

BAB III

ANALISA STRUKTUR BALOK KOMPOSIT PRATEGANG

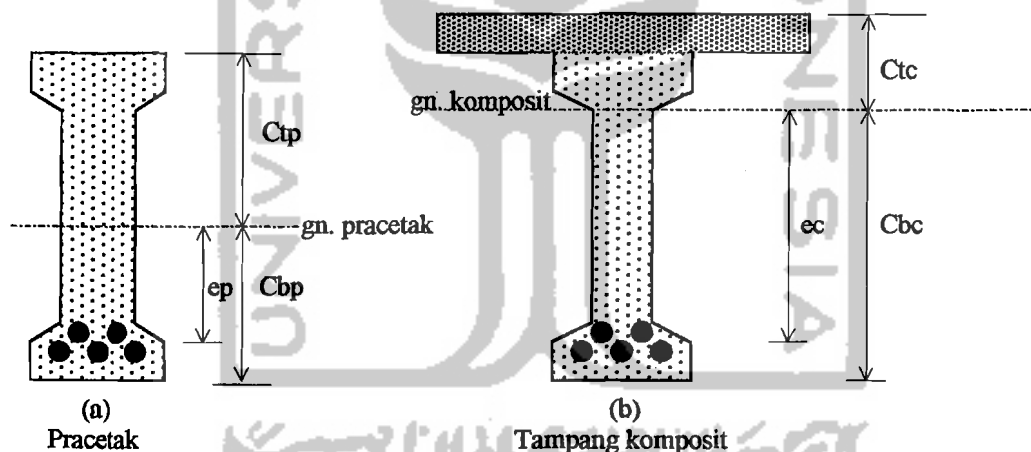
3.1 Pengertian Umum

Pada perhitungan dan perencanaan struktur beton komposit dipengaruhi oleh beban-beban yang bekerja pada batang balok dan tegangan-tegangan yang bekerja seperti tegangan lentur dan tegangan geser. Seperti dijelaskan diatas bahwa struktur beton komposit dapat dibuat dengan menggunakan perancah atau tidak menggunakan perancah. Penggunaan perancah mempengaruhi dalam masa pembebanan. Pada pembuatan beton komposit yang menggunakan perancah, pada waktu pengecoran beton cor ditempat, beban yang terjadi akan dipikul oleh perancah, sedangkan bila tanpa perancah beban tersebut dipikul langsung oleh pracetak.

Struktur beton dapat dikatakan aman atau dapat dipakai bila tegangan tegangan yang terjadi tidak melebihi batas-batas atau syarat-syarat yang diijinkan.

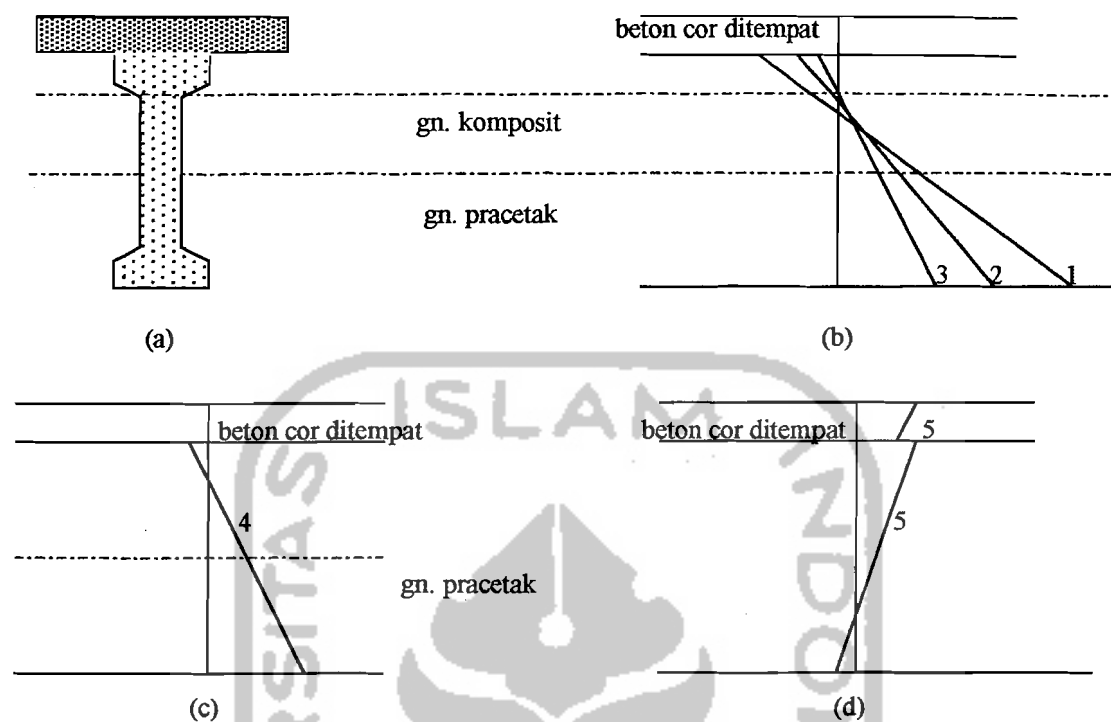
3.2 Metode Elastis pada Struktur Balok Komposit Menggunakan Perancah

Pada perhitungan tegangan perlu dibedakan antara beban kerja pada balok pracetak dan beban setelah bagian pelat cor ditempat, ketika seluruh gaya komposit terbentuk. Tegangan akibat tekuk (bending) elemen komposit terjadi setelah pengecoran pelat. Jelasnya momen terjadi akibat perubahan garis netral dari tampang elemen pracetak ke tampang komposit.



Gambar 3.1: Tampang pracetak dan komposit

Gambar 3.1a menunjukkan geometris balok pracetak, sedangkan gambar 3.1b menunjukkan geometris tampang I yang menjadi tampang T komposit dengan penambahan pelat cor beton. Pada notasi gambar terdapat indeks p menunjukkan geometris penampang pracetak sedangkan c menunjukkan geometris penampang komposit.



Dimana :

- (1) P_o
- (2) $P_o + M_D$
- (3) $P_e + M_D$
- (4) $P_e + M_D + M_{SD}$
- (5) $P_e + M_D + M_{SD} + M_{CSD} + M_L$

Gambar 3.2. Diagram Tegangan pada tampang komposit. (a) Penampang beton komposit. (b) Tegangan awal (1), tegangan awal dan momen berat sendiri (2), dan tegangan efektif dan momen akibat berat sendiri (3). (c) Tegangan akibat beban pelat (balok dipasang perancah), tidak menimbulkan perubahan tegangan pada balok. (d) Tegangan akibat gaya prategang efektif dan momen total.

Gambar 3.2a menunjukkan suatu tampang komposit. Distribusi tegangan pada serat atas dan bawah pracetak sesaat setelah transfer dimana bekerja tegangan awal dan momen akibat berat sendiri dari balok pracetak.



Distribusi tegangan pada serat atas dan bawah balok pracetak diperlihatkan pada gambar 3.2b.

$$f_t = -\frac{P_0}{A_{cp}} \left(1 - \frac{e_p c_{tp}}{r_p^2} \right) - \frac{M_D}{S_{tp}} \quad (3.1)$$

$$f_b = -\frac{P_0}{A_{cp}} \left(1 + \frac{e_p c_{bp}}{r_p^2} \right) + \frac{M_D}{S_{bp}} \quad (3.2)$$

Dengan asumsi terjadi kehilangan tegangan, tegangan beton berangsur-angsur berubah pada keadaan distribusi (3) ketika P efektif bekerja bersama-sama dengan beban berat sendiri. Biasanya beban mati selain dari balok pracetak adalah beban mati akibat pelat cor beton. Beban-beban mati tersebut menyebabkan terjadinya lentur dari unit pracetak. Lentur tersebut tidak terjadi pada balok yang menggunakan perancah. Sehingga tegangan yang terjadi diperlihatkan pada gambar 3.2c.

Setelah pelat mengeras dan mencapai kekuatan yang direncanakan maka garis netral akan bergeser keatas sesuai dengan tampang komposit yang terjadi dan seluruh beban kerja akan mengakibatkan terjadinya momen dari garis netral baru, termasuk momen akibat beban mati setelah beton mengeras seperti halnya permukaan perkerasan, trotoar pada struktur jembatan, atau finishing lantai dan langit-langit pada bangunan. Beban hidup bekerja pada saat perlakuan komposit terjadi.

Pada gambar 3.2d diperlihatkan tegangan akibat berat sendiri, beban pelat, beban mati diatas pelat dan beban hidup. Catatan bahwa, karena tidak terjadinya tegangan pada pelat sebelumnya distribusi tegangan (5) memperlihatkan tegangan terputus pada pertemuan permukaan antara elemen pracetak dan pelat cor langsung di tempat. Tegangan pada beton pracetak pada tahap (5) adalah sebagai berikut :

$$f_t = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left(1 - \frac{e_c}{r_p^2} \right) - \frac{M_D}{S_{tP}} - \frac{M_{SD} + M_{CSD} + M_L}{S_{tc}} \quad (3.3)$$

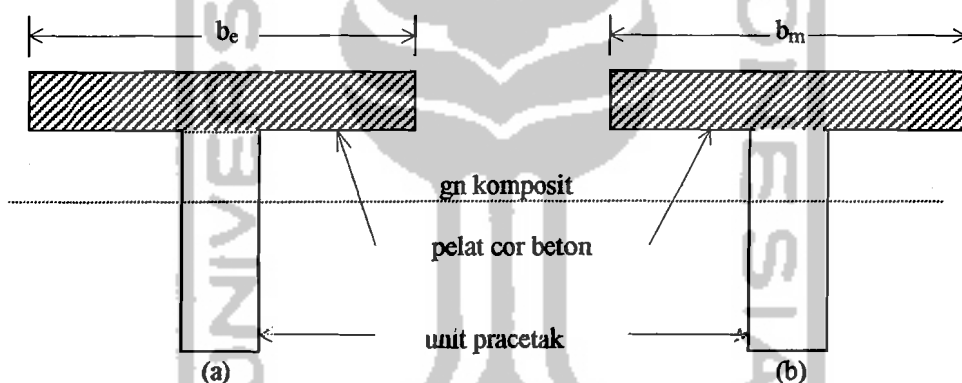
$$f_b = -\frac{P_e}{A_{cp}} \left(1 + \frac{e_c}{r_p^2} \right) + \frac{M_D}{S_{bP}} + \frac{M_{SD} + M_{CSD} + M_L}{S_{bc}} \quad (3.4)$$

Pada persamaan ini M_{SD} dan M_{CSD} adalah momen yang diakibatkan oleh beban mati setelah komposit terjadi, M_L adalah momen akibat beban hidup diatasnya.

Karena kekuatan masing-masing beton berbeda, dimana kekuatan beton pracetak lebih tinggi dari pada beton cor langsung ditempat, mempengaruhi kekuatan elastis beton komposit. Maka untuk mendapatkan tegangan elastis pada balok komposit, kekuatan beton cor ditempat di-transformasikan sama dengan nilai modulus beton pracetak. Gambar 3.3a memperlihatkan tampang beton yang menjadi komposit (monolit), dan gambar 3.3b memper-

lihatkan transformasi pada saat pelat beton telah mempunyai kekuatan dan elastisitas yang sama dengan beton pracetak. Jika f_{cp} adalah tegangan beton pracetak dan f_c adalah tegangan beton cor ditempat, dan jika E_c dan E_{cp} adalah modulus elastisitas dari beton biasa dan modulus elastis pada pracetak, maka persamaan faktor modifikasi dari sayap adalah sebagai berikut :

$$\frac{f_c}{E_c} = \frac{f_{cp}}{E_{cp}} = n \quad (3.5)$$



Gambar 3.3: Lebar efektif sayap dan lebar modifikasi sayap

Modulus perbandingan (n) antara kekuatan beton cor dan beton pracetak, nilainya < 1 .

Persamaan dengan mensubstitusikan nf_c untuk f_{cp} :

$$\frac{E_c}{E_{cp}} = n \quad (3.6)$$

$$b_m = n \cdot b \quad (3.7)$$

Lebar modifikasi (b_m) berdasar pada modulus ratio n , yang disubstitusikan sebagai lebar sebenarnya b_e dalam

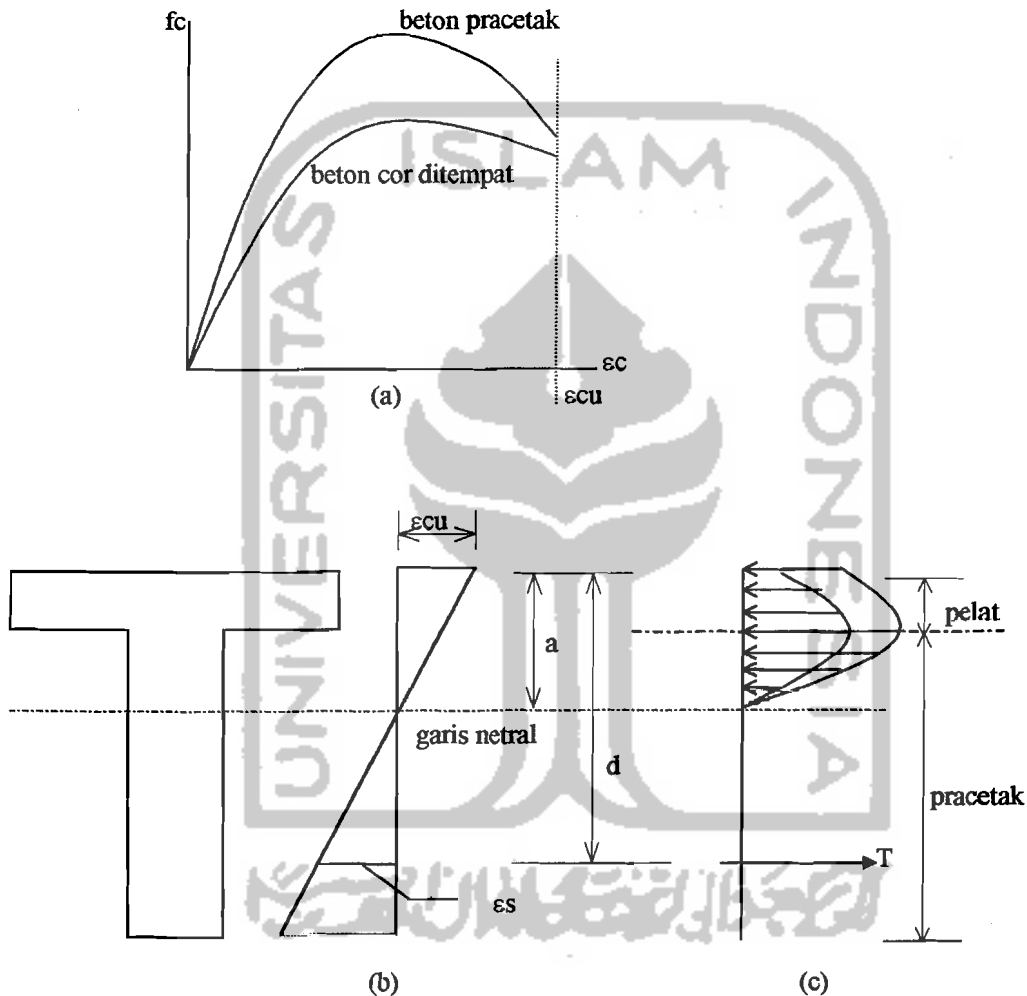
perhitungan tampang. Setelah perubahan itu, sayap mempunyai kekuatan yang sama dengan balok. Dari ketentuan atau persamaan yang disajikan pada bab ini untuk tegangan lentur pada pracetak dan beton cor akibat pengaruh susut diferensial dan efek rangkai antara dua komponen yang ada diabaikan. Pada umumnya setelah pelat mengeras dan merekat dengan beton pracetak, susut dan regangan rangkai pada serat bawah pelat akan melebihi susut dan rangkai serat atas balok pracetak.

3.3 Kapasitas Lentur Struktur Balok Komposit Tampang T

Pada metoda elastis karena perbedaan modulus elastisitas antara pelat beton cor dan beton 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 singgung. Gambar 3.4 diagram tegangan regangan pracetak dan beton cor di tempat. Gambar 3.4a menunjukkan gambar tegangan dan regangan pada tampang komposit. Distribusi

regangan beton sesaat waktu akan runtuh digambarkan pada gambar. Pada gambar 3.4c merupakan distribusi tegangan.



Gambar 3.4. Distribusi tegangan dan regangan pada saat runtuh. (a) Perbandingan tegangan dan regangan. (b) Regangan saat runtuh. (c) Tegangan saat runtuh.

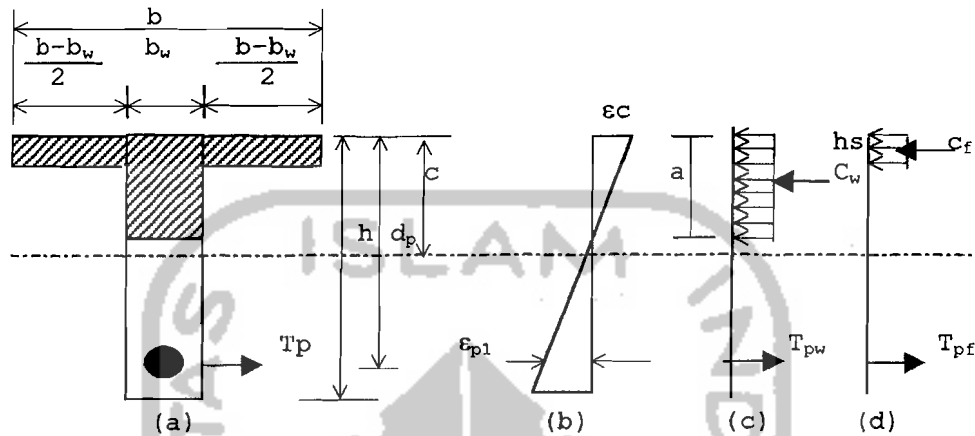
Dengan anggapan bahwa distribusi tegangan seperti pada desain akan mengakibatkan banyak kemungkinan runtuh, adalah tidak perlu untuk melakukan pada beberapa kasus, sebab pada tampang T, garis netral

ultimit berada pada bagian atas permukaan senggung. Sebagai tambahan momen tahan dipengaruhi oleh baja dan bukan oleh beton. Pada kebanyakan kasus yang terjadi, kekuatan didasarkan pada bagian yang terlemah dari penampang komposit, beton (pelat) cor langsung ditempatkan.

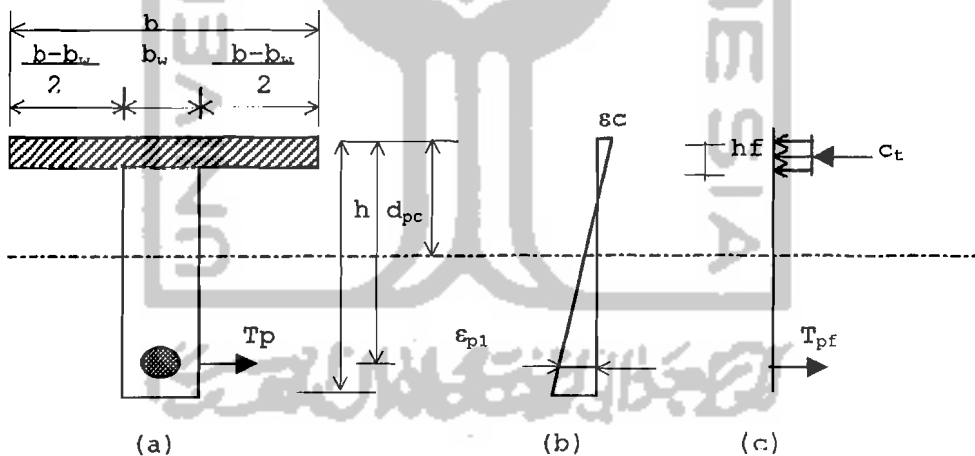
Salah satu perbedaan dasar antara beton bertulang dan beton prategang adalah lengan momen pada gaya dalam. Pada beton prategang akibat adanya penambahan beban tidak mempengaruhi tegangan f_{pe} pada baja prategang (f_{pe} tetap). Karena pengaruh beban mati dari pelat cor beton dan beban hidup, momen lentur yang terjadi akan semakin besar. Tegangan beton pada serat tulangan bagian bawah pada balok sederhana diharapkan mencapai nol saat beban mencapai beban maksimal. Pada tahap ini disebut sebagai daerah batas dekompresi, adanya beban tambahan dan kelebihan beban akan mengakibatkan terjadinya retak pada serat bawah balok.

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 dari badan untuk daerah desak.



Gambar 3.5: 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 3.6: Diagram tegangan, regangan dan gaya pada sayap.

Pada gambar 3.5 diperlihatkan bahwa gaya prategang total (T_p) adalah :

$$T_p = T_{pw} + T_{pf} \quad (3.8)$$

T_{pw} adalah bagian dari gaya tarik rencana yang diterima oleh badan = $A_{pw}f_{ps}$.

$$f_{ps} = f_{pu} \left(1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left(\rho_p \frac{f_{pu}}{f'_c} \right) \right) \quad (3.9)$$

Sedangkan T_{pf} adalah bagian dari gaya tarik rencana yang diterima atau ditahan oleh bagian sayap yang sama dengan C_f .

$$T_{pf} = C_f = 0,85 f'_c (b - b_w) h_s. \quad (3.10)$$

Substitusi persamaan (3.10) pada persamaan (3.8), didapat tegangan total yang terima tampang adalah :

$$A_{ps} f_{ps} = A_{pw} f_{ps} + 0,85 f'_c (b - b_w) h_s. \quad (3.11)$$

Pada gambar 3.5 juga diperlihatkan bahwa gaya desak yang terjadi pada bagian sayap dan sebagian badan akan diimbangi oleh baja (tarik).

$$T_{pw} + T_{pf} = C_w + C_f. \quad (3.12)$$

Substitusi persamaan (3.10) pada persamaan (3.12) didapat:

$$T_{pw} = C_w \quad (3.13)$$

$$A_{ps} f_{ps} = 0,85 f'_c \cdot b_w \cdot a \quad (3.14)$$

$$\text{Sehingga } a = \frac{A_{ps} f_{ps}}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_w} \quad (3.15)$$

atau

$$a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} - 0,85 f'_c \cdot (b - b_w) \cdot h_s}{0,85 f'_c \cdot b_w} \quad (3.16)$$

Sehingga momen nominal rencana adalah sebagai berikut :

$$M_{n2} = A_{pw} \cdot f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + 0,85 \cdot f'_c (b_m - b_w) h_s \left(d_p - \frac{h_s}{2} \right) \quad (3.17)$$

Sedangkan pada gambar 3.6 diperlihatkan bahwa gaya prategang total adalah $T_p = T_{pf}$. T_{pf} adalah bagian dari gaya tarik yang diterima oleh bagian sayap yang sama dengan C_f .

$$T_{pf} = C_f = 0,85 f'_c b_m h_s \quad (3.18)$$

Pada gambar diperlihatkan gaya desak yang terjadi pada bagian sayap dimbangi oleh baja (gaya tarik).

$$T_{pf} = C_f \quad (3.19)$$

$$A_{ps} \cdot f_{ps} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_w \cdot h_s \quad (3.20)$$

$$\text{maka, } a = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps}}{0,85 \cdot f'_c \cdot b_m} \quad (3.21)$$

Sehingga momen nominal rencana adalah sebagai berikut ini.

$$M_{n2} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_m \cdot a \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \quad (3.22)$$

3.4. 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.

3.4.1. Gaya Geser Badan

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

$$V_u \leq \phi V_n \quad (3.23)$$

Dimana $V_n = V_c + V_s$

$$\text{Sehingga } V_u = \phi V_c + \phi V_s \quad (3.24)$$

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

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

$$V_c = \left(0,6\sqrt{f'_c} + 700 \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d \quad (3.25)$$

$$\text{atau } (2\sqrt{f'_c} b_w \cdot d) \leq V_c < (5\sqrt{f'_c} b_w \cdot d)$$

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

$$V_{ci} = \left(0,6\sqrt{f'c}b_w + V_d + \frac{V_i M_{cr}}{M_{max}} \right) \quad (3.26)$$

atau

$$V_{cw} = \left(\left(3,5\sqrt{f'c} + 0,3f_{pc} \right) b_w d + V_p \right) \quad (3.27)$$

3.4.2 Gaya Geser Horizontal pada Permukaan Singgung dan Perencanaan Dowel

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

$$v_{uh} = \frac{V}{b_v d_{pc}} \quad (3.28)$$

Pada batas runtuh, persamaan (3.28) dapat dimodifikasi dengan mengubah V dengan faktor beban V_u .

$$v_{uh} = \frac{V_u}{b_v d_{pc}} \quad (3.29)$$

atau dengan menggunakan gaya geser vertikal nominal, V_n .

$$v_{nh} = \frac{V_u / \phi}{b_v d_{pc}} = \frac{V_n}{b_v d_{pc}} \quad (3.30)$$

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

$$V_{nh} = v_{nh} \cdot b_v \cdot d_{pc} \quad (3.31)$$

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

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

Jika tanpa menggunakan begel vertikal dan permukaan elemen pracetak kasar.

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

Jika menggunakan begel vertikal, dengan $A_v=50(bw \cdot s)/f_y$, 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. $V_{nh} = \mu A_{vf} \cdot f_y$

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.

