

momen lentur maksimum yang dapat diberikan pada penampang tersebut tanpa mengakibatkan tegangan tarik pada sofit balok?

$$\begin{aligned}
 A &= (250 \times 600) = 15 \times 10^4 \text{ mm}^2 \\
 Z &= \left(\frac{250 \times 600^2}{6} \right) = 15 \times 10^6 \text{ mm}^3 \\
 A_s &= \left(\frac{\Pi \times 4 \times 14^2}{4} \right) = 616 \text{ mm}^2 \\
 e &= 100 \text{ mm} \\
 P &= (616 \times 700) = 431200 \text{ N} \\
 (P/A) &= 2,87 \text{ N/mm}^2, (Pe/Z) = 2,87 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Prategang pada tepi bawah balok = $(2,87 + 2,87) = 5,74 \text{ N/mm}^2$. Kalau M = momen maksimum pada penampang untuk mencapai tegangan tarik nol pada tepi bawah.

$$\begin{aligned}
 M/Z &= 5,74 \\
 M &= (5,74 \times 15 \times 10^6) \\
 &= 86,1 \times 10^6 \text{ N mm} \\
 &= 86,1 \text{ kN m}
 \end{aligned}$$

CONTOH 4.5

Sebuah balok beton prategang dengan penampang lebar 200 mm dan tinggi 300 mm dipakai di atas bentangan efektif 6 m untuk memikul beban yang diberikan sebesar 4 kN/m. Kerapatan beton sama dengan 24 kN/m^3 .

Pada potongan di tengah bentang balok, carilah besarnya:

- gaya prategang konsentris yang diperlukan untuk mencapai tegangan nol pada sofit apabila balok tersebut dibebani secara penuh; dan
- gaya prategang eksentris yang terletak 100 mm dari dasar balok, yang akan menjadikan nol tegangan-tegangan pada serat paling bawah sebagai akibat pembebanan.

$$\begin{aligned}
 A &= (200 \times 300) = 6 \times 10^4 \text{ mm}^2 \\
 Z_b = Z_t &= \left(\frac{200 \times 300^2}{6} \right) = 3 \times 10^6 \text{ mm}^3 \\
 g &= (0,2 \times 0,3 \times 24) = 1,44 \text{ kN/m} \\
 M_g &= (0,125 \times 1,44 \times 6^2) = 6,48 \text{ kN m} \\
 M_q &= (0,125 \times 4 \times 6^2) = 18 \text{ kN m}
 \end{aligned}$$

Tegangan tarik pada serat paling bawah yang disebabkan oleh beban mati dan beban hidup = $\left[\frac{(6,48 + 18) 10^6}{3 \times 10^6} \right] = 8,16 \text{ N/mm}^2$

- Kalau P = gaya prategang konsentris, maka untuk mencapai tegangan nol pada sofit balok di bawah pembebanan

$$\begin{aligned}
 P/A &= 8,16 \\
 \therefore P &= (8,16 \times 6 \times 10^4) = 489,6 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- Kalau P = gaya prategang eksentris ($e = 50 \text{ mm}$), untuk mencapai tegangan nol pada sofit balok di bawah pembebanan

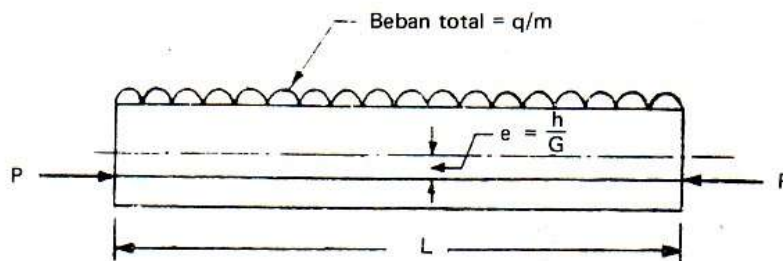
$$\begin{aligned}
 (P/A) + (Pe/Z_b) &= 8,16 \\
 \therefore P \left(\frac{1}{6 \times 10^4} + \frac{50}{3 \times 10^6} \right) &= 8,16 \\
 \therefore P &= 244,8 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Besarnya gaya-gaya prategang yang telah dihitung jelas menunjukkan keuntungan prategang eksentris pada batang lentur yang menerima beban transversal.

4.4 GARIS TEKANAN ATAU GARIS DESAKAN

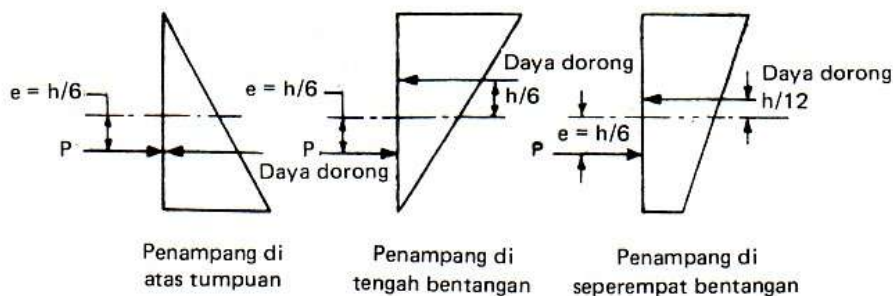
Pada sesuatu penampang tertentu suatu balok beton prategang, pengaruh kombinasi dari gaya prategang dan beban luar yang diterapkan akan menghasilkan suatu distribusi tegangan beton yang dapat digabungkan menjadi suatu gaya tunggal. Tempat kedudukan titik-titik tangkap gaya resultan ini pada sesuatu struktur disebut "garis tekanan atau garis desakan". Konsep garis tekanan sangat berguna untuk memahami mekanisme pemikulan beban suatu penampang beton prategang.

Dalam hal batang beton prategang, lokasi garis tekanan tergantung pada besar serta arah momen-momen yang diberikan pada prategang melintangnya dan besar serta distribusi tegangan yang disebabkan oleh gaya prategang. Perhatikan suatu balok beton yang ditunjukkan dalam Gambar 4.7, yang diberikan prategang oleh gaya P yang bekerja dengan eksentrisitas e . Balok tersebut memikul beban terbagi rata (termasuk berat sendiri) dengan intensitas q per satuan panjang.



Gambar 4.7 Balok dengan Tendon Eksentris.

Besar beban tersebut adalah sedemikian rupa sehingga tegangan pada serat paling bawah pada penampang tengah-tengah bentangan balok sama dengan nol. Gambar 4.8 menunjukkan distribusi tegangan resultan pada penampang di atas tumpuan, penampang di tengah dan seperempat bentangan balok.



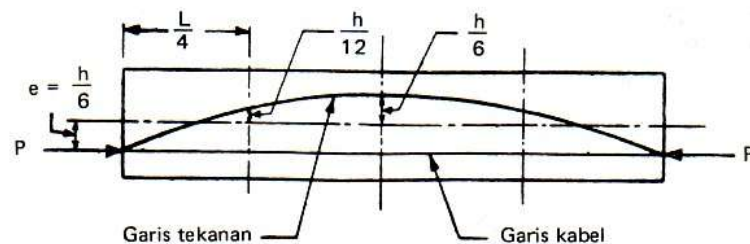
Gambar 4.8 Distribusi Tegangan pada Berbagai Penampang sepanjang Bentangan.

Pada penampang di atas tumpuan, karena tidak terdapat tegangan lentur yang dihasilkan oleh beban luar, garis tekanan berimpit dengan titik berat baja yang terletak dengan eksentrisitas $h/6$. Pada tengah-tengah penampang bentang, beban luar adalah sedemikian rupa sehingga tegangan resultan yang ditimbulkan menjadi maksimum pada serat paling atas dan nol pada serat paling bawah. Dapat dilihat dengan mudah bahwa untuk penam-

pang ini, garis tekanan telah bergeser ke arah serat bagian atas sebanyak $h/3$ dari kedudukannya semula.

Momen luar pada penampang seperempat bentang adalah lebih kecil, sehingga pergeseran garis tekanan dengan demikian juga lebih kecil, yaitu sama dengan $h/4$ dari kedudukannya semula. Dengan cara yang sama, dapat ditunjukkan bahwa suatu beban terbagi rata yang lebih besar akan menghasilkan pergeseran garis tekanan yang lebih tinggi lagi pada penampang di tengah-tengah dan seperempat bentang. Lokasi garis tekanan pada balok ditunjukkan dalam Gambar 4.9. Pengamatan-pengamatan ini mengarah kepada prinsip yang penting berikut ini:

”Suatu perubahan dalam momen luar dalam daerah elastis suatu balok beton prategang lebih mengakibatkan pergeseran garis tekanan daripada peningkatan gaya resultan pada balok”.



Gambar 4.9 Lokasi Garis Tekanan pada Balok Prategang.

Hal ini bertentangan dengan penampang balok beton bertulang di mana suatu penambahan momen luar akan mengakibatkan suatu penambahan yang sesuai pada gaya tarik dan gaya tekan. Peningkatan gaya resultan ini disebabkan oleh jarak lengan antara gaya-gaya yang lebih kurang konstan, yang dicirikan oleh sifat penampang komposit. Pada dasarnya, mekanisme pemikulan beban terdiri dari gaya konstan dengan jarak yang berubah dengan jarak lengan konstan yang berlaku pada penampang beton bertulang. Namun, apabila suatu batang beton prategang retak, ia berperilaku sama dengan penampang beton bertulang.

CONTOH 4.6

Sebuah balok beton prategang dengan penampang persegi panjang lebar 120 mm dan tinggi 300 mm memikul beban terbagi rata 4 kN/m, termasuk berat sendiri balok. Bentang efektif balok adalah 9 m. Balok tersebut diberi prategang konsentris dengan suatu kabel yang memikul gaya sebesar 180 kN. Tentukan kedudukan garis tekanan pada balok tersebut.

Gaya prategang, $P = 180 \text{ kN}$

Eksentrisitas, $e = 0$

$$A = 36 \times 10^3 \text{ mm}^2, Z_t = Z_b = 18 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

Momen lentur pada tengah-tengah bentang = $(0,125 \times 4 \times 6^2) = 18 \text{ kNm}$

$$\text{Tegangan langsung } P/A = \left(\frac{180 \times 10^3}{36 \times 10^3} \right) = 5 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tegangan lentur } M/Z = \left(\frac{18 \times 10^6}{18 \times 10^5} \right) = 10 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan-tegangan resultan pada penampang di tengah bentang:

Tepi atas = $(5 + 10) = 15 \text{ N/mm}^2$ (Tekan)

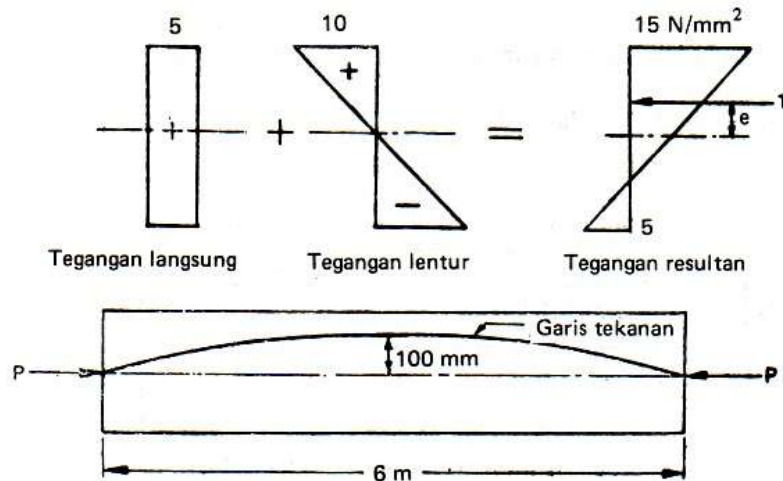
Tepi bawah = $(5 - 10) = -5 \text{ N/mm}^2$ (Tarik)

Kalau N = gaya desak resultan pada penampang, dan e = eksentrisitas yang bersesuaian (pergeseran garis tekanan), maka

$$N/A + Ne/Z = 15$$

Tetapi $N = 180 \times 10^3 \text{ N}$
 $A = 36 \times 10^3 \text{ mm}^2$
 (diselesaikan $e = 100 \text{ mm}$)
 $Z = 18 \times 10^5 \text{ mm}^3$

Diagram distribusi tegangan resultan dan lokasi garis tekanan ditunjukkan dalam Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Distribusi Tegangan dan Lokasi Garis Tekanan pada Balok Prategang.

CONTOH 4.7

Sebuah balok beton prategang dengan ukuran penampang lebar 120 mm dan tinggi 300 mm dipakai di atas bentang efektif 6 m untuk memikul beban terbagi rata 4 kN/m, termasuk berat sendiri balok. Balok tersebut diberi prategang dengan kabel lurus yang membawa gaya sebesar 180 kN, yang terletak pada eksentrisitas 50 mm. Tentukan lokasi garis desakan pada balok dan gambarkan kedudukannya pada penampang di seperempat dan tengah-tengah bentang.

$$P = 180 \text{ kN}$$

$$e = 50 \text{ mm}$$

$$A = 36 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$Z = 18 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

Tegangan akibat gaya prategang

$$P/A = \frac{180 \times 10^3}{36 \times 10^3} = + 5 \text{ N/mm}^2$$

$$Pe/Z = \frac{180 \times 10^3 \times 50}{18 \times 10^5} = + 5 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Momen lentur pada tengah-tengah bentang} = 0,125 \times 4 \times 6^2 = 18 \text{ kNm}$$

$$\text{Tegangan-tegangan lentur pada tepi atas dan bawah} = \frac{18 \times 10^6}{18 \times 10^5} = \pm 10 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan-tegangan resultan pada penampang tengah:

$$\text{Pada tepi atas} = (5 - 5 + 10) = 10 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Pada tepi bawah} = (5 + 5 - 10) = 0 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Pergeseran garis tekanan dari garis kabel} &= M/P \\ &= \frac{18 \times 10^6}{18 \times 10^4} = 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen lentur pada potongan seperempat bentang} &= 3/32 qL^2 = 3/32 \times 4 \times 6^2 \\ &= 13,5 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\text{Tegangan lentur pada tepi atas dan bawah} = \frac{13,5 \times 10^6}{18 \times 10^5} = 7,5 \text{ N/mm}^2$$

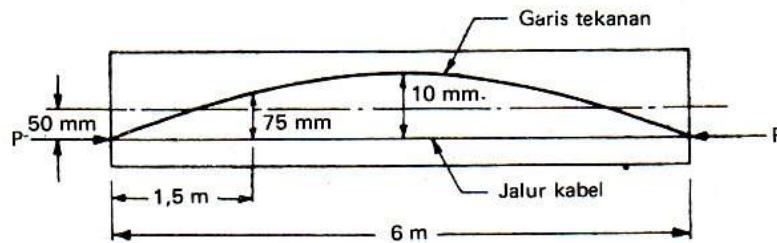
Tegangan-tegangan resultan pada penampang seperempat bentang:

$$\text{Pada tepi atas} = (5 - 5 + 7,5) = 7,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Pada tepi bawah} = (5 + 5 - 7,5) = 2,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Pergeseran garis tekanan dari garis kabel} = M/P = \frac{13,5 \times 10^6}{18 \times 10^4} = 75 \text{ mm}$$

Lokasi garis tekanan ditunjukkan dalam Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Lokasi Garis Tekanan pada Balok Prategang.

CONTOH 4.8

Sebuah balok beton persegi panjang dengan lebar 250 mm dan tinggi 300 mm diberi prategang dengan gaya sebesar 540 kN dengan eksentrisitas konstan 60 mm. Balok tersebut memikul beban terpusat sebesar 68 kN di pertengahan bentang yang panjangnya 3 m. Tentukan lokasi garis tekanan pada penampang di tengah, seperempat bentang, dan di atas tumpuan balok. Berat sendiri blok diabaikan.

$$\begin{aligned} P &= 540 \text{ kN}, & A &= 250 \times 300 = 75 \times 10^3 \text{ mm}^2 \\ e &= 60 \text{ mm}, & Z &= \frac{250 \times 300^2}{6} = 375 \times 10^4 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Pada tengah bentang } M_q = (0,25 \times 68 \times 3) = 51 \text{ kNm}$$

$$\text{Pada seperempat bentang } M_q = (0,125 \times 68 \times 3) = 25,5 \text{ kNm}$$

Tegangan-tegangan yang disebabkan oleh gaya prategang:

$$P/A = \frac{54 \times 10^4}{75 \times 10^3} = 7,2 \text{ N/mm}^2$$

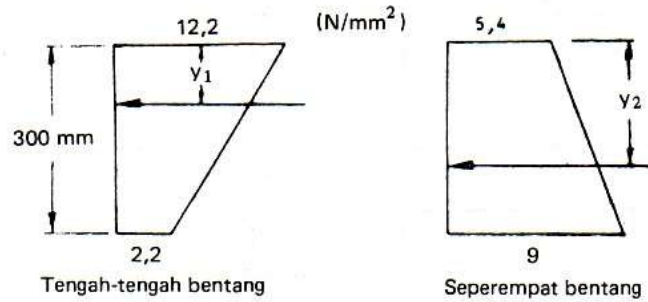
$$Pe/Z = \frac{54 \times 10^4 \times 60}{37 \times 10^4} = 8,6 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan-tegangan yang disebabkan oleh beban luar:

$$\text{Pada tengah bentang } M_q/Z = \frac{51 \times 10^6}{375 \times 10^4} = 13,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Pada seperempat bentang } M_q/Z = \frac{25,5 \times 10^6}{375 \times 10^4} = 6,8 \text{ N/mm}^2$$

Kedudukan gaya desak resultan terhadap serat tepi atas balok diperoleh dari Gambar 4.12.

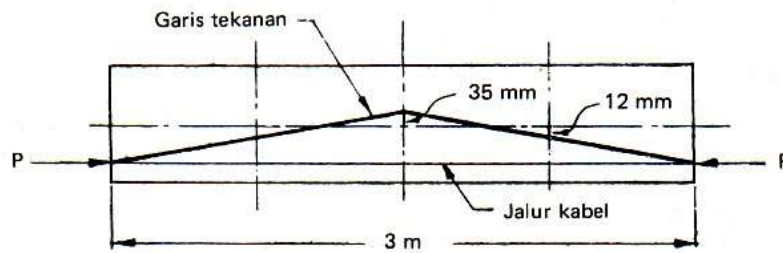


Gambar 4.12 Distribusi Tegangan pada Penampang Tengah-tengah dan Seperempat Bentang.

$$y_1 = \left[\frac{(300 \times 2,2) 150 + \left(\frac{1}{2} \times 300 \times 10\right) 100}{660 + 1500} \right] = 115 \text{ mm}$$

$$y_2 = \left[\frac{(5,4 \times 300) 150 + \left(\frac{1}{2} \times 300 \times 3,6\right) 200}{1620 + 540} \right] = 162 \text{ mm}$$

Lokasi garis tekanan serta garis kabel ditunjukkan dalam Gambar 4.13.



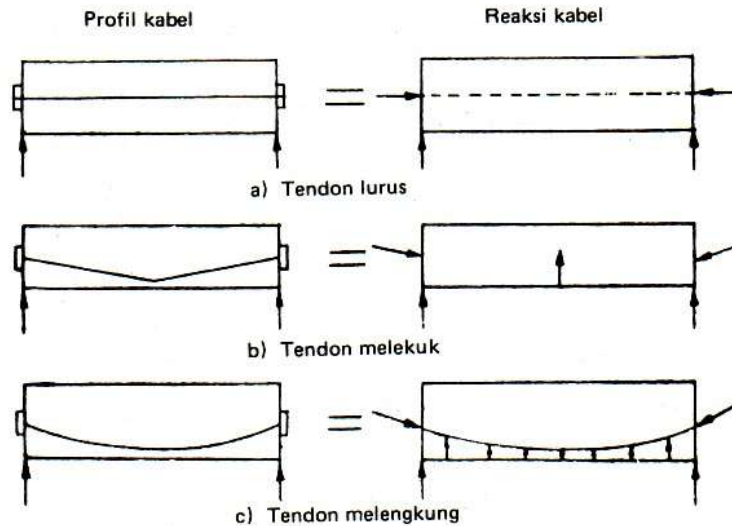
Gambar 4.13 Lokasi Garis Tekanan dalam Balok Prategang.

4.5 KONSEP PERIMBANGAN BEBAN (LOAD BALANCING)

Adalah mungkin untuk memilih profil kabel pada batang beton prategang sedemikian rupa sehingga komponen transversal gaya kabel mengimbangi jenis beban luar tertentu. Ini dapat dilukiskan secara langsung dengan meninjau benda-bebas beton dengan tendon yang diganti oleh gaya-gaya yang bekerja pada balok beton tersebut seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.14.

Berbagai tipe reaksi kabel terhadap suatu batang beton tergantung pada bentuk profil kabel. Bagian kabel yang lurus tidak menimbulkan reaksi apa pun kecuali pada ujung-ujungnya, sedangkan kabel yang melengkung menimbulkan beban terbagi rata. Sudut tajam pada suatu kabel menimbulkan beban terpusat. Konsep perimbangan beban berguna dalam pemilihan profil tendon yang dapat memberikan sistem gaya yang paling disukai pada beton.

Pada umumnya persyaratan ini akan dipenuhi kalau profil kabel pada suatu batang beton prategang sesuai dengan bentuk diagram momen lentur yang dihasilkan oleh beban



Gambar 4.14 Reaksi Kabel terhadap Balok.

luar. Jadi, kalau balok tersebut memikul dua beban terpusat, kabelnya harus mengikuti profil berbentuk trapesium. Kalau balok tadi memikul beban terbagi rata, tendon yang bersesuaian harus mengikuti profil parabolis. Prinsip perimbangan beban diperjelas lebih lanjut dengan contoh-contoh berikut.

CONTOH 4.9

Sebuah balok prategang persegi panjang dengan lebar 150 mm dan tinggi 300 mm digunakan di atas bentang efektif sepanjang 10 m. Kabel, yang mempunyai eksentrisitas nol di atas tumpuan-tumpuannya serta berubah-ubah sampai mencapai 50 mm di tengah-tengah, membawa suatu gaya prategang efektif sebesar 500 kN. Carilah besarnya beban terpusat Q yang berkedudukan di tengah-tengah bentang untuk kondisi-kondisi berikut ini pada penampang di tengah:

- bila beban melawan pengaruh lenturan dari gaya prategang (dengan mengabaikan berat sendiri balok),
- bila garis tekanan melalui kern atas penampang pada aksi beban luar, berat sendiri, dan prategang.

$$A = (150 \times 300) = 45 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$Z = \frac{(150 \times 300^2)}{6} = 225 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

Berat sendiri balok, $g = (0,15 \times 0,3 \times 24) = 1,08 \text{ kN/m}$
 $P = 500 \text{ kN}$ $e = 50 \text{ mm}$

Kalau kemiringan kabel terhadap sumbu horisontal adalah θ , dan Q = beban terpusat di tengah-tengah bentang, maka untuk perimbangan beban,

(a) $Q = 2P \sin \theta = \left(\frac{2 \times 500 \times 50}{5 \times 1000} \right) = 10 \text{ kN}$

(b) Momen akibat berat sendiri = $(0,125 \times 1,08 \times 10^2) = 13,5 \text{ kNm}$

Tegangan akibat berat sendiri = $\left(\frac{13,5 \times 10^6}{225 \times 10^4} \right) = +6 \text{ N/mm}^2$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan akibat prategang} &= (P/A + Pe/Z) \\ &= \left[\frac{500 \times 10^3}{45 \times 10^3} \right] + \left[\frac{500 \times 10^3 \times 50}{225 \times 10^4} \right] \end{aligned}$$

$$\text{Tegangan pada serat paling bawah} = 22,22 \text{ N/mm}^2$$

Kalau Q = beban terpusat di tengah-tengah bentang, maka momen di tengah-tengah bentang

$$= (Q \times 10)/4 = 2,5 Q$$

$$\text{Tegangan lentur} = \frac{(2,5 Q) \times 10^6}{225 \times 10^4}$$

Kalau garis tekanan melalui kern atas penampang tersebut, maka tegangan pada serat paling bawah = 0

$$\left[\frac{2,5 Q \times 10^6}{225 \times 10^4} \right] + 6 = 22,22$$

$$Q = 14,60 \text{ kN}$$

CONTOH 4.10

Sebuah balok beton persegi panjang dengan lebar 300 mm dan tinggi 800 mm memikul dua beban terpusat masing-masing sebesar 20 kN pada sepertiga bentang yang panjangnya 9 m.

(a) Rencanakan suatu profil kabel yang sesuai. Apabila eksentrisitas profil kabel tersebut untuk sepertiga bagian tengah balok sama dengan 100 mm, hitunglah gaya prategang yang diperlukan untuk mengimbangi pengaruh lenturan dari beban-beban terpusat dengan mengabaikan berat sendiri balok.

(b) Untuk profil kabel yang sama, carilah gaya efektif pada kabel bila tegangan resultan yang disebabkan oleh berat sendiri, beban-beban yang diberikan serta gaya prategang sama dengan nol pada serat paling bawah dari penampang tengah-tengah bentang. (Misalkan $D_c = 24 \text{ kN/m}^3$.)

(c) Suatu profil kabel berbentuk trapesium dipilih karena diagram momen lentur yang disebabkan oleh kedua beban terpusat berbentuk trapesium.

$$\text{Ditentukan } Q = 20 \text{ kN, } e = 100 \text{ mm, } L = 9 \text{ m, } Z = 32 \times 10^6 \text{ mm}^3,$$

$$P = \text{Gaya Prategang}$$

$$Pe = QL/3, \text{ Jadi } P = QL/3e = \frac{20 \times 9000}{3 \times 100} = 600 \text{ kN}$$

(b) Berat sendiri balok, $g = (0,3 \times 0,8 \times 24) = 5,76 \text{ kN/m}$

$$\text{Momen akibat berat sendiri, } M_g = (0,125 \times 5,76 \times 9^2) = 58,32 \text{ kNm}$$

$$\text{Tegangan lentur} = \frac{58,32 \times 10^6}{32 \times 10^6} = 1,82 \text{ N/mm}^2$$

Momen di tengah-tengah yang disebabkan oleh beban

$$= QL/3 = (20 \times 9)/3 = 60 \text{ kNm}$$

$$\text{Tegangan akibat beban} = \frac{90 \times 10^6}{32 \times 10^6} = 1,875 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tegangan tarik total pada serat paling bawah} = 1,82 + 1,875 = 3,695 \text{ N/mm}^2$$

Jika P = gaya prategang yang diperlukan pada kabel,

$$e = 100 \text{ mm}$$

$$A = (300 \times 800) = 24 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$(P/A + Pe/Z) = 3,695$$

$$P(1/24 \times 10^4 + 100/32 \times 10^6) = 3,695$$

$$\text{Jadi } P = 507 \times 10^3 \text{ N} = 507 \text{ kN}$$

CONTOH 4.11

Sebuah balok beton prategang memikul beban sebesar 4 kN/m sepanjang bentang efektif 10 m. Balok tersebut mempunyai penampang persegi panjang dengan lebar 200 mm dan tinggi 600 mm. Carilah gaya prategang efektif pada kabel bila bentuk profilnya parabolis dengan eksentrisitas 100 mm di tengah dan nol pada ujung-ujungnya, untuk kondisi-kondisi berikut:

- (a) pengaruh lenturan gaya prategang dihilangkan oleh beban yang diberikan untuk penampang di tengah bentang (dengan mengabaikan berat sendiri balok).
 (b) tegangan resultan akibat berat sendiri, beban yang diberikan, serta gaya prategang sama dengan nol pada sofit balok pada penampang tengah-tengah bentang (misalkan $D_c = 24 \text{ kN/m}^3$).

$$A = 12 \times 10^4 \text{ mm}^2 \qquad e = 100 \text{ mm}$$

$$Z = 12 \times 10^6 \text{ mm}^3 \qquad q = 4 \text{ kN/m}$$

Berat sendiri balok, $g = (0,2 \times 0,6 \times 24) = 2,88 \text{ kN/m}$

(a) Kalau $P =$ gaya prategang $Pe = (qL^2/8)$

$$\therefore P = \left(\frac{qL^2}{8e} \right) = \left(\frac{4 \times 10^2}{8 \times 0,1} \right) = 500 \text{ kN}$$

- (b) Beban total pada balok $= (2,88 + 4,00) = 6,88 \text{ kN/m}$
 Momen lentur pada tengah bentang, $M = (0,125 \times 6,88 \times 10^2) = 86 \text{ kNm}$
 Supaya tegangan pada serat paling bawah menjadi nol,

$$(P/A + Pe/Z) = M/Z$$

$$[(P/12 \times 10^4) + (P \times 100/12 \times 10^6)] = 86 \times 10^6/12 \times 10^6$$

$$\text{Jadi } P = 430 \times 10^3 \text{ N} = 430 \text{ kN}$$

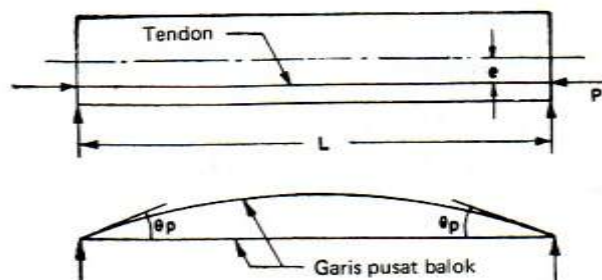
4.6 TEGANGAN PADA TENDON

4.6.1 Pengaruh Pembebanan terhadap Tegangan Tarik pada Tendon

Sebuah batang prategang mengalami deformasi yang disebabkan oleh aksi gaya prategang dan beban-beban transversal yang bekerja pada batang tersebut. Sebagai akibatnya, kelengkungan kabel berubah yang menyebabkan sedikit perubahan tegangan pada tendon. Dengan memperhatikan Gambar 4.15 di mana sebuah balok beton dengan bentang L diberi prategang oleh suatu kabel yang membawa gaya efektif P dengan eksentrisitas e , maka rotasi θ_p pada tumpuan yang disebabkan oleh pencembungan balok diperoleh dengan menerapkan teori Mohr sebagai,

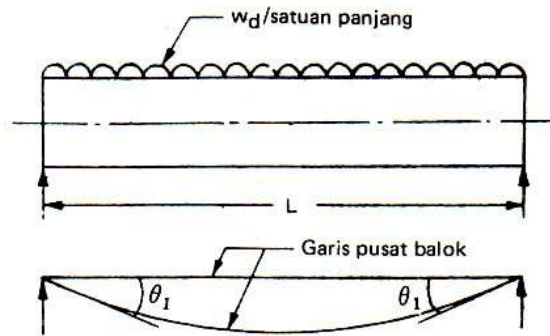
$$\theta_p = \frac{\text{Luas diagram momen lentur}}{\text{Ketegaran lentur}} = \left(\frac{PeL}{2EI} \right)$$

di mana $EI =$ ketegaran lentur (flexural rigidity) balok.



Gambar 4.15 Pengaruh Gaya Prategang terhadap Rotasi Balok Beton.

Kalau balok tersebut memikul beban terbagi rata total sebesar w_d per satuan panjang, maka rotasi θ_1 pada tumpuan akibat pelengkungan balok dievaluasi dari Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Pengaruh Beban Transversal terhadap Rotasi Balok Beton.

$$\theta_1 = \left(\frac{\frac{1}{2} \times \frac{2}{3} \times L \times w_d L^2 / 8}{EI} \right) = \left(\frac{w_d L^3}{24 EI} \right)$$

Bila rotasi akibat beban lebih besar daripada yang disebabkan oleh gaya prategang, maka rotasi bersih θ ditentukan oleh,

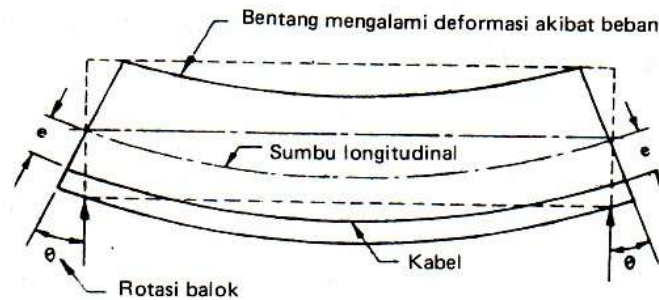
$$\theta = (\theta_1 - \theta_p)$$

Dengan memperhatikan Gambar 4.17,

Perpanjangan kabel total = $2e\theta$

Regangan pada kabel = $(2e\theta/L)$

Kenaikan tegangan akibat pembebanan = $\frac{(E_s \cdot 2e\theta)}{L}$



Gambar 4.17 Rotasi Balok akibat Aksi Beban.

Pada umumnya, di dalam daerah elastis, sesuatu penambahan pembebanan pada suatu batang prategang tidak mengakibatkan perubahan yang berarti dalam tegangan baja. Dengan kata lain, tegangan pada baja lebih kurang konstan di dalam daerah elastis suatu batang prategang. Pengamatan yang penting ini dilukiskan dengan contoh berikut.

CONTOH 4.12

Potongan melintang sebuah balok beton prategang yang digunakan sepanjang bentang 6 m mempunyai lebar 100 mm dan tinggi 300 mm. Tegangan awal pada tendon yang terletak

pada suatu eksentrisitas konstan sebagai 50 mm sama dengan 1000 N/mm^2 . Luas penampang tendon sama dengan 100 mm^2 . Carilah peningkatan persentase tegangan pada kawat apabila balok tersebut memikul beban hidup sebesar 4 kN/m . Kerapatan beton sama dengan 24 kN/m^3 .

$$\text{Modulus elastisitas beton} = 36 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Modulus elastisitas baja} = 210 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Momen inersia } I = \frac{100 \times 300^3}{12} = 225 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\text{Gaya prategang } P = 1000 \times 100 = 10^5 \text{ N} = 100 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Rotasi akibat prategang } \theta_p &= \frac{PeL}{2EI} = \left(\frac{100 \times 50 \times 6 \times 10^3}{2 \times 36 \times 225 \times 10^6} \right) \\ (\text{pelengkungan}) &= 0,00185 \text{ radian} \end{aligned}$$

$$\text{Berat sendiri balok, } g = 0,1 \times 0,3 \times 24 = 0,72 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban hidup } q = 4 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban total} = 4,72 \text{ kN/m}$$

$$w_d = 0,00472 \text{ kN/mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Rotasi akibat beban } \theta_1 &= \left(\frac{w_d L^3}{24EI} \right) = \left(\frac{0,00472 \times 6000^3}{24 \times 36 \times 225 \times 10^6} \right) \\ (\text{pelengkungan}) &= 0,00525 \text{ radian} \end{aligned}$$

$$\text{Rotasi bersih} = (0,00525 - 0,00185) = 0,0034 \text{ radian}$$

$$\text{Perpanjangan kabel} = 2 \times 50 \times 0,0034 = 0,34$$

$$\text{Kenaikan tegangan akibat pembebanan} = \left[\frac{0,34 \times 210 \times 10^3}{6000} \right] = 12 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tegangan awal pada kabel} = 1000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Persentase kenaikan tegangan} = \left(\frac{12 \times 100}{1000} \right) = 1,2\%$$

4.6.2 Variasi Tegangan Baja pada Batang Beton dengan Rekatan (Bonded) dan Tanpa Rekatan (Unbonded)

Tingkat kenaikan tegangan pada tendon batang beton prategang akibat beban tergantung pada derajat perekatan antara kawat baja bermutu tinggi dan beton, sekelilingnya. Dalam hal batang beton dengan rekatan (bonded) seperti elemen pratarik atau batang pascatarik yang di-grout, aksi gabungan antara baja dan beton berlaku dan tegangan-tegangan pada baja dihitung dengan memakai teori penampang komposit sampai dengan tahap retak. Dalam hal balok tanpa rekat (unbonded), tendon bebas memperpanjang diri sepenuhnya di bawah aksi beban transversal pada balok. Peningkatan tegangan pada baja tergantung pada regangan rata-rata pada beton pada elemen baja. Metode perhitungan peningkatan tegangan diuraikan dalam Bagian 4.6.2.1 dan 4.6.2.2 untuk kedua tipe batang.

4.6.2.1 Balok dengan Rekatan (Bonded Beams)

Kalau M = momen pada penampang akibat beban

E_s dan E_c = modulus elastisitas baja dan beton

α_e = rasio modulus

y = kedudukan baja terhadap sumbu pusat

f = tegangan pada beton pada ketinggian y dari sumbu pusat

I = momen inersia penampang beton