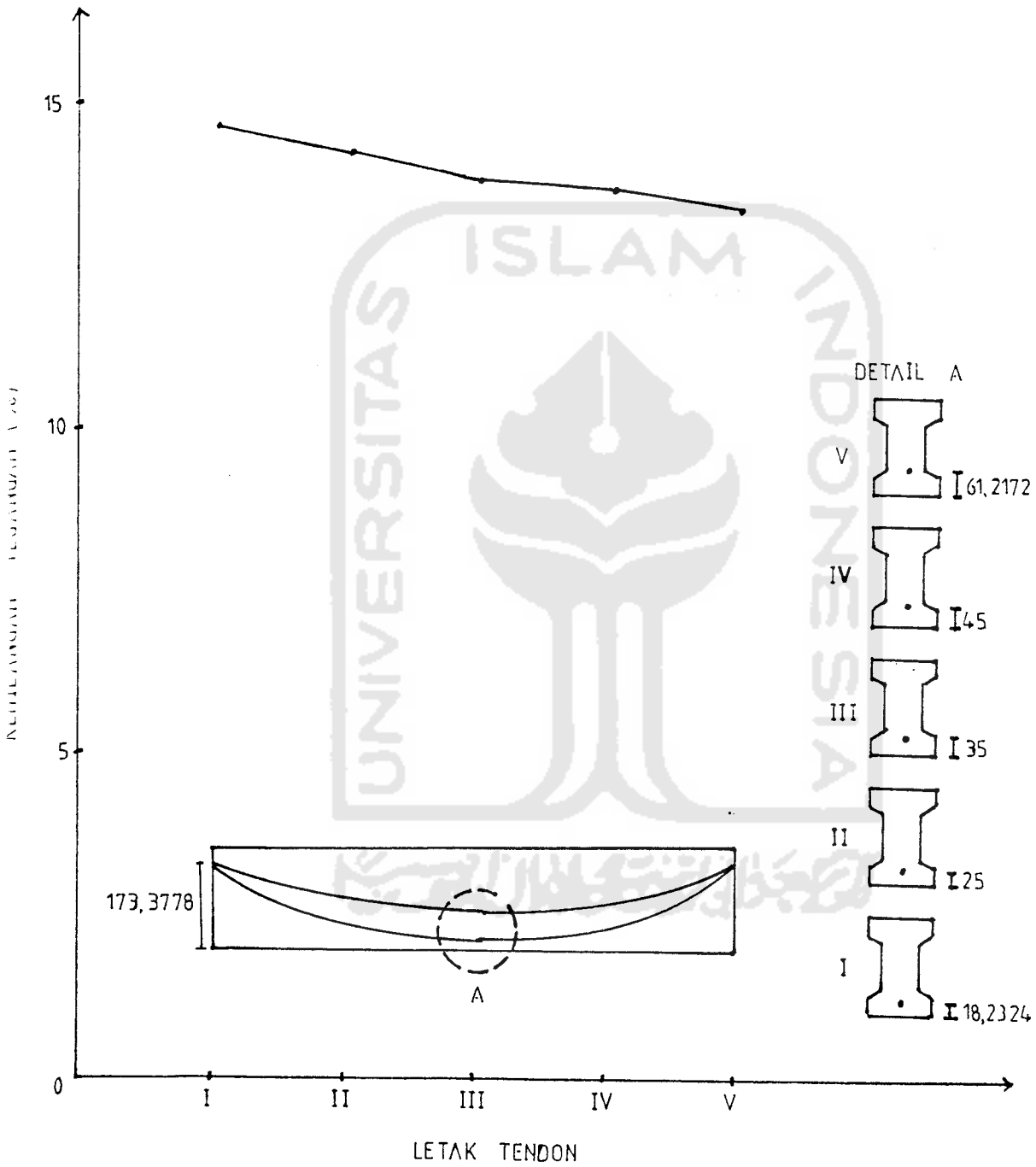
Tabel 3.18. Kehilangan tegangan akibat peristiwa slip pada saat pengangkuran

	Z	$\lambda \cdot 10^{-5}$	X	$\Delta f$	P %
I	3193,9148	2,5932	777,3507	2482,7919	4,0317
II	3076,6617	2,4907	793,1846	2433,2293	3,9512
III	2900,5358	2,3550	815,7171	2366,0165	3,8420
IV	2726,8731	2,2140	841,2929	2294,0935	3,7252
V	2438,1743	1,9796	889,7055	2169,2571	3,5225

Tabel 3.19. Kehilangan tegangan total

	G	D	R	S	Rel0	Total
I	5,1864	4,0317	0,2212	0,7688	4,5047	14,7128
II	4,9960	3,9512	0,0805	0,7688	4,5047	14,3012
III	4,7100	3,8420	0,1274	0,7688	4,5047	13,8629
IV	4,4280	3,7252	0,3354	0,7688	4,5047	13,7621
V	3,9592	3,5225	0,6726	0,7688	4,5047	13,4278

Keterangan, G = gesekan,  
 D = draw-in atau slip,  
 R = rangkak,  
 S = susut,  
 Rel = relaksasi.



Gambar 3.9. Grafik hubungan letak tendon dengan prosentase kehilangan tegangan

### 3.4. Analisa

1. Dari gambar 3.6.

Kondisi dimana  $y$  tengah bentang ( $y_t$ ) berada di sisi bawah batas bawah ( $y_t = 18,2324$ ) dan  $y$  ujung ( $y_u$ ) berada di sisi atas batas bawah, kemudian digerakkan keatas sampai sisi atas batas atas ( $y_u = 173,3778$ ). Dari kondisi di atas didapatkan hasil:

a. Bentuk tendon parabola,

- kehilangan tegangan yang terjadi paling kecil pada  $y_t = 18,2324$  dan  $y_u = 45,6729$  sebesar 8,8387%,
- kehilangan tegangan yang terjadi paling besar pada  $y_t = 18,2324$  dan  $y_u = 173,3778$  sebesar 13,5303%.

b. Bentuk tendon segitiga,

- kehilangan tegangan yang paling kecil pada  $y_t = 18,2324$  dan  $y_u = 45,6729$  sebesar 8,3214%,
- kehilangan tegangan yang paling besar pada  $y_t = 18,2324$  dan  $y_u = 173,3778$  sebesar 10,9802%.

Dari kedua bentuk di atas dalam kondisi yang sama ternyata bentuk segitiga kehilangan tegangan yang terjadi lebih kecil bila dibandingkan dengan bentuk parabola. Dan tendon tersebut berada pada  $y_u = 45,6729$  dan  $y_t = 18,2324$  atau tepat berada pada batas bawah daerah tendon.

2. Dari gambar 3.7.

Bentuk parabola dengan  $y_t = 61,2172$  atau tepat disisi bawah batas atas dan  $y_u = 173,3778$  atau berada di sisi atas batas atas, kemudian diturunkan hingga kedudukan  $y_u = y_t = 61,2172$  atau tendon dalam kondisi



lurus. Dari kondisi di atas didapatkan hasil,

- kehilangan tegangan yang paling kecil pada kondisi tendon lurus ( $y_u = y_t = 61,2172$ ) sebesar 7,9174%,
- kehilangan tegangan yang paling besar pada kondisi  $y_u = 173,3778$  dan  $y_t = 61,2172$ , sebesar 13,4278%.

3. Dari gambar 3.8.

Kondisi dimana  $y_u = 61,2172$  atau tepat di sisi bawah batas atas dan  $y_t = 18,2324$  atau berada di sisi bawah batas bawah, kemudian  $y_t$  dinaikkan hingga  $y_t = y_u$  atau tendon dalam kondisi lurus. Maka akan didapatkan hasil:

a. Bentuk parabola,

- kehilangan tegangan yang paling kecil pada saat tendon lurus,  $y_t = y_u = 61,2172$ , sebesar 7,9174%,
- kehilangan tegangan yang paling besar pada saat  $y_t = 18,2324$  dan  $y_u = 61,2172$ , sebesar 9,8349%.

b. Bentuk segitiga,

- kehilangan tegangan yang terkecil pada saat kondisi tendon lurus,  $y_t = y_u = 61,2172$ , sebesar 7,9174%,
- kehilangan tegangan yang paling besar pada saat  $y_t = 18,2324$  dan  $y_u = 61,2172$ , sebesar 8,7954%.

Dari kedua bentuk di atas didapatkan hasil bahwa kehilangan tegangan yang terjadi paling kecil pada saat tendon lurus dengan  $y_u = y_t = 61,2172$ , atau tepat berada di sisi bawah batas atas.

4. Dari gambar 3.9.

Bentuk tendon parabola dengan kondisi  $y_u = 173,3778$  atau tepat di sisi atas batas atas dan  $y_t = 18,2324$  atau



tepat di sisi bawah batas bawah, kemudian  $y_t$  dinaikkan hingga sisi bawah batas atas ( $y_t = 62,2172$ ). Dari kondisi di atas didapatkan hasil:

- kehilangan tegangan yang paling kecil pada saat  $y_t = 173,3778$  dan  $y_t = 61,2172$ , sebesar 13,4278%,
- kehilangan tegangan yang paling besar pada saat  $y_t = 173,3778$  dan  $y_t = 18,2324$ , sebesar 14,7128%.

Dari keempat analisa di atas diketahui bahwa ternyata bentuk segitiga mempunyai prosentase kehilangan tegangan yang lebih kecil bila dibandingkan dengan bentuk parabola. Hal ini karena dipengaruhi oleh besarnya  $\alpha$ , atau sudut pertemuan 2 kurva. Dimana besarnya  $\alpha$  pada tendon segitiga mempunyai harga yang lebih kecil bila dibandingkan dengan bentuk parabola.

Kehilangan tegangan pada kondisi di atas akan didapatkan hasil yang paling kecil jika besarnya  $\alpha = 0$ , atau tendon dalam keadaan lurus.

Pada saat tendon dalam keadaan lurus, kehilangan tegangan akan menjadi lebih kecil apabila tendon terletak di sisi atas batas bawah, dimana jarak antara pusat berat tendon dengan pusat berat beton semakin besar. Hal ini akan berpengaruh terhadap besarnya kehilangan tegangan akibat peristiwa rangkan.

Sehingga dari analisa di atas, penempatan tendon paling efektif agar didapatkan kehilangan tegangan yang paling kecil adalah dalam kondisi lurus dan terletak di sisi atas batas bawah.

