

BETON PRATEGANG PARSIAL

H. Ridwan Suhud

RINGKASAN

Tulisan ini disajikan untuk memperkenalkan prosedur perhitungan beton prategang parsial. Sekalipun sudah banyak tulisan secara teoritis mengenai beton prategang parsial, namun penggunaan praktis, masih perlu suatu sistematika yang mudah dicerna.

Sebagaimana halnya beton prategang penuh, beton prategang parsial digunakan apabila penggunaan beton bertulang biasa sudah tidak ekonomis lagi. Oleh karena itu di dalam perhitungan beton prategang parsial, selalu terlibat juga perhitungan beton prategang penuhnya.

Suatu hasil pemikiran akan lebih mudah dipahami, apabila dilengkapi dengan contoh penggunaan atau pemakaiannya.

Sehubungan dengan itu, tulisan ini justru menitik beratkan pada urutan perhitungan yang diperlukan untuk merencanakan beton prategang parsial.

SUMMARY

This paper is presented to introduce the calculation procedure for partially prestressed concrete. Many papers has been written about its theory.

However for practical purpose, a simple method is required. As in fully prestressed concrete, the partial systems is required when the used of reinforced concrete is not found economical.

Therefore for the calculation for partially prestressed concrete, the calculation for fully prestressed concrete is always needed.

The ideas will be more easily understood if they are accompanied by applied example exercises. Therefore this paper is produce in order to satisfy the design needs for partially prestressed concrete.

I. PENDAHULUAN

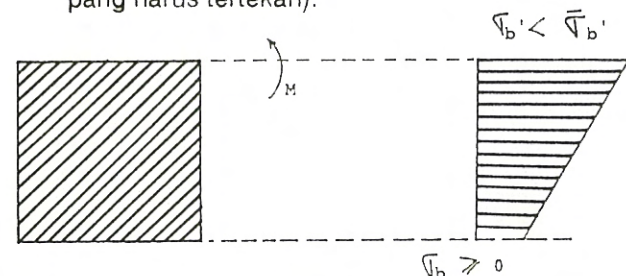
1.1 Definisi

Beton prategang parsial adalah suatu konstruksi beton, yang penampangnya mengandung dua macam tulangan, yaitu tulangan aktif (kabel prategang) dan tulangan pasif (tulangan beton biasa) lihat gambar

1.2 Klasifikasi Struktur Beton Menurut CEB/F.I.P. - 1970

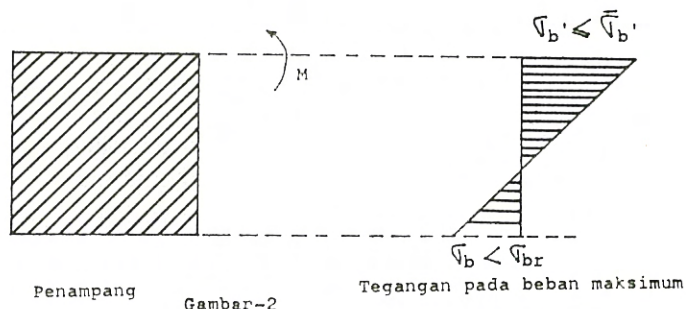
C.E.B./F.I.P. - 1970, membagi struktur beton dalam empat kelas :

- Kelas I : Beton Prategang Total
Pada kelas ini tegangan tarik tidak diijinkan terjadi untuk seluruh penampang (seluruh penampang harus tertekan).

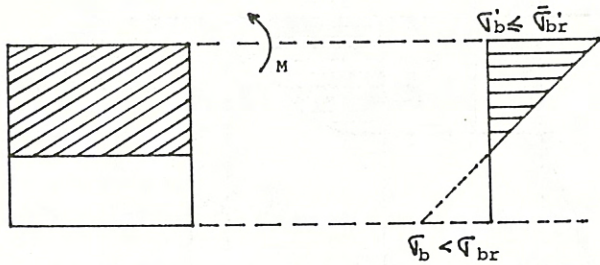


Penampang Gambar-1 Tegangan pada beban maksimum

- Kelas II : Beton Prategang Parsial (terbatas)
Pada kelas ini terjadinya tegangan tarik pada penampang diperbolehkan, tetapi kemungkinan timbulnya retak sangat kecil (tegangan tarik yang mungkin timbul harus lebih kecil dari kekuatan tarik beton).

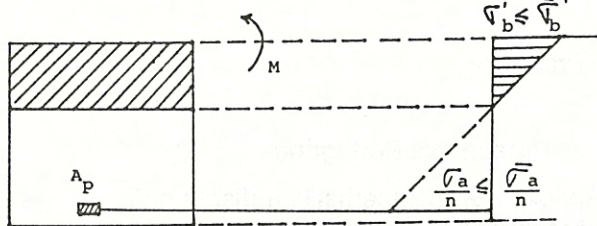


- Kelas III : Beton Bertulang Prategang
Pada kelas ini terjadinya retak pada penampang merupakan hal yang wajar (normal), akan tetapi lebar retak harus dibatasi menurut sifat agresif dari lingkungan sekitarnya.



Penampang Gambar-3 Tegangan pada beban maksimum

- Kelas IV : Beton Bertulang Biasa
Pada kelas ini perhitungan penulangan didasarkan pada keadaan retak dari penampang beton dengan maksud, bahwa tulangan tersebut berfungsi untuk mengambil alih gaya tarik yang tidak mampu lagi dipikul oleh beton.



Penampang Gambar-4 Tegangan pada beban maksimum

1.3 Tujuan

Baik untuk menjaga kemungkinan terjadinya retak atau membatasi lebar retak, maka beton kelas II dan kelas III ini memerlukan tulangan beton biasa (pasif) disamping tulangan aktif (kabel prategang) sebagai struktur utamanya. Disamping itu kemampuan batas dari tulangan aktif dari penampang prategang parsial

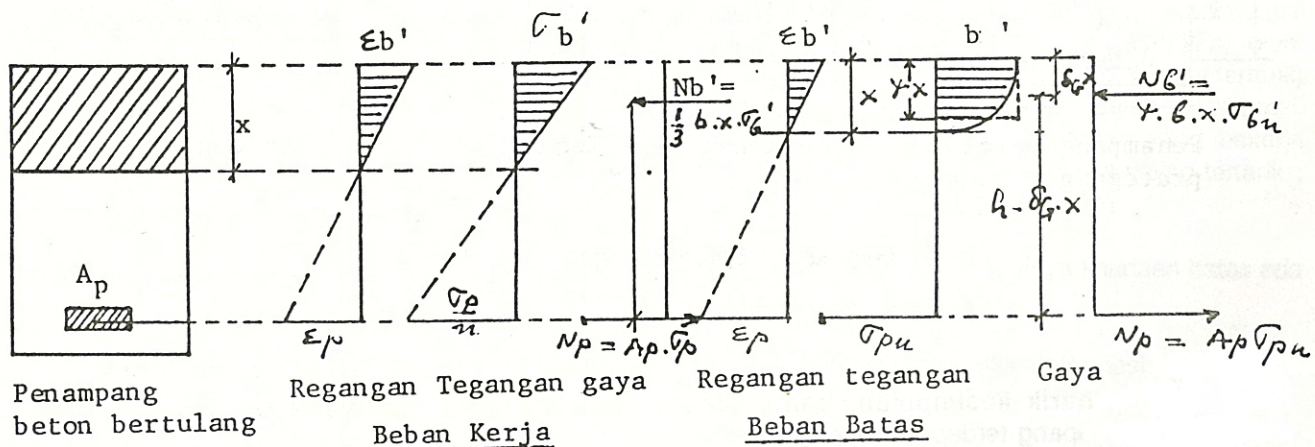
ini akan lebih kecil daripada penampang prategang penuhnya (kelas I), maka kekurangan dari kemampuan ini akan dilengkapi oleh tulangan beton biasa (pasif) (5). Dengan demikian kemampuan dari batas beton prategang parsial ini akan tetap sama dengan beton prategang penuh, tetapi akan lebih hemat. Penghematan ini akan diperoleh dari pengurangan jarak, selongsong dan grouting. Kemudian pada tahap beban kerja, selama penampangnya tidak retak, daya dukungnya akan sama dengan penampang beton prategang penuh (kelas I) (2) (3).

II. PERHITUNGAN

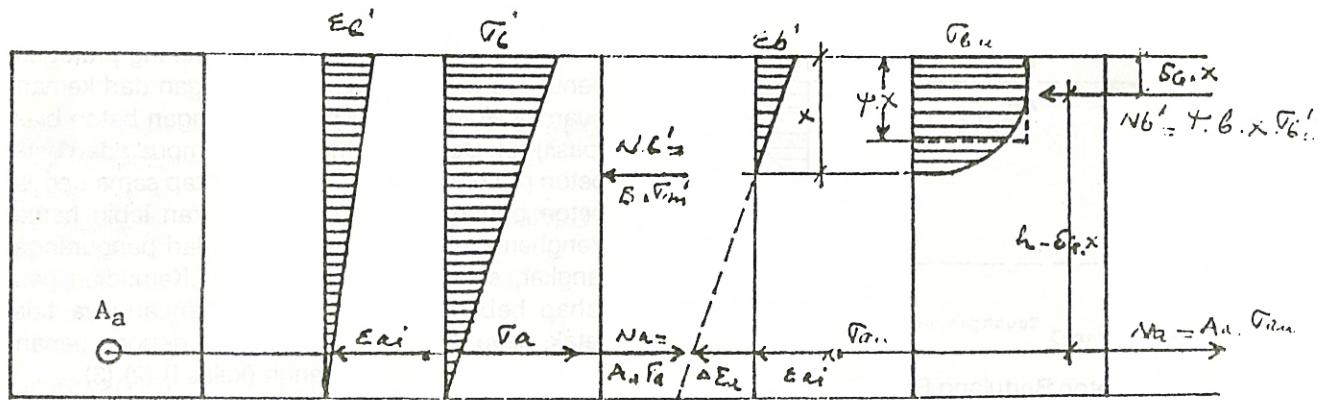
2.1 Konsep Dasar

Berhubung di dalam penampang ada dua macam tulangan yang dalam tahap pembebanan kerja mempunyai konsep perhitungan yang berbeda, maka kita perlu mencari dasar perhitungan yang berlaku bagi keduanya (3) (6).

Dalam tahap pembebanan kerja (tahap elastis), perhitungan beton bertulang didasarkan pada keadaan retak dari penampang, karena tulangan itu berfungsi untuk mengambil alih gaya tarik yang tidak dapat lagi dipikul oleh beton. Sedangkan dalam hal beton prategang, perhitungan didasarkan pada keadaan penampang utuh (tidak retak). Namun demikian dalam keadaan batas, antara beton bertulang dan beton prategang ini mempunyai pola yang tidak begitu berbeda seperti terlihat dalam gambar berikut (3) (6).



Gambar 5 - Beton Bertulang



Penampang beton prategang Regangan Tegangan Regangan Tegangan Gaya

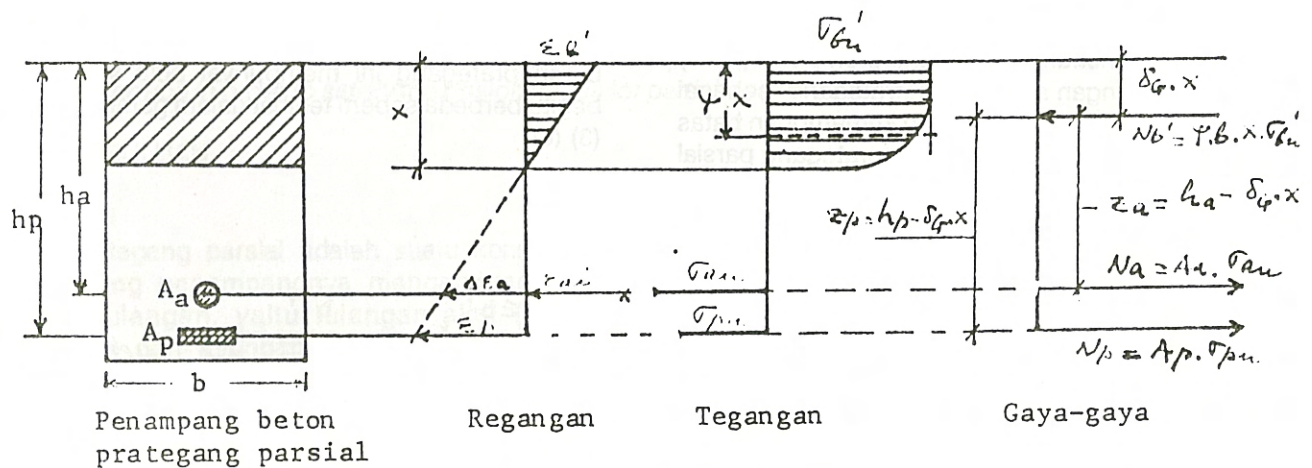
Beban Kerja Beban Batas

Gambar 6 - Beton Prategang

Apabila kita bandingkan kedua diagram di atas, pada beban kerja berbeda sama sekali, tetapi pada keadaan batas perbedaannya terletak hanya pada deformasi awal (ϵ_{ai}) pada beton prategang..

2.2 Persentase Prategang

Apabila kita memperhatikan diagram di atas, maka keseimbangan penampang dalam keadaan batas adalah :



Gambar 7 - Beton Prategang Parsial

Kita dapat menarik kesimpulan, bahwa jika pada suatu penampang terdapat tulangan aktif dan tulangan pasif, maka dalam keadaan batas, diagramnya tinggal menggabungkan kedua diagram di atas (gambar 7).

Berdasarkan pemikiran di atas maka perhitungan tulangan pasif pada penampang beton prategang parsial paling cocok didasarkan pada keadaan batas.

$$1. N_c' = N_a + N_p$$

$$N_b' = \psi \cdot X \cdot b \cdot \sigma_{bu}$$

$$N_a = A_a \cdot \sigma_{au}$$

$$N_p = A_p \cdot \sigma_{pu}$$

$$2. M_u = N_a \cdot Z_a + N_p \cdot Z_p$$

$$Z_a = h_a - \delta_G \cdot X$$

$$Z_p = h_p - \delta_G \cdot X$$

Dengan pengertian, bahwa :

N_b' : Gaya tekan yang bekerja pada beton

N_a : Gaya tarik yang bekerja pada tulangan aktif (kabel prategang)

N_p : Gaya tarik yang bekerja pada tulangan pasif (tulangan beton biasa)

M_u : Momen pada keadaan batas

ϵ_{ai} : Regangan (deformasi) awal tulangan aktif

$\Delta \epsilon_a$: Regangan (deformasi) tulangan aktif setelah dikompresi

ϵ_p : Regangan dari tulangan pasif

ϵ_b' : Perpendekan (deformasi) dari beton

$\psi, \delta G$: Besaran yang tergantung pada harga ϵ_b' misalnya untuk $\epsilon_b' = 3,5 \text{ o/oo}$, $\psi = 0,81$ dan $\delta G = 0,416$

X : Jarak garis netral dari serat yang paling tertekan (beton)

σ_{bu}' : Tegangan beton pada keadaan batas (tekan)

σ_{au} : Tegangan pada tulangan aktif pada keadaan batas

σ_{pu} : Tegangan pada tulangan pasif pada keadaan batas

A_a : Luas tulangan aktif

A_p : Luas tulangan pasif.

Dari keseimbangan di atas dapat ditarik kesimpulan, bahwa :

$N_a.Z_a$: Momen batas yang diimbangi oleh tulangan aktif.

$N_p.Z_p$: Momen batas yang diimbangi oleh tulangan pasif.

Jika pada suatu balok prategang parsial $N_a.Z_a > N_p.Z_p$, balok tersebut mempunyai sifat-sifat yang mendekati sifat-sifat beton prategang penuh (kelas I) dan sebaliknya; jika $N_a.Z_a < N_p.Z_p$, balok tersebut mempunyai sifat-sifat yang mendekati sifat-sifat beton bertulang. Dengan kata lain sifat-sifat suatu beton balok prategang parsial akan bergantung pada besar kecilnya persentase prategang, yaitu bagian (porsi) momen batas yang diimbangi oleh tulangan aktif. Jika dituliskan berupa rumus adalah :

$$p = \frac{N_a \cdot Z_a}{N_a \cdot Z_a + N_p \cdot Z_p} \times 100\% \quad (2) \quad (3)$$

Secara teoritis betapapun besarnya persentase prategang akan memberikan manfaat pada suatu balok prategang parsial (meningkatkan beban retak). Namun demikian, jika persentase tersebut terlalu kecil, balok tersebut akan memiliki sifat-sifat yang mendekati beton bertulang, yang sangat membahayakan balok tersebut, yaitu timbulnya retak-retak permanen yang akan memberikan kemungkinan berkaratnya tulangan aktif. Menurut penelitian-penelitian yang telah dilakukan, persentase prategang minimum yang aman untuk suatu balok prategang parsial adalah 60 %. Pada persentase ini, maka jelas bahwa :

$$N_a \cdot Z_a > N_p \cdot Z_p \quad (2) \quad (3)$$

2.3 Hipotesis

Adapun hipotesis-hipotesis yang berlaku untuk perhitungan ini adalah :

a. Konservasi bidang rata (Navier), sehingga deformasi berbanding lurus terhadap garis netralnya dan tidak ada selip (gelincir) antara tulangan dengan beton sekelilingnya.

b. Beton di daerah tarik diabaikan.

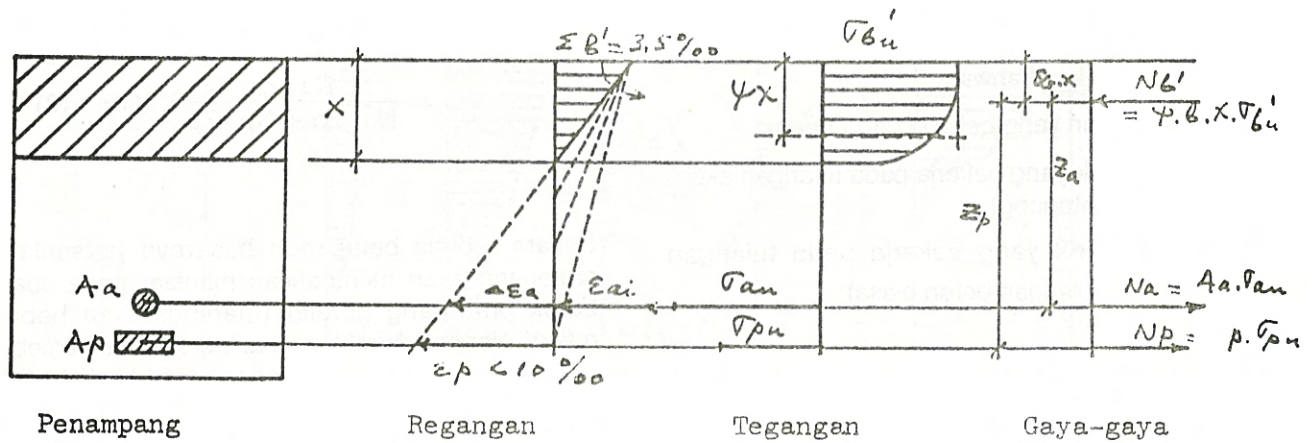
c. Keadaan batas untuk elemen terlentur tercapai apabila perpendekan beton (serat tertekan) mencapai $3,5 \text{ o/oo}$ atau perpanjangan besi (serat tertarik) mencapai 10 o/oo , yang dihitung setelah dekompresi. (Dekompresi terjadi apabila beban yang bekerja menyebabkan serat yang nantinya paling tertarik, tegangannya sama dengan nol) (1).

Dengan batasan ini tercapainya keadaan batas ada dua kemungkinan : (2) (4)

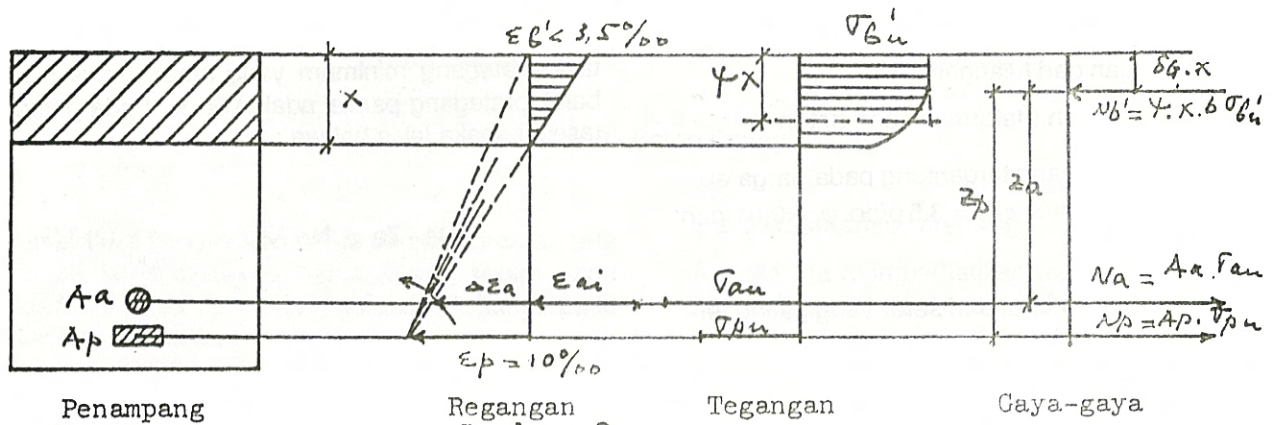
Kemungkinan pertama jika deformasi beton $\epsilon_b' = 3,5 \text{ o/oo}$ dan deformasi besi $\epsilon_p < 10 \text{ o/oo}$.

x dicari sedemikian rupa sehingga keseimbangan penampang tercapai, artinya bahwa

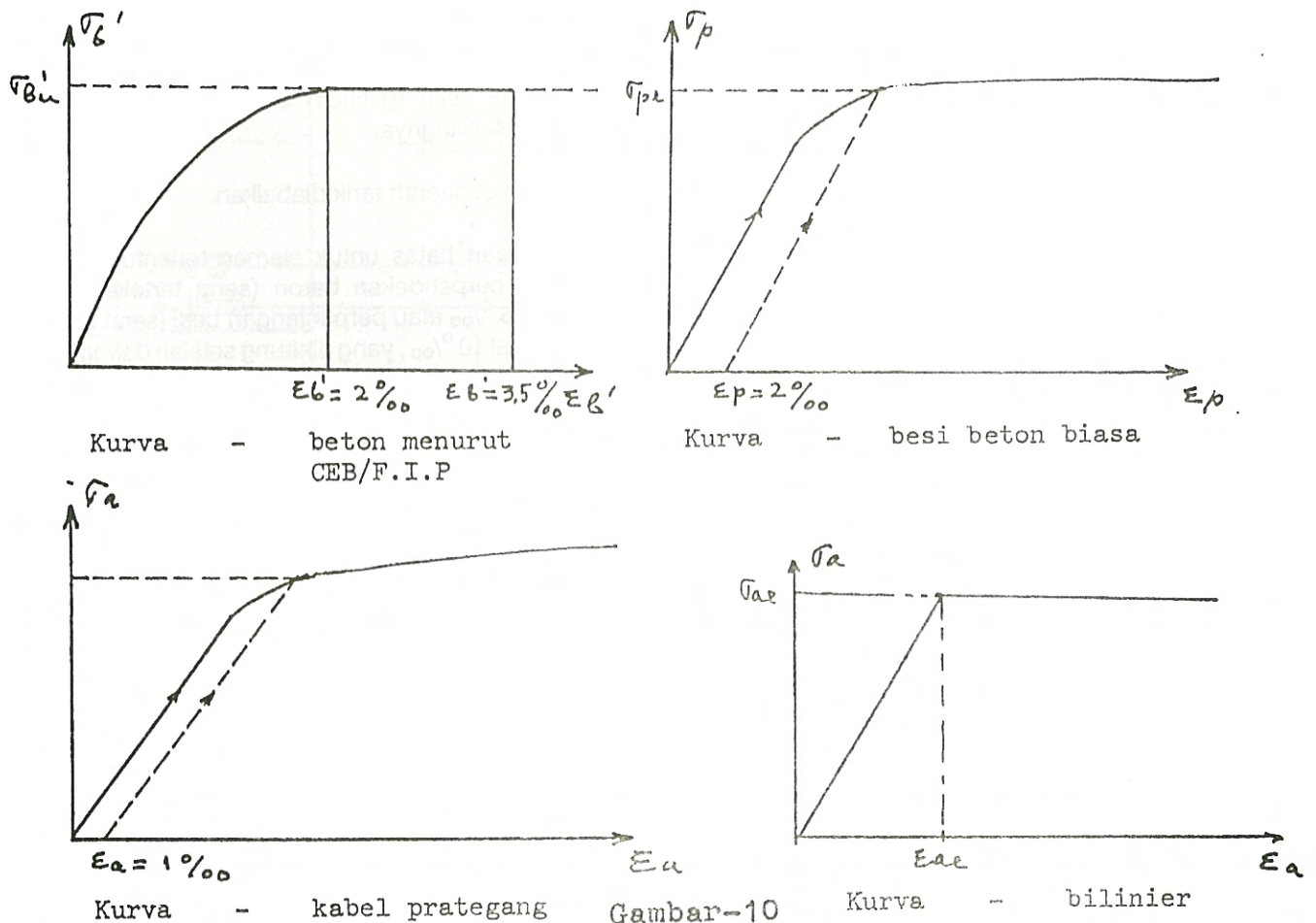
$N_b' = N_a + N_p$. Pencarian harga X yang memenuhi keseimbangan ini dilakukan dengan jalan memutar-mutar bidang deformasi dengan sumbu putar $\epsilon_b' = 3,5 \text{ o/oo}$ (pivot atas). Dalam keadaan ini $\psi = 0,81$ dan $\delta G = 0,416$, atau dapat juga diambil



Gambar-8



Gambar-9



Gambar-10

langsung diagram tegangan segiempat dengan $\psi = 0,8$, dan $\delta_G = 0,4$. σ_{au} diambil dari kurva $\sigma - \epsilon$ kabel prategang yang bersangkutan sesuai dengan $\epsilon_{a \text{ total}}$, yang besarnya sama dengan $\epsilon_{ai} + \Delta\epsilon_a$ ($\epsilon_{a \text{ total}} = \epsilon_{ai} + \Delta\epsilon_a$). Demikian juga σ_{pu} diambil dari kurva $\sigma - \epsilon$ besi beton yang dipakai, sesuai dengan besarnya ϵ_p . Jika $\epsilon_{b'} = 3,5\text{‰}$ maka tegangan beton sama dengan σ_{bu} .

Kemungkinan kedua, apabila deformasi beton $\epsilon_{b'} < 3,5\text{‰}$ dan deformasi baja $\epsilon_p = 10\text{‰}$. Pencarian X yang memenuhi keseimbangan penampang, dilakukan dengan memutar-mutar bidang deformasi dengan sumbu putar $a = 10\text{‰}$ (pivot bawah). Deformasi beton berkisar antara 0 dan $3,5\text{‰}$. Tegangan beton harus dicari dari kurva $\sigma - \epsilon$ beton, sesuai dengan besarnya $\epsilon_{b'}$ (belum tentu sama dengan σ_{bu}). Disamping itu $\psi < 0,81$ dan $\delta_G < 0,416$, harga-harga ψ dan δ_G tersebut tergantung juga besarnya $\epsilon_{b'}$.

Sebagaimana pada kemungkinan pertama, pada kemungkinan keduaupun σ_{au} dan σ_{pu} harus dicari dari kurva $\sigma - \epsilon$ yang bersangkutan. Dalam kenyataannya kita jarang mengetahui kurva $\sigma - \epsilon$

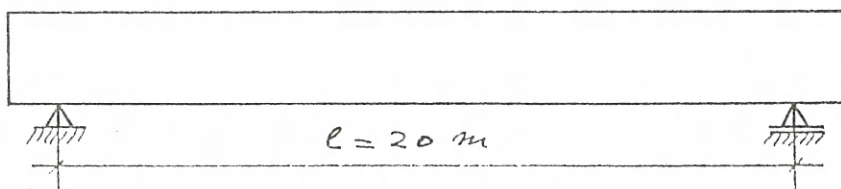
dari bahan-bahan yang dipakai, tetapi yang banyak kita jumpai adalah tegangan lelehnya. Dengan diketahui tegangan leleh tersebut, maka apabila deformasi tulangan aktif dan pasif yang terjadi lebih besar atau sama dengan deformasi lelehnya, maka tegangannya diambil sama dengan lelehnya.

(Diagram $\sigma - \epsilon$ bilinear).

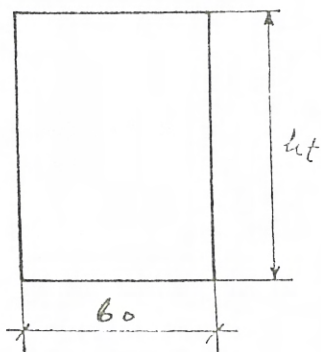
2.4 Langkah-langkah Perhitungan

Jika suatu struktur akan direncanakan dengan beton prategang parsial, terlebih dulu struktur tersebut harus dihitung untuk prategang penuhnya, karena kemampuan batas prategang parsial harus sama dengan prategang penuh yang bersangkutan (6). Kemudian dengan mengambil persentase prategang yang $> 60\%$, kita dapat menghitung tulangan pasifnya. Untuk memudahkan perhitungan, langkah pertama kita dapat menganggap, bahwa persentase prategang sama dengan persentase luas tulangan aktif untuk penampang parsial. Kemudian setelah didapat luas penampang besi pasifnya, diperiksa kembali kemampuan parsial tersebut. Dengan demikian kita dapat mengetahui persentase prategang dengan pasti. Mungkin saja perhitungan di atas dilakukan tidak satu kali (jadi harus dicoba-coba).

III. CONTOH PERHITUNGAN



- Balok panjang terletak diatas 2 tumpuan dengan bentang 20 m.
- beban tetap = 50 kg/m'
- Beban hidup = 1000 kg/m'



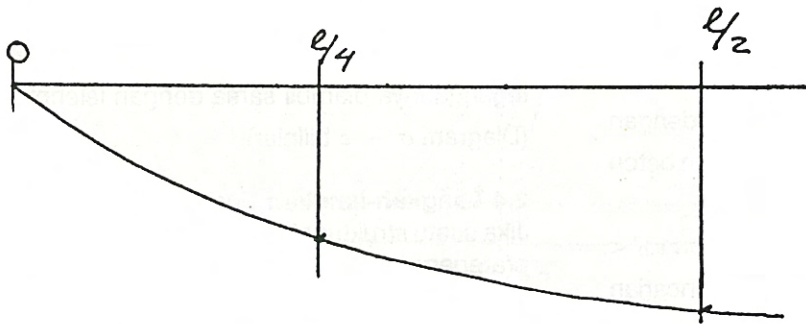
$$h_t \text{ diambil } \geq \frac{l}{20} \rightarrow h_t = 1 \text{ m}$$

$$b_0 \text{ diambil } 40 \text{ cm}$$

Berat sendiri balok :

$$0,4 \times 1 \times 2500 \text{ kg/m' } = 1000 \text{ kg/m' (berat beton } = 2500 \text{ kg/m}^3 \text{)}.$$

1. Momen - momen



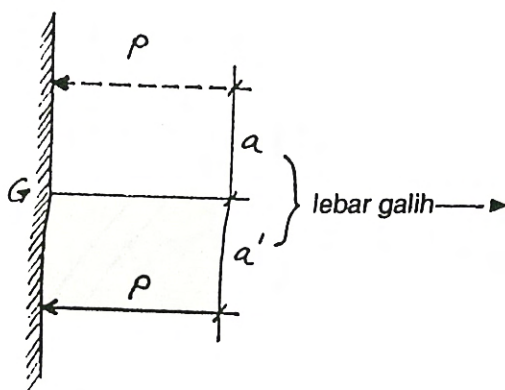
Beban \ Absis	0	$\frac{l}{4}$	$\frac{l}{2}$
Akibat berat sendiri $g_1 = 1000 \text{ kg/m'}$	0	37,5 tm	50 tm
Akibat berat sendiri + beban tetap $g_2 = 1000 + 500 = 1500 \text{ kg/m'}$	0	56,25 tm	75 tm
Akibat berat sendiri + beban tetap + beban hidup $g_3 = 1000 + 500 + 1000 =$ $= 1500 \text{ kg/m'}$	0	93,75 tm	125 tm

2. Gaya prategang

$$M_{\text{maks}} = 125 \text{ tm}$$

$$M_{\text{min}} (\text{momen konstruksi}) = 50 \text{ tm}$$

$$M = M_{\text{maks}} - M_{\text{min}} = 125 - 50 = 75 \text{ tm}$$



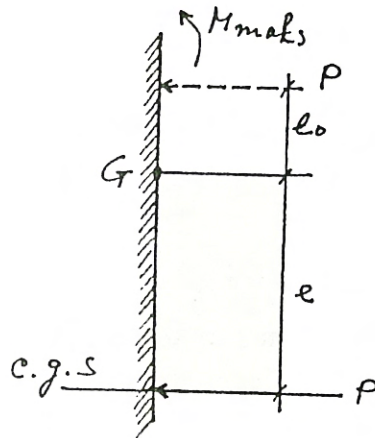
Titik tangkap dari tekanan resultan (center of pressure) harus jatuh di dalamnya, agar tegangan serat (ekstrem ≥ 0).

Penampang persegi -4 :
 $a = a' = ht/6 = 100/6 = 16,7 \text{ cm}$
 $a + a' = 16,7 + 16,7 = 33,3 \text{ cm}$

$$N \geq \Delta M / (a + a')$$

$$N_{\min} > 75/0,333 = 225 \text{ ton}$$

3. Eksentrisitas



$$M_{\text{maks}} \leq P (e + e_0)$$

$$e_0 \leq a$$

$$e \geq \frac{M_{\text{maks}}}{P} - e_0$$

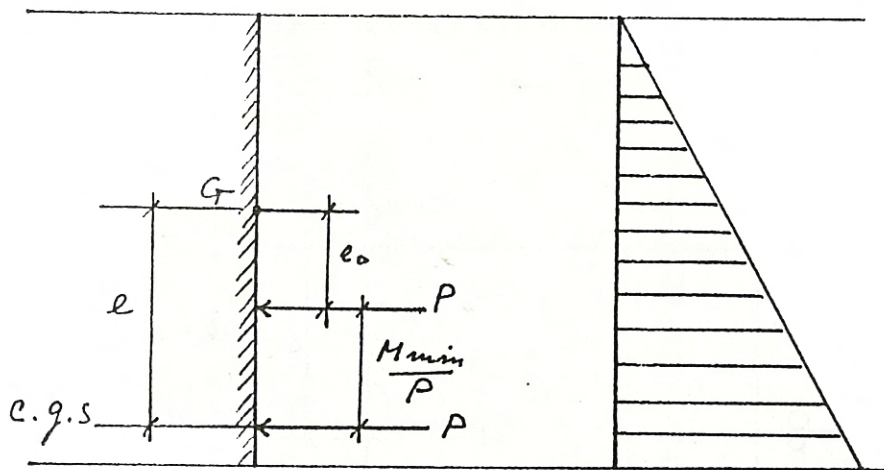
$$\geq \frac{M_{\text{maks}}}{P} - a$$

$$e \geq (125/225 - 0,167) \text{ m}$$

$$\geq 0,39 \text{ m}$$

$$\geq 39 \text{ cm}$$

4. Kontrol pada waktu balok hanya memikul berat sendiri dan tidak terjadi tarikan



Berdasarkan M_{maks} , besar eksentrisitas e sudah tertentu. Pada waktu balok hanya memikul berat sendiri, momem menjadi minimum (pada periode konstruksi). e_0 tidak boleh keluar dari galih bawah ($e_0 \leq a'$).

$$e - e_0 \leq \frac{M_{\min}}{P}$$

$$e_0 - e \geq - \frac{M_{\min}}{P}$$

$$e_0 \leq a$$

$$P \leq \frac{M_{\min}}{e - e_0}$$

$$P \leq \frac{M \min}{e - a'} \leq \frac{50}{0,39 - 0,167}$$

$$P \leq 224 \text{ ton.}$$

5. Jika gaya prategang didasarkan pada keadaan Service

$$\left. \begin{array}{l} M \min = 75 \text{ tm} \\ M \max = 125 \text{ tm} \end{array} \right\} \Delta M = 50 \text{ tm}$$

$$P \geq \frac{\Delta M}{a + a'} = \frac{50}{0,333} = 150 \text{ t}$$

Eksentrisitas kabel yang diperlukan

$$> 0,666 \text{ m} > 0,5 \text{ m}$$

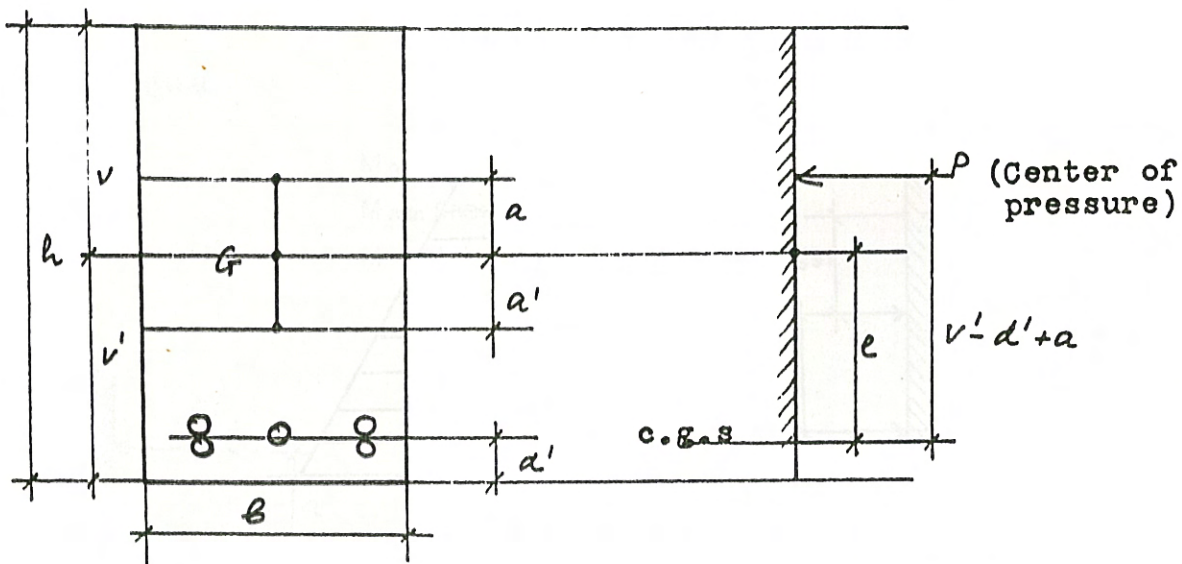
$$e > \frac{M \max}{P} - a$$

$$> 125/150 - 0,167$$

$$> 0,833 - 0,167$$

Kabel jatuh di luar penampang, Maka gaya prategang harus dihitung dengan rumus :

$$P > \frac{M \max}{v' - d' + a}$$



$$d' \text{ diambil} = 10 \text{ cm}$$

$$P > \frac{125}{0,50 - 0,10 + 0,107}$$

$$> 220,5 \text{ t.}$$

6. Pemilihan kabel

Dipilih kabel Freyssinet : 12 $\emptyset$ 7 (tiap tendon terdiri dari 12 kabel a' $\emptyset$ 7 mm). Gaya prategang awal yang diijinkan, yaitu gaya prategang yang ditunjukkan oleh dongkrak = 63 ton (P_{i1}).

Dalam keadaan service gaya prategang efektif :

$$P_{eff1} = 0,75 P_{i1}$$

$$= 0,75 \cdot 63 = 47 \text{ ton}$$

$$\text{Jumlah kabel : } n = \frac{P}{P_{eff1}} = \frac{220,5}{47} = 4,69$$

dibulatkan $n = 5$

$$P_{eff} = 5 \times 47 \text{ ton} = 235 \text{ ton.}$$

- Selama periode konstruksi, gaya prategang efektif:

$$P_{eff \text{ konst}} = 0,87 p_i$$

(karena kehilangan tegangan belum tuntas)

$$P_{eff \text{ kons 1 kabel}} = 0,87 \cdot 63 = 55 \text{ ton.}$$

Karena pada periode konstruksi semua beban tetap belum bekerja, maka penarikan kabel dilakukan 2 tahap.

Penarikan kabel tahap pertama : 3 tendon.

$$P_{eff} = 3 \times 55 \text{ ton} = 165 \text{ ton.}$$

Penarikan kabel kedua : 2 tendon.

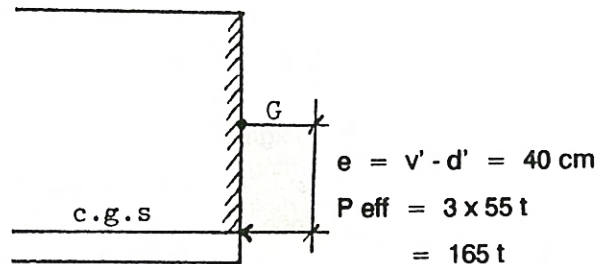
- Tegangan yang diijinkan untuk kabel :

Luas kabel (A) = 4,62 cm²

$$\bar{\sigma}_a = \frac{63.000}{4,62} = 13636 \text{ kg/cm}^2$$

7. Peninjauan di tengah-tengah bentang ($\frac{l}{2}$)

a. Pada periode konstruksi (Penarikan Tahap I 3 Tendon)



- Akibat gaya prategang :

$$\text{Serat bawah : } \sigma' = \frac{P}{B} + \frac{M_p \cdot V'}{I}$$

$$\text{Serat atas : } \sigma = \frac{P}{B} - \frac{M_p \cdot V}{I}$$

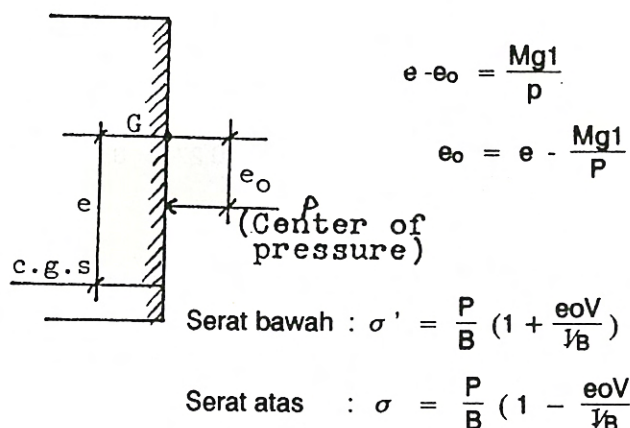
B = luas beton

$$M_p = P \cdot e$$

- Akibat berat sendiri :

$$\text{Serat bawah : } \sigma' = - \frac{M_{g1} \cdot V'}{I}$$

$$\text{Serat atas : } \sigma = + \frac{M_{g1} \cdot V}{I}$$



$$e = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$$

$$M_{\text{konst}} = 50 \text{ tm}$$

$$P_{\text{eff}} = 50 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} \text{-----} > e_o &= 0,40 - 56/165 \\ &= 0,40 - 0,30 \\ &= 0,10 \\ &= 10 \text{ cm} \end{aligned}$$

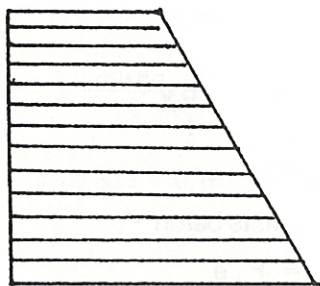
$$\text{Serat bawah : } \sigma' = \frac{165000}{40 \times 100} \left(1 + \frac{10.50}{100^2/12} \right)$$

$$= + 66 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tekan)}$$

$$\text{Serat atas : } \sigma = \frac{165000}{40 \times 100} \left(1 - \frac{13.50}{100^2/12} \right)$$

$$= + 16,5 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = + 16,5 \text{ kg/cm}^2$$

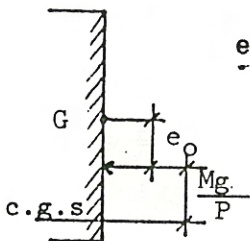


$$\sigma' = + 66 \text{ kg/cm}^2$$

Penarikan Kabel Tahap Kedua

(Semua kabel dalam keadaan tegang dan beban mati sudah bekerja semua).

$$5 \text{ tendon} \text{ -----} > P_{\text{eff}} = 5 \times 55 \text{ ton} = 275 \text{ ton}$$



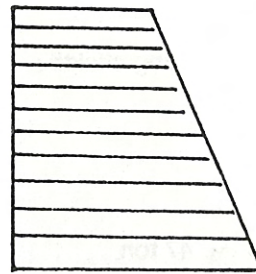
$$\begin{aligned} e_o &= e - \frac{M_{g2}}{P} \\ &= 0,40 - 75 / 275 \\ &= 0,40 - 0,27 = 0,13 \end{aligned}$$

$$\text{Serat bawah : } \sigma' = \frac{275000}{40 \times 100} \left(1 + \frac{13.50}{100^2/12} \right)$$

$$= + 122,38 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Serat atas : } \sigma &= \frac{275000}{40 \times 100} \left(1 - \frac{13.50}{100^2/12} \right) \\ &= + 15,13 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma = + 15,13 \text{ kg/cm}^2$$



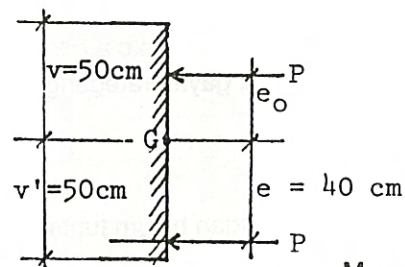
$$\sigma' = + 122,38 \text{ kg/cm}^2$$

b Pada Waktu Service dengan Beban hidup

$$P_{\text{eff}} = 0,75 \quad P_i = 47 \text{ ton}$$

$$5 \text{ tendon} \text{ -----} > P_{\text{eff}} = 5 \times 47 \text{ ton} = 235 \text{ ton}$$

$$M_{\text{maks}} = 125 \text{ tm.}$$



$$e_o = \frac{M_{\text{maks}}}{P_{\text{eff}}} - e$$

$$= 125 / 235 - 0,4$$

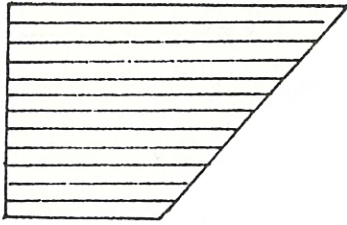
$$= 0,53 - 0,4$$

$$= 0,13 \text{ m} = 13 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Serat atas : } \sigma &= \frac{P_{\text{eff}}}{B} \left(1 + \frac{e_o \cdot v}{I/B} \right) \\ &= \frac{235000}{40 \times 100} \left(1 + \frac{13.50}{100^2/12} \right) \\ &= + 104,6 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Serat bawah : } \sigma' &= \frac{P_{\text{eff}}}{B} \left(1 - \frac{e_o \cdot v}{I/B} \right) \\ &= \frac{235000}{40 \times 100} \left(- \frac{13.50}{100^2/12} \right) \\ &= + 12,93 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma = +104,6 \text{ kg/cm}^2$$



$$\sigma' = 12,93 \text{ kg/cm}^2$$

c. Tegangan -tegangan Yang Diijinkan untuk Beton

Misalkan berdasarkan benda uji silinder diperoleh :

$$\sigma_{hk} = 320 \text{ kg/cm}^2$$

Menurut I P 2 :

- Dalam perioda Kontruksi :

$$\bar{\sigma}_b = 0,55 \quad \sigma_{bk}' = 0,55 \cdot 320 = 175 \text{ kg/cm}^2$$

- Dalam keadaan service :

$$\sigma_b = 0,42 \quad \sigma_{bk}' = 0,42 \cdot 320 = 134 \text{ kg/cm}^2$$

d. Dalam keadaan service dan tidak ada beban hidup

$$M_{\min} = 75 \text{ tm}$$

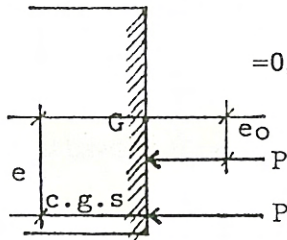
$$P_{\text{eff}} = 0,75 \times P_i = 47 \text{ t/tendon}$$

$$P_{\text{eff total}} = 5 \times 47 \text{ t} = 235 \text{ ton}$$

$$\bar{\sigma}_b = 134 \text{ kg/cm}^2$$

$$e_o = 0,40 - \frac{M_{\min}}{P} = 0,40 - \frac{75}{235}$$

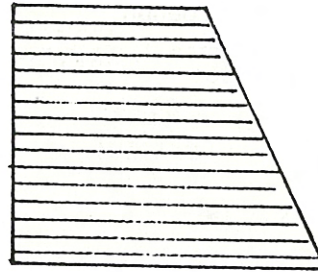
$$= 0,40 - 0,32 = 0,08 \text{ m} = 8 \text{ cm}$$



$$\begin{aligned} \text{Serat atas : } \sigma &= \frac{P}{B} \left(1 - \frac{8.50}{100^2/12} \right) \\ &= \frac{235000}{40 \times 100} \left(1 - \frac{8.50}{100^2/12} \right) \\ &= +30,55 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Serat bawah : } \sigma' &= \frac{235000}{49 \times 100} \left(1 + \frac{8.50}{100^2/12} \right) \\ &= +86,95 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma = +30,55 \text{ kg/cm}^2$$

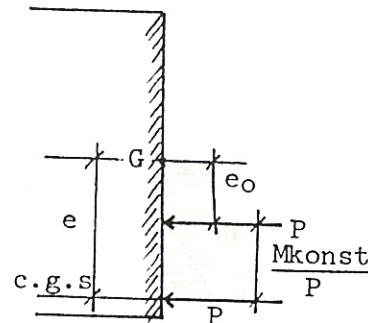


$$\sigma' = +86,95 \text{ kg/cm}^2$$

e. Jika tidak dilakukan pentahapan penarikan (kabel ditarik sekaligus)

$$p = 275 \text{ ton}$$

$$M_{\text{konst}} = 50 \text{ tm}$$

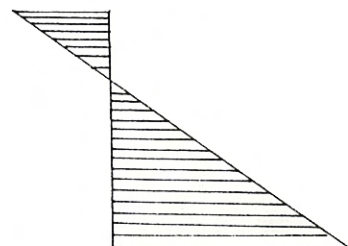


$$\begin{aligned} e_o &= e - \frac{M_{\text{konst}}}{P} \\ &= 0,40 - 50 / 275 \\ &= 0,40 - 0,18 = 0,22 \text{ m} = 22 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Serat atas : } \sigma &= \frac{P}{B} \left(1 - \frac{e_o \cdot v}{I/B} \right) \\ &= \frac{275000}{40 \times 100} \left(1 - \frac{22.50}{100^2/12} \right) \\ &= -22 \text{ kg/cm}^2 \text{ (tarik)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Serat bawah : } \sigma' &= \frac{275000}{40 \times 100} \left(1 + \frac{22.50}{100^2/12} \right) \\ &= +159,5 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\sigma = -22 \text{ kg/cm}^2$$



$$\sigma' = +159,5 \text{ kg/cm}^2$$

(Pada serat atas terjadi tarikan karena beban mati belum bekerja semua).

8. Peninjauan pada penampang di 1/4 I

a. Dalam keadaan Service - muatan penuh

$$M_{maks} = 93,75 \text{ tm}$$

$$M_{min} = 56,25 \text{ tm}$$

$$P_{eff} = 235 \text{ ton}$$

Serat atas : $\sigma < \bar{\sigma}_e$

$$\frac{P}{B} \left(1 + \frac{e_o \cdot V}{I/B} \right) < 134$$

$$\frac{235000}{40 \times 100} \left(1 + \frac{e_o \cdot 50}{100^2/12} \right) < 134$$

$$\left(1 + \frac{e_o \cdot 50}{100^2/12} \right) < 134 / 58,75$$

$$< 2,28$$

$$e_o < 21,33 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \longrightarrow e &\geq \frac{M_{maks}}{P} - e_o \\ &\geq \frac{93,75}{235} - 0,21 \\ &\geq 0,40 - 0,21 \end{aligned}$$

$$e \geq 0,19 \text{ m}$$

Serat bawah : $\sigma' \geq 0$

$$\frac{P}{B} \left(1 - \frac{e_o \cdot V'}{I/B} \right) > 0$$

$$\frac{235000}{40 \times 100} \left(1 - \frac{e_o \cdot 50}{100^2/12} \right) \geq 0$$

$$1 - \frac{e_o \cdot 50}{100^2/12} \geq 0$$

$$\frac{e_o \cdot 50}{100^2/12} \leq 1 \longrightarrow e_o \leq 16,67 \text{ cm}$$

(e_o di atas c.g.c.)

$$\begin{aligned} e &> \frac{M_{maks}}{P} - e_o \\ &> \frac{93,75}{235} - 0,17 \\ &> 0,40 - 0,17 \\ &> 0,23 \text{ m} \end{aligned}$$

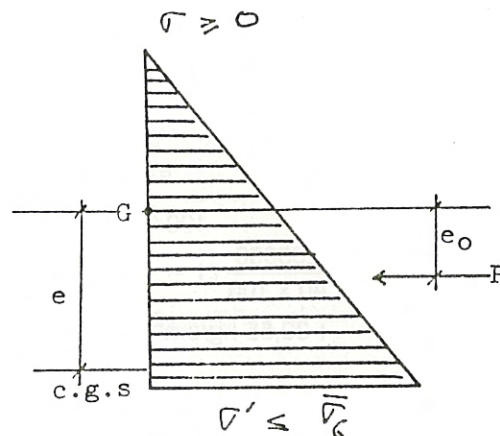
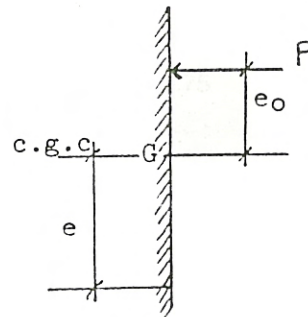
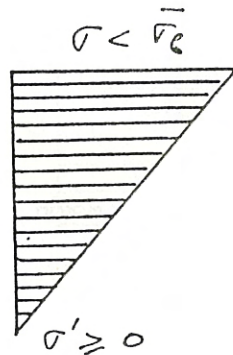
b. Dalam keadaan Service - muatan kosong

$$P = 235 \text{ ton}$$

$$M_{min} = 56,25 \text{ ton}$$

Serat atas : $\sigma \geq 0$

$$\frac{P}{B} \left(1 - \frac{e_o \cdot V}{I/B} \right) \geq 0$$



$$\frac{235000}{40 \times 100} \left(1 - \frac{e_o \cdot 50}{100^2/12}\right) \geq 0$$

$$\begin{aligned} \text{-----} &> e_o \leq 16,7 \\ &\leq 0,17 \text{ m (} e_o \text{ dibawah c.g.c.)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e &< \frac{M_{\min}}{P} + e_o \\ &< \frac{56,25}{235} + 0,17 \\ &< 0,24 + 0,17 \\ &< 0,41 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Dalam periode konstruksi

$$N_{\text{eff}} = 275 \text{ ton}$$

$$N_{\min} = 56,25 \text{ tm}$$

$$\sigma_{b'} = 176 \text{ kg/cm}^2$$

Serat atas : ≥ 0

$$\frac{P}{B} \left(1 - \frac{e_o \cdot V}{I/B}\right) \geq 0$$

$$\frac{275000}{40 \times 100} \left(1 - \frac{e_o \cdot 50}{100^2/12}\right) \geq 0$$

$$\begin{aligned} e_o &\leq 16,7 \text{ cm} \\ &\leq 0,17 \text{ m} \end{aligned}$$

$$e - \frac{M_{\min}}{P} < 0,17$$

$$\begin{aligned} e &< 0,17 + \frac{M_{\min}}{P} \\ &< 0,17 + 56,25 / 275 \\ &< 0,17 + 0,20 \\ e &< 0,37 \text{ m} \end{aligned}$$

Serat bawah : $\sigma' \leq \sigma_b$

$$\frac{P}{B} \left(1 + \frac{e_o \cdot V'}{I/B}\right) \leq 134$$

$$\frac{235000}{40 \times 100} \left(1 + \frac{e_o \cdot 50}{100^2/12}\right) \leq 134$$

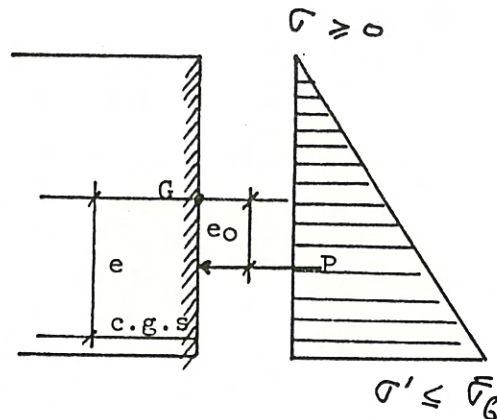
$$1 + \frac{e_o \cdot 50}{100^2/12} \leq 2,28$$

$$e_o \leq 21 \text{ cm}$$

$$e_o \leq 0,21 \text{ m}$$

$$e < \frac{M_{\min}}{P} + e_o$$

$$\begin{aligned} e &< \frac{56,25}{235} + 0,21 \\ &< 0,24 + 0,21 \\ &< 0,45 \text{ m} \end{aligned}$$



Serat bawah : $\sigma' \leq \sigma_b'$

$$\frac{P}{B} \left(1 + \frac{e_o \cdot V'}{I/B}\right) \leq 176$$

$$\frac{275000}{40 \times 100} \left(1 + \frac{e_o \cdot 50}{100^2/12}\right) < 176$$

$$1 + \frac{e_o \cdot 50}{100^2/12} < 176 \cdot \frac{4000}{275000}$$

$$1 + \frac{e_o \cdot 50}{100^2/12} < 2,56$$

$$e_o < (2,56 - 1) \cdot 100^2 / 50 \cdot 12$$

$$e_o < 26 \text{ cm}$$

$$e_o < 0,26 \text{ m}$$

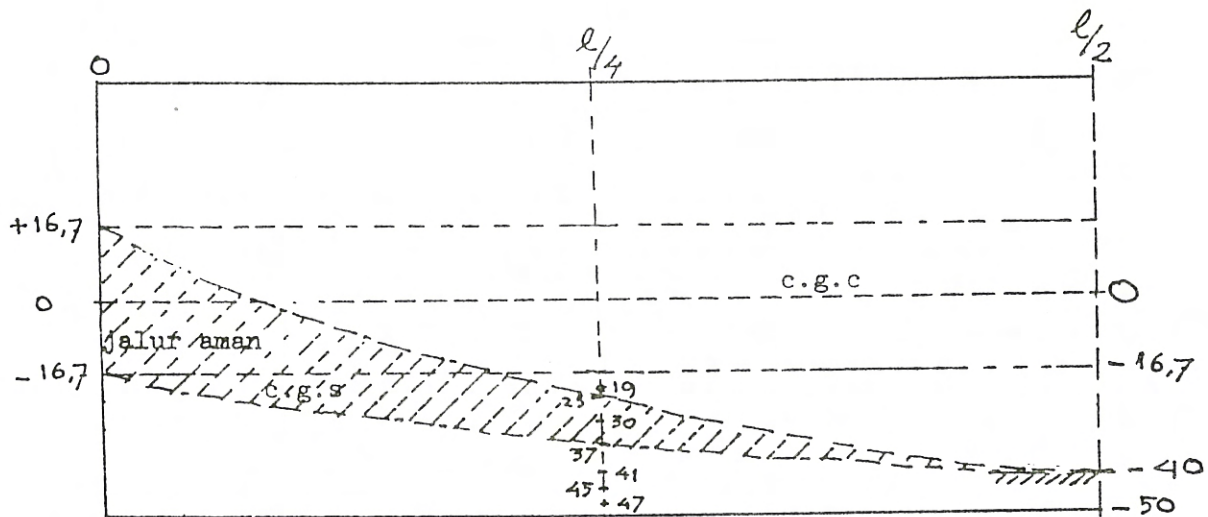
$$e_o = e - \frac{M_{\min}}{P}$$

$$e - \frac{M_{\min}}{P} < 0,26 \text{ m}$$

$$e < 0,26 + 56,25 / 275$$

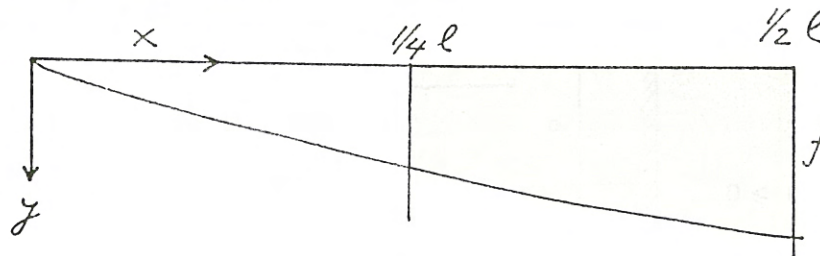
$$e < 0,26 + 0,21$$

$$e < 0,47$$



Tegangan-tegangan pada $1/4$ l dapat dihitung setelah eksentrisitas (e) kabel ditetapkan lebih dahulu.

9. Jika alur kabel diambil parabola



$$y = -\frac{4f}{l} \times \left(\frac{x}{l} - 1\right)$$

$$f = 40 \text{ cm} ; \quad x = 1/4 \text{ } l$$

$$= -40 (1/4 - 1) = 30 \text{ cm}$$

$$y = -4 \frac{40 \cdot 1/4}{l} \left(\frac{1/4}{l} - 1\right)$$

$$\text{Untuk absis } x = 1/4 \text{ } l \\ y = 30 \text{ cm}$$

10. Kontrol tegangan

a. Pada Waktu Kosong

$$P = 235 \text{ T}$$

$$M_{\min} = 56,25 \text{ tm}$$

Serat Atas :

$$\sigma = \frac{P}{B} - \frac{P \cdot e \cdot v}{I} + \frac{M_{\min} \cdot V}{I}$$

$$= \frac{235000}{40 \times 100} - \frac{235000 \cdot 39 \cdot 50}{\frac{1}{12} \cdot 40 \cdot 100^3} + \frac{5625000 \cdot 50}{\frac{1}{12} \cdot 40 \cdot 100^3}$$

$$= 58,75 - 105,75 + 84,38 \\ = + 37,38 \text{ kg.cm}^2 \text{ (tekan)}$$

$$\text{atau : } e_o = e - \frac{M_{\min}}{P} \quad (e_o \text{ di bawah c.g.c.}) \\ = 0,3 - 56,25 / 235 \\ = 0,3 - 0,24 = 0,06 \text{ m} = 6 \text{ cm}$$

langsung diagram tegangan segiempat dengan $\psi = 0,8$, dan $\delta_G = 0,4$. σ_{au} diambil dari kurva $\sigma - \epsilon$ kabel prategang yang bersangkutan sesuai dengan ϵ_a total, yang besarnya sama dengan $\epsilon_{ai} + \Delta\epsilon_a$ (ϵ_a total = $\epsilon_{ai} + \Delta\epsilon_a$). Demikian juga σ_{pu} diambil dari kurva $\sigma - \epsilon$ besi beton yang dipakai, sesuai dengan besarnya ϵ_p . Jika $\epsilon_b' = 3,5\text{‰}$ maka tegangan beton sama dengan σ_{bu} .

Kemungkinan kedua, apabila deformasi beton $\epsilon_b' < 3,5\text{‰}$ dan deformasi baja $\epsilon_p = 10\text{‰}$. Pencarian X yang memenuhi keseimbangan penampang, dilakukan dengan memutar-mutar bidang deformasi dengan sumbu putar $a = 10\text{‰}$ (pivot bawah). Deformasi beton berkisar antara 0 dan $3,5\text{‰}$.

Tegangan beton harus dicari dari kurva $\sigma - \epsilon$ beton, sesuai dengan besarnya ϵ_b' (belum tentu sama dengan σ_{bu}). Disamping itu $\psi < 0,81$ dan $\delta_G < 0,416$, harga-harga ψ dan δ_G tersebut tergantung juga besarnya ϵ_b' .

Sebagaimana pada kemungkinan pertama, pada kemungkinan kedua pun σ_{au} dan σ_{pu} harus dicari dari kurva $\sigma - \epsilon$ yang bersangkutan. Dalam kenyataannya kita jarang mengetahui kurva $\sigma - \epsilon$

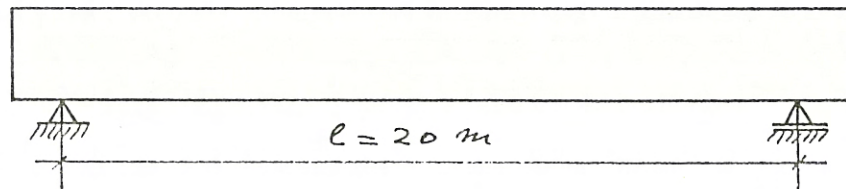
dari bahan-bahan yang dipakai, tetapi yang banyak kita jumpai adalah tegangan lelehnya. Dengan diketahui tegangan leleh tersebut, maka apabila deformasi tulangan aktif dan pasif yang terjadi lebih besar atau sama dengan deformasi lelehnya, maka tegangannya diambil sama dengan lelehnya.

(Diagram $\sigma - \epsilon$ bilinear).

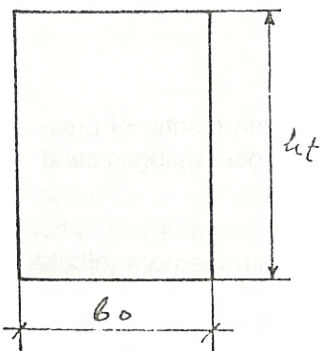
2.4 Langkah-langkah Perhitungan

Jika suatu struktur akan direncanakan dengan beton prategang parsial, terlebih dulu struktur tersebut harus dihitung untuk prategang penuhnya, karena kemampuan batas prategang parsial harus sama dengan prategang penuh yang bersangkutan (6). Kemudian dengan mengambil persentase prategang yang $> 60\%$, kita dapat menghitung tulangan pasifnya. Untuk memudahkan perhitungan, langkah pertama kita dapat menganggap, bahwa persentase prategang sama dengan persentase luas tulangan aktif untuk penampang parsial. Kemudian setelah didapat luas penampang besi pasifnya, diperiksa kembali kemampuan parsial tersebut. Dengan demikian kita dapat mengetahui persentase prategang dengan pasti. Mungkin saja perhitungan di atas dilakukan tidak satu kali (jadi harus dicoba-coba).

III. CONTOH PERHITUNGAN



- Balok panjang terletak diatas 2 tumpuan dengan bentang 20 m.
- beban tetap = 50 kg/m'
- Beban hidup = 1000 kg/m'



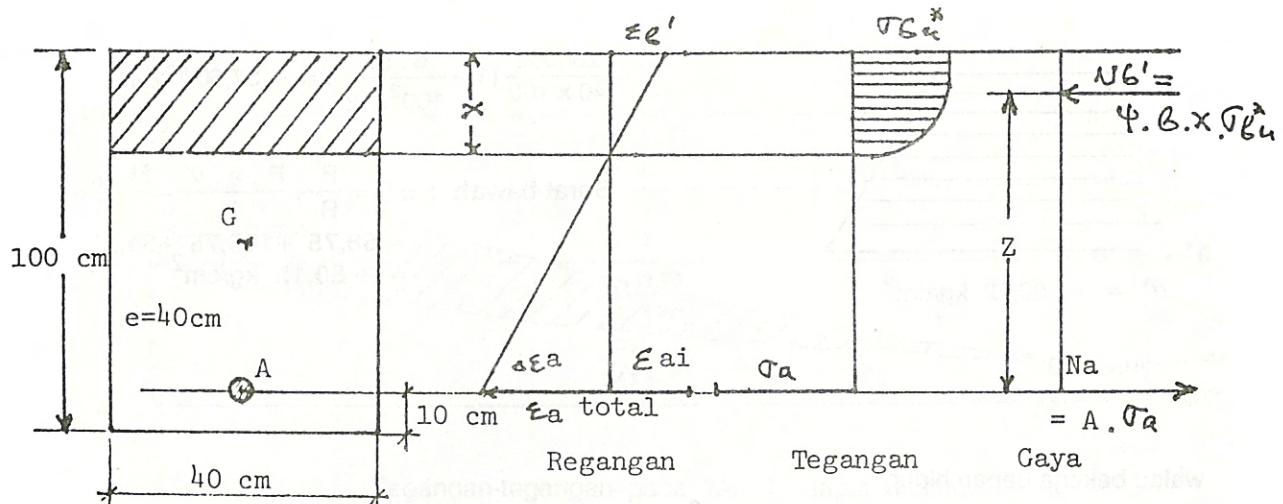
$$h_t \text{ diambil } \geq \frac{l}{20} \rightarrow h_t = 1\text{ m}$$

$$b_0 \text{ diambil } 40\text{ cm}$$

Berat sendiri balok :

$$0,4 \times 1 \times 2500\text{ kg/m' } = 1000\text{ kg/m' (berat beton = } 2500\text{ kg/m}^3\text{).}$$

11. Kekuatan Batas penampang



$$\text{Luas kabel } A = 5 \cdot 4.62 \text{ cm}^2 = 23,10 \text{ cm}^2$$

$$P_{\text{eff}} \cdot \text{total} = 5 \times 47 \text{ ton} = 235 \text{ ton}$$

$$e = 40 \text{ cm (eksentrisitas)}$$

$$\text{Modulus elastisitas : } E = 2 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{\text{tendon}} = 63 \text{ ton} \rightarrow$$

$$\sigma_a = \frac{63000}{4,62} = 13636 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Menurut katalog : } P_{\text{putus untuk 1 tendon}} = 70 \text{ ton}$$

$$\text{Tegangan putus : } R = \frac{70.000}{4,62} = 15152 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Batas elastis (tegangan leleh) : } \sigma_e = 0,9 R$$

$$\sigma_e = 0,9 \cdot 15152 \text{ kg/cm}^2 = 13636 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_e = \sigma_a = 13636 \text{ kg/cm}^2$$

Menurut C.E.B / F.I.P :

$$\sigma_{bk'} (\text{silinder}) = 320 \text{ kg/cm}^2, \text{ maka}$$

$$\sigma_{bk}^* = \frac{0,85 \cdot \sigma_{bk'}}{\gamma_b}, \gamma_b \text{ diambil } = 1,5$$

$$\text{maka } \sigma_{bu}^* = \frac{0,85 \cdot 320}{1,5} = 181 \text{ kg/cm}^2$$

Regangan awal :

$$\epsilon_{ai} = \frac{P_{\text{eff}}}{A \cdot E_a} = \frac{235000}{23,1 \cdot 2,1 \cdot 10^6} = 5,087 \text{ } ^\circ/\infty$$

Regangan pada batas elastis :

$$\epsilon_e = \frac{\sigma_e}{\gamma_s \cdot E_a}; \gamma_s = 1,15$$

$$\epsilon_e = \frac{13636}{1,15 \cdot 2,1 \cdot 10^6} = 5,93 \text{ } ^\circ/\infty$$

Misalkan baja sudah mencapai σ_e dan regangan beton ϵ_b' mencapai $3,5 \text{ } ^\circ/\infty$, maka $\psi = 0,81$ dan $\delta_g = 0,416$

Keseimbangan penampang :

$$N_b' = N_a$$

$$0,81 \cdot b \cdot x \cdot \sigma_{bu}^* = A \cdot \sigma_{au}^*$$

Semua term diketahui kecuali x

$$\sigma_{au}^* = \frac{\sigma_e}{\gamma_s}, \gamma_s = 1,15$$

$$0,81 \cdot 40 \cdot x \cdot 181 = 23,1 \cdot 13636 / 1,15$$

$$x = \frac{23,1 \cdot 13636}{0,81 \cdot 40 \cdot 181 \cdot 1,15} = 46,71 \text{ cm}$$

Cek deformasi Kabel :

$$\epsilon_b' : \Delta \epsilon_a = x : (h_a - x); \epsilon_b' = 3,5 \text{ } ^\circ/\infty$$

$$3,5 \text{ } ^\circ/\infty : \Delta \epsilon_a = (46,71) : (90 - 46,71)$$

$$\Delta \epsilon_a = \frac{(90 - 46,71) \cdot 3,5}{46,71} \text{ } ^\circ/\infty$$

$$\Delta \epsilon_a = 3,24 \text{ } ^\circ/\infty$$

$$h_a = h_t - d' = 100 - 10 = 90 \text{ cm}$$

$$\epsilon_{a \text{ total}} = \epsilon_{ai} + \Delta \epsilon_a$$

$$= 5,087 + 3,24 = 8,327 \text{ } ^\circ/\infty$$

-----> kabel sudah leleh, maka anggapan di atas itu betul.

$$M_u = N_a \cdot z; z = h_a - 0,416 x$$

$$= A_a \cdot \sigma_{au}^* \cdot (h_a - 0,416 x)$$

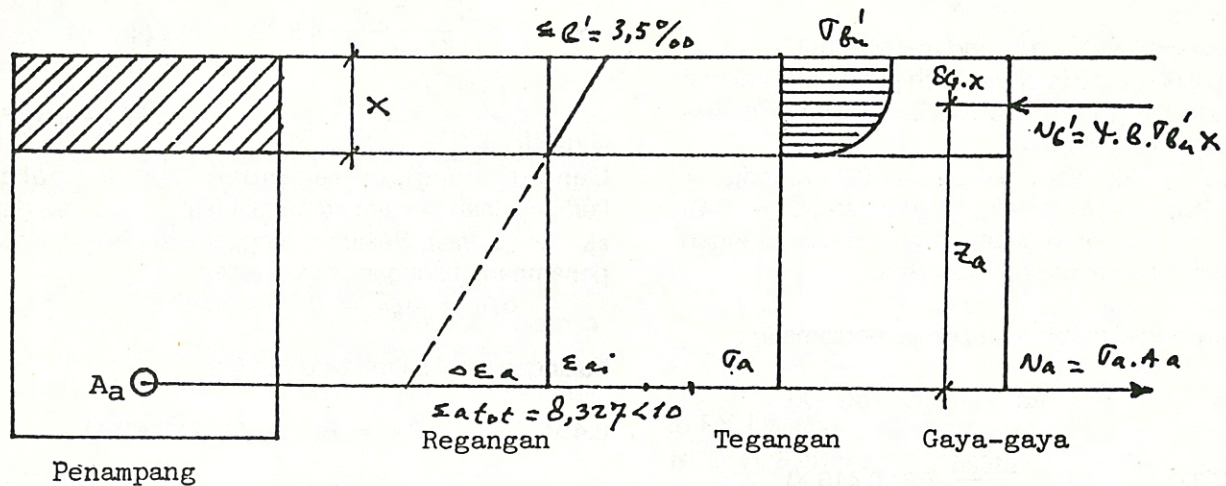
$$= 23,1 \cdot \frac{13636}{1,15} (90 - 0,416 \cdot 46,71)$$

$$= 19330946 \text{ kg cm}$$

$$= 193,31 \text{ tm}$$

$$M_s = 125 \text{ tm} \rightarrow \frac{M_u}{M_s} = \frac{193,31}{125} = 1,546 \text{ (ok)}$$

Jika kita meninjau Deformasi Penampang :



$\epsilon_{s \text{ tot}} = 8,327 \text{ ‰} < 10 \text{ ‰}$, tetapi kabel prategang sudah leleh karena $\epsilon_{s \text{ tot}} > 5,93 \text{ ‰}$. Dengan demikian perhitungan menurut kemungkinan pertama dipenuhi ($\epsilon_{b'} = 3,5 \text{ ‰}$ dan $\epsilon_s < 10 \text{ ‰}$).

12. Perhitungan Prategang Parsial

Telah kita hitung di atas, bahwa momen batas untuk prategang penuh $M_u = 193,31 \text{ tm}$. Untuk penampang prategang parsial juga, momen batasnya harus tetap sama dengan M_u tersebut. Misalkan sebagai tulangan kita pergunakan besi U32.

Data-data Mekanik U432 ini adalah :

Tegangan leleh () = 3200 kg/cm^2

Modulus elastisitas = $2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$

Dari data-data ini kita dapat menghitung :

$$\text{Tegangan leleh rencana } (\sigma_{pe}^*) = \frac{3200}{1,15} \text{ kg/cm}^2$$

$$= 2700 \text{ kg/cm}^2$$

Regangan leleh rencana

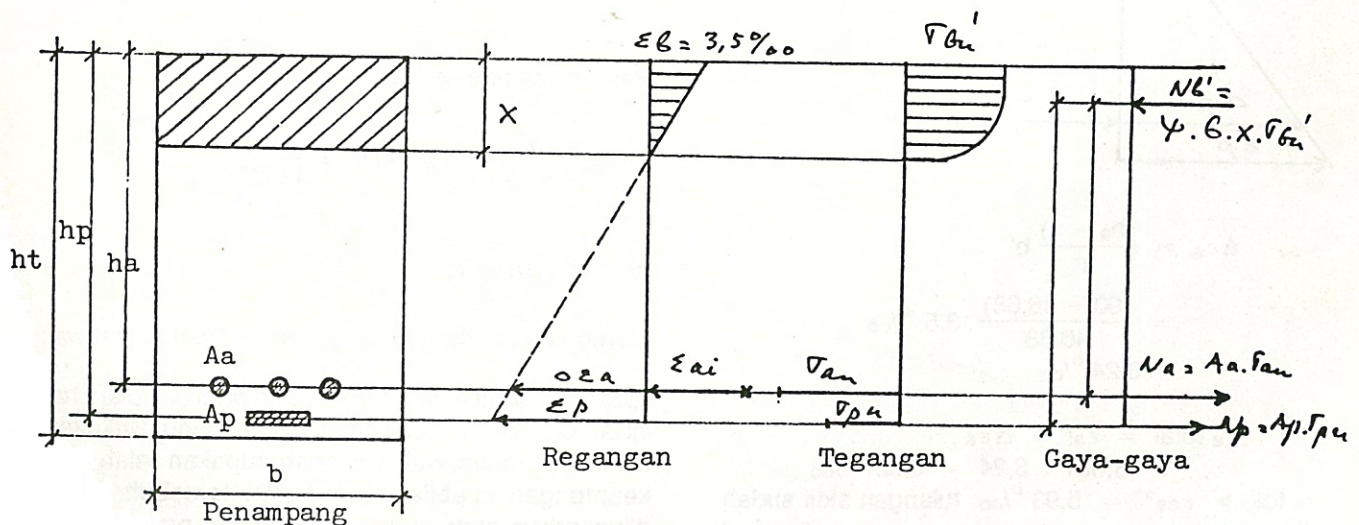
$$(\epsilon_{pe}^*) = \frac{\sigma_{pe}^*}{E} = \frac{2700}{1,15} = 1,32 \text{ ‰}$$

Tulangan pasif diletakkan lebih eksentris dari tulangan aktif, misalkan selimut betonnya diambil 5 cm, maka :

$$h_p = (100 - 5) \text{ cm} = 95 \text{ cm}$$

$$h_a = h_t - 10 \text{ cm} = (100 - 10) \text{ cm} = 90 \text{ cm}$$

$$h_p = h_t - 5 \text{ cm} = (100 - 5) \text{ cm} = 95 \text{ cm}$$



Misalkan kita mengambil 60 o/o prategang. Dengan demikian kita hanya memasang tiga tendon dengan luas total :

$$A_a = 13,86 \text{ cm}^2, \text{ yang memikul } 0,6 M_u$$

Yang paling dulu kita cari adalah jarak garis netral x dengan anggapan, bahwa $\epsilon_{b'} = 3,5 \text{ }^{\circ}/_{\infty}$ (kemungkinan pertama).

Jika $\epsilon_{b'} = 3,5 \text{ }^{\circ}/_{\infty}$, maka $y = 0,81$ dan $d_g = 0,416$ (dapat juga diambil $y = 0,8$ dan $d_g = 0,4$). Disamping itu kita anggap, bahwa semua tulangan baik aktif maupun pasif sudah leleh.

Dengan demikian kita mempunyai persamaan :

$$0,6 M_u = N_a \cdot Z_a = A_a \cdot \sigma_{au}^* (h_a - d_g - X)$$

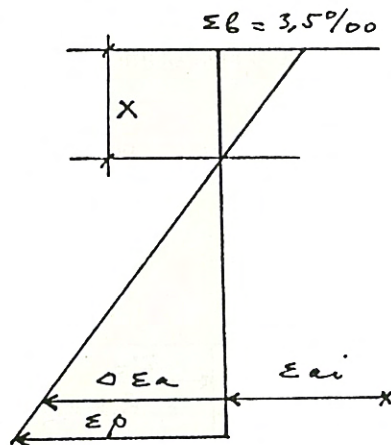
$$0,6 \cdot 1933100 = 13,86 \cdot \frac{13636}{1,15} (90 - 0,416 \cdot X)$$

$$(90 - 0,416 X) = \frac{0,6 \cdot 1933100 \cdot 1,15}{13,86 \cdot 13636} = 70,58$$

$$0,416 X = 90 - 70,58 = 19,42$$

$$X = 46,68 \text{ cm}$$

Kemudian yang paling dulu kita periksa adalah regangannya. Dengan $\epsilon_{b'} = 3,5 \text{ }^{\circ}/_{\infty}$ dan $X = 46,68 \text{ cm}$, maka didapat :



$$\begin{aligned} \Delta \epsilon_a &= \frac{(h_a - X)}{X} \epsilon_{b'} \\ &= \frac{(90 - 46,68)}{46,68} \cdot 3,5 \text{ }^{\circ}/_{\infty} \\ &= 3,24 \text{ }^{\circ}/_{\infty} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{a \text{ total}} &= \epsilon_{ai} + \Delta \epsilon_a \\ &= 5,087 + 3,24 = 8,327 \text{ }^{\circ}/_{\infty} \end{aligned}$$

$\epsilon_{a \text{ tot}} > \epsilon_{ae}^* = 5,93 \text{ }^{\circ}/_{\infty}$ tulangan aktif sudah leleh.

$$\begin{aligned} \epsilon_p &= \frac{(h_p - X)}{X} = \epsilon_{b'} \\ &= \frac{(95 - 46,68)}{46,68} \cdot 3,5 \text{ }^{\circ}/_{\infty} \\ &= 3,63 \text{ }^{\circ}/_{\infty} \end{aligned}$$

$\epsilon_p > \epsilon_{pe}^* = 1,32 \text{ }^{\circ}/_{\infty}$ -----> Tulangan pasif juga sudah leleh.

Dengan keadaan regangan diatas, maka kemungkinan pertama dipenuhi ($\epsilon_{b'} = 3,5 \text{ }^{\circ}/_{\infty}$ dan $\epsilon_p < 10 \text{ }^{\circ}/_{\infty}$). Sekarang tinggal menghitung luas penampang tulangan pasif dengan :

$$\sigma_{pu} = \sigma_{pe} = 2780 \text{ kg/cm}^2$$

Tulangan pasif ini memikul 0,4 M_u

$$0,4 M_u = N_p \cdot Z_p = A_p \cdot \sigma_{pe}^* (h_p - 0,416 X)$$

$$0,4 \cdot 1933100 = A_p \cdot 2780 (95 - 0,416 \cdot 46,68)$$

$$A_p = \frac{0,4 \cdot 1933100}{2780 (95 - 19,42)}$$

$$= 36,8 \text{ cm}$$

Dengan luas tulangan aktif $A_a = 13,86 \text{ cm}^2$ dan luas tulangan pasif $A_p = 36,8 \text{ cm}^2$ kita periksa kembali kemampuan batas penampang parsial tersebut.

$$Z_a = h_a - 0,416 X = (90 - 0,416 \cdot 46,68) \text{ cm} = 70,58 \text{ cm}$$

$$Z_p = h_p - 0,416 X = (95 - 0,416 \cdot 46,68) \text{ cm} = 75,58 \text{ cm}$$

$$N_a \cdot Z_a = A_a \cdot \sigma_{au} \cdot Z_a$$

$$= 13,86 \cdot \frac{13636}{1,15} \cdot 70,58 = 11599360 \text{ kg cm}$$

$$N_p \cdot Z_p = A_p \cdot \sigma_{pu} \cdot Z_p$$

$$= 36,8 \cdot 2780 \cdot 75,58 = 7732136 \text{ kg cm}$$

$$N_a \cdot Z_a + N_p \cdot Z_p = 19331496 \text{ kg cm}$$

M_u

Persentase prategang :

$$\begin{aligned} \frac{N_a \cdot Z_a}{N_a \cdot Z_p + N_p \cdot Z_p} \times 100 \% &= \frac{11599360}{19331496} \times 100 \% \\ &= 60 \% \end{aligned}$$

IV KESIMPULAN

Contoh perhitungan di atas memperlihatkan bahwa :

1. Apabila diambil beton prategang parsial, dalam hal ini 60 %, maka penarikan kabel tidak perlu dilakukan dalam dua tahap. Hal ini akan merupakan salah satu keuntungan apabila balok beton tersebut harus diluncurkan atau diangkut ke lokasi proyek. Jika

beton balok prategang harus diluncurkan atau diangkut ke lokasi proyek, sedangkan prategangnya sudah ditarik 100 % maka akan banyak menimbulkan kekhawatiran, karena beban mati (beban minimum) belum bekerja semua.

2. Dengan mengambil prategang parsial, gejala rangkai (creep) dari beton akan lebih kecil dari pada prategang penuh, sehingga kehilangan tegangan yang bersangkutan akan lebih kecil.

3. Luas tulangan pasif tidak perlu seragam untuk sepanjang balok, tetapi sesuai dengan besarnya momen batas pada tiap-tiap penampang (pada tengah-tengah bentang paling besar dan makin pinggir makin berkurang).

4. Untuk menghitung prategang penuhnya, akan lebih singkat jika dipergunakan cara "Load Balancing" (5).

DAFTAR PUSTAKA

1. C.E.B. - P.I.P. *Recommandation internationales pour le calcul et l'exécution des ouvrages en béton - 1970*
2. M. PINGLOT *Contribution à l'étude de la rupture et des déformations des poutres partiellement précontraintes.*
These Docteur-Ingenieur,
Toulouse, Janvier 1974.

3. R. SUHUD *Contribution à l'étude du Comportement des poutres armées précontraintes par fils adhérents sous chargement direct.*
These Docteur-Ingenieur,
Toulouse, janvier, 1981.

4. M. PINGLOT *Calcul des ouvrages en béton par la méthode des états limites ultimes.*
INSA Toulouse, 1977.

5. T.Y. LIN and *Design of Prestressed Concrete*
NED. H. BURNS *Structures Third edition.*

6. R. SUHUD *Perencanaan tulangan pasif pada suatu penampang beton prategang parsial.*
Seminar Perencanaan Struktur Bangunan Khusus, Bandung, Februari 1989.

Penulis

DR. Ir. H. Ridwan Suhud adalah Dosen Pada Jurusan Teknik Sipil ITB, 1981 S3 Struktur (Doktor), Khusus dalam Beton Prategang Parsial dari Institut dari Institut national di Sciences Appliquées (INSA). Toulouse - Perancis

FORMAT ARTIKEL FORUM PENELITIAN

**Pendahuluan
Metoda Penelitian
Kerangka Pemikiran
Hasil dan Pembahasan
Kesimpulan dan Saran
Daftar Pustaka
Lampiran**

