

BAB III

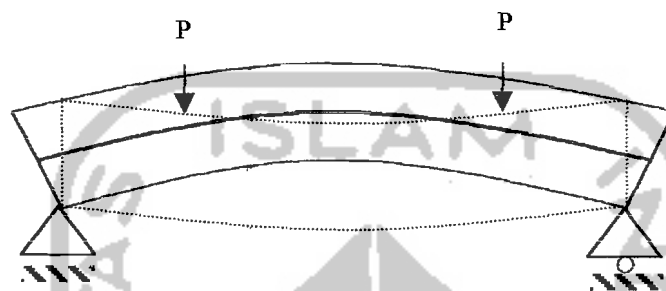
LANDASAN TEORI

3.1 Dasar Beton Prategang

Beton prategang mengkombinasikan beton berkekuatan tinggi dan baja berkekuatan tinggi dengan cara aktif. Hal ini dicapai dengan menarik baja dan menahannya ke beton, jadi membuat beton dalam keadaan tertekan. Kombinasi aktif ini menghasilkan perilaku yang lebih baik dari kedua bahan tersebut. Baja adalah bahan yang liat dan dibuat untuk bekerja dengan kekuatan tarik yang tinggi oleh prategang. Sedangkan beton adalah bahan yang getas apabila ditarik dan kemampuannya menahan tarikan diperbaiki dengan memberikan tekanan, sementara kemampuannya menahan tekanan tidak dikurangi. Jadi beton prategang merupakan kombinasi yang ideal dari dua buah bahan yang berkekuatan tinggi modern (Lin & Burn, 1988).

Seperti sudah diketahui, beton tidak dapat menahan tarik, tapi dapat menerima tekanan yang besar. Sedangkan tegangan tarik yang besar selalu terjadi pada struktur yang besar atau mempunyai bentang besar, atau beban yang berat.

Dengan pertimbangan itulah, maka didaerah yang diperkirakan akan timbul tegangan tarik, dipasang tendon yang diberi tegangan awal. Yang dimaksudkan tegangan awal disini adalah tegangan tarik (Winarni, 1988). Perilaku struktur beton prategang akibat beban P digambarkan sebagai berikut ;

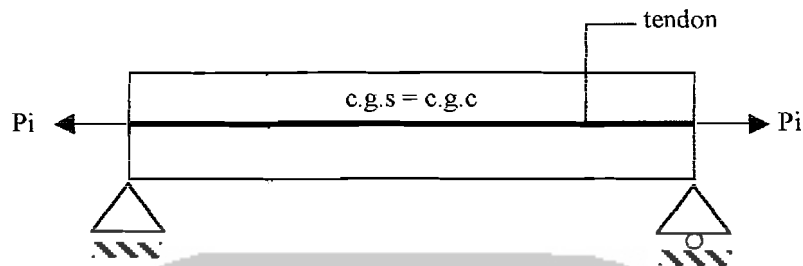


Gambar 3.1 Perilaku struktur beton prategang akibat beban P

Pola tegangan yang terjadi pada penampang struktur beton prategang direncanakan dengan cara meninjau tegangan akibat gaya dan beban yang bekerja pada tahap-tahap tertentu, yaitu pada saat awal atau *transfer* (pelimpahan tegangan awal) dan tahap akhir atau *layan* (pelayanan beban kerja). Untuk kepentingan analisis dan perhitungan diperlukan kesepakatan perjanjian tanda, untuk tegangan tarik dipakai tanda positif (+) dan untuk tegangan desak adalah negatif (-).

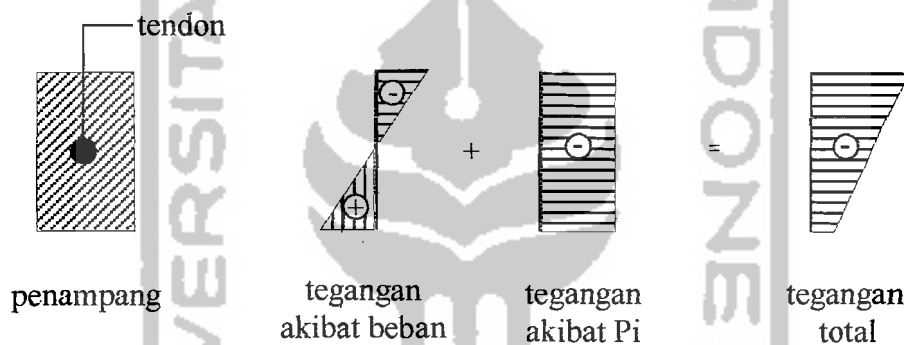
Dengan menganggap bahwa penampang bebas retak pada tingkat beban kerja, maka seluruh penampang diperhitungkan efektif memikul tegangan yang timbul, sehingga seluruh luas beton diperhitungkan dalam menentukan kedudukan pusat berat dan inersia penampang (Istimawan, 1994).

Jika struktur beton prategang dipasang tendon lurus yang berimpit dengan c.g.c (sentris) dan tendon ditarik dengan gaya P_i seperti digambarkan sebagai berikut ;



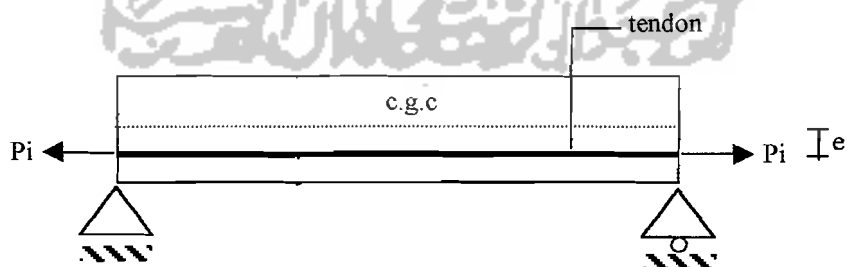
Gambar 3.2 Struktur beton prategang dengan tendon sentris

Diagram tegangan pada tengah bentang digambarkan sebagai berikut ;



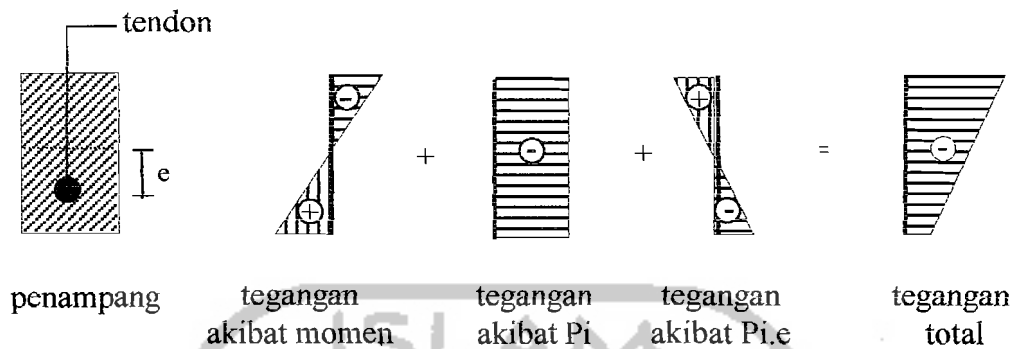
Gambar 3.3 Diagram tegangan pada penampang dengan tendon sentris

Jika struktur beton prategang dipasang tendon eksentris dan tendon ditarik dengan gaya P_i seperti digambarkan sebagai berikut ;



Gambar 3.4 Struktur beton prategang dengan tendon eksentris

Diagram tegangan pada tengah bentang digambarkan sebagai berikut ;



Gambar 3.5 Diagram tegangan pada penampang dengan tendon eksentris

Tegangan yang terjadi akibat gaya prategang adalah ;

$$f = \frac{P_i.e}{Z} \dots\dots\dots(3.1)$$

Tegangan yang terjadi akibat momen adalah ;

$$f = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots(3.2)$$

3.2 Pembebanan

Dalam tugas akhir ini, perencanaan beban jembatan yang ditinjau adalah berat sendiri gelagar, beban mati dan beban hidup. Adapun uraiannya adalah sebagai berikut ;

3.2.1 Berat sendiri

Berat sendiri adalah berat yang diakibatkan oleh gelagar jembatan yang ditinjau, tidak termasuk beban yang bekerja di atas gelagar jembatan tersebut. Sedangkan

besarnya adalah berat jenis beton prategang (gelagar) dikalikan dengan luasan penampang gelagar. Besarnya berat jenis beton prategang menurut Peraturan Muatan Jembatan untuk Jalan Raya (PMJJR No 12/1972) adalah $2,50 \text{ t/m}^3$.

3.2.2 Beban mati

Beban mati adalah semua beban yang bekerja di atas bagian gelagar jembatan yang ditinjau, termasuk segala unsur tambahan tetap yang dianggap merupakan satu kesatuan tetap dengannya.

Beban mati yang ditinjau adalah perkerasan jalan beraspal, beban trotoar dan beban tiang-tiang sandaran.

Dalam menentukan besarnya beban tersebut, dipergunakan nilai berat volume untuk bahan bangunan menurut PMJJR No 12/1972 sebagai berikut ;

Tabel 3.1 Nilai berat volume untuk bahan bangunan jembatan

Bahan bangunan jembatan	Berat volume (t/m^3)
Baja tuang	7,85
Besi tuang	7,25
Aluminium paduan	2,85
Beton bertulang/pratekan	2,50
Beton biasa, tumbuk, siklop	2,20
Pasangan bata	2,00

Tanah, pasir, kerikil (semua dalam keadaan padat)	2,00
Perkerasan jalan beraspal	2,00 – 2,50

3.2.3 Beban hidup

Beban hidup yang ditinjau diakibatkan oleh beban D (beban jalur) lalu lintas sesuai dengan PMJRR No 12/1972, yang terdiri dari ;

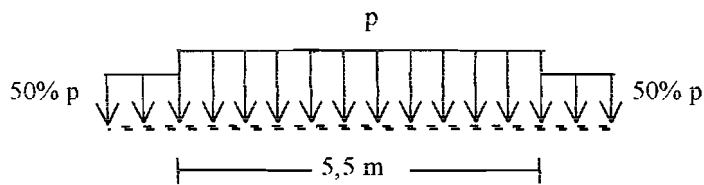
1. Beban hidup terbagi rata (p)

Besar beban p ditentukan pada tabel sebagai berikut ;

Tabel 3.2 Besarnya beban p sesuai dengan panjang bentang

Beban terbagi rata (p)	Panjang bentang (L)
2,2 t/m ²	$L < 30 \text{ m}$
$1,1/60 \cdot (L - 30) \text{ t/m}^2$	$30 \text{ m} < L < 60 \text{ m}$
$1,1 \cdot (1 + 30/L) \text{ t/m}^2$	$L > 60 \text{ m}$

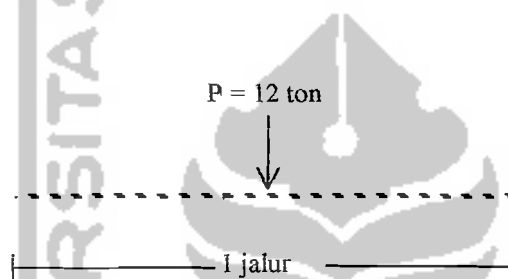
Penggunaan beban p untuk suatu jembatan berlaku ketentuan, apabila jembatan mempunyai lebar lantai kendaraan lebih dari 5,50 m, beban p sepenuhnya hanya berlaku pada lebar jalur sebesar 5,50 m, sedang lebar selebihnya dibebani 50% dari beban p, seperti dijelaskan pada gambar sebagai berikut ;



Gambar 3.6 Perletakan beban p

2. Beban hidup garis (P)

Besarnya beban hidup garis (P) adalah 12 ton melintang jalur lalu lintas, seperti dijelaskan pada gambar sebagai berikut ;



Gambar 3.7 Perletakan beban P

3.2.4 Koefisien kejut

Untuk memperhitungkan pengaruh getaran dan pengaruh dinamis lainnya, tegangan akibat beban jalur harus dikalikan dengan koefisien kejut.

Koefisien kejut ditentukan dengan rumus ;

$$K = 1 + \frac{20}{50 + L} \dots \dots \dots (3.3)$$

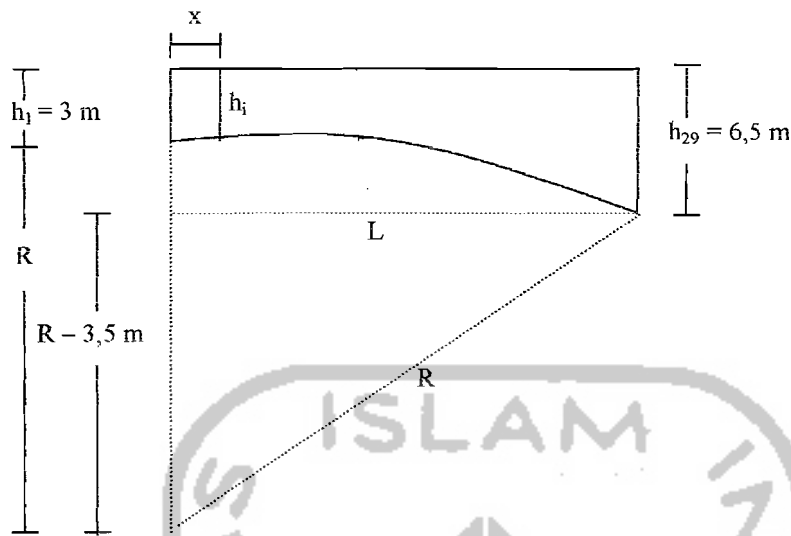
3.3 Momen Rencana

Desain gelagar beton menerus sistem prategang melibatkan perhitungan momen-momen maksimum dan minimum pada berbagai potongan melintang gelagar, dalam hal ini diperhitungkan segmen-segmen sepanjang 2,5 m. Dan perhitungannya menggunakan program SAP'90, dengan kondisi peninjauan antara lain perencanaan sebagai berikut ;

1. Kondisi pembebanan terdiri dari berat sendiri, beban mati dan beban hidup.
2. Peninjauan struktur 2 dimensi.
3. Tumpuan terdiri dari sendi semua.
4. Luas penampang ditinjau persegmen sepanjang 2,5 m.

3.4 Penampang

Analisa dimensi penampang yang dipakai terdiri dari dimensi beberapa segmen, yang tiap segmennya mempunyai panjang 2,5 meter dengan lebar (b) tetap dan tinggi (h) bervariasi, sedangkan untuk menghitung h pada tiap segmen yang ditinjau dihitung dengan menggunakan persamaan lingkaran. Hal ini didasarkan pada perbandingan antara selisih tinggi maksimal dan minimal dengan panjang bentang antar tumpuan. Perhitungan mencari tinggi adalah sebagai berikut ;



Gambar 3.8 Sket mencari tinggi gelagar

3.4.1 Mencari jari-jari lingkaran

$$R^2 = (R-3,5)^2 + L^2 \dots\dots\dots(3.4)$$

$$R^2 = R^2 - 7R - 12,25 + L^2 \dots\dots\dots(3.5)$$

3.4.2 Mencari tinggi gelagar

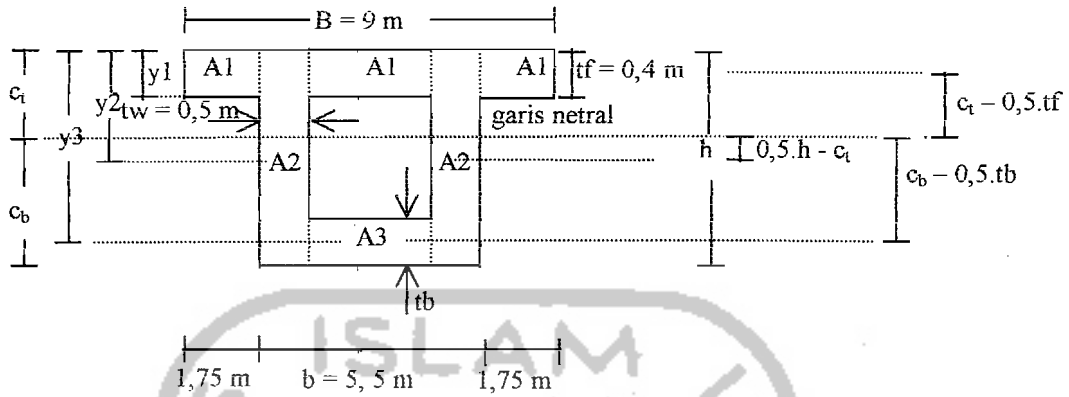
$$h_i = (R+3) - \sqrt{R^2 - x^2} \dots\dots\dots(3.6)$$

Untuk h_2 dan seterusnya dihitung dengan menggunakan program komputer.

3.4.3 Tinjauan penampang

Tinjauan penampang yang dilakukan untuk menyederhanakan persoalan luas penampang yang dipakai adalah luas penampang gross (Gunawan & Margaret 1989).

A. Mencari berat sendiri, garis netral dan inersia penampang



Gambar 3.9 Sket mencari berat sendiri, garis netral dan inersia penampang

Penampang dibagi dalam 3 luasan yaitu sebagai berikut ;

$$A1 = (B - 2.tw).tf \dots\dots\dots(3.7)$$

$$A2 = 2.(tw.h) \dots\dots\dots(3.8)$$

$$A3 = (b - 2tw).tb \dots\dots\dots(3.9)$$

$$A \text{ total} = A1 + A2 + A3 \dots\dots\dots(3.10)$$

Berat sendiri penampang dapat diperhitungkan sebagai berikut ;

$$BS = A \text{ total} \times B_j \text{ beton} \dots\dots\dots(3.11)$$

Garis netral penampang dapat diperhitungkan sebagai berikut ;

$$G \text{ netral} = \frac{A1.y1 + A2.y2 + A3.y3}{A \text{ total}} \dots\dots\dots(3.12)$$

Inersia penampang dapat diperhitungkan sebagai berikut ;

$$\text{Inersia 1} = 1/12.(B - 2.tw).tf^3 + A1.(c_t - 0,5.tf)^2 \dots\dots\dots(3.13)$$

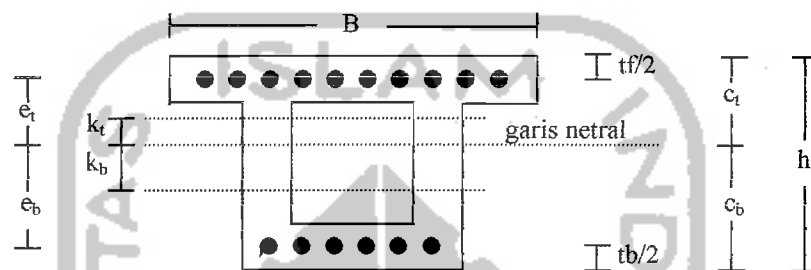
$$\text{Inersia 2} = 2.[1/12.tw.h^3 + tf.h.(0,5.h - c_t)^2] \dots\dots\dots(3.14)$$

$$\text{Inersia 3} = 1/12.(b - 2.tw).tb^3 + A3.(c_b - 0,5.tb)^2 \dots\dots\dots(3.15)$$

Maka inersia total penampang dapat diperhitungkan sebagai berikut ;

$$\text{Inersia total} = \text{Inersia 1} + \text{Inersia 2} + \text{Inersia 3} \dots\dots\dots(3.16)$$

B. Mencari eksentrisitas, kern dan modulus penampang



Gambar 3.10 Sket mencari eksentrisitas, kern dan modulus penampang

$$\text{Eksentrisitas atas (e}_t\text{)} = c_t - tf/2 \dots\dots\dots(3.17)$$

$$\text{Eksentrisitas bawah (e}_b\text{)} = c_b - tb/2 \dots\dots\dots(3.18)$$

$$\text{Kern atas (k}_t\text{)} = \frac{I}{Ac.c_b} \dots\dots\dots(3.19)$$

$$\text{Kern bawah (k}_b\text{)} = \frac{I}{Ac.c_t} \dots\dots\dots(3.20)$$

$$\text{Modulus penampang atas (Z}_t\text{)} = \frac{I}{c_t} \dots\dots\dots(3.21)$$

$$\text{Modulus penampang bawah (Z}_b\text{)} = \frac{I}{c_b} \dots\dots\dots(3.22)$$

3.5 Beton Prategang

Beton prategang memerlukan beton yang mempunyai kekuatan tekan yang lebih tinggi pada usia yang cukup muda, dan kekuatan tarik yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton biasa (Krisna, 1989).

Tegangan-tegangan tekan dan tarik yang diperkenankan pada beton setiap tahap beban transfer dan beban layan dinyatakan dalam kekuatan tekan beton yang sesuai pada masing-masing tahap. Ketentuan-ketentuan tegangan ijin beton prategang menurut SK SNI T-1991 pasal 3.11.4, sebagai berikut ini ;

1. Tegangan beton sesaat sesudah pemindahan gaya prategang (sebelum kehilangan tegangan yang merupakan fungsi waktu) tidak boleh melebihi nilai berikut :
serat terluar mengalami tegangan tekan $\leq 0,60.f_{ci}$
2. Tegangan beton sesaat sesudah pemindahan gaya prategang (sebelum kehilangan tegangan yang merupakan fungsi waktu) tidak boleh melebihi nilai berikut :
serat terluar mengalami tegangan tarik $\leq 0,25.\sqrt{f'_{ci}}$
3. Tegangan beton pada tingkat beban kerja (sesudah memperhitungkan semua kehilangan prategang yang mungkin terjadi) tidak boleh melampaui nilai berikut :
serat terluar mengalami tekan $\leq 0,45.f_c$
4. Tegangan beton pada tingkat beban kerja (sesudah memperhitungkan semua kehilangan prategang yang mungkin terjadi) tidak boleh melampaui nilai berikut :
serat terluar mengalami tarik $\leq 0,5.\sqrt{f'_c}$

3.5.1 Gaya prategang efektif (P_e)

Gaya prategang efektif adalah gaya prategang yang diperhitungkan setelah adanya kehilangan gaya prategang, dan besarnya adalah sebagai berikut ;

$$P_e = \frac{M_r}{e + k} \dots\dots\dots(3.23)$$

3.5.2 Rasio kehilangan gaya prategang (R)

Rasio kehilangan gaya prategang (R) adalah rasio pengurangan gaya prategang yang diakibatkan antara lain oleh ;

1. Perpendekan elastis dan lentur elastis, terjadi akibat penarikan tendon.
2. Rangkak, terjadi akibat pembebanan yang terus menerus dalam waktu yang lama.
3. Susut, terjadi akibat dari proses kimia selama pengikatan beton karena berkurangnya air.
4. Relaksasi, terjadi akibat tendon yang ditegangkan terus-menerus sehingga pada suatu saat tegangannya menurun.

Besarnya kehilangan gaya prategang yang sebenarnya ada di dalam suatu batang beton prategang tidak dapat diukur dengan mudah. Sebagai pendekatan diambil persentase rata-rata kehilangan prategang menurut (Chu-Kia Wang & Salmon, 1989) yang tercantum di dalam tabel sebagai berikut ;

Tabel 3.5 Persentase rata-rata kehilangan gaya prategang

	Pratarik (%)	Pascatarik (%)
Perpendekan elastis dan lentur elastis	4	1
Rangkak	6	5
Susut	7	6
Relaksasi	8	8
Total	25	20

3.5.3 Gaya prategang awal (P_0)

Gaya prategang awal adalah gaya prategang yang diperhitungkan sebelum adanya kehilangan gaya prategang. Gaya prategang awal besarnya adalah sebagai berikut ;

$$P_0 = \frac{P_e}{R} \dots\dots\dots (3.24)$$

$$R = 1 - LOP \dots\dots\dots (3.25)$$

3.6 Baja Prategang

Baja yang dipakai pada prategangan biasanya adalah berupa kawat mutu tinggi dan dipakai tunggal atau dijalin menjadi untai kawat (Winarni, 1988). Bila ditinjau penampang dari baja prategang terdiri dari ;

1. Batang = polos, diameter 14 – 20 mm

2. Kawat = polos bulat, bulat berprofil dan lonjong berprofil, diameter 4 – 12 mm
3. *Strand* = terdiri dari pintalan kawat-kawat, diameter 3 – 7 – 19 mm

Pada perencanaan dalam tugas akhir ini jenis tendon yang digunakan Freyssinet sistem K, adapun untuk jenis-jenis tendon yang ada dipasar/pabrik dapat dilihat pada lampiran 5.

Ketentuan-ketentuan tegangan tarik ijin kabel prategang menurut SK SNI T-15 - 1991 pasal 3.11.5, sebagai berikut ini ;

1. Akibat gaya penjangkaran

$$f_{ps} \leq 0,94 f_{py} \dots\dots\dots (3.26)$$

$$f_{ps} \leq 0,85 f_{pu} \dots\dots\dots (3.27)$$

2. Sesaat setelah pemindahan gaya pratekan

$$f_{ps} \leq 0,82 f_{py} \dots\dots\dots (3.28)$$

$$f_{py} = 0,85 f_{pu} \dots\dots\dots (3.29)$$

$$f_{ps} \leq 0,74 f_{pu} \dots\dots\dots (3.30)$$

Luas baja prategang yang diperlukan sebagai berikut ;

$$A_{ps} = \frac{P_e}{f_{ps}} \dots\dots\dots (3.31)$$

Perhitungan pemilihan kabel disesuaikan dengan A_{ps} yang diperlukan disesuaikan dengan tabel perencanaan pada lampiran, sehingga syarat keamanan dapat terpenuhi. Untuk memperhitungkan jumlah kabel yang diperlukan menggunakan rumus sebagai berikut ;

$$n = \frac{A_{ps}}{A_{ps}(\text{kabel})} \dots\dots\dots(3.32)$$

3.7 Tegangan Penampang

Pada dasarnya, baik pada sistem pratarik dan pascatarik pola tegangan ditinjau pada dua saat yang berbeda yaitu saat awal (*transfer*) dan saat akhir (*layan*). Saat awal adalah saat pelimpahan gaya prategang (penarikan gaya prategang pada sistem pascatarik, pemotongan tendon pada sistem pratarik), sedangkan saat akhir adalah saat telah terjadi kehilangan gaya prategang.

3.7.1 Tegangan akibat momen

1. Saat pelaksanaan

Pada saat pelaksanaan gelagar dianggap struktur cantilever, sehingga tegangan yang terjadi saat transfer dan saat layan sebagai berikut ;

Pada serat atas ;

$$f_{\text{atas}} = + \frac{M_{tp}}{Z_t} \dots\dots\dots(3.33)$$

Pada serat bawah ;

$$f_{\text{bawah}} = - \frac{M_{tp}}{Z_b} \dots\dots\dots(3.34)$$

2. Saat servise

Pada saat servise gelagar ditumpu oleh 4 perletakan, sehingga tegangan yang terjadi sebagai berikut ;

Saat transfer

Pada serat atas ;

$$f \text{ atas} = - \frac{M_o}{Z_t} \dots\dots\dots(3.35)$$

Pada serat bawah ;

$$f \text{ bawah} = + \frac{M_o}{Z_b} \dots\dots\dots(3.36)$$

Saat layan

Pada serat atas ;

$$f \text{ atas} = - \frac{M_{ts}}{Z_t} \dots\dots\dots(3.37)$$

Pada serat bawah ;

$$f \text{ bawah} = + \frac{M_{ts}}{Z_b} \dots\dots\dots(3.38)$$

3.7.2 Tegangan akibat kabel

1. Kabel atas

Saat transfer

Pada serat atas ;

$$f_{\text{atas}} = - \frac{Mk_b(\text{transfer})}{Z_t} \dots\dots\dots(3.39)$$

Pada serat bawah ;

$$f_{\text{bawah}} = + \frac{Mk_t(\text{transfer})}{Z_b} \dots\dots\dots(3.40)$$

Saat layan

Pada serat atas ;

$$f_{\text{atas}} = - \frac{Mk_b(\text{layan})}{Z_t} \dots\dots\dots(3.41)$$

Pada serat bawah ;

$$f_{\text{bawah}} = + \frac{Mk_t(\text{layan})}{Z_b} \dots\dots\dots(3.42)$$

2. Kabel bawah

Saat transfer

Pada serat atas ;

$$f \text{ atas} = + \frac{Mk_b(\text{transfer})}{Z_t} \dots\dots\dots(3.43)$$

Pada serat bawah ;

$$f \text{ bawah} = - \frac{Mk_t(\text{transfer})}{Z_b} \dots\dots\dots(3.44)$$

Saat layan

Pada serat atas ;

$$f \text{ atas} = + \frac{Mk_b(\text{layan})}{Z_t} \dots\dots\dots(3.45)$$

Pada serat bawah ;

$$f \text{ bawah} = - \frac{Mk_t(\text{layan})}{Z_b} \dots\dots\dots(3.46)$$

3.7.3 Tegangan total yang terjadi

Pada serat atas ;

$$f_{\text{atas}} = f_{\text{atas}} (\text{akibat momen}) + f_{\text{atas}} (\text{akibat kabel atas}) + f_{\text{atas}} (\text{akibat kabel bawah}) \dots\dots\dots(3.47)$$

Pada serat bawah ;

$$f_{\text{bawah}} = f_{\text{bawah}} (\text{akibat momen}) + f_{\text{bawah}} (\text{akibat kabel atas}) + f_{\text{bawah}} (\text{akibat kabel bawah}) \dots\dots\dots(3.48)$$

