

V. BETON PRATEKAN DALAM PRAKTEK

5.1. Posisi Beton Pratekan Parsiil Terhadap Beton Pratekan Penuh Dan Beton Bertulang

Berpijak pada salah satu prinsip dasar beton pratekan menurut T.Y.LIN, bahwa beton pratekan itu sesungguhnya beton bertulang hanya saja merupakan gabungan antara dua material : beton dan baja yang masing-masing bermutu tinggi, disamping juga sejak awal tulangnya (tendon) diberi tegangan tarik, sehingga ada gaya dalam, secara awal yang bekerja, yang nantinya diharapkan mengantisipasi gaya-gaya luar yang akan bekerja (beban-beban). Apabila hubungan antara beban dan defleksi sebuah element struktur (balok) digambar bersama seperti terlihat dalam gambar 2-5, maka dapat dilihat secara jelas bahwa posisi beton pratekan parsiil adalah merupakan posisi antara, dari beton pratekan penuh dan beton bertulang, batas atas beton pratekan penuh dan batas bawah adalah beton bertulang biasa. Dari gambar 2-5 tersebut menarik untuk diamati bahwa pada beban kerja penuh, beton pratekan belum retak, namun beton bertulang akibat beban mati saja penampangnya sudah retak. Untuk struktur rangka pada gedung-gedung desain penampang sering ditentukan oleh beban gravitasi ($U = 1,2D + 1,6L$) ataupun oleh kombinasi gempa : ($U = 1,05 (D + L_R \pm E$ atau $U = 0,9 (D \pm E)$)

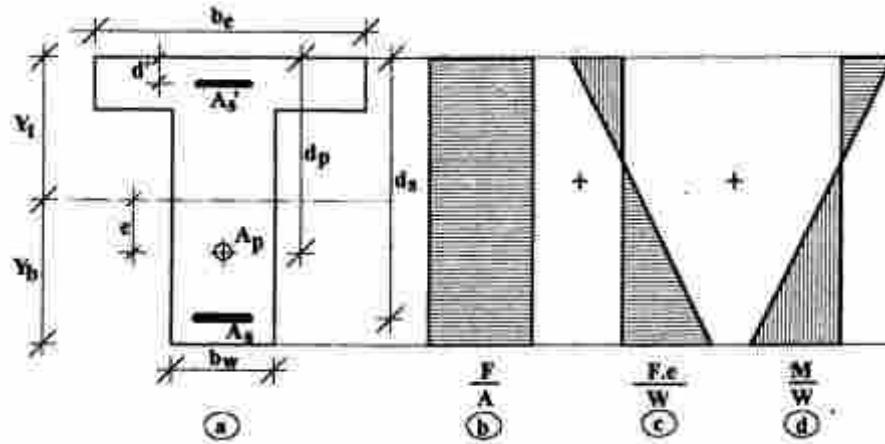
Dengan beton pratekan parsiil, nampaknya cocok karena pada beban gravitasi seolah-olah diterima oleh pratekannya (arah beban pasti) dan pada waktu beban gempa (bekerja bolak balik) lebih cocok ditahan tulangan lunak.

5.2. Analisa Penampang

5.2.1. Penampang Sebelum Retak

Untuk beton pratekan termasuk pratekan parsial analisa kekuatan sebelum penampang retak dilakukan untuk pemeriksaan tegangan-tegangan pada beban kerja dan keadaan-keadaan beban kritis yang mungkin terjadi missal sewaktu pelaksanaan jacking dimana beban dalam keadaan terendah (minimum).

Tegangan-tegangan dapat dihitung dengan sederhana yaitu memakai metode elastis :



Gambar 5-1 : Analisa Tegangan Dengan Metode Elastis

- a. Penampang balok
- b. Tegangan oleh gaya axial (F) dibagi luas penampang
- c. Tegangan oleh adanya excentrisitas tendon (cgs) terhadap pusat berat penampang (cgc) sejauh “e”
- d. Tegangan oleh beban luar yang bisa terdiri dari berat sendiri/mati (MD) dan oleh beban hidup (ML)

▪ Tegangan Beton : $F_{ct,b} = \frac{F}{A} \pm \frac{F.e}{W_{t,b}} \pm \frac{M}{W_{t,b}}$ (5-1)

Dimana :

F = gaya pratekan

e = excentrisitas gaya pratekan terhadap cgc

A = luas penampang

W = momen tahanan penampang

M = momen luar balok

f_c = tegangan beton

t = indek untuk serat atas (top)

b = indek untuk serat bawah (bottom)

- Tegangan baja lunak $f_s = n \cdot f_{cns}$

Dimana :

$$f_{cns} = \text{tegangan beton pada level baja lunak, dan} = \frac{E_s}{E_c}$$

E_s = modulus elastis baja lunak

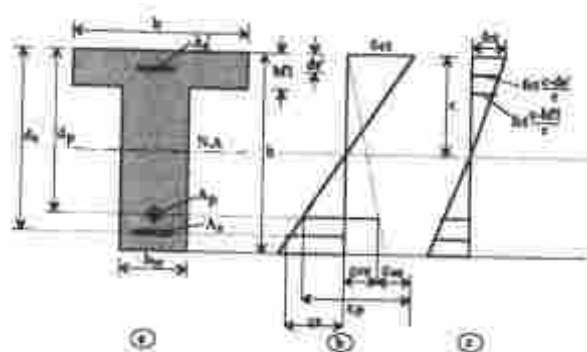
E_c = modulus elastis beton

5.2.2. Penampang Sesudah Retak Pada Beban Kerja

1. Asumsi

- Penampang datar tetap datar sebelum dan sesudah balok mengalami deformasi. Asumsi ini tetap dipertahankan walaupun balok sudah dalam stadium retak. Beton dan baja mengalami deformasi secara bersama (tidak terjadi slip antara beton dan tulangan akibat rusaknya lekatan)
- Baik baja tulangan (lunak dan pratekan) dan beton, diagram tegangan-tegangannya ($\sigma - \varepsilon$) diketahui
- Setelah retak andil beton tarik tidak dianggap ada (diabaikan)

Sebuah penampang T dari Balok Pratekan Parsiil seperti pada gambar 5-2 :



Gambar: 5.2. Diagram Tegangan-Regangan pada Balok T

- Penampang balok dalam keadaan retak
- Diagram regangan saat sebelum dan sesudah retak
- Distribusi tegangan, untuk beton karena beban masih jauh dari beban runtuh dianggap linear

Dari kondisi keseimbangan : $\sum H = 0$

$$A_p \cdot f_p + A_s \cdot f_s = b \cdot f_{ct} \frac{c}{2} + A_s' f_s' \frac{(b-b_w)(c-h_f l)^2}{2c} \quad (5-2)$$

Dan dari $\sum M = 0$

$$A_p \cdot f_p (d_p - \bar{x}) + A_s \cdot f_s (d_s - \bar{x}) = M \quad (5-3)$$

Dimana :

$$\bar{x} = \frac{1}{3} \left[\frac{bc^3 - (b-b_w)(c-h_f l)^2 (c+2h_f l) + A_s' (c-d_s') ds'}{bc^2 - (b-b_w)(c-h_f l)^2 + 2A_s' (c-d_s')} \right] \quad (5-4)$$

Dari hubungan tegangan regangan linier dan keselarasan regangan diperoleh :

$$\epsilon_{ct} = \frac{f_{ct}}{E_c} \quad (5-5)$$

$$\epsilon_{s'} = \frac{f_{s'}}{E_s} = \frac{f_{ct}(c-d_s')}{E_c \cdot c} \quad (5-6)$$

$$\epsilon_s = \frac{f_s}{E_s} = -f_{ct}(d_s - c) E_c \cdot c \quad (5-7)$$

$$\epsilon_{ps} = \epsilon_{se} + \epsilon_c + -f_{ct} E_c \left(\frac{d_p - c}{c} \right) \quad (5-8)$$

$$f_s = \frac{E_s}{E_c} f_{ct} \left(\frac{d_s - c}{c} \right) \quad (5-9)$$

$$f_{ps} = E_{ps} \cdot \epsilon_{ps} = E_{ps} (\epsilon_{se} + \epsilon_c) + \frac{E_p}{E_c} f_{ct} \left(\frac{d_p - c}{c} \right) \quad (5-10)$$

Manipulasi dari persamaan-persamaan diatas, yaitu persamaan (5-2) hingga persamaan (5-10) diperoleh persamaan pangkat tiga dalam c, yaitu letak sumbu netral :

$$\begin{aligned}
& \left[\frac{Ap \cdot Ep}{3M} (\varepsilon_{se} + \varepsilon_{ce}) bw \right] c^3 + \left[bw - \frac{Ap \cdot Ep}{M} (\varepsilon_{se} + \varepsilon_{ce}) bw \right] c^2 + \\
& \left[2(b-bw)hfl + \frac{2As \cdot Es}{Ec} + \frac{2As' \cdot Es'}{Ec} + \frac{2Ap \cdot Ep}{Ec} - \frac{Ap \cdot Ep}{Ec} (\varepsilon_{se} + \varepsilon_{ce}) \right] \\
& \left\{ 2(b-bw)hfl \cdot dp - (b-bw)hfl^2 - \frac{2As \cdot Es}{Ec} (ds - dp) - \frac{2As' \cdot Es'}{Ec} (ds' - dp) \right\} \\
& - \left[(b-bw)hfl^2 + \frac{2}{Ec} (As \cdot Es \cdot ds + As' \cdot Es' \cdot ds' + Ap \cdot Ep \cdot dp) \right. \\
& + \frac{Aps \cdot Eps}{M} (\varepsilon_{se} + \varepsilon_{ce}) \left. \left\{ \frac{2}{3} (b-bw)hfl^3 + \frac{2As \cdot Es}{Ec} (ds - dp) ds \right. \right. \\
& \left. \left. + \frac{2}{3} (b-bw)hfl^3 + \frac{2As \cdot Es}{Ec} (ds - dp) ds \right\} \right] = 0 \tag{5-11}
\end{aligned}$$

Karena penampang dan sifat material telah diketahui, maka harga c tergantung pada besarnya M. Jadi untuk mengevaluasi pengaruh besaran $M \geq M_{cr}$, persamaan diatas bentuknya dapat disederhanakan :

$$\frac{\lambda 1}{M} c^3 + \left(bw - \frac{\lambda 2}{M} \right) c^2 + \left(\lambda 3 - \frac{\lambda 4}{M} \right) c - \left(\alpha 5 + \frac{\lambda 6}{M} \right) = 0$$

Setelah harga c dapat dihitung, maka tegangan-tegangan pada beton dan baja dapat dihitung.

▪ **Tegangan pada beton :**

$$fct = \frac{Aps \cdot Eps (\varepsilon_{se} + \varepsilon_{ce})}{bc^2 - \left(\frac{b-bw}{2} \right) \left(c - hfl \right)^2 - \frac{Ap \cdot Ep}{Ec} (dp - c) - \frac{As \cdot Es}{Ec} (ds - c) - \frac{As' \cdot Es'}{Ec} (ds' - c)} \dots (5-12)$$

▪ **Tegangan pada baja pratekan :**

$$tps = Eps (\varepsilon_{ce} + \varepsilon_{se}) + \frac{Eps}{Ec} fct \left(\frac{dp - c}{c} \right) \tag{5-13}$$

▪ **Tegangan pada baja lunak :**

Tulangan tarik :

$$f_s = \frac{E_s}{E_c} f_{ct} \left(\frac{ds - c}{c} \right) \quad (5-14)$$

Tulangan tekan :

$$f_{s'} = \frac{E_s}{E_c} f_{ct} \left(\frac{ds' - c}{c} \right) \quad (5-15)$$

5.2.3. Penampang Sesudah Retak Pada Beban Batas

Untuk menghitung momen batas asumsinya sama seperti pada beban kerja, kecuali diagram tegangan beton pada penampang dianggap blok-stress.

$$\sum H = 0 \quad (5-16)$$

$$T = C \quad (5-17)$$

$$T = A_p \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y \quad (5-18)$$

$$C = 0,85 f_c' \cdot b \cdot a + A_s' \cdot f_{s'} \quad (5-19)$$

$$f_{ps} = f_{pu} \left\{ 1 - \frac{\lambda p}{\beta_1} \left[\rho p \frac{f_{pu}}{f_c'} + \frac{d}{dp} (\varpi - \varpi') \right] \right\} \quad (5-20)$$

(lihat SKSNI persamaan 3.11-3)

Dengan ini persamaan garis netral dapat dihitung berarti :

$$M_n = T \times Z \quad (5-21)$$

Z = lengan momen dalam, dapat dihitung setelah letak garis netral diketahui

Sebagai control, bahwa balok dapat dipakai

$$M_u < \phi M_n \quad (5-22)$$

5.3. Desain Lentur (NAAMAN)

Untuk menghitung luas tulangan A_p dan A_s , urut-urutannya sebagai berikut :

1. Menghitung PPR (rasio pratekan parsial)

$$PPR = \frac{1,4 M_D}{1,4 M_D + 1,7 M_L} \quad (5-23)$$

2. Menentukan “d”

$$d = dp (PPR) + ds (1 - PPR) \quad (5-24)$$

3. Menghitung \bar{w}

$$\bar{w} (1 - 0,59 \bar{w}) = \frac{Mu}{\phi b d^2 f_c'} \quad (5-25)$$

Dari perumusan ACI (sebetulnya bisa diambil juga dari SKSNI) fps dapat dihitung.

4. $F_u = \bar{w} \cdot b \cdot d \cdot f_c' (PPR)$ (5-26)

5. Menentukan A_p

$$A_p = \frac{b \cdot dp \cdot f_c'}{f_{pu}} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2F_u}{b \cdot dp \cdot f_c'}} \right] \quad (5-27)$$

Atau kalau dinyatakan dalam MU

$$A_p = PPR \frac{Mu}{\phi \cdot d \cdot fps (1 - 0,59 \bar{w})} \quad (5-28)$$

6. Menghitung A_s

$$A_s = \frac{A_p \cdot fps (1 - PPR)}{PPR \cdot f_y} \quad (5-29)$$

Dari perhitungan awal A_p dan A_s didapat, balok yang sudah ada ini kemudian dikontrol serviceabilitynya : control tegangan, lendutan dan retak, kalau semua persyaratan memenuhi, desain dapat dilanjutkan.