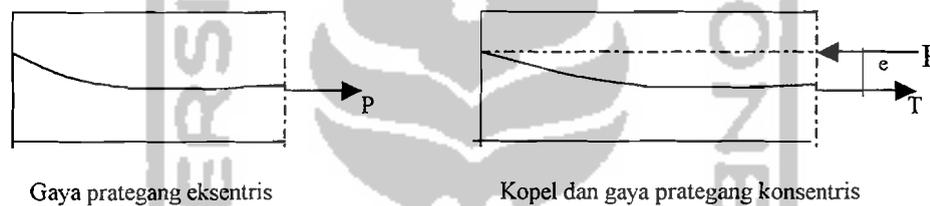


BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Analisis Tegangan Lentur pada Struktur beton Prategang

Pada analisis tegangan lentur struktur beton komposit gaya prategang P bekerja dengan eksentrisitas sebesar e , maka dimungkinkan untuk memecah gaya menjadi gaya yang melalui titik berat dan momen $P.e$ seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 : gaya prategang pada balok

Dengan teori elastik, tegangan serat pada setiap titik akibat $P.e$ diberikan oleh persamaan.

$$f = \frac{M.y}{I} + \frac{P.e.y}{I} \quad (3.1)$$

resultan tegangan akibat gaya prategang eksentris diberikan oleh persamaan.

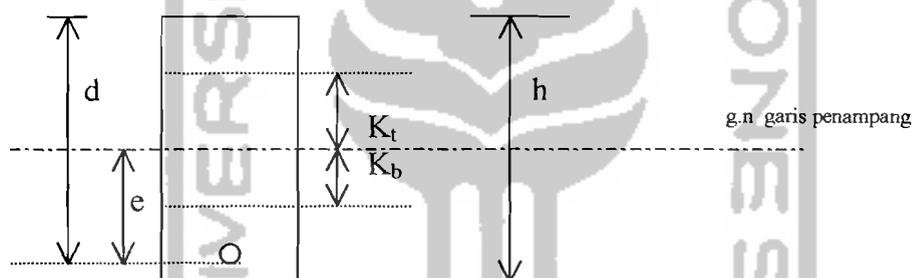
$$f = \frac{P}{A_c} \pm \frac{P.e.y}{I} \quad (3.2)$$

3.2 Pola Tegangan Beton Prategang

Kelebihan beton prategang adalah pada tingkat beban kerja dan besarnya tegangan yang biasanya ditentukan dengan tegangan ijin. Maka bagian utama perencanaan dan analisis menggunakan beban kerja dan tegangan ijin (elastis), selain itu juga harus memenuhi syarat-syarat sehingga beberapa bagian struktur juga dilakukan analisis dengan metode kekuatan batas.

Pola yang terjadi pada sistem prategang pratarik maupun pasca tarik ditinjau pada dua kondisi yaitu pada saat awal dan pada saat layan.

Gambar di bawah ini menunjukkan tampang geometris balok prategang



Gambar 3.2 : Penampang geometris balok prategang

Dari gambar diperoleh hasil :

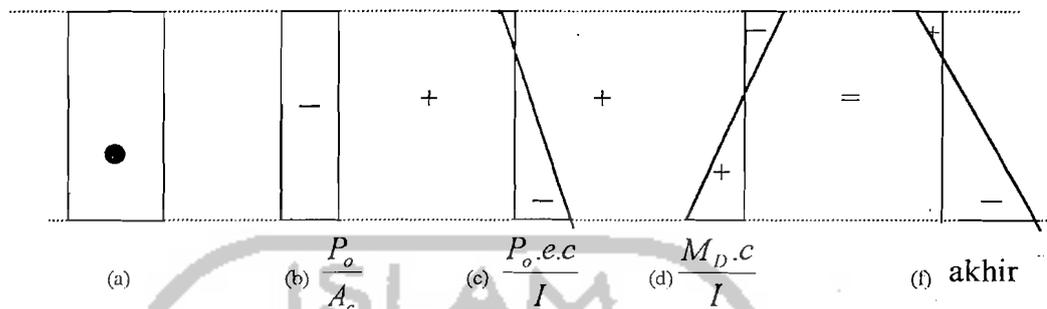
$$K_t = \frac{r^2}{c_b} \quad (3.3)$$

$$K_b = \frac{r^2}{c_t} \quad (3.4)$$

$$r^2 = \frac{I}{A_c} \quad (3.5)$$

1. Saat awal

Distribusi tegangan balok prategang pada saat awal ditunjukkan pada gambar



Gambar 3.3 : Diagram tegangan pada saat awal (P_o)

Tegangan akhir yang terjadi :

a. Serat atas

$$f_t = -\frac{P_o}{A_c} + \frac{P_o.e.c_t}{I} - \frac{M_D.c_t}{I} \quad \text{dengan} \quad s_t = \frac{I}{c_t} \quad (3.6)$$

$$f_t = -\frac{P_o}{A_c} + \frac{P_o.e.A_c}{s_t.A_c} - \frac{M_D}{s_t} \quad (3.7)$$

$$f_t = -\frac{P_o}{A_c} \left(1 - \frac{e.A_c}{s_t} \right) - \frac{M_D}{s_t} \quad \text{dengan} \quad r^2 = \frac{I}{A_c} \quad (3.8)$$

$$f_t = -\frac{P_o}{A_c} \left(1 - \frac{e.c_t}{r^2} \right) - \frac{M_D}{s_t} \quad (3.9)$$

b. Serat bawah

$$f_b = -\frac{P_o}{A_c} - \frac{P_o.e.c_b}{I} + \frac{M_D.c_b}{I} \quad \text{dengan} \quad s_t = \frac{I}{c_b} \quad (3.10)$$

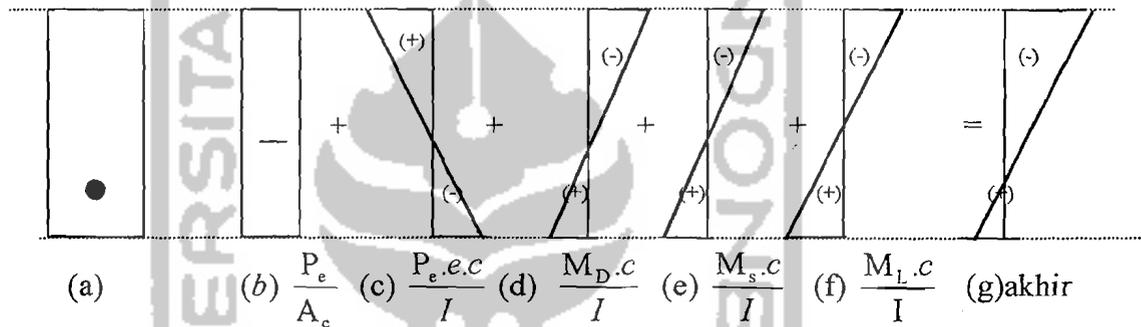
$$f_b = -\frac{P_o}{A_c} - \frac{P_o.e.A_c}{s_b.A_c} + \frac{M_D}{s_b} \quad (3.11)$$

$$f_b = -\frac{P_o}{A_c} \left(1 - \frac{e \cdot A_c}{s_b} \right) - \frac{M_D}{s_b} \quad \text{dengan} \quad r^2 = \frac{I}{A_c} \quad (3.12)$$

$$f_b = -\frac{P_o}{A_c} \left(1 - \frac{e \cdot c_b}{r^2} \right) - \frac{M_D}{s_b} \quad (3.13)$$

2. Saat layan

Gambar dibawah ini menunjukkan distribusi tegangan balok prategang pada saat layan



Gambar 3.4 : Diagram tegangan pada saat layan (P_e)

Tegangan akhir :

a. Serat atas

$$f_t = -\frac{Pe}{A_c} \left(1 - \frac{e \cdot c_t}{s_t} \right) - \frac{M_t}{s_t}, \quad \text{dengan} \quad M_t = M_D + M_S + M_L \quad (3.14)$$

b. Serat bawah

$$f_b = -\frac{Pe}{A_c} \left(1 + \frac{e \cdot c_b}{s_b} \right) + \frac{M_t}{s_b}, \quad \text{dengan} \quad M_t = M_D + M_S + M_L \quad (3.15)$$

3.3 Kehilangan Gaya Prategang

Analisis dari keseluruhan dan rancangan dari komponen struktur beton prategang akan menyertakan pertimbangan gaya-gaya efektif dari tendon prategang pada setiap tahap pembebanan. Adapun tahap-tahap tersebut diberikan menurut Lin dan Burn (1982) adalah sebagai berikut ini :

1. Sesaat setelah peralihan gaya prategang ke penampang beton , tegangan-tegangan di evaluasi sebagai acuan perilaku. Pengecekan ini termasuk gaya terbesar pada tendon yang bekerja pada beton yang mungkin jauh dibawah kekuatannya pada umur 28 hari, f'_c . Peraturan ACI menunjukkan kekuatan beton sebagai f'_{ci} pada tahap permulaan ini dan memberikan tegangan ijin dan tegangan pada beton.
2. Pada beban kerja, setelah semua kehilangan gaya prategang terjadi dan tingkat prategang efektif jangka panjang telah tercapai, tegangan-tegangan diperiksa sebagai tolok ukur kekuatan. Tegangan efektif pada baja, f_{pe} , setelah terjadi kehilangan gaya diasumsikan untuk tendon sementara komponen struktur memikul beban hidup dan beban mati. Juga kekuatan beton kemudian dianggap bertambah menjadi f'_e .

Sulit untuk menyamakan jumlah kehilangan gaya prategang, karena tergantung dari banyak faktor, seperti, sifat-sifat baja dan beton, pemeliharaan dan keadaan kelembaban, besar dan waktu penggunaan gaya prategang.

Kehilangan gaya prategang yang diijinkan untuk pascatarik sebesar 20% sampai 25 % dan untuk beton pratarik sebesar 25% sampai 30 %. Gaya prategang efektif merupakan gaya prategang awal dikalikan dengan faktor reduksi. Sedangkan

faktor reduksi adalah pengurangan dari besarnya kehilangan gaya prategang. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada persamaan dibawah ini.

$$P_e = R \cdot P_o$$

$$R = 1 - (\text{kehilangan gaya prategang}) \quad (3.16)$$

Dengan :

P_e = prategang efektif (KN)

P_o = gaya prategang awal (KN)

R = faktor reduksi gaya prategang

3.4 Metode Elastis pada Struktur Balok Komposit Tanpa Menggunakan Perancah

Distribusi tegangan pada balok prategang dibedakan pada saat transfer dan pada saat layan. Pada saat transfer tegangan hanya dipengaruhi oleh gaya prategang awal (P_o) dan momen akibat berat sendiri balok prategang (W_D). Pada saat layan, beton prategang komposit terjadi dua keadaan, yaitu sebelum struktur menjadi komposit dan setelah struktur menjadi komposit. Tegangan yang terjadi untuk balok komposit prategang tanpa perancah adalah sebagai berikut.

a. Tegangan pada saat transfer

$$f_t = -\frac{P_o}{A_{cp}} \left(1 - \frac{e_p \cdot c_{tp}}{r_p^2} \right) - \frac{M_D}{S_{tp}} \quad (3.17)$$

$$f_b = -\frac{P_o}{A_{cp}} \left(1 + \frac{e_p \cdot c_{bp}}{r_p^2} \right) + \frac{M_D}{S_{bp}} \quad (3.18)$$

b. Tegangan pada saat layan sebelum terjadi komposit

$$f_t = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left(1 - \frac{e_p \cdot c_{tp}}{r_p^2} \right) - \frac{M_D + M_{SD}}{S_{tp}} \quad (3.19)$$

$$f_b = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left(1 + \frac{e_p \cdot c_{bp}}{r_p^2} \right) + \frac{M_D + M_{SD}}{S_{bp}} \quad (3.20)$$

c. Tegangan pada saat layan setelah terjadi komposit

$$f_t = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left(1 - \frac{e_p \cdot c_{tp}}{r_p^2} \right) - \frac{M_D + M_{SD}}{S_{tp}} - \frac{M_{CSD} + M_L}{S_{ic}} \quad (3.21)$$

$$f_b = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left(1 + \frac{e_p \cdot c_{bp}}{r_p^2} \right) + \frac{M_D + M_{SD}}{S_{bp}} + \frac{M_{CSD} + M_L}{S_{bc}} \quad (3.22)$$

3.5 Metode Elastis pada Struktur Balok Komposit Dengan Menggunakan Perancah

Distribusi tegangan pada saat transfer balok komposit prategang dengan menggunakan perancah sama dengan yang tanpa perancah. Pada saat layan tegangan-tegangan yang terjadi adalah sebagai berikut.

a. Tegangan sebelum terjadi komposit

$$f_t = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left(1 - \frac{e_p \cdot c_{tp}}{r_p^2} \right) - \frac{M_D}{S_{tp}} \quad (3.23)$$

$$f_b = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left(1 + \frac{e_p \cdot c_{bp}}{r_p^2} \right) + \frac{M_D}{S_{bp}} \quad (3.24)$$

b. Tegangan setelah terjadi komposit

$$f_t = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left(1 - \frac{e_p \cdot c_{tp}}{r_p^2} \right) - \frac{M_D}{S_{tp}} - \frac{M_{SD} + M_{CSD} + M_L}{S_{tc}} \quad (3.25)$$

$$f_t = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left(1 + \frac{e_p \cdot c_{bp}}{r_p^2} \right) + \frac{M_D}{S_{bp}} + \frac{M_{SD} + M_{CSD} + M_L}{S_{bc}} \quad (3.26)$$

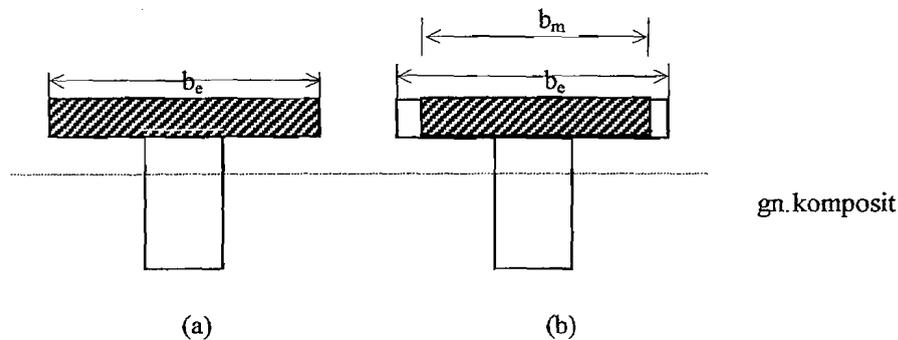
Kekuatan elastis beton komposit dipengaruhi oleh kekuatan beton pracetak yang lebih tinggi dari beton cor di tempat. Untuk itu kekuatan beton cor di tempat ditransformasikan sama dengan nilai modulus beton prategang. Jika f_{cp} adalah tegangan beton pracetak dan f_c adalah tegangan beton cor di tempat, E_c adalah modulus elastis dari beton biasa dan E_{cp} adalah modulus elastisitas dari beton prategang, maka persamaan faktor modifikasi dari sayap adalah:

$$\frac{f_c}{E_c} = \frac{f_{cp}}{E_{cp}} \quad (3.27)$$

$$\frac{E_c}{E_{cp}} = n \quad (3.28)$$

$$b_m = n \cdot b \quad (3.29)$$

Gambar 3.5a memperlihatkan tampang beton yang menjadi komposit (monolit), dan 3.5b memperlihatkan lebar modifikasi akibat transformasi tegangan beton cor di tempat yang telah sama dengan tegangan beton prategang.

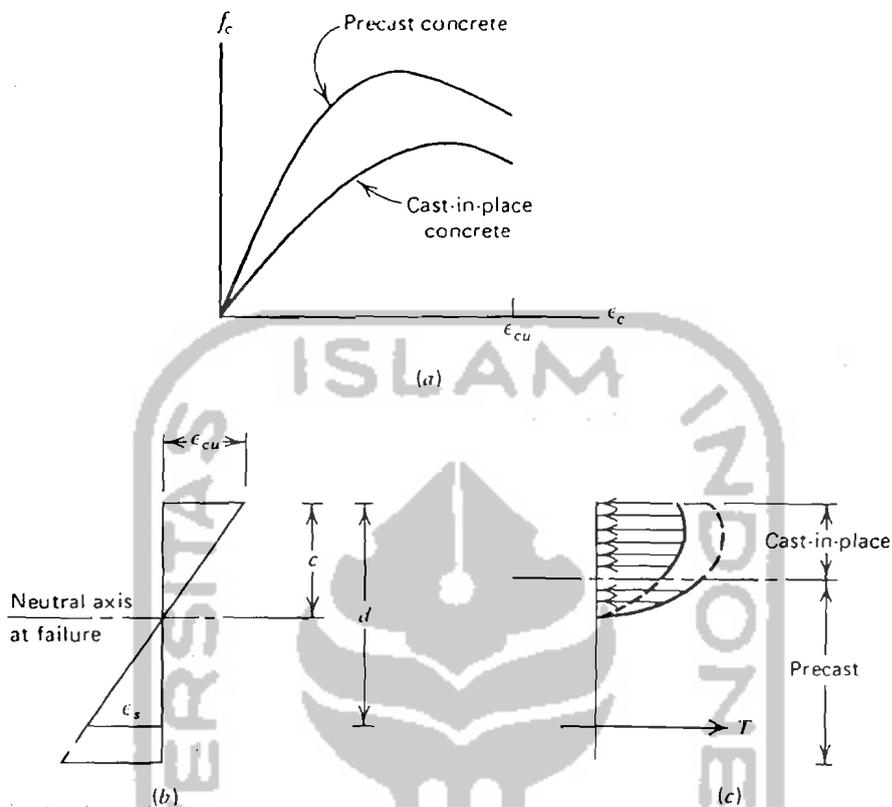


Gambar 3.5: Lebar efektif sayap dan lebar modifikasi sayap

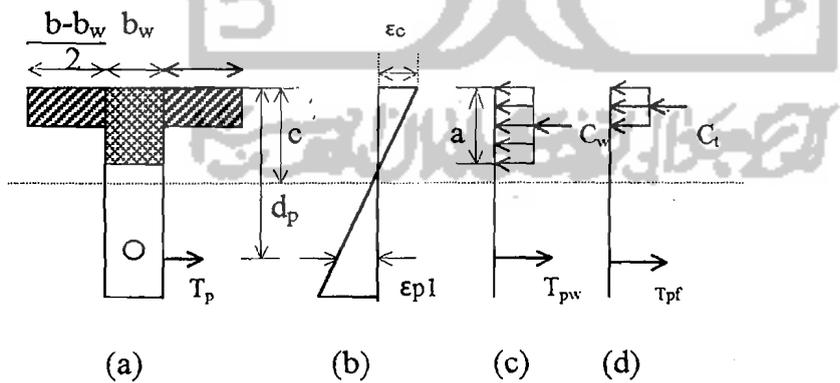
Lebar modifikasi (b_m) berdasarkan pada modulus ratio n , yang disubstitusikan sebagai lebar sebenarnya b_e dalam perhitungan tampang. Setelah perubahan itu, sayap mempunyai kekuatan yang sama dengan balok prategang. Dari ketentuan yang disajikan pada bab ini untuk tegangan lentur pada pracetak dan beton cor ditempat akibat pengaruh susut diferensial dan efek rangkak antara dua komponen yang ada diabaikan.

3.6 Kapasitas Lentur Struktur Balok Komposit Tampang T

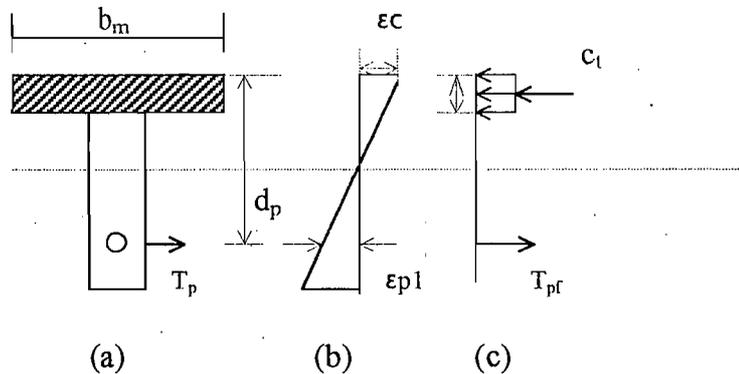
Pada metode elastis karena perbedaan modulus elastisitas antara pelat beton cor di tempat dan pracetak, dalam perhitungannya digunakan lebar modifikasi sayap (b_m). Akibat dari momen tampang non komposit dapat diabaikan tanpa kesalahan yang fatal pada saat tahap pembebanan berlebih. Perbedaan kuat desak beton saat pemberian tegangan pada kedua material akan mengakibatkan tegangan tidak menerus pada permukaan singgungnya. Gambar 3.6 menunjukkan diagram tegangan regangan pracetak dan beton cor di tempat, serta gambar regangan saat runtuh dan tegangan saat runtuh.



Gambar 3.6 : Distribusi tegangan dan regangan pada saat runtuh. (a) Perbandingan tegangan dan regangan. (b) Regangan saat runtuh. (c) Tegangan saat runtuh.



Gambar 3.7 : Diagram tegangan dan gaya dalam (a pada badan). (a) Tampang balok T. (b) regangan yang terjadi. (c) Tegangan dan gaya pada badan. (d) Tegangan dan gaya pada sayap



Gambar 3.8 : Diagram tegangan, regangan dan gaya pada sayap.

Kekuatan balok untuk menahan momen beban yang dipikul oleh tampang disebut momen nominal. Momen nominal ini harus lebih besar atau sama dengan momen nominal yang terjadi akibat beban. Untuk kapasitas lentur pada balok tampang T, momen ini akan ditahan oleh baja prategang, untuk gaya tarik dan bagian sayap dan mungkin sebagian badan untuk daerah desak.

Pada gambar 3.7 diperlihatkan bahwa gaya prategang total (T_p) adalah:

$$T_p = T_{pw} + T_{pf} \quad (3.30)$$

$$T_{pw} = A_{pw} \cdot f_{ps} \quad (3.31)$$

T_{pw} adalah bagian dari gaya tarik rencana yang diterima oleh badan, sedang T_{pf} adalah bagian dari gaya tarik rencana yang diterima oleh bagian sayap yang sama dengan C_f

$$T_{pf} = C_f = 0,85 f_c (b - b_w) h_s \quad (3.32)$$

$$A_{ps} \cdot f_{ps} = A_{pw} \cdot f_{ps} + 0,85 f_c (b - b_w) h_s \quad (3.33)$$

$$T_{pw} + T_{pf} = C_w + C_f \quad (3.34)$$

Karena T_{pf} sama dengan C_f maka:

$$T_{pw} = C_w \quad (3.35)$$

$$A_{pw} \cdot f_{ps} = 0,85 f'_c b_w a \quad (3.36)$$

$$a = \frac{A_{pw} \cdot f_{ps}}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_w} \quad (3.37)$$

$$\text{atau } a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} - 0,85 \cdot f'_c \cdot (b - b_w) \cdot h_s}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_w} \quad (3.38)$$

Sehingga momen nominal rencana adalah sebagai berikut:

$$M_n = A_{pw} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + 0,85 \cdot f'_c (b_m - b_w) h_s \left(d_p - \frac{h_s}{2} \right) \quad (3.39)$$

Sedangkan pada gambar 3.8 diperlihatkan bahwa gaya prategang total adalah T_{pf} , merupakan gaya tarik yang diterima oleh bagian sayap yang sama dengan C_f .

$$T_{pf} = C_f = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_m \cdot h_s \quad (3.40)$$

$$T_p = C_{pf} \quad (3.41)$$

$$T_{ps} \cdot f_{ps} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_m \cdot h_s \quad (3.42)$$

$$\text{maka, } a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_m} \quad (3.43)$$

Sehingga momen nominal rencana adalah sebagai berikut,

$$M_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_m \cdot a \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \quad (3.44)$$

3.7 Gaya Geser Horizontal Pada Balok Komposit

Pada balok komposit terjadi dua gaya geser, yaitu gaya geser pada badan dan gaya geser pada permukaan singgung antara bagian atas balok pracetak dan bagian bawah pelat beton. Gaya geser badan diakibatkan oleh beban yang diterima oleh balok, sedangkan geser yang terjadi pada bagian singgung antara permukaan balok pracetak dan pelat diakibatkan adanya gaya gesek atau kekasaran permukaan keduanya. Gaya geser badan dapat ditahan oleh tulangan badan atau sengkang sedangkan gaya geser yang terjadi pada permukaan singgung kedua beton tersebut ditahan oleh dowel atau stud connector yang juga berfungsi sebagai penyatu antara balok pracetak dan beton cor ditempat (pelat) sehingga menjadi satu tampang yang komposit.

3.7.1 Gaya Geser Badan

Prinsip dasar perhitungan gaya geser pada badan adalah, bahwa gaya geser yang terjadi harus lebih kecil dari gaya geser rencana.

$$V_u \leq \phi V_n \quad (3.45)$$

$$\text{Dimana } V_n = V_c + V_s \quad (3.46)$$

$$\text{Sehingga } V_u = \phi V_c + \phi V_s \quad (3.47)$$

ϕV_c adalah kekuatan beton yang menahan gaya geser, dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini :

bila $f_{pe} > 0,4 f_{pu}$ digunakan

$$V_c = \left(0,6\sqrt{f'c} + 700 \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d \quad (3.48)$$

$$\text{atau } (2\sqrt{f'c} b_w d) \leq V_c \leq (5\sqrt{f'c} b_w d) \quad (3.49)$$

Bila $0,4 f_{pu} < f_{pe}$ digunakan harga yang terkecil dari hasil persamaan dibawah ini.

$$V_{ci} = \left(0,6\sqrt{f'c} b_w + V_d + \frac{V_i M_{cr}}{M_{Max}} \right) \quad (3.50)$$

atau

$$V_{cw} = \left((3,5\sqrt{f'c} + 0,3f_{pc}) b_w d + V_p \right) \quad (3.51)$$

3.7.2 Gaya Geser Horizontal pada Permukaan Singgung dan Perencanaan

Dowel

Perencanaan dowel pada permukaan singgung komposit dapat menggunakan persamaan dasar gaya geser horizontal V_{uh} .

$$V_{uh} = \frac{V}{b_v d_{pc}} \quad (3.52)$$

Pada batas runtuh, persamaan (3.52) dapat dimodifikasi dengan mengubah V dengan faktor beban V_u .

$$V_{uh} = \frac{V_u}{b_v d_{pc}} \quad (3.53)$$

atau dengan menggunakan gaya geser vertikal nominal, V_n .

$$V_{uh} = \frac{V_u / \phi}{b_v d_{pc}} = \frac{V_n}{b_v d_{pc}} \quad (3.54)$$

Dimana $\phi = 0,85$. Jika V_{nh} adalah gaya geser horisontal nominal, dengan $V_u \leq V_{nh}$, maka gaya geser horisontal total adalah :

$$V_{nh} = V_{uh} \cdot b_v \cdot d_{pc} \quad (3.55)$$

Menurut ketentuan ACI-CODE, jika tanpa dowel atau begel vertikal, $V_{nh} \leq 80$ psi atau dapat menggunakan begel vertikal minimum jika $V_{nh} \leq 350$ psi dengan asumsi sebagai berikut

1. $V_{nh} \leq 80 A_c \leq b_v d_{pc}$

Jika tanpa menggunakan begel vertikal dan permukaan elemen pracetak kasar.

2. $V_{nh} \leq 80 b_v d_{pc}$

Jika menggunakan begel vertikal, dengan $A_v = 50 (b_w \cdot s) / f_y$, tetapi permukaan elemen pracetak tidak kasar.

3. $V_{nh} \leq 350 b_v d_{pc}$

Jika kekasaran permukaan elemen pracetak hingga 0,25 in dan dapat menggunakan baja vertikal minimum dalam (b)

$$4. \quad V_{nh} = \mu A_{vf} f_y$$

Jika faktor geser $V_u > \phi (350 b_v d_p)$. Teori gesekan dapat digunakan untuk merencanakan tulangan dowel, dalam hal ini seluruh geser horisontal harus menggunakan dowel tegak lurus.

3.8 Analisis Lendutan

Menurut Raju (1988), pentingnya kontrol terhadap lendutan dikarenakan lendutan merupakan suatu kriteria penting untuk keamanan struktur. Pada umumnya batang beton struktural harus didesain agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi lendutan yang dapat berpengaruh merugikan terhadap kekuatan atau kemampuan fungsi struktur pada beban kerja.

Lendutan awal akibat prategang, berat sendiri balok dan berat beton cor ditempat kalau balok tersebut tidak disangga, dihitung berdasarkan penampang dan modulus elastisitas unit pracetak. Lendutan akibat beban hidup selalu dihitung dengan memakai sifat-sifat penampang komposit. Kalau balok pracetak tersebut disangga selama konstruksi, lendutan akibat bobot mati beton cor ditempat juga dihitung berdasarkan penampang komposit. Apabila modulus elastis beton pracetak dan plat cor di tempat berbeda ketegaran lentur (flexural rigidity), dikerjakan dengan menghitung momen inersia ekivalen dari penampang komposit.

$$I_{cr} = (I_g + (A_c \cdot (C_{bc} - C_{bs})^2) + (N \cdot ((\frac{b_m \cdot h_s^3}{12}) + (b_m \cdot h_s \cdot (\frac{C_{tc} - h_s}{2})^2))) \quad (3.56)$$

Adapun lendutannya sebagai berikut:

1. Lendutan akibat gaya prategang dengan tendon parabolik dan angkur eksentris sebesar e_1 ditengah bentang serta e_2 pada penampang diatas tumpuan adalah:

$$\Delta_1 = \frac{1}{8} \frac{P.e_2.L^2}{EI} + \frac{5}{48} \frac{P.e_1.L^2}{EI} \quad (3.57)$$

2. Lendutan efektif setelah kehilangan gaya prategang :

$$\Delta_2 = \Delta_1 \cdot (1 - R) \quad (3.58)$$

masuk ke m

3. Lendutan akibat berat sendiri balok pracetak:

$$\Delta_3 = \frac{5.w_{balok}.L^4}{384.EI} \quad (3.59)$$

4. Lendutan pracetak akibat berat sendiri pelat cor ditempat:

$$\Delta_4 = \Delta_3 \cdot \left(\frac{w_{plat}}{w_{balok}} \right) \quad (3.60)$$

5. Lendutan balok komposit akibat beban hidup:

$$\Delta_5 = \frac{5.wl.L^4}{384.E.Icr} \quad (3.61)$$

6. Lendutan balok komposit akibat berat sendiri pelat cor ditempat:

$$\Delta_6 = \frac{5.w_{plat}.L^4}{384.EI} \quad (3.62)$$

Lendutan untuk konstruksi tanpa penyangga:

$$\Delta_l = \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 \leq \frac{L}{360}$$

Lendutan untuk konstruksi dengan penyangga:

$$\Delta_l = \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_5 + \Delta_6 \leq \frac{L}{360}$$

3.9 Beban dan Persyaratan Tegangan

3.9.1 Macam-macam beban

Pada umumnya beban yang diterima atau yang ditahan oleh suatu elemen struktur adalah sebagai berikut ini.

1. Beban mati

Beban mati adalah beban yang terus menerus membebani elemen struktur atau beban yang tetap membebani elemen tersebut. Berat sendiri dari elemen struktur adalah beban mati yang harus selalu diperhitungkan karena merupakan beban yang selalu terjadi. Atau beban lainnya yang direncanakan untuk menerima beban terus menerus juga diperhitungkan sebagai beban tetap.

2. Beban hidup

Beban hidup merupakan beban utama yang diterima elemen struktur baik pada bangunan gedung atau lalu lintas kendaraan pada jembatan. Beban-beban ini bersifat sementara tetapi dalam perencanaan sebagai beban tetap.

3.9.2 Faktor beban dan faktor reduksi

Pada kekuatan batas beban-beban yang digunakan sebagai dasar perhitungan adalah seperti yang telah ditetapkan pada ACI-Code. Beban-beban karakteristik tersebut telah dikalikan dengan faktor beban sesuai dengan kondisi pembebanan. Nilai-nilai faktor beban dan kondisi pembebanan menurut ACI- Code.

Tabel 3.1. Faktor beban

KOMBINASI BEBAN	FAKTOR BEBAN
Akibat beban hidup dan mati	$U = 1.4 D + 1.7 L$
Akibat beban hidup, mati dan beban angin	$U = 0.75 (1.4 D + 1.7 L + 1.7 W)$ $U = 0.9 D + 1.3 L$ $U = 1.4 D + 1.7 L$
Akibat beban hidup, mati dan beban tekanan tanah	$U = 0.75 (1.4 D + 1.7 L + 1.87 E)$ $U = 0.9 D + 1.43 L$ $U = 1.4 D + 1.7 L$
Akibat khusus :	$U = 0.75 (1.4 D + 1.4 D + 1.7 L_0)$
- Penurunan	$U = 1.4 D + 1.7 L$
- Rangkak dan susut	
- Perbedaan suhu	

Pembebanan yang digunakan selanjutnya dalam perencanaan balok adalah menggunakan peraturan ACI-Code '89 :

$$U = 1.4 D + 1.7 L$$

Selain itu koefisien lain yang menentukan dalam perencanaan adalah faktor reduksi kekuatan (ϕ), faktor reduksi ini digunakan untuk menentukan nilai momen nominal. Momen nominal terjadi diperoleh dari momen ultimit dibagi dengan faktor reduksi. Nilai momen nominal balok komposit yang terjadi harus lebih kecil atau

sama dengan momen nominal rencana . Menurut peraturan ACI-Code besarnya faktor reduksi tergantung pada komponen yang direncanakan.

Tabel 3.2. Faktor reduksi

Komponen struktur	Faktor reduksi
Balok atau pelat : lentur atau momen	0,9
Kolom dengan sengkang biasa	0,7
Kolom dengan sengkang sepiral	0,75
Kolom yang menahan beban aksial yang kecil	0,7-0,9
Balok : Geser atau torsi	0,85

3.9.3 Tahap-tahap Pembebanan Balok Sistem pasca tarik

Tahap-tahap pembebanan balok sistem pasca tarik terdiri dari tiga tahap yaitu tahap awal, tahap antara dan tahap akhir.

1. Tahap awal

Pada tahap awal, sebelum diberi tegangan beton cukup lemah memikul beban sehingga harus dicegah kehancuran pada perletakan. Jika diijinkan untuk memperkecil atau menghilangkan retak-retak pada beton prategang, pemeliharaan yang seksama sebelum terjadi peralihan gaya prategang sangat penting dan pengeringan secara mendadak harus dihindarkan.

Pada saat diberi gaya prategang kadang-kadang kabel putus disebabkan oleh cacat sewaktu pembuatan, sering kali tegangan maksimal kabel pada saat penarikan mencapai $0,8 f_{pu}$ atau $0,94 f_{py}$. Pada saat penarikan kekuatan beton harus mencapai maksimal untuk menghindari retak pada beton. Pada saat peralihan gaya prategang pada sistem pasca tarik dilakukan secara bertahap.

Pada keadaan tersebut tidak ada gaya eksternal pada komponen struktur kecuali berat sendiri.

2. Tahap antara

Tahap ini merupakan tahapan selama pengangkatan dan pengangkutan beton pracetak. Hal ini terjadi bila komponen struktur pracetak yang diangkut ke lapangan dan dipasang pada tempatnya.

3. Tahap akhir

Pada tahap ini bila beban kerja yang sesungguhnya telah bekerja. Beban-beban tersebut adalah beban lateral, seperti beban angin dan gaya gempa. Selain itu ada pula beban yang dihasilkan oleh penurunan pada tumpuan dan pengaruh temperatur lingkungan.

3.9.4 Dasar Analisis Tegangan

Pada tahap pembebanan balok beton prategang komposit secara garis besar dapat dibedakan menjadi tiga tahap, yang seluruh tahapan harus diperhatikan terhadap tegangan-tegangan yang diijinkan untuk struktur. Berikut ini syarat-syarat tegangan beton yang dikeluarkan oleh ACI 318-89 untuk komponen struktur lentur, tegangan ijin beton sesuai dengan kondisi gaya prategang dan pada tahap beban kerja tidak boleh melebihi nilai rata-rata berikut ini.

1. tegangan beton sesaat setelah transfer gaya prategang (sebelum kehilangan tegangan, yang merupakan fungsi dari waktu)

- a. serat terluar tegangan mengalami tegangan tekan $0,6f'_{ci}$

- b. serat terluar mengalami tegangan tarik $3\sqrt{f'_c}$
- c. serat terluar pada ujung komponen struktur yang didukung sederhana, akan mengalami tegangan tarik..... $6\sqrt{f'_c}$

Bila tegangan tarik yang dihitung melampaui nilai tersebut di atas, maka harus ditambah dengan memasang tulangan non prategang pada daerah tarik, untuk menahan gaya tarik total pada beton, yang diasumsikan sebagai suatu penampang yang utuh.

2. tegangan beton pada tingkat beban kerja (sesudah memperhitungkan semua kehilangan prategang yang mungkin terjadi) tidak boleh melampaui nilai-nilai berikut ini :
- a. serat terluar mengalami tegangan tekan..... $0,45\sqrt{f'_c}$
- b. tegangan terluar pada daerah tarik yang awalnya mengalami tekan $6\sqrt{f'_c}$
- c. tegangan serat terluar pada daerah tarik yang awalnya mengalami tekan dari komponen struktur..... $12\sqrt{f'_c}$
3. tegangan ijin beton dalam butir 1 dan 2 boleh melampaui bila dapat ditunjukkan dengan pengujian dan analisis bahwa penampang strukturnya tidak berkurang.

Sedangkan tegangan tarik ijin baja prategang boleh terjadi menurut ACI Building 318-89 adalah sebagai berikut ini :

1. gaya dongkrak tendon tidak lebih dari $0,85 f_{pu}$ atau nilai maksimum yang telah ditetapkan pabrik tendon angkur prategang..... $0,94f_{py}$
2. tendon pratarik setelah tegangan transfer tidak lebih dari $0,74f_{pu}$ $0,82 f_{py}$.

3. tendon pasca tarik setelah tendon diangkur..... $0,70 f_{pu}$
4. untuk tendon prategang dengan relaksasi rendah digunakan $f_{py} = 0,9 f_{pu}$ dan tendon prategang dengan relaksasi tinggi digunakan $f_{py} = 0,85 f_{pu}$.

3.10 Karakteristik Bahan

Menurut Lin dan Burns (1982) menyatakan bahwa bahan yang digunakan untuk struktur beton prategang adalah :

3.10.1 Beton

Beton yang merupakan unsur utama dari struktur beton komposit adalah beton prategang dan beton cor langsung ditempat. Kekuatan masing-masing beton tersebut berbeda satu sama lain. Untuk beton prategang umumnya membutuhkan mutu beton yang tinggi atau kekuatan beton pada beton pracetak prategang lebih tinggi dari beton bertulang (cor ditempat). Kekuatan yang disyaratkan adalah kekuatan silinder beton umur 28 hari sebesar 28 sampai dengan 55 MPa. Mutu beton yang disyaratkan ini merupakan keharusan karena beberapa alasan, baik teknis maupun ekonomis. Seperti pengangkutan yang direncanakan berdasarkan mutu beton yang tinggi dan penghematan biaya. Untuk beton pracetak prategang spesifikasi kekuatan yang disyaratkan biasanya antara 41 sampai 55 MPa, regangan juga terjadi pada beton prategang. Hal ini perlu diperhatikan untuk memperhitungkan kehilangan gaya prategang yang terjadi. Adapun macam-macam yang tersebut antara lain adalah :

1. regangan elastis

Sebagai nilai rata-rata untuk beton umur 28 hari dan untuk tegangan sampai kira-kira $0,4 f'_c$ modulus sekan akan dapat dihitung dengan rumus empiris.

Peraturan ACI untuk beton bertulang merumuskan rumus empiris sebagai berikut ini.

$$E_c = W^{1,5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c} \quad (3.63)$$

Dimana berat jenis W bervariasi antar 1450 dan 2500 kg/m³. Untuk berat beton normal persamaan menjadi sederhana dimana.

$$E_c = 57000 \sqrt{f'_c} \text{ Psi} \quad (3.64)$$

2. regangan lateral

Diitung dengan angka poisson (*poisson ratio*). Karena pengaruh angka poisson, kehilangan angka prategang berkurang sedikit pada prategang biaksial. Angka Poisson bervariasi dari 0,15 sampai 0,22 untuk beton, rata-rata sekitar 0,17.

3. regangan rangkak

Rangkak didefinisikan sebagai deformasi yang dipengaruhi waktu yang diakibatkan oleh adanya tegangan. Regangan total akibat rangkak dapat diperkirakan sekitar 0,25 terjadi pada dua sampai tiga bulan, 0,25 dalam satu tahun dan 0,25 terakhir pada tahun-tahun berikutnya.

4. regangan susut

Berbeda dengan rangkak, susut pada beton adalah kontraksi akibat pengeringan dan perubahan kimiawi yang tergantung pada waktu dan keadaan kelembaban tetapi tidak tergantung pada tegangan. Sebagian dari susut diakibatkan oleh kekeringan beton. Besarnya regangan susut bervariasi

terhadap beberapa faktor dan berkisar dari 0,0000 sampai 0,0010 atau lebih besar.

3.10.2 Baja

1. Sebagai salah satu unsur dari beton prategang selain digunakan beton mutu tinggi juga diperlukan baja mutu tinggi untuk menghasilkan gaya prategang dan gaya tarik pada beton prategang. Baja mutu tinggi yang digunakan pada sistem prategang adalah kawat (*wire*), untaian kawat (*strand*) dan batang (*bar*). Untuk sistem pasca tarik, banyak dipakai kawat yang digabungkan secara paralel menjadi kabel. *Strand* dibuat pabrik dengan memuntir beberapa kawat bersama-sama, jadi mengurangi jumlah satuan yang harus dikerjakan pada pelaksanaan penarikan. *Strand* seperti juga batang baja mutu tinggi, digunakan pada sistem prategang pasca tarik.
2. Pada beton komposit tegangan geser yang terjadi pada permukaan antara dua beton (pracetak dan beton cor langsung ditempat) akan ditahan oleh dowel (*stud connector*), selain itu oleh kekasaran permukaan unit pracetak. Dowel dibuat dari baja yang terdiri dari beberapa bentuk, bentuk "n", bentuk "u", atau bentuk "I".

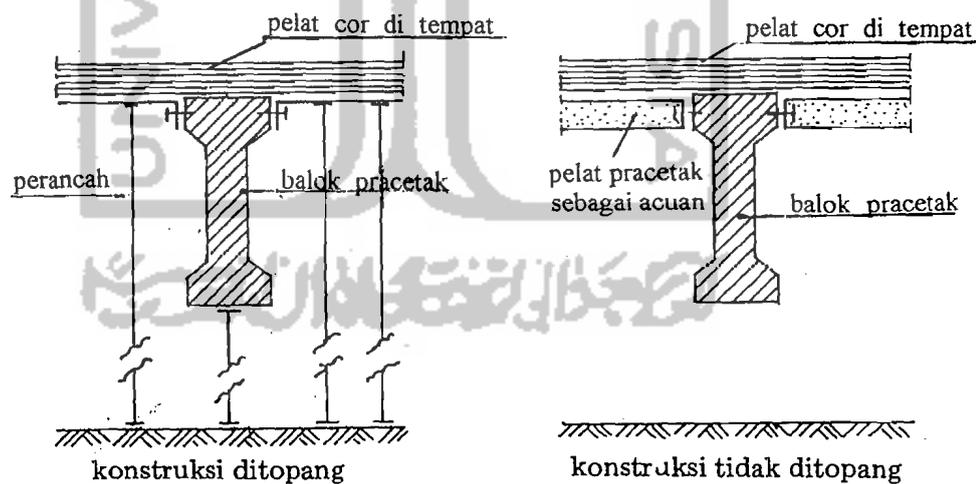
3.10.3 Bahan pelengkap

Untuk bahan pelengkap diperlukan pada beton beton pracetak prategang, bahan ini diperlukan sebagai bahan pengisi untuk selubung tendon. Bahan tambahan ini berupa adukan semen, air dan pasir halus atau kombinasinya. Pada sistem pratarik tidak diperlukan selubung beton. Sementara pada sistem pasca tarik ada dua macam

selubung, yaitu sistem prategang dengan rekatan (*grouting*) dan sistem prategang tanpa rekatan (*ungrouting*).

Selubung yang digunakan biasanya terbuat dari logam yang telah digalvanisasi atau jalur dari baja yang disambung yang fleksibel atau semi kaku.

Bila digunakan sistem prategang tanpa rekatan dan sistem prategang pratarik maka biasanya digunakan plastik atau kertas tebal sebagai pembungkus dan digunakan tendon yang telah diberi minyak untuk mempermudah penarikan dan mencegah terjadinya karat. Sedangkan bila menggunakan sistem prategang dengan rekatan maka untuk grout disuntikkan, hal ini untuk mencegah terjadinya karat pada baja. Jika tidak menggunakan pasir sebagai bahan grouting bisa digunakan pula *fly-ash* dan *pozzolan*, kadang-kadang digunakan sebagai bahan pengisi. Tekanan grouting umumnya berkisar antara 550 sampai 700 Kpa dengan tekanan maksimum ditentukan sebesar 1700 Kpa.



Gambar 3.9 Penampang melintang konstruksi balok komposit