

BAB III

KEHILANGAN PRATEGANG

III.1 Pendahuluan

Gaya prategang yang bertahap diberikan untuk melawan pembebanan yang secara bertahap ditambahkan pada struktur, akan berkurang besarnya akibat beberapa sumber kehilangan tegangan (*loss of prestress sources*).

Menurut waktu terjadinya, kehilangan gaya prategang dikelompokkan sebagai berikut:

1. Kehilangan seketika (*instantaneous losses*) selama fabrikasi atau selama proses konstruksi berlangsung (proses penarikan kabel), meliputi perpendekkan elastik pada beton, kehilangan akibat pengangkuran tendon dan kehilangan akibat penggelinciran kabel.
2. Kehilangan yang tergantung faktor waktu (*time-dependent losses*), seperti rangkak beton, susut pada beton dan relaksasi pada baja.

III.1.1 Kehilangan Tegangan Total

Kesulitan dalam menentukan besarnya kehilangan gaya prategang total (*lump sum estimate of total prestress losses*) disebabkan banyak faktor, seperti jenis beton dan baja, jenis perawatan dan kondisi air (*moisture*), besarnya dan waktu prategang, serta proses prategangan tersebut.

The Posttensioning Institute (PTI) merekomendasikan keseluruhan kehilangan gaya prategang pada Tabel 3.1, sebagai bagian dari petunjuk pasca penarikan. Tujuannya untuk proyek-proyek yang menggunakan metoda penarikan dengan pasca-tarik dimana kehilangan tegangan tidak dispesifikasikan oleh perancang. Nilai-nilai tersebut dipakai sebagai pendekatan kehilangan gaya prategang dari hasil analisis hitungan.

Tabel 3.1 Nilai-nilai pendekatan kehilangan gaya prategang sistem pasca-tarik
(Sumber: *Post-Tensioning Institute*)

Material tendon Pascatarik	Kehilangan Gaya Prategang*	
	Pelat	Balok dan balok anak
Strand stress relieved 270, kawat stress relieved 240	207 MPa	241 MPa
Batang	138 MPa	172 Mpa

*Tidak termasuk kehilangan akibat gesekan dan slip pada angkur

Kehilangan gaya prategang total (Δf_{pT}) untuk sistem pasca-tarik dihitung sebagai berikut:

$$\Delta f_{pT} = \Delta f_{pA} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pES} + \Delta f_{pR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSH} \text{ (MPa)}$$

- Keterangan :
- Δf_{pA} = kehilangan akibat pengankuran (*anchorage losses*)
 - Δf_{pF} = kehilangan akibat gesekan (*friction losses*)
 - Δf_{pES} = kehilangan akibat perpendekan elastik beton (*elastic shortening losses*)
 - Δf_{pR} = kehilangan akibat relaksasi baja (*relaxation losses*)
 - Δf_{pCR} = kehilangan akibat rangkai beton (*creep losses*)
 - Δf_{pSH} = kehilangan akibat susut beton (*shrinkage losses*)

III.1.2 Metoda Tahapan Waktu

Kehilangan tegangan yang tergantung dari waktu (relaksasi baja, susut dan rayapan beton) akan dianalisis berdasarkan metoda tahapan waktu (*time-step method*), yaitu sumber-sumber kehilangan tegangan tersebut akan dihitung setiap interval waktu sampai akhir umur bangunan (umur layan).

Tabel 3.2 Interval waktu

Tahap	Waktu mulai, t_i (hari)	Waktu akhir, t_i (hari)
I	Setelah pekerjaan penegangan	umur = 1
II	akhir tahap I = 1	umur = 30
III	akhir tahap II = 30	umur = 365 (1 tahun)
IV	akhir tahap III = 365	umur = 14600 (40 tahun)

III.2 Perpendekkan Elastik Beton (*Elastic Shortening*)

Pada saat gaya prategang dilimpahkan ke beton (*transfer*), maka batang akan memendek (terdesak). Karena beton memendek, baja prategang akan memendek juga. Hasilnya terjadi pengurangan tegangan di dalam baja.

Turunan rumus untuk memperkirakan kehilangan akibat perpendekkan elastik beton, khususnya pada sistem pasca-tarik yaitu:

$$\Delta f_{pES} = \frac{1}{n} \cdot \sum (\Delta f_{pES})_j$$

dimana,

n = jumlah tendon atau sepasang tendon yang ditarik berurutan

j = jumlah operasi *jacking*

$$(\Delta f_{pES}) = n_p \cdot f_{cs}$$

n_p = rasio modulus elastis = E_{sp}/E_c

f_{cs} = tegangan beton diujung dan tengah bentang pada ketinggian baja, MPa

III.3 Relaksasi Baja (*Relaxation of Steel*)

Relaksasi baja diartikan sebagai kehilangan gaya prategang yang tergantung pada mutu baja, jenis tendon, nilai banding dari gaya prategang awal terhadap kuat tarik tendon (f_p/f_{pu}), suhu lingkungan dan waktu.

Rumus untuk menghitung kehilangan tegangan akibat relaksasi baja:

$$\Delta f_{pR}(t_i, t_j) = \frac{f_{ps}(t_i)}{10} \cdot \left(\frac{f_{ps}(t_i)}{f_{py}} - 0.55 \right) \cdot \log\left(\frac{t_j}{t_i}\right)$$

dimana,

$f_{ps}(t_i)$ = tegangan pada baja prategang pada waktu t_i , MPa

f_{py} = tegangan luluh baja prategang, Mpa

t_i, t_j = waktu awal dan akhir tegangan yang ditinjau, ratio $t_j/t_i \geq 1$ (hari)

III.4 Rangkak Pada Beton (*Creep of Concrete*)

Prategang yang terus menerus (pertambahan waktu) pada beton akan mengakibatkan rangkak pada struktur beton prategang yang secara efektif mengurangi tegangan pada baja bermutu tinggi.

Rumus yang digunakan untuk menghitung sumber kehilangan ini:

$$\Delta f_{pCR}(t_i, t_j) = n_p \cdot C_{CU} \cdot K_{CH} \cdot K_{CA} \cdot K_{CS} \cdot f_{cs}(t_i) \cdot [g(t_i) - g(t_j)]$$

dimana,

n_p = ratio modulus elastisitas = E_{ps} / E_c

C_{cu} = koefisien rangkai ultimit pada material beton

K_{CH} = faktor koreksi kelembaman relatif untuk kondisi perawatan basah (*moist*) dan kering (*steam*) pada beton:

$$K_{CH} = 1.27 - 0.0067H$$

K_{CA} = faktor umur pembebanan pada rangkai untuk kondisi perawatan basah (*moist-cured*):

$$K_{CA} = 1.25 t_A^{-0.118}$$

t_A = umur pada waktu pembebanan (hari)

K_{CS} = faktor bentuk dan ukuran penampang beton untuk rangkai, lihat pada Tabel 3.3

$f_{cgs}(t_i)$ = tegangan pada beton pada ketinggian baja pada waktu t , akibat prategang dan beban mati (*dead load*) dalam MPa:

$$f_{cgs}(t_i) = \frac{[f_{ps}(t_i)] A_{ps}}{A_c} \cdot \left(1 + \frac{e^2}{r^2}\right) - \frac{M_{DL} \cdot e}{I_c}$$

r = jari-jari girasi, mm

M_{DL} = momen akibat beban mati, Nmm

$$g(t) = \frac{t^{0.6}}{(10 + t^{0.6})} = \text{fungsi waktu untuk } t_j \text{ dan } t_i \text{ (hari)}$$

III.5 Susut Pada Beton (*Shrinkage of Concrete*)

Susut dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti rangkai dan faktor lain yang tergantung waktu, yaitu perbandingan volume dan permukaan beton (V/S), kelembaman lingkungan, waktu dari akhir perawatan beton sampai dengan bekerjanya gaya prategang.

Rumus untuk menghitung kehilangan tegangan akibat susut untuk interval waktu t_i, t_j :

$$\Delta f_{pSH}(t_i, t_j) = E_{ps} \cdot \epsilon_{SU} \cdot K_{SH} \cdot K_{SS} \cdot \frac{b(t_i - t_j)}{(b + t_i) \cdot (b + t_j)}$$

dimana,

E_{ps} = modulus elastisitas baja prategang, MPa

ϵ_{SU} = regangan susut ultimit pada material beton (mm/mm)

K_{SH} = faktor koreksi kelembaman relatif untuk susut:

$$K_{SH} = 1.4 - 0.01H$$

K_{SS} = faktor bentuk dan ukuran beton, lihat pada Tabel 3.3

b = parameter, 35 untuk perawatan basah beton

Tabel 3.3 Faktor bentuk dan ukuran untuk rangkai dan susut beton
(Sumber: *PCI Committee on Prestress Losses*, 1975)

V/S	Faktor bentuk dan ukuran	
	Rangkai (K_{CS})	Susut (K_{SS})
cm		
2.54	1.05	1.04
5.1	0.96	0.96
7.6	0.87	0.86
10.2	0.77	0.77
12.7	0.68	0.69
15.2	0.68	0.60

III.6 Slip Pada Angkur (*Anchorage-Seating Losses*)

Sumber kehilangan tegangan ini terjadi selama operasi penarikan *strand*, disebabkan oleh baji-baji (*wedges*) yang terpasang pada angkur. Pada saat gaya *jacking* dialihkan ke

angkur, angkur akan mengalami sedikit deformasi, jadi tendon dapat tergelincir sedikit. Akibatnya baji yang digunakan untuk menahan kabel akan tergelincir sebelum kebel dijepit dengan kokoh.

Rumus kehilangan tegangan akibat slip pada angkur:

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta_A}{L} \cdot E_{ps}$$

dimana,

Δ_A = besarnya slip yang terjadi pada baji, mm

L = panjang tendon, mm

E_{ps} = modulus elastisitas baja prategang, MPa

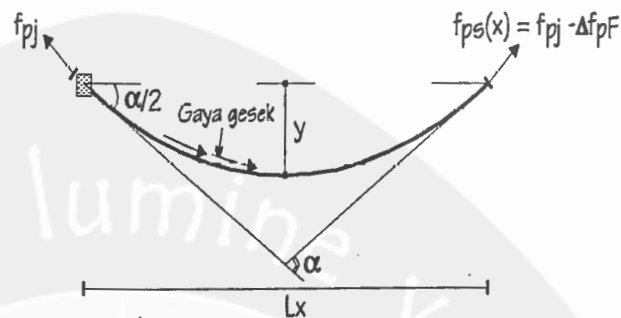
III.7 Gesekan Dalam Tendon (*Friction*)

Sumber kehilangan ini disebabkan gesekan antara tendon dengan bahan sekelilingnya, baik itu berupa beton atau selubung (*sheating*), diberi pelumas atau tidak.

Proses terjadinya selama operasi penarikan *strand*.

Ada dua pengaruh kehilangan akibat gesekan dalam tendon, yaitu:

1. Pengaruh kelengkungan (*curvature effect*), yaitu akibat dari kelengkungan tendon yang diinginkan sebagai tambahan penyimpangan turun naiknya selubung, menyebabkan gesekan antara tendon dengan bahan disekelilingnya.
2. Pengaruh panjang (*length effect*), yaitu akibat dari pemasangan tendon dalam beton yang tidak dapat lurus, sehingga selubung akan bergelombang (*wobble effect*) dan terjadi gesekan antara tendon dengan bahan disekelilingnya.



Gambar 3.1 Pengaruh kelengkungan pada tendon

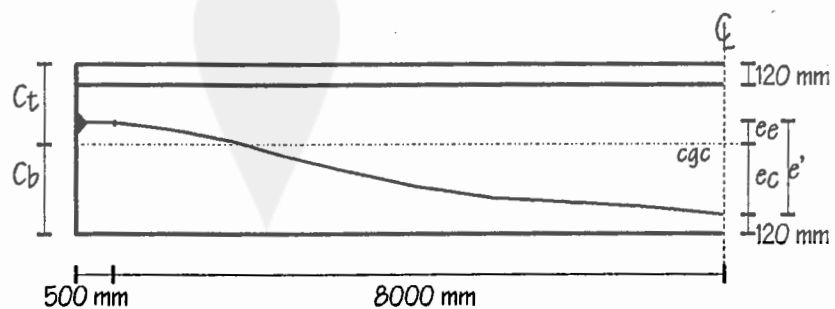
Persamaan akibat kedua pengaruh ini, dirumuskan:

$$\Delta f_{pF(x)} = f_{ps(x-1)} [1 - (\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot l_x)]$$

dimana,

- x = *segment* dari tegangan yang ditinjau
- $f_{ps(x-1)}$ = tegangan pada baja sebelum *segment* yang ditinjau, MPa
- l_x = panjang tendon dari *segment* yang ditinjau, m
- α = kelengkungan relatif. Pada Gambar 3.1, kelengkungan diperoleh dari:
 $\alpha = (8 \cdot y) / Lx$, radian
- μ = koefisien gesek
- κ = koefisien *wobble*, rad/m

III.8 Hitungan Kehilangan Prategang



Gambar 3.2 Penampang melintang tendon

Data-data untuk hitungan:

$$C_t = 276,542 \text{ mm}$$

$$C_b = 523,458 \text{ mm}$$

$$e_e = 600 - 523,458 = 76,542 \text{ mm}$$

$$e_c = 523,458 - 120 = 403,458 \text{ mm}$$

$$e' = e_e + e_c = 480 \text{ mm}$$

$$A_c = 623763,386 \text{ mm}^2$$

$$I_c = 3,846950239 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$r^2 = I_c / A_c = 61673,229 \text{ mm}^2$$

$$E_c = 2,98 \cdot 10^4 \text{ MPa}$$

$$E_{ps} = 1,97 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

$$n_p = E_{ps} / E_c = 6,611$$

$$A_{ps} = 1579,2 \text{ mm}^2$$

$$f_{pu} = 1862 \text{ MPa}$$

$$f_{py} = 1583 \text{ MPa}$$

$$P_j = 2296,7 \text{ KN}$$

$$f_{pj} = P_j / A_{ps} = 1454,344 \text{ MPa}$$

$$\mu = 0,200$$

$$\kappa = 0,008 \text{ rad/m}$$

Kelembaman relatif (RH) untuk yogyakarta diambil 60%

Koefisien rangkai ultimit (C_{cu}) = 1,2

Regangan susut ultimit (ϵ_{su}) = $4,5 \cdot 10^{-4}$

Estimasi kehilangan gaya prategang akibat slip angkur = 3%

Waktu transfer gaya prategang = 1 hari (24 jam) setelah penarikan

Beton dalam keadaan perawatan basah (*moist curing*)

Momen akibat beban mati di tengah bentang = 915669,798 Nm

Momen akibat beban mati pada tumpuan = 3562,918 Nm

Koefisien-koefisien untuk hitungan:

$$K_{SH} = 1,40 - (0,01 \times 60) = 0,800$$

$$K_{CH} = 1,27 - (0,0067 \times 60) = 0,868$$

$$K_{CA} = 1,25 \times 1^{-0,118} = 1,25, \text{ dengan } t_A = \text{diperkirakan terjadi dalam 1 hari}$$

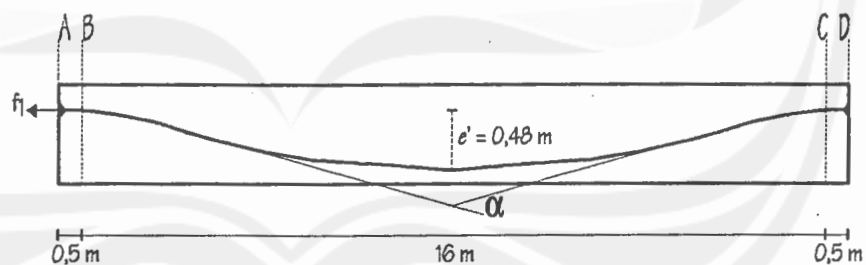
$$\begin{aligned} V/S &= 623763,386 / [(2420 \times 2) + (120 \times 2) + 680 \times 2] + 500 \\ &= 89,876 \text{ mm} = 8,9879 \text{ cm} \end{aligned}$$

dari Tabel 3.3 (diinterpolasi) diperoleh: $K_{SS} = 0,812$

$$K_{CS} = 0,817$$

Kehilangan akibat pekerjaan penarikan awal (kehilangan tegangan seketika):**a. akibat penggelinciran angkur**

$$\Delta f_{\mu A} = 1454.344 \times 3\% = 43,630 \text{ MPa}$$

b. akibat gesekan dalam kabel

Gambar 3.3 Kelengkungan tendon

Besarnya kelengkungan relatif (α) = $(8 \times 0,48) / 16 = 0,240 \text{ rad}$

Gesekan dalam kabel akan ditinjau sebagai berikut:

Kabel A-B, tegangan di titik A = f_i

pengaruh panjang ($\kappa \cdot l_x$) = $0,008 \cdot 0,5 = 0,004 \text{ rad}$

pengaruh kelengkungan tidak ada (tendon lurus, $\alpha = 0$)

Tegangan pada akhir titik B = $(1 - 0,0047)f_i = 0,996 f_i$

Kabel B-C, tegangan pada awal titik B = $0,996 f_i$

pengaruh kelengkungan ($\mu \cdot \alpha$) = $0,24 \times 0,200 = 0,048$ rad

pengaruh panjang ($\kappa \cdot l_x$) = $0,008 \times 16 = 0,128$ rad

total ($\mu \cdot \alpha + \kappa \cdot l_x$) = $0,176$ rad

tegangan sepanjang B-C = $0,176 \times 0,996 f_i = 0,175 f_i$

Tegangan pada akhir titik C = $(0,996 - 0,175)f_i = 0,821 f_i$

Kabel C-D, tegangan pada awal titik C = $0,821 f_i$

pengaruh panjang ($\kappa \cdot l_x$) = $0,008 \cdot 0,5 = 0,004$ rad

pengaruh kelengkungan tidak ada (tendon lurus, $\alpha = 0$)

tegangan sepanjang C-D = $0,004 \times 0,821 f_i = 0,003 f_i$

Tegangan pada titik D = $(0,821 - 0,003)f_i = 0,818 f_i$

Kehilangan gesekan total dari titik A sampai dengan titik D:

$$f_i = 1454,344 - 43,630 = 1410,714 \text{ MPa}$$

$$\Delta f_{pF} = (1 - 0,818) 1410,714 = 256,750 \text{ MPa}$$

c. akibat perpendekkan elastik beton

Karena tendon ditarik secara serentak (*simultaneously*), diperoleh $j = 0$. Sehingga

tidak ada kehilangan tegangan akibat perpendekkan elastik (Δf_{pES})

Kehilangan seketika total pada penarikan awal:

$$\Delta f_{pT} = 43,630 + 256,750 + 0 = 300,380 \text{ MPa}$$

Tegangan pada baja, $f_{pi} = 1454,344 - 300,380 = 1153,964 \text{ MPa}$

Kehilangan tegangan setelah penarikan (tergantung dari faktor waktu):

Tahap I: tegangan pada saat transfer

Interval waktu: $t_i = 1$ jam, $t_j = 24$ jam (1 hari)

akibat relaksasi baja

$$\Delta f_{pR}(1,24) = \frac{1153,964}{10} \cdot \frac{[1153,946 - 0,55]}{1583} \cdot \text{Log} [24/1] = 28,505 \text{ MPa}$$

$$f_{pi}(1 \text{ hari}) = 1153,946 - 28,505 = 1125,459 \text{ MPa}$$

Tahap II: pada umur 30 hari

Interval waktu: $t_i = 1$ hari, $t_j = 30$ hari

a. akibat rayapan beton

$$P_i(1 \text{ hari}) = 1125,459 \times 1579,2 = 1777324,853 \text{ N}$$

- tegangan beton di tengah bentang pada ketinggian baja:

$$\begin{aligned} & - \frac{P_i(t_j)}{A_c} \left(1 + \frac{e_c^2}{r^2} \right) + \frac{M_{DL} \cdot e_c}{I_c} \\ & - \frac{1777324,853}{623763,386} \left(1 + \frac{403,458^2}{61673,229} \right) + \frac{908543,963 \cdot 10^3 \cdot 403,458}{3,846950239 \cdot 10^{10}} \\ & = -10,370 + 9,529 = -0,841 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- tegangan pada beton di tumpuan pada ketinggian baja:

$$\begin{aligned} & - \frac{P_i(t_j)}{A_c} \left(1 - \frac{e_c^2}{r^2} \right) - \frac{M_{DL} \cdot e_c}{I_c} \\ & - \frac{1777324,853}{623763,386} \left(1 - \frac{76,542^2}{61673,229} \right) - \frac{3562,918 \cdot 10^3 \cdot 76,542}{3,846950239 \cdot 10^{10}} \\ & = -2,579 - 0,007 = -2,586 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- tegangan rata-rata pada beton:

$$f_{cgs}(1) = -0,841 - 2/3 [2,586 - 0,841] = -2,004 \text{ MPa}$$

$$g(30) = 30^{0,6} / (10 + 30^{0,6}) = 0,435$$

$$g(1) = 1^{0,6} / (10 + 1^{0,6}) = 0,091$$

$$\Delta f_{pCR}(1,30) = 6,611 \times 1,2 \times 0,868 \times 1,25 \times 0,817 \times 2,004 \times (0,435 - 0,091)$$

$$\Delta f_{pCR}(1,30) = 4,848 \text{ MPa}$$

b. akibat susut beton

$$\begin{aligned} \Delta f_{pSH}(1,30) &= 1,97 \times 10^5 \times 4,5 \times 10^{-4} \times 0,800 \times 0,812 \times \frac{35(30-1)}{(35+1)(35+30)} \\ &= 24,979 \text{ MPa} \end{aligned}$$

c. akibat relaksasi baja

$$\Delta f_{pR}(1,30) = \frac{1125,459}{10} \cdot \frac{[1125,459 - 0,55]}{1583} \cdot \text{Log}[30/1] = 26,760 \text{ MPa}$$

$$\Delta f_{pT}(30) = 4,848 + 24,979 + 26,760 = 56,587 \text{ MPa}$$

$$f_{ps}(30) = 1125,459 - 56,587 = 1068,872 \text{ MPa}$$

Tahap III: pada umur 365 hari (1 tahun)

Interval waktu: $t_i = 30$ hari, $t_j = 365$ hari

a. akibat rayapan beton

$$P_s(30 \text{ hari}) = 1068,872 \times 1579,2 = 1687962,662 \text{ N}$$

- tegangan beton di tengah bentang pada ketinggian baja:

$$\begin{aligned} & - \frac{1687962,662}{623763,386} \cdot \left(1 + \frac{403,458^2}{61673,229} \right) + \frac{908543,963 \cdot 10^3 \cdot 403,458}{3,846950239 \cdot 10^{10}} \\ & = -9,848 + 9,529 = -0,319 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- tegangan pada beton di tumpuan pada ketinggian baja:

$$- \frac{1687962,662}{623763,386} \left(1 - \frac{76,542^2}{61673,229} \right) - \frac{3562,918 \cdot 10^3 \cdot 76,542}{3,846950239 \cdot 10^{10}}$$

$$= -2,449 - 0,007 = -2,456 \text{ MPa}$$

- tegangan rata-rata pada beton:

$$f_{cgs}(1) = -0,319 - 2/3 [2,456 - 0,319] = -1,744 \text{ MPa}$$

$$g(30) = 30^{0,6} / (10 + 30^{0,6}) = 0,435$$

$$g(365) = 365^{0,6} / (10 + 365^{0,6}) = 0,775$$

$$\Delta f_{PCR}(30,365) = 6,611 \times 1,2 \times 0,868 \times 1,25 \times 0,817 \times 1,744 \times (0,775 - 0,435)$$

$$\Delta f_{PCR}(30,365) = 4,170 \text{ MPa}$$

b. akibat susut beton

$$\Delta f_{pSH}(30,365) = 1,97 \times 10^5 \times 4,5 \times 10^{-4} \times 0,800 \times 0,812 \times \frac{35(365 - 30)}{(35 + 30)(35 + 365)} \\ = 25,970 \text{ MPa}$$

c. akibat relaksasi baja

$$\Delta f_{pR}(30,365) = \frac{1068,872}{10} \cdot \left[\frac{1068,872}{1583} - 0,55 \right] \cdot \text{Log} [365/30] = 14,524 \text{ MPa}$$

$$\Delta f_{pT}(365) = 4,170 + 25,970 + 14,524 = 44,664 \text{ MPa}$$

$$f_{ps}(365) = 1068,872 - 44,664 = 1024,208 \text{ MPa}$$

Tahap IV: pada akhir umur layan (40 tahun)

Interval waktu: $t_i = 365$ hari, $t_j = 365 \times 40 = 14600$ hari

a. akibat rayapan beton

$$P_s(1 \text{ tahun}) = 1024,208 \times 1579,2 = 1617429,274 \text{ N}$$

- tegangan beton di tengah bentang pada ketinggian baja:

$$- \frac{1517429,274}{623763,386} \cdot \left(1 + \frac{403,458^2}{61673,229} \right) + \frac{908543,963 \cdot 10^3 \cdot 403,458}{3,846950239 \cdot 10^{10}}$$

$$= -9,437 + 9,529 = 0,092 \text{ MPa}$$

- tegangan pada beton di tumpuan pada ketinggian baja:

$$- \frac{1617429,274}{623763,386} \left(1 - \frac{76,542^2}{61673,229} \right) - \frac{3562,918 \cdot 10^3 \cdot 76,542}{3,846950239 \cdot 10^{10}}$$

$$= -2,347 - 0,007 = -2,354 \text{ MPa}$$

- tegangan rata-rata pada beton:

$$f_{cgs}(1) = 0,092 - 2/3 [2,354 + 0,092] = -1,539 \text{ MPa}$$

$$g(14600) = 14600^{0,6} / (10 + 14600^{0,6}) = 0,969$$

$$g(365) = 365^{0,6} / (10 + 365^{0,6}) = 0,775$$

$$\Delta f_{PCR}(1,40) = 6,611 \times 1,2 \times 0,868 \times 1,25 \times 0,817 \times 1,539 \times (0,969 - 0,775)$$

$$\Delta f_{PCR}(1,40) = 2,100 \text{ MPa}$$

b. akibat susut beton

$$\Delta f_{pSH}(1,40) = 1,97 \times 10^5 \times 4,5 \times 10^{-4} \times 0,800 \times 0,812 \times \frac{35(14600 - 365)}{(35 + 365)(35 + 14600)}$$

$$= 4,901 \text{ MPa}$$

c. akibat relaksasi baja

$$\Delta f_{pR}(1,40) = \frac{1024,208}{10} \cdot \left[\frac{1024,208}{1583} - 0,55 \right] \cdot \text{Log} [14600/365]$$

$$= 15,917 \text{ MPa}$$

$$\Delta f_{pT}(40) = 2,100 + 4,901 + 15,917 = 22,918 \text{ MPa}$$

$$f_{ps}(40) = 1024,208 - 22,918 = 1001,290 \text{ MPa}$$

Kehilangan tegangan total:

Tabel 3.4 Rangkuman kehilangan tegangan (total)

Waktu kehilangan	Sumber kehilangan	MPa	Persentase
Seketika (instantaneously)	Δf_{pA}	43,630	3%
	Δf_{pF}	256,750	17,654%
	Δf_{pES}	0	0
Waktu kehilangan	Sumber kehilangan	MPa ^{*)}	Persentase
Faktor waktu (time-dependent)	Δf_{pCR}	11,118	0,764%
	Δf_{pSH}	55,850	3,840%
	Δf_{pR}	85,706	5,893%

^{*)} menjumlahkan sumber kehilangan setiap tahap waktu

Kehilangan seketika total = 300,380 MPa (20,654%)

Kehilangan faktor waktu total = 152,674 MPa (10,437%)

Total kehilangan = 453,054 MPa (31,091%)

Terhadap Tabel 3.1, kehilangan total untuk faktor waktu = 152,674 MPa < 241 MPa.

$$f_{pe} = 1454,344 - 453,054 = 1001,290 \text{ MPa}$$

$$P_e = 1001,290 \times 1579,2 \times 10^{-3} = 1581,237 \text{ KN}$$