

BAB II

KONSEP DASAR STRUKTUR BETON PRATEGANG

1. Umum

Beton prategang adalah suatu alternatif perkuatan struktur beton, yang mengkompensasi kelemahan tarik beton dengan pemberian tegangan prakompresi. Pada bab ini disajikan konsep-konsep dasar struktur prategang. Pembahasan dimulai dari mekanisme transfer gaya prategang dilanjutkan dengan aspek kehilangan gaya prategang, dan konsep perencanaan kontrol tegangan.

2. Mekanisme transfer gaya prategang.

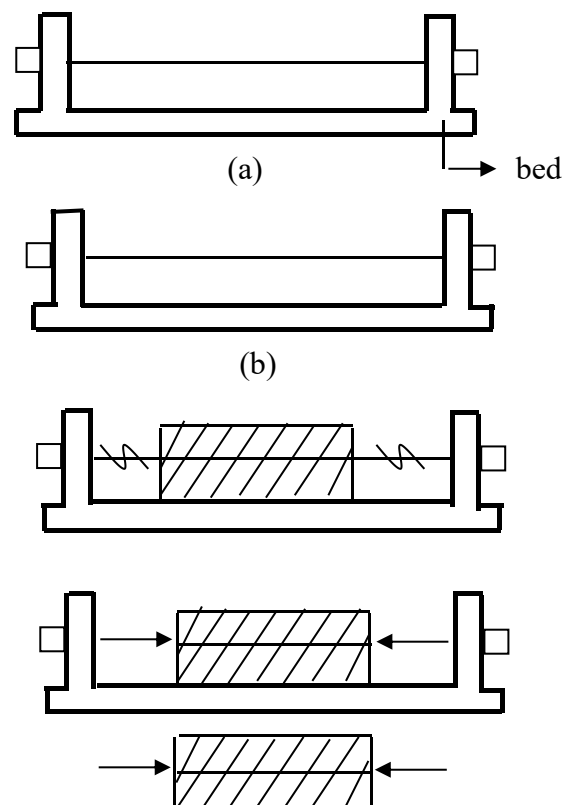
Mekanisme transfer gaya prategang adalah jantung dari pemahaman metoda ini. Ada perbedaan mendasar dari sistem pratarik dan pasca tarik dalam mekanisme transfer tegangan.

2.1. Sistem Pratarik

Mekanisme transfer pada sistem pratarik adalah :

1. Penarikan kabel ;
Kabel mengalami perpanjangan dan tegangan. Gaya tarik biasa diambil 70 % UTS.
2. Pengecoran beton.
3. Pemutusan kabel, dilakukan setelah 12 – 36 jam setelah pengecoran.

Proses transfer terjadi serentak pada pemutusan Kabel. Kabel yang tadinya tegang, ketika diputus secara normal ingin kembali ke bentuk semula.



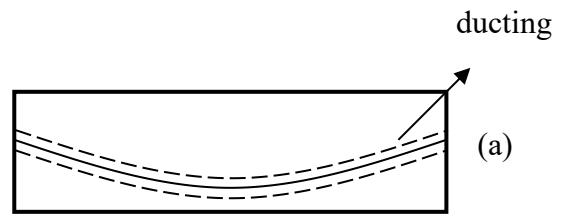
Gambar 1.
Mekanisme Transfer Sistem Pratarik

Beton yang sudah mengeras menahan proses ini, sehingga terjadi transfer tegangan ke beton.

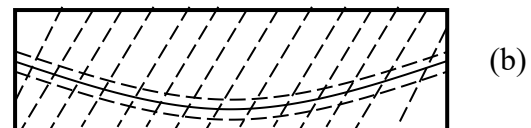
2.2. Sistem Pasca Tarik

Mekanisme transfer pada sistem pasca tarik adalah :

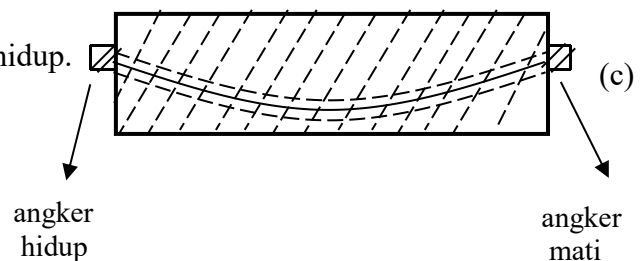
1. Pemasangan kabel



2. pengecoran beton



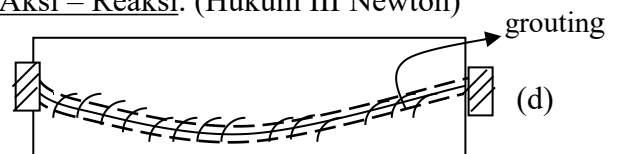
3. Pemasangan anker mati dan anker hidup.



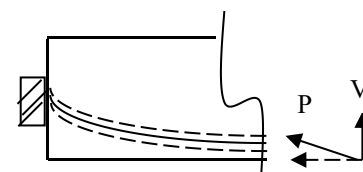
4. Penarikan kabel pada anker hidup,

sedangkan di ujung lain, kabel dimatikan pada anker mati. Lewat proses ini terjadi proses transfer bertahap sesuai Hukum Aksi – Reaksi. (Hukum III Newton) dari anker – kabel – beton.

5. Grouting pada ducting, lalu Pematian anker hidup.



Proses tersebut menunjukkan dengan jelas perbedaan mekanisme transfer gaya antara sistem pasca tarik dan sistem pratarik. Lintasan kabel metode pasca tarik



Gambar 2.
Mekanisme Transfer sistem Pasca tarik

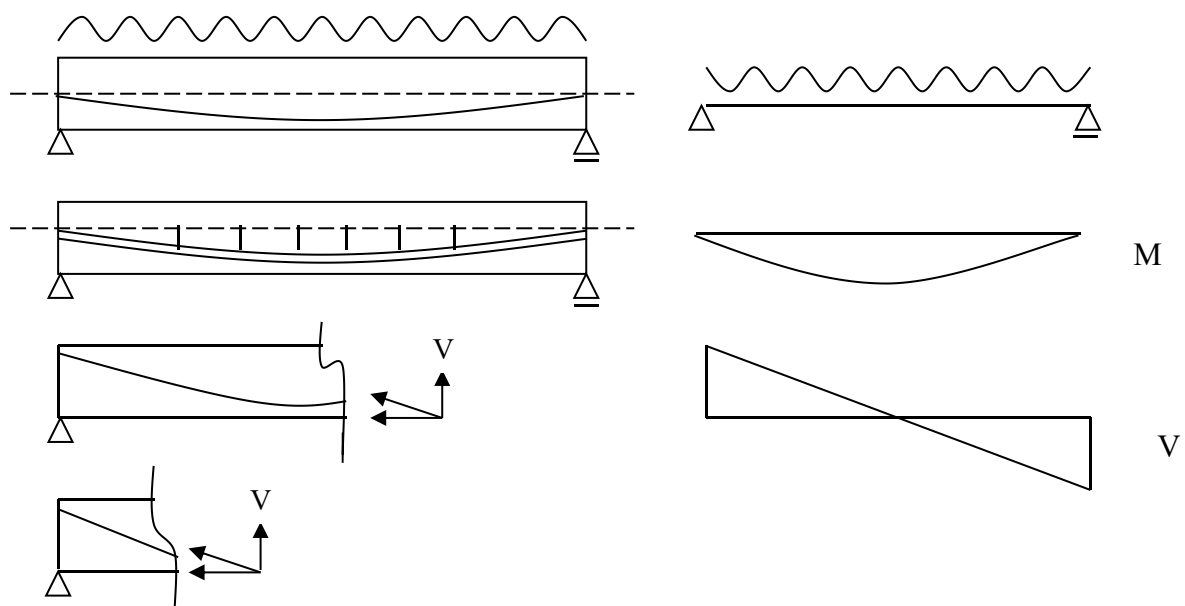
umumnya dibuat lengkung, sehingga pada tiap penampang bekerja gaya prategang yang searah dengan kemiringan lintasan kabel. Gaya yang miring ini dapat diuraikan menjadi komponen gaya normal dan geser.

Pada sistem pasca tarik, umumnya kabel prategang disatukan dalam satu bungkus kabel yang disebut tendon.

Keuntungan dari kabel yang lintasannya melengkung adalah :

- 1) Efektif untuk menutup bidang momen yang biasanya juga berbentuk lengkung (parabola).
- 2) Lintasan berupa parabola menghasilkan kemiringan yang semakin besar ke arah ujung komponen. Hal ini mengakibatkan komponen gaya geser dari gaya prategang makin besar ke arah ujung, komponen ini dapat digunakan untuk mengimbangi gaya geser beban , yang umumnya juga membesar ke arah ujung.

Deskripsi kedua hal ini dapat dilihat pada gambar 3. Lintasan lengkung ini tidak mungkin diadopsi sistem pratarik, sehingga dari segi struktur sistem pasca tarik lebih efisien.

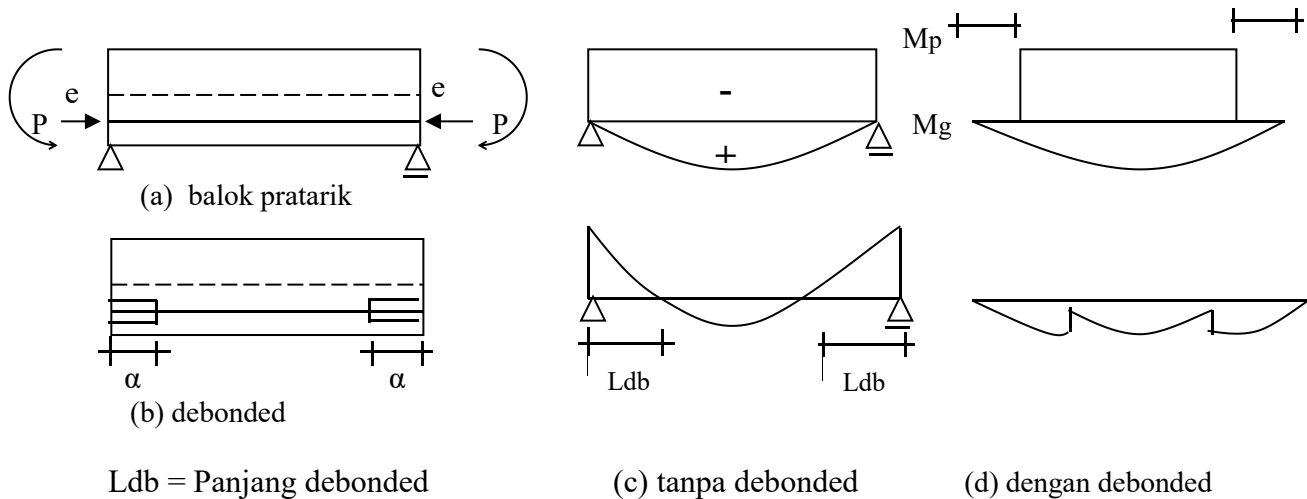


Gambar 3. Keuntungan lintasan lengkung pasca tarik

2.3. Konsep Debonded – Undebonded

Debonded adalah suatu cara pemutusan hubungan antara tulangan prategang dan beton pada sistem pratarik. Debonded biasanya diterapkan di bagian ujung untuk mereduksi gaya prategang yang dapat menimbulkan momen negatif yang lebih besar dari momen berat sendiri. Sistem pratarik sebagaimana diketahui, harus mempunyai lintasan kabel yang lurus sedangkan beban elemen lentur umumnya menghasilkan bidang momen lengkung, yang harga maksimumnya di tengah, dan nol di kedua ujung.

Hal ini mengakibatkan terjadinya momen negatif yang konstan sepanjang balok. Superposisi dari kedua komponen ini menghasilkan bidang momen total seperti terlihat pada gambar 4.



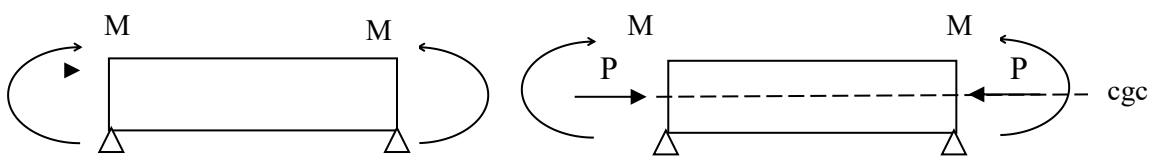
Gambar 4. Prinsip Kegunaan Debonded Pada Sistem Pratarik

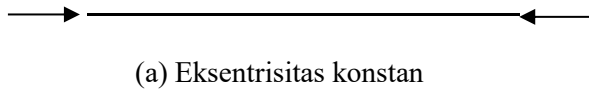
Daerah momen negatif muncul pada balok, dan dapat meretakkan beban pada serat atas (4c). Teknik debonded menghilangkan pengaruh momen negatif gaya prategang sehingga momen balok seluruhnya positif (4d).

Unbonded adalah suatu teknik dalam sistem pasca tarik, dimana celah antara ducting dan tendon tidak diberi grouting. Hal ini mengakibatkan tidak adanya kontak antara tendon dan beton. Teknik ini tidak menghilangkan pengaruh prategang pada balok (lihat mekanisme transfer sistem pasca tarik). Teknik ini akan mempengaruhi kehilangan gaya prategang, namun yang harus diperhatikan adalah kemungkinan terjadinya reaksi dengan oksigen yang menyebabkan terjadinya karat pada tendon.

3. Konsep perkuatan beton dengan sistem prategang.

Jika suatu komponen struktur diberi tegangan prakompresi seperti terlihat pada gambar (5), maka pada penampang telah bekerja suatu tegangan tekan yang merata sebelum dibebani. Beton kita kenal sebagai material yang kuat tariknya kecil, sehingga tegangan tekan ini merupakan “kuat tambahan” bagi beton.





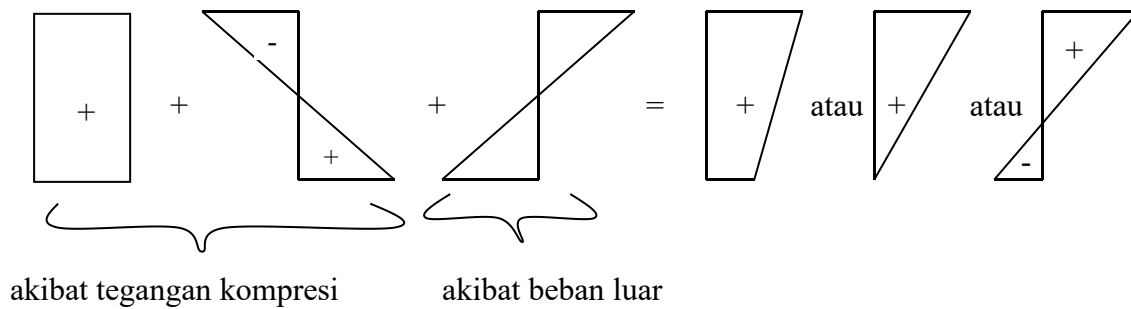
(a) Eksentrisitas konstan

(b) Eksentrisitas bervariasi

Gambar 6. Sistem prategang eksentris

Kondisi tegangan pada kasus ini adalah :

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \pm \frac{My}{I}$$



dimana tegangan eksentris adalah :

$$\sigma_{top} = \frac{P}{A} - \frac{P.e}{W_{top}} + \frac{M}{W_{top}}$$

$$\sigma_{bot} = \frac{P}{A} + \frac{P.e}{W_{bot}} - \frac{M}{W_{bot}}$$

Sistem prategang eksentris terlihat lebih efisien dibanding prategang sentris, sehingga banyak sekali diterapkan dalam praktek

4. Kehilangan gaya prategang

Kehilangan gaya prategang adalah suatu proses yang merupakan fungsi waktu, sebagai akibat perilaku material beton dan baja, serta metode pelaksanaan. Kehilangan ini cukup signifikan, sehingga diperhitungkan dalam proses perencanaan. Item dari kehilangan gaya prategang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Estimasi kehilangan prategang

No.	Loss Type	Pratarik %	Pasca tarik %
1	Elastic Shortening (ES) perpendekan elastis	4	1
2	Penyusutan beton Shrinkage (SH)	6	5
3	Creep (CR) Rangkak Beton	7	6
4	Steel Relaxation (RE) Relaksasi Baja	8	8
5	Friksi (FR)	ni	(tergantung lintasan dan tahap penarikan)
6	Slip Angker (ANC)	ni	(tergantung spesifikasi produksi)
	Total	25	20

Pengaruh dari masing-masing komponen akan dibahas khusus pada Bab V. Sifat komponen dapat dibagi dua, *kehilangan seketika* dan *kehilangan jangka panjang*. ES, FR dan ANC kehilangan yang bersifat seketika, sedangkan SH, CR, RE bersifat jangka panjang.

5. Konsep Perencanaan Kontrol tegangan.

Ciri khas dalam perencanaan beton prategang adalah perencanaan sangat ditentukan metode pelaksanaan. Konsep ini dikenal dengan konsep kontrol tegangan (Stress Control). Tahapan kontrol tegangan minimal dalam perencanaan beton prategang adalah (dapat dilihat pada gambar 7).

1) Tahap Transfer

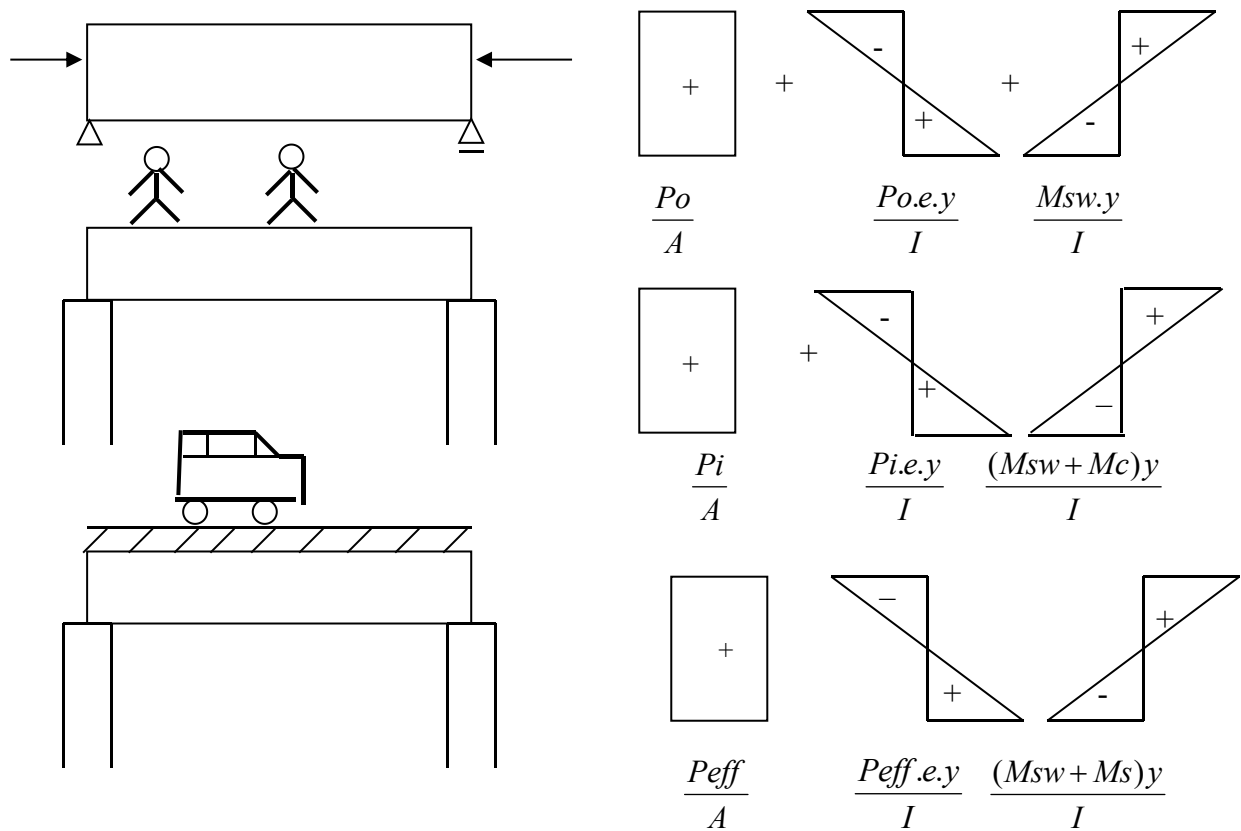
Pada tahap ini gaya prategang bekerja penuh, beban yang bekerja adalah berat sendiri, dan kekuatan beton belum termobilisasi penuh.

2) Tahap Pemasangan

Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami kehilangan yang bersifat seketika, beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi dan kekuatan beton telah termobilisasi penuh.

3) Tahap layan

Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami seluruh komponen kehilangannya, beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban hidup, serta kekuatan beton telah termobilisasi penuh.

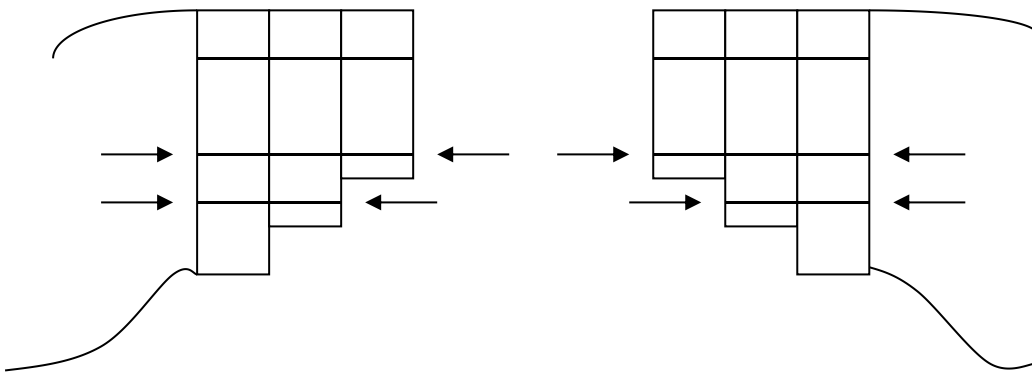


Gambar 7. Konsep Kontrol Tegangan

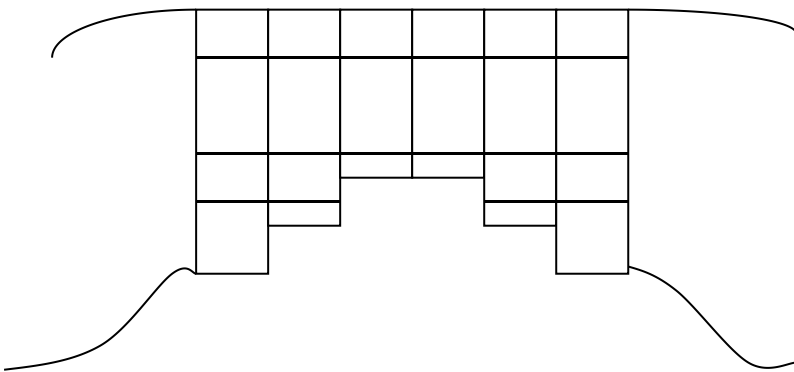
Pada struktur prategang yang lebih kompleks, kontrol tegangan ditentukan oleh detail pelaksanaan, struktur jembatan kantilever segmental adalah salah satu contoh jenis ini seperti terlihat pada gambar 8.



(I) Stressing tiap elemen (kondisi balok dua perletakan)



(II) kontrol tegangan tiap ada pemasangan segmen baru (kondisi kantilever)



(III) Masa layan (kondisi jepit-jepit)

Gambar 8. Struktur Prategang Kompleks

BAB III

ANALISIS DAN PERENCANAAN LENTUR

Perkuatan prategang sangat efektif untuk komponen lentur. Pada bab ini akan dibahas persyaratan perencanaan, contoh perhitungan pengecekan, panduan perencanaan serta metode *load ballancing* dan balok komposit.

3.1. Persyaratan perencanaan.

1. Syarat tegangan

(a). Tegangan tekan

$$(1). \text{ Pada saat awal } \bar{f}_{ci} = 0,6 f_{ci}' \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (1)$$

$$(2). \text{ Pada saat akhir } \bar{f}_c = 0,45 f_{c}' \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (2)$$

(b). Tegangan tarik

$$(1). \text{ Pada saat awal } \bar{f}_{ri} = 0 \quad (\text{zero tension}) \quad \dots \quad \dots \quad (3)$$

$$(2). \text{ Pada saat akhir } \bar{f}_{re} = 0 \quad (\text{zero tension}) \quad \dots \quad \dots \quad (4a)$$

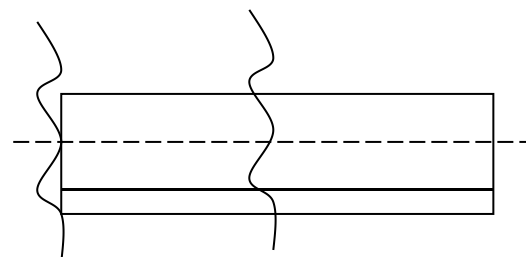
$$\bar{f}_{re} = \frac{f_r}{1,5} \quad (\text{allowable tension}) \quad \dots \quad \dots \quad (4b)$$

Catatan : - f_{ci}' adalah kuat tekan beton saat transfer (biasa diambil $f_{ci}' = 0,8 f_{c}'$)

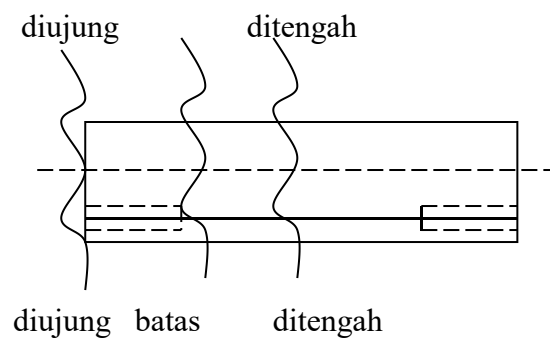
- f_r adalah kuat tarik lentur beton (diambil $f_r = 0,7 \sqrt{f_{c}'}$)
- Saat awal adalah fase transfer
- Saat akhir adalah fase pemasangan dan fase layan.

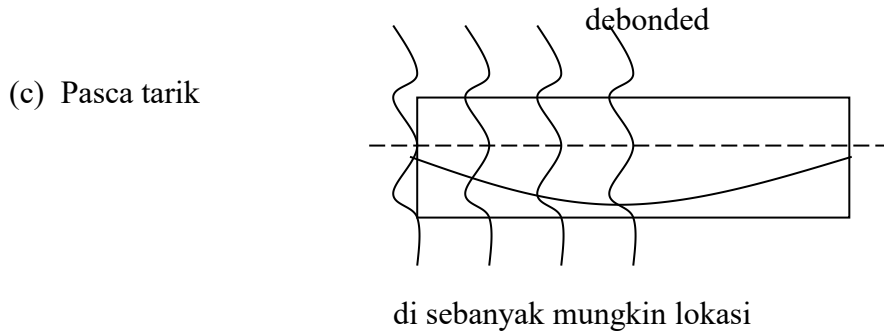
2. Lokasi kontrol tegangan

(a). Pratarik lurus



(b). Pratarik lurus + debonded

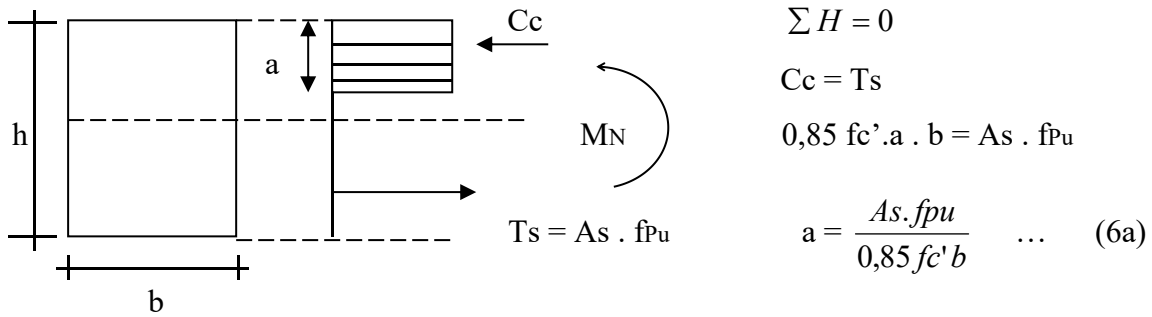




Gambar 1. Lokasi Kontrol Tegangan

3. Syarat kuat batas

$$1,2 MDL + 1,6 MLL \leq \phi MN \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (5)$$



Gambar 2. Perhitungan Momen Nominal

$$MN = As . fpu \left\{ d - \frac{a}{2} \right\}, \text{ dimana } \phi \text{ diambil } 0,8 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (6b)$$

4. Jarak antar momen retak dan momen nominal jangan terlalu dekat, agar struktur tidak rentan terhadap beban luar biasa.

$$\frac{Mcr}{MN} \leq 0,8 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (7)$$

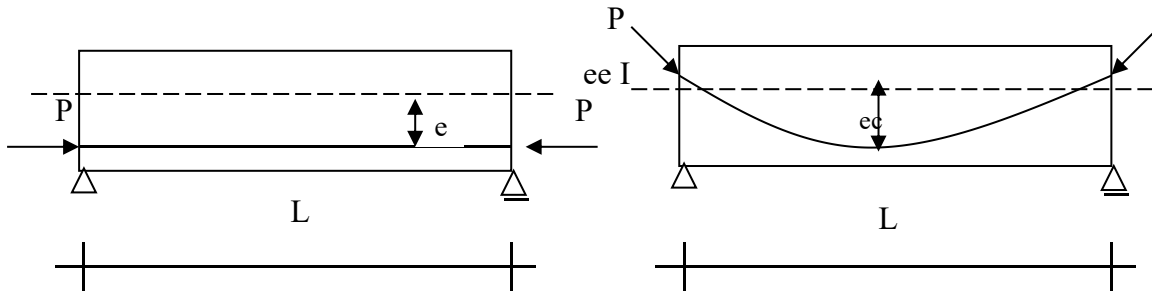
5. Syarat Lendutan

(a) Saat transfer lendutan harus positif

$$\Delta_T = \Delta_C + \Delta_{sw}$$

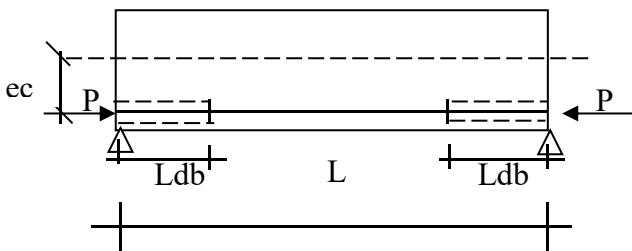
(b). Saat akhir $\Delta_{TOT} < \frac{L}{360} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots (8)$

Beberapa formulasi lendutan yang penting terlihat pada gambar



$$\Delta_c = \frac{P \cdot e \cdot L^2}{8 \cdot EI} \quad (\uparrow)$$

$$\Delta_c = \frac{5Pec \cdot L^2}{8EI} - \frac{Pee \cdot L^2}{8EI} \quad (\uparrow)$$

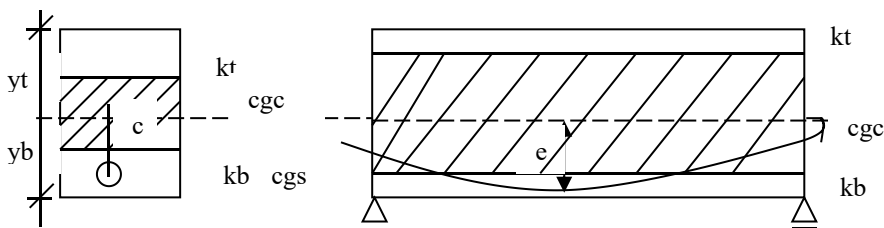
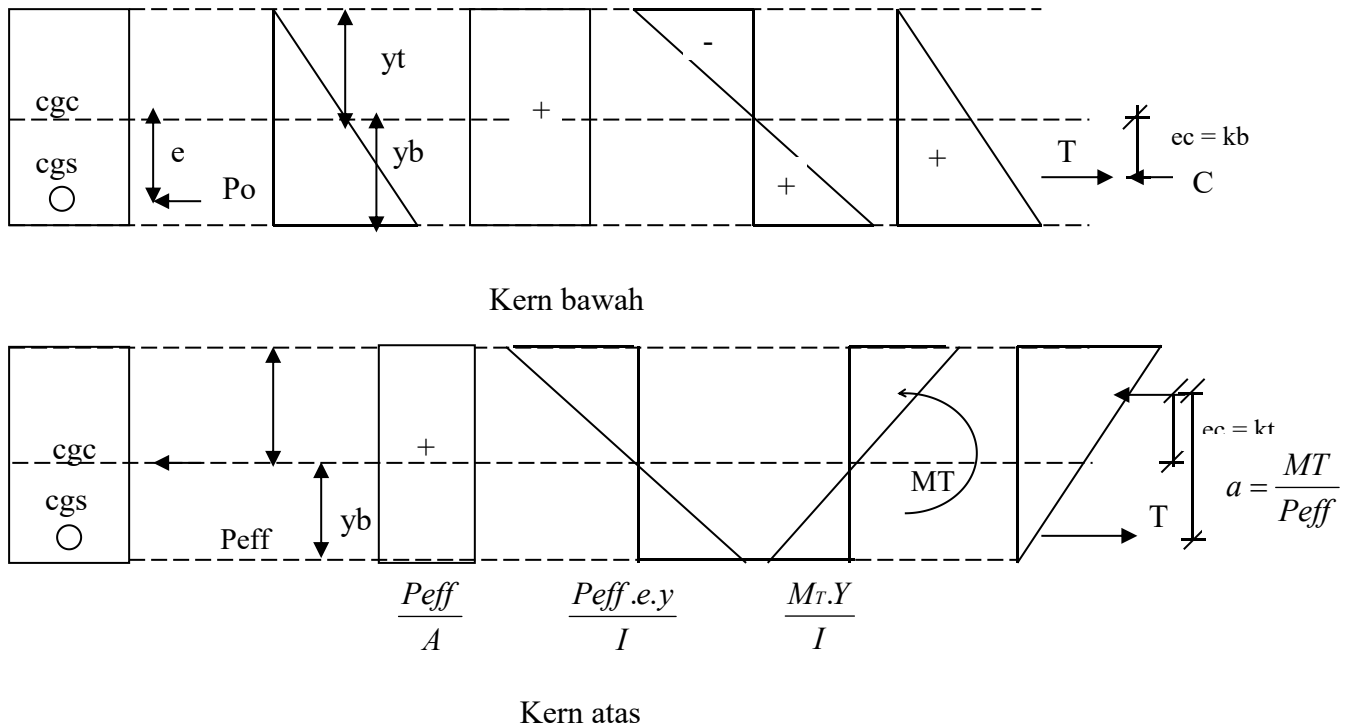


$$\Delta_c = \frac{P \cdot e \cdot (L^2 - Ldb^2)}{8EI} \quad (\uparrow)$$

Gambar 3. Beberapa Formula Lendutan Penting Dalam Beton prategang

Proses perhitungan lendutan beton prategang adalah sebagai berikut :

1. Saat transfer $\Delta_T = \Delta_c (\uparrow) + \Delta_{sw} (\downarrow)$ (9a)
2. Saat pemasangan $\Delta_E = 1,8\Delta_c (\uparrow) + 1,85\Delta_{sw} (\downarrow)$ (9b)
3. Setelah konstruksi $\Delta_C = \Delta_E + \Delta_{SDL} (\downarrow)$ (9c)
4. Lendutan jangka panjang beban mati $\Delta_{DL} = 2,2\Delta_c (\uparrow) + 2,4\Delta_{sw} (\downarrow) + 2,3\Delta_{SDL} (\downarrow)$ (9d)
5. Lendutan total $\Delta_{TOT} = \Delta_{DL} + \Delta_{LL} (\downarrow)$ (9e)



Gambar 5. Daerah kern

$$\sigma_{TOP} = \frac{C}{A} - \frac{C \cdot ec \cdot yb}{I} = 0$$

$$ec = Kb = \frac{I}{A \cdot yb} = \frac{r^2}{yb} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (13)$$

Pada kondisi momen maksimum, jika diinginkan kondisi khusus dimana tegangan tarik nol di serat bawah, maka lokasi ec yang menyebabkan kondisi tersebut disebut kern atas (gambar 5b.). Kondisi ini bisa terjadi pada kondisi layan di tengah bentang.

$$\sigma_{BOT} = \frac{C}{A} - \frac{C \cdot ec \cdot yb}{I} = 0$$

$$\frac{C}{A} = \frac{C \cdot ec \cdot yb}{I} \quad \longrightarrow \quad ec = kt = \frac{I}{A \cdot yb} = \frac{r^2}{yb} \quad \dots \quad \dots \quad \dots (14)$$

Daerah kern adalah daerah pada penampang yang jika resultan gaya tekan berada di daerah tersebut, tidak akan menimbulkan tegangan tarik pada penampang. Batas atas (Kt) dan batas bawah (Kb) daerah ini hanya merupakan fungsi properties penampang.

3.3. Perencanaan komponen prategang

1. Pemilihan bentuk profil (lihat paper T girder)

2. Perencanaan tinggi penampang

(a) balok $h/c \approx 0,7$ h/c (15)

$h/c \approx 1/10$ L (16)

$n = h \sqrt{MT}$ 9inch) $n = 1,5 - 2$ mp . ft

(b) Pelat

$h \approx L/35 - L/25$ (17)

3. Perencanaan gaya prategang

Kriteria momen total menyebabkan tegangan nol di serat bawah tengah bentang, estimasi a adalah 0,65 h

$M_T = C.a = T_{eff}.a$ (18)

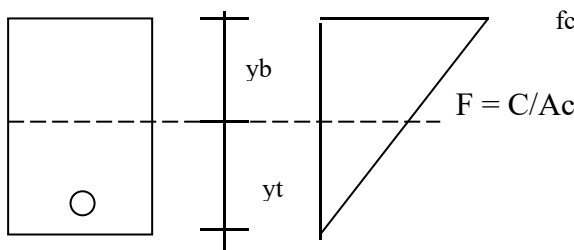
$a = 0,65.h$

$M_T = 0,65h. P_{eff}$

$T_{eff} = M_T/0,65h$ (19)

4. Estimasi luas beton

Estimasi luas beton biasanya dilakukan pada tengah bentang dengan syarat tegangan nol di serat bawah



Gambar 6. Estimasi Luas Beton

Dengan persamaan segitiga diperoleh :

$\frac{Yb}{h} = \frac{f}{fc}$ (20)
 $f = \frac{Yb}{h} fc = \frac{C}{Ac} = \frac{P_{eff}}{Ac}$

$$A_c = \frac{P_{eff} \cdot h}{Y_b \cdot f_c} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (21)$$

Khusus untuk penampang persegi $Y_b = \frac{1}{2} h$

$$A_c = \frac{2P_{eff}}{f_c} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (22)$$

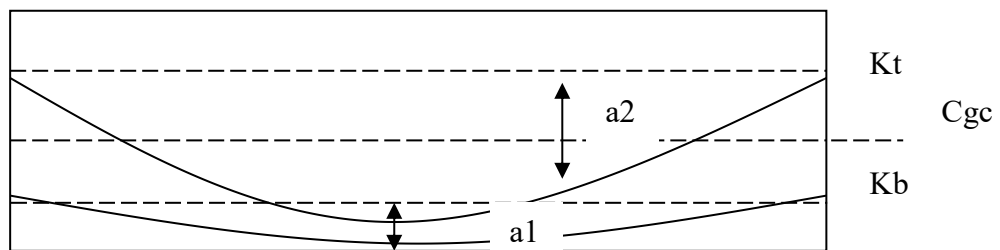
5. Layout Kabel

Daerah aman untuk lokasi kabel dapat ditentukan dengan bantuan kern, seperti terlihat pada gambar 7. Pada kondisi transfer, jika C terletak di kern bawah ($h_b = r^2/Y_t$), maka dapat didefinisikan sebagai batas aman bawah dimana tidak akan terjadi tegangan tarik di serat atas.

$$a_1 = M_{sw}/P_o \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (23)$$

Pada kondisi layan, jika C terletak di kern atas ($K_t = r^2/Y_b$) maka dapat didefinisikan, lokasi kabel berjarak a_2 dari K_t , sebagai batas aman atas, dimana tidak akan terjadi tegangan tarik di serat bawah.

$$a_2 = M_T/P_{eff}$$



Gambar 7. Daerah aman lokasi kabel

Jika digunakan kriteria tegangan tarik yang diijinkan pada kondisi layan, maka daerah batas atas dapat dikoreksi sebagai berikut :

$$f_t = \frac{C}{A} - \frac{C \cdot e_c \cdot Y_b}{I}$$

$$\frac{C \cdot e_c \cdot Y_b}{I} = \frac{C}{A} + f_t$$

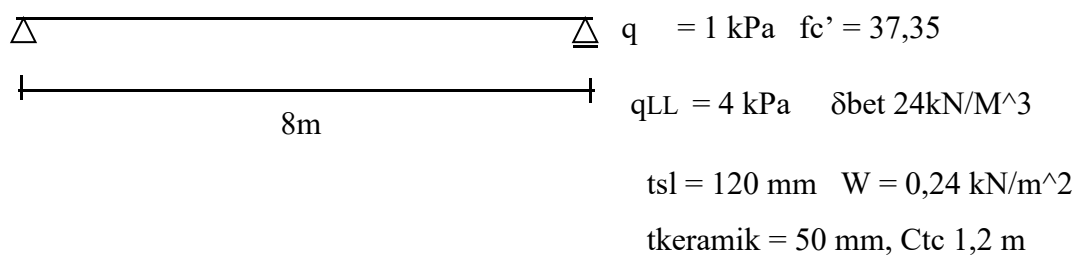
$$e_c = \frac{I}{C Y_b} \left\{ \frac{C}{A} + f_t \right\}$$

$$ec = \frac{I}{Ayb} + \frac{I \cdot ft}{CYb}$$

$$ec = \frac{r^2}{Yb} + \frac{r^2 \cdot A \cdot ft}{C \cdot Yb} = \frac{r^2}{Yb} \left\{ 1 + \frac{Aft}{C} \right\}$$

koreksi

$$ec = Kt \left\{ 1 + \frac{ft}{\sigma_{eff}} \right\}$$

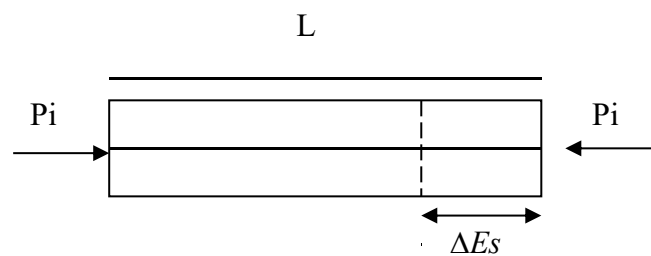


Losses of Prestress:

- Lima tahun pertama turun secara progresif
- Immediate tunr depended
- Perumusan time depended berbeda-beda

Immediate Loss

Pratarik

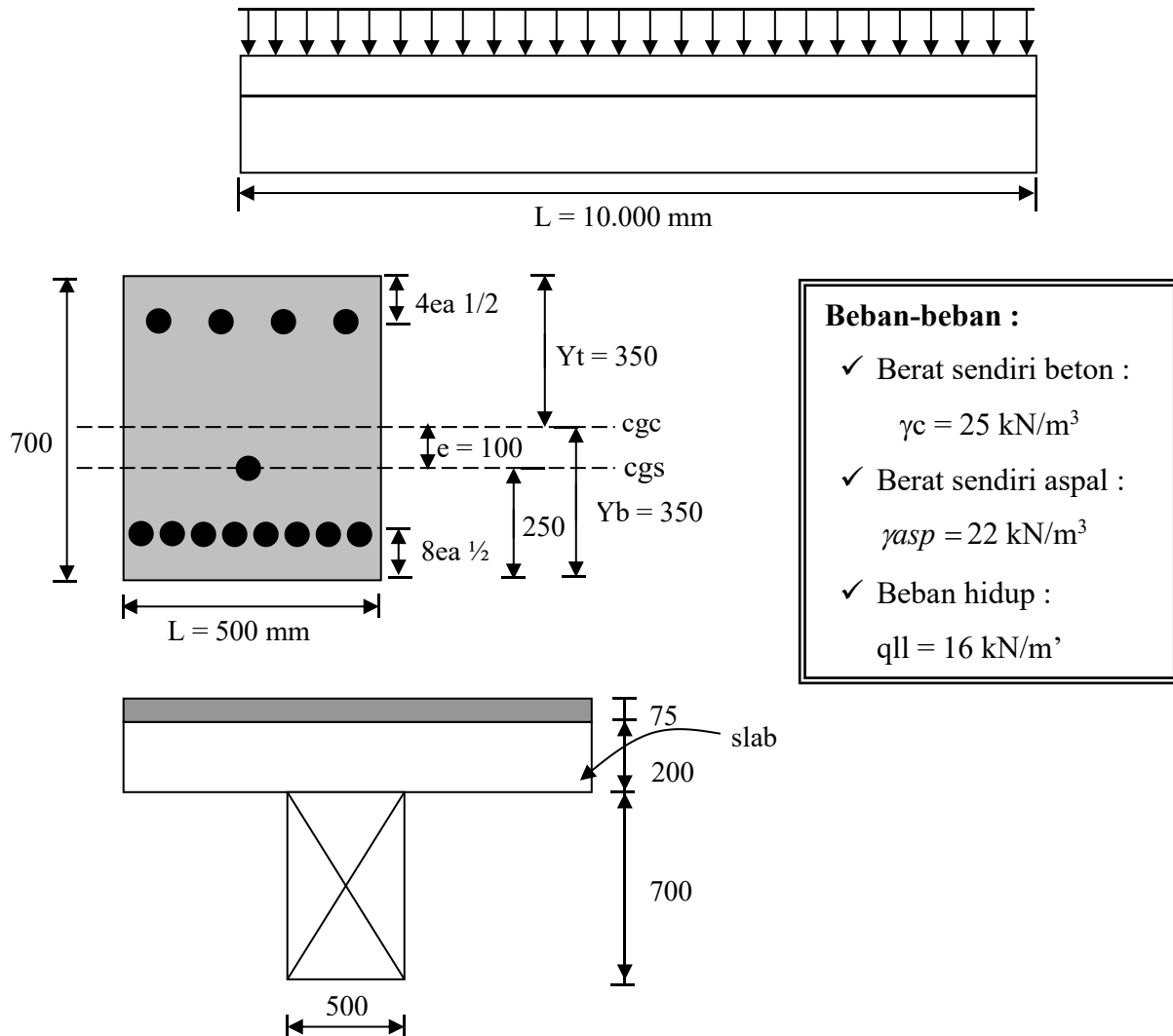


$$\varepsilon_{Es} = \frac{fc}{Ec} = \frac{Po}{AcEc}$$

$$\Delta fs_{Es} = Es \cdot \varepsilon_{Es} = \frac{Es \cdot Di}{Ac \cdot Ec} = \frac{n \cdot Pi}{Ac} = n \cdot fcs$$

$$\sigma_{cs} = \frac{Pi}{Ac} \quad \{ \text{tegangan beton pada T-line} \}$$

- Suatu balok persegi panjang, ($L = 10.000 \text{ mm}$), yang direncanakan untuk struktur jembatan. Balok tersebut ditumpu di atas dua perletakan, direncanakan menggunakan sistem prategang pratarik dengan pola penulangan 12 ea ½” ASTM A416 Grade 270 ($UTS = 184 \text{ kN}$).



I. Data beton :

- ✓ Kuat tekan karakteristik = K500
- ✓ $f_c' = 0,83 \sigma_{bk} = 415 \text{ kg/cm}^2 = 41,5 \text{ MPa}$
- ✓ f_{ci}' (kuat tekan beton saat transfer) = $50\% \cdot f_c'$ = 20,75 MPa
- ✓ $f_{ciall} = 0,6 \cdot (f_{ci}') = 0,6 (50\% f_c')$ = 12,45 MPa
- ✓ $f_{ccall} = 0,6 \cdot f_c'$ = 24,9 MPa
- ✓ $f_{csall} = 0,45 \cdot f_c'$ = 18.675 MPa
- ✓ E_c (Modulus elastisitas beton) = $4700 \sqrt{f_c'}$ = 30278 MPa

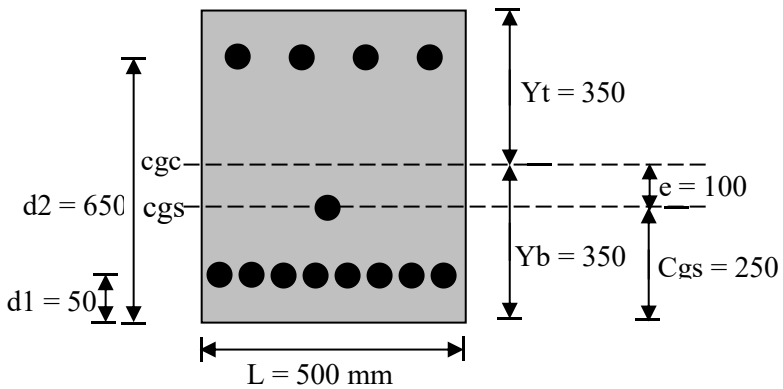
✓	E_{ci}	$= 4700 \sqrt{f_{ci}'}$	$= 21409 \text{ MPa}$
✓	f_r (kuat tarik lentur beton)	$= 0,7 \sqrt{f_{c}'}$	$= 4,51 \text{ MPa}$
✓	f_{ri}	$= 0,7 \sqrt{f_{ci}'}$	$= 3,19 \text{ MPa}$
✓	f_{rall}	$= \frac{f_r}{1,5}$	$= 3,0 \text{ MPa}$
✓	f_{riall}	$= \frac{f_{ri}}{1,5}$	$= 2,1 \text{ MPa}$

II. Dimensi penampang :

✓	b (lebar)	$= 500 \text{ mm}$
✓	h (tinggi)	$= 700 \text{ mm}$
✓	A (luas) = $b * h = (500)*(700)$	$= 350000 \text{ mm}^2$
✓	I (Momen inersia) = $\frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}(500)(700)^3$	$= 1,429E+10 \text{ mm}^4$
✓	r (radius girasi penampang) = $\sqrt{\frac{I}{A}}$	$= 202 \text{ mm}$
✓	$W_t = \frac{I}{y_t}$	$= 40833333 \text{ mm}^3$
✓	$W_b = \frac{I}{y_b}$	$= 40833333 \text{ mm}^3$

III. Perencanaan gaya prategang :

✓	Jenis strand $\frac{1}{2}$ " ASTM A416 Grade 270	
✓	A_s (luas strand)	$= 98,71 \text{ mm}^2$
✓	f_{pu} (kuat tarik)	$= 1860 \text{ MPa}$
✓	f_y (kuat leleh)	$= 1680 \text{ MPa}$
✓	UTS	$= 184 \text{ kN}$



Posisi (d_i) (mm)	n_i	$d_i \cdot n_i$
50	8	400
650	4	2600
$\Sigma n_i = 12$		$\Sigma d_i \cdot n_i = 3000$
$C_{gs} = \frac{\Sigma d_i \cdot n_i}{\Sigma n_i} = 250 \text{ mm}$		

$$\begin{aligned}
 e &= c_{gc} - c_{gs} \\
 &= 350 - 250 \\
 &= 100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Pengecekan tegangan :

Posisi (mm)	n	70%UTS (P_o) (kN)	4% Losses (P_i) (kN)	25% Losses (P_{eff}) (kN)	mcc (kN)
50	8	1030	989	772	51500
650	4	515	494	386	334880
Σ	12	1545	1483	1159	386380

keterangan :

Po1 & Po2 : 1 dan 2 menunjukkan posisi strand pada jarak 50 mm dan 650 mm

- ✓ Tahap Transfer : Pada tahap ini gaya prategang bekerja penuh beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi kekuatan beton belum termobilisasi penuh, pada tahap ini belum ada loss (kehilangan gaya prategang).

$$\begin{aligned}
 - P_{o1} &= 8 \times 184 \times 0,7 &= 1030 \text{ kN} \\
 - P_{o2} &= 4 \times 184 \times 0,7 &= 515 \text{ kN}
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} - P_{o1} \\ - P_{o2} \end{aligned}} \right\} \text{Belum terjadi loss}$$

- ✓ Tahap Pemasangan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami kehilangan yang bersifat seketika, kurang lebih sebesar 4% beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi, kekuatan beton telah termobilisasi penuh

$$\begin{aligned}
 - P_{i1} &= 0,96 \times 1030 &= 989 \text{ kN} \\
 - P_{i2} &= 0,96 \times 515,2 &= 494 \text{ kN}
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} - P_{i1} \\ - P_{i2} \end{aligned}} \right\} \text{Telah terjadi loss sebesar 4\%}$$

- ✓ Tahap Layan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami seluruh komponen kehilangannya, beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban hidup, kekuatan beton telah termobilisasi penuh. Loss yang terjadi pada tahap ini sebesar 25 %

$$\left. \begin{array}{l} - P_{eff1} = 0,75 \times 1030 = 772 \text{ kN} \\ - P_{eff2} = 0,75 \times 515 = 386 \text{ kN} \end{array} \right\} \text{Telah terjadi loss sebesar 25\%}$$

$$- M_{cc1} = 1030 \times 50 = 51500 \text{ kN.mm}$$

$$- M_{cc2} = 515 \times 650 = 334750 \text{ kN.mm}$$

PENGECEKAN TEGANGAN DI TENGAH BENTANG

1. Tahap Transfer :

Pada tahap ini, gaya prategang bekerja penuh, beban yang bekerja adalah berat sendiri, dan kekuatan beton belum termobilisasi penuh.

$$\begin{aligned} - q_{sw} (\text{berat sendiri balok}) &= (\gamma_c) * (A) = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0,5 \text{ m} \times 0,7 \text{ m} \\ &= 8,75 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - M_{sw} (\text{Momen berat sendiri}) &= 1/8 \cdot q_{sw} \cdot L^2 = 1/8 \times 8,75 \text{ kN/m} \times (10 \text{ m})^2 \\ &= 109,375 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Kontrol tegangan :

Pada tengah bentang.

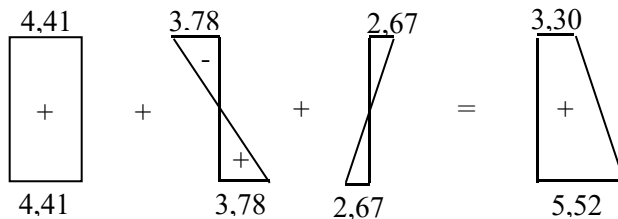
$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{P \cdot e \cdot y}{I} \pm \frac{M \cdot y}{I}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{top} &= \frac{P_o}{A} - \frac{P_o \cdot e}{W_t} + \frac{M_{sw}}{W_t} \\ &= \frac{1545600}{350000} - \frac{154560000}{40833333} + \frac{109375000}{40833333} \\ &= 4,416 - 3,785 + 2,678 \\ &= 3,309 \text{ Mpa} < f_{ci,all} = 12,45 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!} \end{aligned}$$

$$\sigma_{bot} = \frac{P_o}{A} + \frac{P_o}{W_b} - \frac{M_{sw}}{W_b}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1545600}{350000} + \frac{154560000}{40833333} - \frac{109375000}{40833333} \\
&= 4,41 + 3,785 - 2,678 \\
&= 5,528 \text{ Mpa} < f_{ci,all} = 12,45 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!}
\end{aligned}$$

diagram tegangan :



Dari kontrol tegangan yang dilaksanakan, dapat kita lihat bahwa tegangan yang terjadi masih dibawah tegangan ijin.

2. Tahap Pemasangan :

Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami kehilangan yang bersifat seketika, beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi, dan kekuatan beton telah termobilisasi penuh.

Gaya prategang telah mengalami loss sebesar 4%

$$P_i = 4\% \times P_o = 0,96 \times 1545,6 = 1483 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
- q_{sw} \text{ (berat sendiri balok)} &= (\gamma_c) * (A) &&= 25 \times 0,5 \times 0,7 \\
&&&= 8,75 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
- q_{sl} \text{ (berat slab beton)} &= (\gamma_c) * (t_s) * (s) &&= 25 \times 2 \times 0,2 \\
&&&= 10 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
- q_{asph} \text{ (berat aspal)} &= (\gamma_{asp}) * (t_{asp}) * (s) &&= 22 \times 2 \times 0,075 \\
&&&= 3,3 \text{ kN/m}
\end{aligned}$$

$$- q_{const} = 2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total beban pemasangan (q. erect)} = 24,05 \text{ kN/m}$$

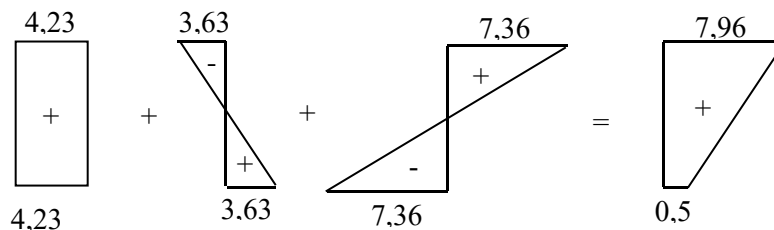
$$\begin{aligned}
- M_{cons} &= 1/8 \times q_{erect} \times L^2 \\
&= 1/8 \times 24,05 \times 10^2 &&= 300,625 \text{ kN.m} \\
&&&= 300625000 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

Kontrol tegangan :

$$\begin{aligned}\sigma_{top} &= \frac{P_i}{A} - \frac{P_i \cdot e \cdot y}{wt} + \frac{M_{cons}}{wt} \\ &= \frac{1483776}{350000} - \frac{148377600}{40833333} + \frac{300625000}{40833333} \\ &= 4,23 - 3,63 + 7,36 \\ &= 7,96 \text{ Mpa} < f_{csall} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{bot} &= \frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e}{wb} - \frac{M_{cons}}{wb} \\ &= \frac{1483776}{350000} + \frac{148377600}{40833333} - \frac{300625000}{40833333} \\ &= 4,23 + 3,63 - 7,36 \\ &= 0,5 \text{ Mpa} < f_{tall} = 3 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!}\end{aligned}$$

Diagram tegangan :



3. Tahap Layan

Pada tahap ini beton telah mengalami seluruh komponen kehilangannya, beban yang bekerja adalah beban hidup dan berat sendiri, kekuatan beton juga telah termobilisasi penuh. Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami loss sebesar 25 %.

$$P_{eff} = 0,75 \times P_o = 0,75 \times 1545,6 = 1159,2 \text{ kNm.}$$

$$\text{- } q_{sdl} \text{ (Super- dead load)} = q_{sl} + q_{asp} = 10 + 3,3 = 13,3 \text{ kN/m'}$$

$$M_{sdl} = \frac{1}{8} q_{sdl} x l^2 = 165 \text{ kN.m}$$

$$\text{- } q_{ll} \text{ (Life load)} = 16 \text{ kN/m,}$$

$$M_{ll} = \frac{1}{8} q_{ll} x l^2 = \underline{200 \text{ kN.m}}$$

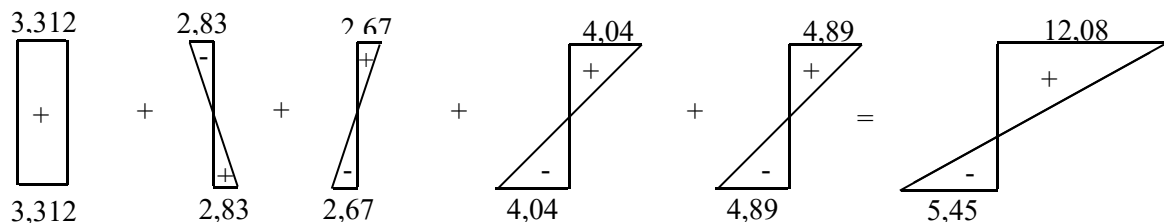
$$\text{Momen total} = 365 \text{ kN.m}$$

Kontrol tegangan :

$$\begin{aligned}\sigma_{top} &= \frac{P_{eff}}{A} - \frac{P_{eff}.e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} + \frac{M_{sdl}}{wt} + \frac{M_{ll}}{wt} \\ &= \frac{1159200}{350000} - \frac{115920000}{40833333} + \frac{109375000}{40833333} + \frac{165000000}{40833333} + \frac{200000000}{40833333} \\ &= 3,312 - 2,838 + 2,678 + 4,040 + 4,897 \\ &= 12,089 \text{Mpa} < f_{call} = 18,675 \text{Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{bot} &= \frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff}.e.y}{wt} - \frac{M_{sw}}{wt} - \frac{M_{sdl}}{wt} - \frac{M_{ll}}{wt} \\ &= 3,312 + 2,838 - 2,678 - 4,040 - 4,897 \\ &= (-5,458 \text{Mpa}) > f_{tall} = 3,0 \text{Mpa} \dots\dots \text{Not ok !!!}\end{aligned}$$

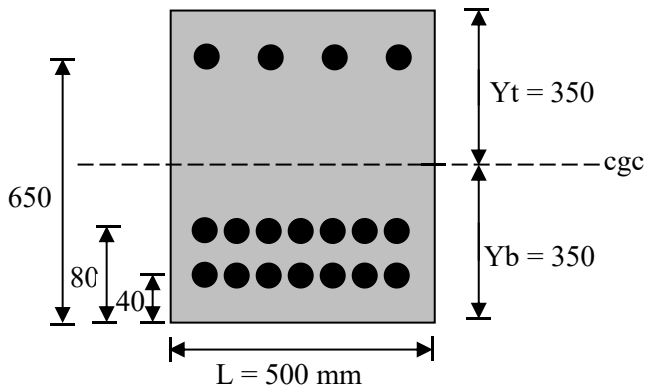
Diagram tegangan :



**PERKUATAN DITAMBAH KARENA TIDAK MENCUKUPI
PENGECEKAN DI TENGAH BENTANG**

1. Perencanaan gaya prategang :

- ✓ Jenis strand ½ “ ASTM A416 Grade 270
- ✓ As (luas strand) = 98,71 mm²
- ✓ fpu (kuat tarik) = 1860 Mpa
- ✓ fy (kuat leleh) = 1680 Mpa
- ✓ UTS = 184 Kn



Posisi (d_i) (mm)	n_i	$d_i \cdot n_i$
40	7	280
80	7	560
650	4	2600
	$\Sigma n_i = 18$	$\Sigma d_i \cdot n_i = 3440$

Pengecekan tegangan :

Posisi (mm)	n	70%UTS (P_o) (kN)	4% Losses (P_i) (kN)	25% Losses (P_{eff}) (kN)	mcc (kN)
40	7	901	865	676	36064
80	7	901	865	676	72080
650	4	515	494	386	334750
Σ	12	2317	2224	1738	442894

$$cgs = \frac{\sum m_{cc}}{\sum P_o} = \frac{442894}{2317} = 191 \text{ mm}$$

$$e = cgc - cgs = 350 - 191 = 159 \text{ mm}$$

keterangan :

P_{o1} , P_{o2} dan P_{o3} : menunjukkan posisi strand pada jarak 40, 80 dan 650 mm

✓ Tahap Transfer : Pada tahap ini gaya prategang bekerja penuh beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi kekuatan beton belum termobilisasi penuh, pada tahap ini belum ada loss (kehilangan gaya prategang).

$$\left. \begin{array}{l} - P_{o1} = 7 \times 184 \times 0,7 = 901 \text{ kN} \\ - P_{o2} = 7 \times 184 \times 0,7 = 901 \text{ kN} \\ - P_{o3} = 4 \times 184 \times 0,7 = 515 \text{ kN} \end{array} \right\} \text{Belum terjadi loss}$$

- ✓ Tahap Pemasangan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami kehilangan yang bersifat seketika, kurang lebih sebesar 4% beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi, kekuatan beton telah termobilisasi penuh

$$\begin{array}{rcl}
 - P_{i1} & = 0,96 \times 901 & = 865 \text{ kN} \\
 - P_{i2} & = 0,96 \times 901 & = 865 \text{ kN} \\
 - P_{i3} & = 0,96 \times 515 & = 494 \text{ kN}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{rcl}} \right\} \text{Telah terjadi loss sebesar 4\%}$$

- ✓ Tahap Layan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami seluruh komponen kehilangannya, beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban hidup, kekuatan beton telah termobilisasi penuh. Loss yang terjadi pada tahap ini sebesar 25 %

$$\begin{array}{rcl}
 - P_{eff1} & = 0,75 \times 901 & = 676 \text{ kN} \\
 - P_{eff2} & = 0,75 \times 901 & = 676 \text{ kN} \\
 - P_{eff3} & = 0,75 \times 515 & = 386 \text{ kN}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{rcl}} \right\} \text{Telah terjadi loss sebesar 25\%}$$

$$\begin{array}{rcl}
 - M_{cc1} & = 901 \times 40 & = 36064 \text{ kN} \\
 - M_{cc2} & = 901 \times 80 & = 72128 \text{ kN} \\
 - M_{cc3} & = 515 \times 650 & = 334880 \text{ kN}
 \end{array}$$

2. Tahap Transfer :

Kontrol tegangan :

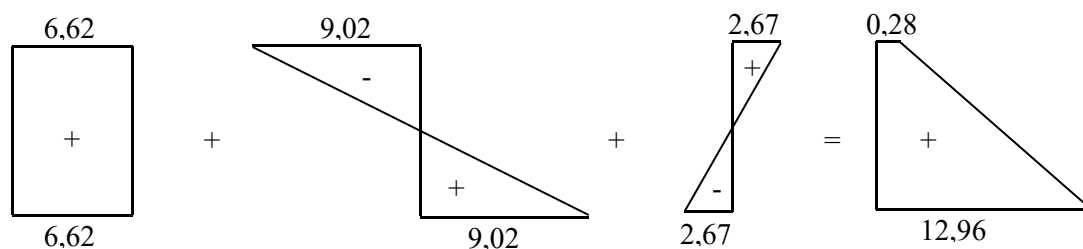
Pada tengah bentang.

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{top} &= \frac{P_o}{A} - \frac{P_o.e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} \\
 &= \frac{2317000}{350000} - \frac{368403000}{40833333} + \frac{109375000}{40833333} \\
 &= 6,62 - 9,02 + 2,67 \\
 &= 0,267 \text{ Mpa} < f_{ci} 19,92 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{bot} &= \frac{P_o}{A} + \frac{P_o}{wb} - \frac{M_{sw}}{wb} \\ &= 6,624 + 9,02 - 2,67 \\ &= 12,97 \text{ Mpa} > f_{ci} \text{ all } 12,45 \dots\dots\dots \text{Not ok !!!}\end{aligned}$$

diagram tegangan :



Dari kontrol tegangan yang dilaksanakan, dapat kita lihat bahwa tegangan yang terjadi masih diatas tegangan ijin tekan, maka untuk mengatasi hal ini kuat tekan awal harus ditingkatkan misalnya 80% f_{ci} sehingga tegangan ijin $f_{ci} \text{ all} = (0,6)(0,8)(41,5) = 19,92$ Mpa $> 12,96$ Mpa $\dots\dots\dots$ ok !!!

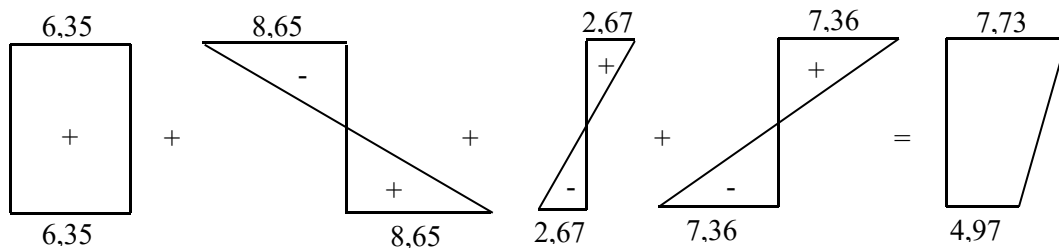
2. Tahap Pemasangan

Kontrol tegangan :

$$\begin{aligned}\sigma_{top} &= \frac{P_i}{A} - \frac{P_i \cdot e \cdot y}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} + \frac{M_{cons}}{wt} \\ &= \frac{2224000}{350000} - \frac{353616000}{40833333} + \frac{109375000}{40833333} + \frac{300625000}{40833333} \\ &= 6,35 - 8,65 + 2,67 + 7,36 \\ &= 7,73 \text{ Mpa} < f_{cc} \text{ all} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{bot} &= \frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e}{wb} - \frac{M_{sw}}{wb} - \frac{M_{cons}}{wb} \\ &= 6,35 + 8,65 - 2,67 - 7,36 \\ &= 4,97 \text{ Mpa} < f_{cc} \text{ all} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!}\end{aligned}$$

diagram tegangan :



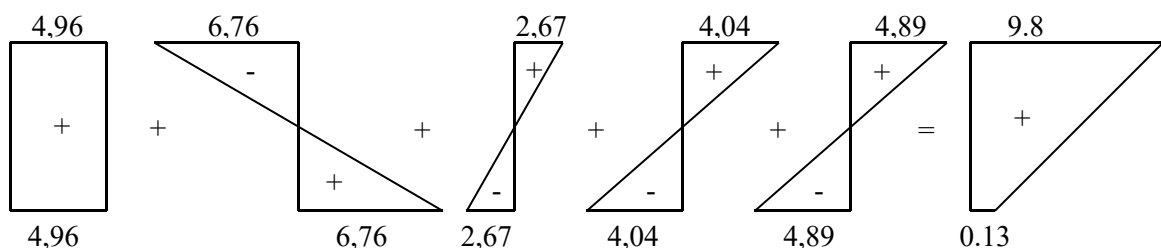
3. Tahap Layan

Kontrol tegangan :

$$\begin{aligned} \sigma_{top} &= \frac{Pe_{ff}}{A} - \frac{Pe_{ff}.e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} + \frac{M_{sdl}}{wt} + \frac{M_{ll}}{wt} \\ &= \frac{1738000}{350000} - \frac{276342000}{40833333} + \frac{109375000}{40833333} + \frac{165000000}{40833333} + \frac{200000000}{40833333} \\ &= 4,96 - 6,76 + 2,67 + 4,04 + 4,89 \\ &= 9,80\text{Mpa} < f_{ccall} = 18,675\text{Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{bot} &= \frac{Pe_{ff}}{A} + \frac{Pe_{ff}.e.y}{wt} - \frac{M_{sw}}{wt} - \frac{M_{sdl}}{wt} - \frac{M_{ll}}{wt} \\ &= 4,96 + 6,76 - 2,67 - 4,04 - 4,89 \\ &= 0,13\text{Mpa} < f_{ccall} = 18,675\text{Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!} \end{aligned}$$

Diagram tegangan :

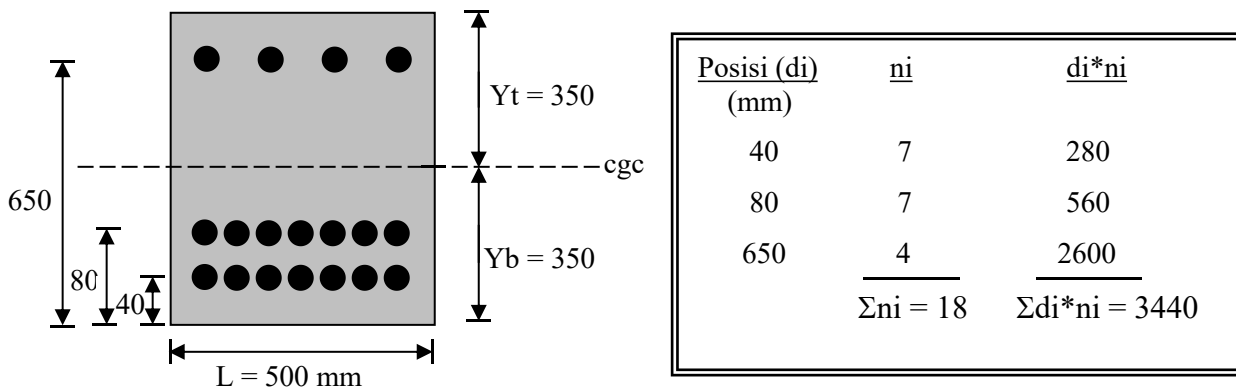


PENGECEKAN DI UJUNG BENTANG

1. Perencanaan gaya prategang :

- ✓ Jenis strand ½ “ ASTM A416 Grade 270
- ✓ As (luas strand) = 98,71 mm²
- ✓ fpu (kuat tarik) = 1860 Mpa

- ✓ f_y (kuat leleh) = 1680 Mpa
- ✓ UTS = 184 Kn



Pengecekan tegangan :

Posisi (mm)	n	70%UTS (Po) (kN)	4% Losses (Pi) (kN)	25% Losses (Peff) (kN)	mcc (kN)
40	7	901	865	676	36064
80	7	901	865	676	72080
650	4	515	494	386	334750
Σ	12	2317	2224	1738	442894

$$cgs = \frac{\sum mcc}{\sum Po} = \frac{442894}{2317} = 191 \text{ mm}$$

$$e = cgc - cgs = 350 - 191 = 159 \text{ mm}$$

keterangan :

Po1, Po2 dan Po3 : menunjukkan posisi strand pada jarak 40, 80 dan 650 mm

- ✓ Tahap Transfer : Pada tahap ini gaya prategang bekerja penuh beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi kekuatan beton belum termobilisasi penuh, pada tahap ini belum loss (kehilangan gaya prategang).

$$\left. \begin{array}{l} - Po1 = 7 \times 184 \times 0,7 = 901 \text{ kN} \\ - Po2 = 7 \times 184 \times 0,7 = 901 \text{ kN} \\ - Po3 = 4 \times 184 \times 0,7 = 515 \text{ kN} \end{array} \right\} \text{Belum terjadi loss}$$

- ✓ Tahap Pemasangan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami kehilangan

yang bersifat seketika, kurang lebih sebesar 4% beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi, kekuatan beton telah termobilisasi penuh

$$\left. \begin{array}{l} - P_{i1} = 0,96 \times 901 = 865 \text{ kN} \\ - P_{i2} = 0,96 \times 901 = 865 \text{ kN} \\ - P_{i3} = 0,96 \times 515 = 494 \text{ kN} \end{array} \right\} \text{Telah terjadi loss sebesar 4\%}$$

✓ Tahap Layan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami seluruh komponen kehilangannya, beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban hidup, kekuatan beton telah termobilisasi penuh. Loss yang terjadi pada tahap ini sebesar 25 %

$$\left. \begin{array}{l} - P_{eff1} = 0,75 \times 901 = 676 \text{ kN} \\ - P_{eff2} = 0,75 \times 901 = 676 \text{ kN} \\ - P_{eff3} = 0,75 \times 515 = 386 \text{ kN} \end{array} \right\} \text{Telah terjadi loss sebesar 25\%}$$

$$\begin{array}{l} - M_{cc1} = 901 \times 40 = 36064 \text{ kN} \\ - M_{cc2} = 901 \times 80 = 72128 \text{ kN} \\ - M_{cc3} = 515 \times 650 = 334880 \text{ Kn} \end{array}$$

$$\begin{aligned} - q_{sl} (\text{berat slab beton}) &= (\partial_c) * (ts) * (s) = 25 \times 2 \times 0,2 \\ &= 10 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - q_{asph} (\text{berat aspal}) &= (\partial_{asp}) * (t_{asp}) * (s) = 22 \times 2 \times 0,075 \\ &= 3,3 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$- q_{const} = 2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total beban pemasangan (q.erect)} = 14,03 \text{ kN/m}$$

$$- M_{cons} = 0$$

2. Tahap Transfer :

Pada tahap ini, gaya prategang bekerja penuh, beban yang bekerja adalah berat sendiri, dan kekuatan beton belum termobilisasi penuh.

$$\begin{aligned} - q_{sw} (\text{berat sendiri balok}) &= (\partial_c) * (A) = 25 \times 0,5 \times 0,7 \\ &= 8,75 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$- M_{sw} (\text{Momen berat sendiri}) = 0, (\text{Momen pada ujung bentang} = 0)$$

Kontrol tegangan :

Pada tengah bentang.

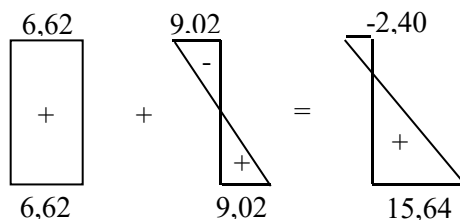
$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I} \quad \sigma_{top} = \frac{Po}{A} - \frac{Po.e}{wt}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{2317000}{350000} - \frac{368403000}{40833333} \\ &= 6,62 - 9,022 \\ &= -2,40 \text{ Mpa} \quad \text{Not OK (tension)} \end{aligned}$$

$$\sigma_{bot} = \frac{Po}{A} + \frac{Po}{wb}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1545600}{350000} - \frac{368403000}{40833333} \\ &= 6,62 + 9,022 \\ &= 15,642 \text{ Mpa} < f_{ciall} = 19,92 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!} \end{aligned}$$

diagram tegangan :



Dari kontrol tegangan yang dilaksanakan, dapat kita lihat bahwa tegangan yang terjadi masih dibawah tegangan ijin.

3. Tahap Pemasangan

Kontrol tegangan :

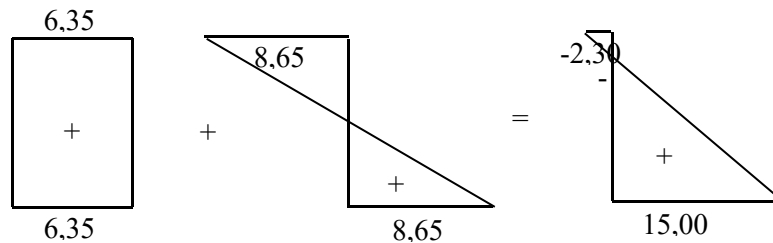
$$\begin{aligned} \sigma_{top} &= \frac{Pi}{A} - \frac{Pi.e.y}{wt} \\ &= \frac{2224000}{350000} - \frac{353616000}{40833333} \\ &= 6,35 - 8,65 \\ &= -2,3 \text{ Mpa} < f_{ccall} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!} \end{aligned}$$

$$\sigma_{bot} = \frac{Pi}{A} + \frac{Pi.e}{wb}$$

$$= 6,35 + 8,65$$

$$= 15,00 \text{Mpa} < f_{ccall} = 18,675 \text{Mpa} \dots \dots \dots \text{ok!!}$$

diagram tegangan :



4. Tahap Layan

Kontrol tegangan :

$$\sigma_{top} = \frac{P_{eff}}{A} - \frac{P_{eff} \cdot e}{wt} + \frac{M_{sdl}}{wt} + \frac{M_{ll}}{wt}$$

$$= \frac{1738000}{350000} - \frac{276342000}{40833333}$$

$$= 4,96 - 6,76$$

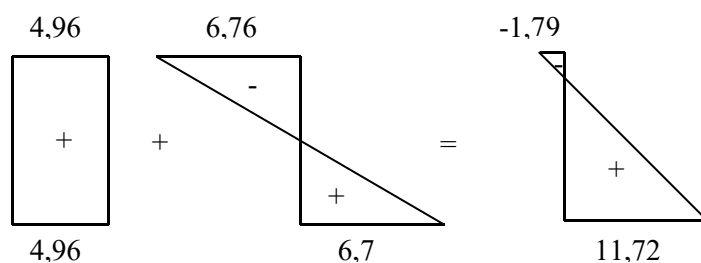
$$= 1,79 \text{Mpa} < f_{ccall} = 18,675 \text{Mpa} \dots \dots \dots \text{ok!!!}$$

$$\sigma_{bot} = \frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e}{wt}$$

$$= 4,96 + 6,76$$

$$= 11,72 \text{Mpa} < f_{ccall} = 18,675 \text{Mpa} \dots \dots \dots \text{ok!!!}$$

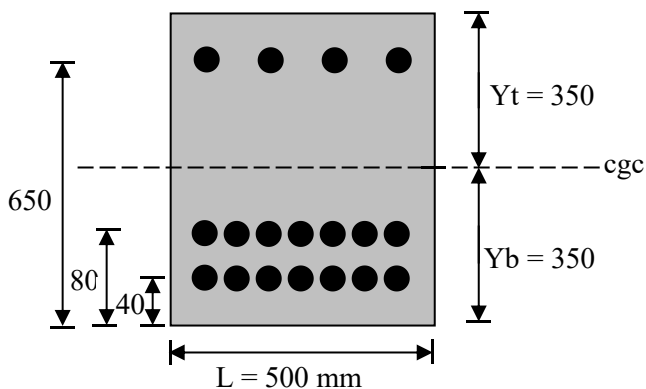
Diagram tegangan :



PENGECEKAN PADA QUARTER 1

1. Perencanaan gaya prategang :

- ✓ Jenis strand ½ “ ASTM A416 Grade 270
- ✓ As (luas strand) = 98,71 mm²
- ✓ fpu (kuat tarik) = 1860 Mpa
- ✓ fy (kuat leleh) = 1680 Mpa
- ✓ UTS = 184 Kn



Posisi (di) (mm)	ni	di*ni
40	7	280
80	7	560
650	4	2600
	<u>Σni = 18</u>	<u>Σdi*ni = 3440</u>

Pengecekan tegangan :

Posisi (mm)	n	70%UTS (Po) (kN)	4% Losses (Pi) (kN)	25% Losses (Peff) (kN)	mcc (kN)
40	7	901	865	676	36064
80	7	901	865	676	72080
650	4	515	494	386	334750
Σ	12	<u>2317</u>	<u>2224</u>	<u>1738</u>	<u>442894</u>

$$cgs = \frac{\sum mcc}{\sum Po} = \frac{442894}{2317} = 191 \text{ mm}$$

$$e = cgc - cgs = 350 - 191 = 159 \text{ mm}$$

keterangan :

Po1, Po2 dan Po3 : menunjukkan posisi strand pada jarak 40, 80 dan 650 mm

- ✓ Tahap Transfer : Pada tahap ini gaya prategang bekerja penuh beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi kekuatan beton belum termobilisasi penuh, pada tahap ini belum loss (kehilangan gaya prategang).

$$\begin{array}{l}
 - P_{o1} = 7 \times 184 \times 0,7 = 901 \text{ kN} \\
 - P_{o2} = 7 \times 184 \times 0,7 = 901 \text{ kN} \\
 - P_{o3} = 4 \times 184 \times 0,7 = 515 \text{ kN}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \\ \\ \end{array}} \right\} \text{Belum terjadi loss}$$

✓ Tahap Pemasangan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami kehilangan yang bersifat seketika, kurang lebih sebesar 4% beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi, kekuatan beton telah termobilisasi penuh

$$\begin{array}{l}
 - P_{i1} = 0,96 \times 901 = 865 \text{ kN} \\
 - P_{i2} = 0,96 \times 901 = 865 \text{ kN} \\
 - P_{i3} = 0,96 \times 515 = 494 \text{ kN}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \\ \\ \end{array}} \right\} \text{Telah terjadi loss sebesar 4\%}$$

✓ Tahap Layan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami seluruh komponen kehilangannya, beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban hidup, kekuatan beton telah termobilisasi penuh. Loss yang terjadi pada tahap ini sebesar 25 %

$$\begin{array}{l}
 - P_{eff1} = 0,75 \times 901 = 676 \text{ kN} \\
 - P_{eff2} = 0,75 \times 901 = 676 \text{ kN} \\
 - P_{eff3} = 0,75 \times 515 = 386 \text{ kN}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \\ \\ \end{array}} \right\} \text{Telah terjadi loss sebesar 25\%}$$

$$\begin{array}{l}
 - M_{cc1} = 901 \times 40 = 36064 \text{ kN} \\
 - M_{cc2} = 901 \times 80 = 72128 \text{ kN} \\
 - M_{cc3} = 515 \times 650 = 334880 \text{ kN}
 \end{array}$$

1. Tahap Transfer :

$$\begin{aligned}
 - q_{sw} \text{ (berat sendiri balok)} &= (\partial c) * (A) = 25 \times 0,5 \times 0,7 \\
 &= 8,75 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - M_{sw} \text{ (Momen berat sendiri)} &= 1/8 \cdot q_{sw} \cdot L^2 = 1/8 \times 8,75 \times 10^2 \\
 &= 109,375 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$- \text{Quarter 1, } x = 3,7 \text{ m}$$

$$- M(x) = 4.M \max \frac{x(L-x)}{L^2}$$

$$- M(x) = 4(109,375) \frac{3,7(10-3,7)}{100} = 101,88 \text{ kN.m}$$

Kontrol tegangan :

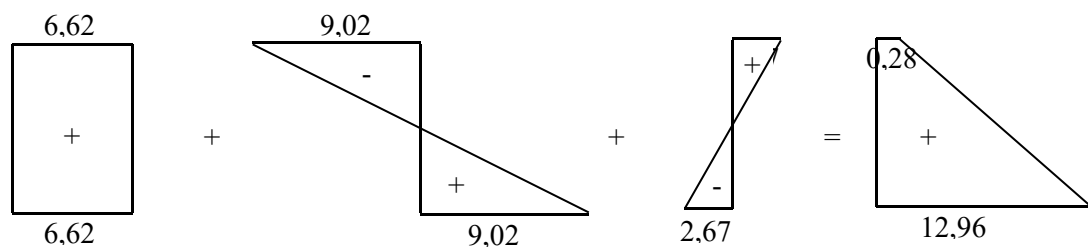
Pada tengah bentang.

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{top} &= \frac{Po}{A} - \frac{Po.e}{wt} + \frac{Msw}{wt} \\ &= \frac{2317000}{350000} - \frac{368403000}{40833333} + \frac{101880000}{40833333} \\ &= 6,62 - 9,02 + 2,49 \\ &= 0,090Mpa < f_{ci} = 19,92Mpa \dots\dots\dots ok!!\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{bot} &= \frac{Po}{A} + \frac{Po}{wb} - \frac{Msw}{wb} \\ &= 6,624 + 9,02 - 2,49 \\ &= 13,154Mpa < f_{ci} = 19,92Mpa \dots\dots\dots ok!!!\end{aligned}$$

diagram tegangan :



2. Tahap Pemasangan

$$\begin{aligned}- q_{sl} \text{ (berat slab beton)} &= (\partial_c) * (t_s) * (s) &= 25 \times 2 \times 0,2 \\ & &= 10 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}- q_{asph} \text{ (berat aspal)} &= (\partial_{asp}) * (t_{asp}) * (s) &= 22 \times 2 \times 0,075 \\ & &= 3,3 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$- q_{const} = 2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total beban pemasangan (q. erect)} = 15,3 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned}- M_{cons} &= 1/8 \times q_{erect} \times L^2 \\ &= 1/8 \times 15,3 \times 10^2 &= 191,250 \text{ kN.m} \\ & &= 191250000 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

$$- M_{cons} \text{ pada } x = 3,7 \text{ m}$$

$$M(x) = 4.M \max \frac{x(L-x)}{L^2}$$

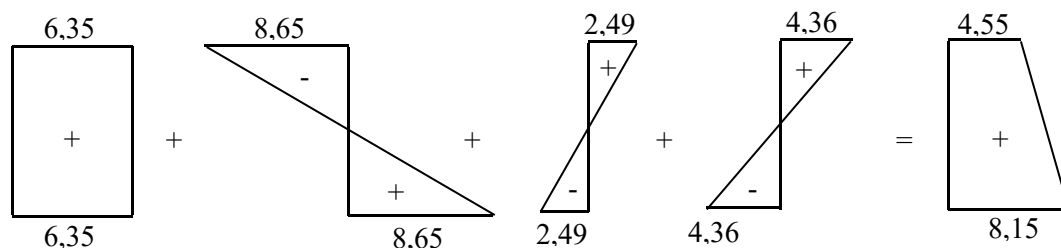
$$M(x) = 4(191,250) \frac{3,7(10-3,7)}{100} = 178,321 \text{ kN.m}$$

Kontrol tegangan :

$$\begin{aligned} \sigma_{top} &= \frac{P_i}{A} - \frac{P_i.e.y}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} + \frac{M_{cons}}{wt} \\ &= \frac{2224000}{350000} - \frac{353616000}{40833333} + \frac{101880000}{40833333} + \frac{178321000}{40833333} \\ &= 6,35 - 8,65 + 2,49 + 4,36 \\ &= 4,55 \text{ Mpa} < f_{c\text{call}} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{bot} &= \frac{P_i}{A} + \frac{P_i.e}{wb} - \frac{M_{sw}}{wb} - \frac{M_{cons}}{wb} \\ &= 6,35 + 8,65 - 2,49 - 4,36 \\ &= 8,15 \text{ Mpa} < f_{c\text{call}} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!} \end{aligned}$$

diagram tegangan :



3. Tahap Layan

- q_{sd} (Super- dead load) = q_{sl} + q_{Asp} = 10 + 3,3 = 13,3 kN/m'

$$M_{sd} = \frac{1}{8} q_{sd} l x^2 = 165 \text{ kN.m}$$

- M_{sd} pada x = 3,7 m

$$M(x) = 4.M \max \frac{x(L-x)}{L^2}$$

$$M(x) = 4(165) \frac{3,7(10-3,7)}{100} = 153,846 \text{ kN.m}$$

- q_{ll} (Life load) = 16 kN/m,

$$M_{ll} = \frac{1}{8} q_{ll} l x^2 = 200 \text{ kN.m}$$

- M_{ll} pada x = 3,7 m

$$M(x) = 4.M \max \frac{x(L-x)}{L^2}$$

$$M(x) = 4(200) \frac{3,7(10-3,7)}{100} = 186,48 \text{ kN.m}$$

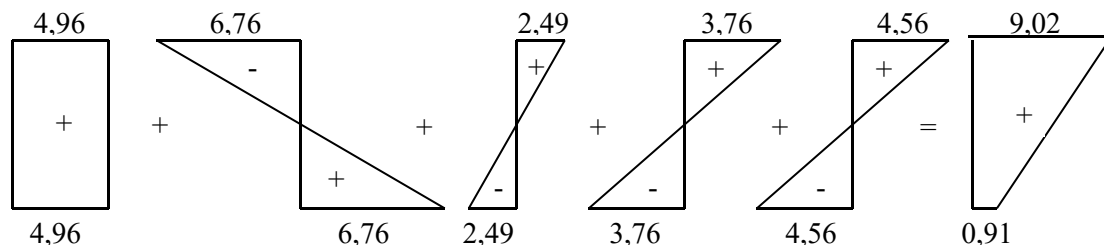
$$\text{Momen total} = 340,326 \text{ kN.m}$$

Kontrol tegangan :

$$\begin{aligned} \sigma_{top} &= \frac{P_{eff}}{A} - \frac{P_{eff}.e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} + \frac{M_{sdl}}{wt} + \frac{M_{ll}}{wt} \\ &= \frac{1738000}{350000} - \frac{276342000}{40833333} + \frac{101880000}{40833333} + \frac{153846000}{40833333} + \frac{186480000}{40833333} \\ &= 4,96 - 6,76 + 2,49 + 3,76 + 4,56 \\ &= 9,02 \text{ Mpa} < f_{c,call} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{bot} &= \frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff}.e.y}{wt} - \frac{M_{sw}}{wt} - \frac{M_{sdl}}{wt} - \frac{M_{ll}}{wt} \\ &= 4,96 + 6,76 - 2,49 - 3,76 - 4,56 \\ &= 0,91 \text{ Mpa} < f_{c,call} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!} \end{aligned}$$

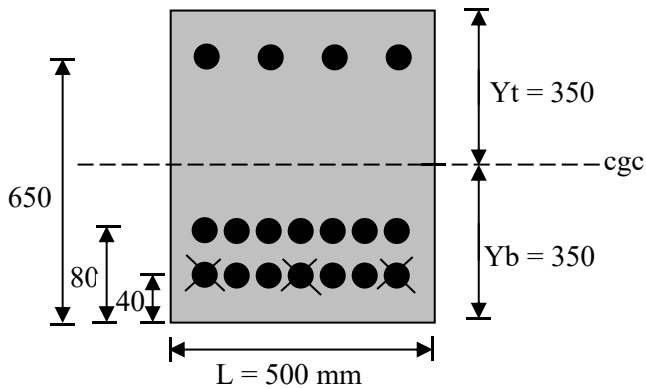
Diagram tegangan :



PENGECEKAN PADA QUARTER II

1. Perencanaan gaya prategang :

- ✓ Jenis strand ½ “ ASTM A416 Grade 270
- ✓ As (luas strand) = 98,71 mm²
- ✓ f_{pu} (kuat tarik) = 1860 Mpa
- ✓ f_y (kuat leleh) = 1680 Mpa
- ✓ UTS = 184 Kn



Posisi (d_i) (mm)	n_i	$d_i \cdot n_i$
40	4	160
80	7	560
650	4	2600
	$\Sigma n_i = 18$	$\Sigma d_i \cdot n_i = 3320$

Pengecekan tegangan :

Posisi (mm)	n	70%UTS (P_o) (kN)	4% Losses (P_i) (kN)	25% Losses (P_{eff}) (kN)	mcc (kN)
40	4	515	494	386	20600
80	7	901	865	676	72128
650	4	515	494	386	334880
Σ	12	1931	1853	1448	427608

$$cgs = \frac{\sum m_{cc}}{\sum P_o} = \frac{427608}{1931} = 221 \text{ mm}$$

$$e = cgc - cgs = 350 - 221 = 129 \text{ mm}$$

keterangan :

Po1, Po2 dan Po3 : menunjukkan posisi strand pada jarak 40, 80 dan 650 mm

- ✓ Tahap Transfer : Pada tahap ini gaya prategang bekerja penuh beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi kekuatan beton belum termobilisasi penuh, pada tahap ini belum loss (kehilangan gaya prategang).

$$\left. \begin{array}{l} - Po1 = 4 \times 184 \times 0,7 = 515 \text{ kN} \\ - Po2 = 7 \times 184 \times 0,7 = 901 \text{ kN} \\ - Po3 = 4 \times 184 \times 0,7 = 515 \text{ Kn} \end{array} \right\} \text{Belum terjadi loss}$$

- ✓ Tahap Pemasangan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami kehilangan

yang bersifat seketika, kurang lebih sebesar 4% beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi, kekuatan beton telah termobilisasi penuh

$$\left. \begin{array}{l} - P_{i1} = 0,96 \times 515 = 494 \text{ kN} \\ - P_{i2} = 0,96 \times 901 = 865 \text{ kN} \\ - P_{i3} = 0,96 \times 515 = 494 \text{ kN} \end{array} \right\} \text{Telah terjadi loss sebesar 4\%}$$

✓ Tahap Layan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami seluruh komponen kehilangannya, beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban hidup, kekuatan beton telah termobilisasi penuh. Loss yang terjadi pada tahap ini sebesar 25 %

$$\left. \begin{array}{l} - P_{eff1} = 0,75 \times 515 = 386 \text{ kN} \\ - P_{eff2} = 0,75 \times 901 = 676 \text{ kN} \\ - P_{eff3} = 0,75 \times 515 = 386 \text{ kN} \end{array} \right\} \text{Telah terjadi loss sebesar 25\%}$$

$$\begin{array}{l} - M_{cc1} = 515 \times 40 = 20600 \text{ kN} \\ - M_{cc2} = 901 \times 80 = 72128 \text{ kN} \\ - M_{cc3} = 515 \times 650 = 334880 \text{ kN} \end{array}$$

2. Tahap Transfer :

$$\begin{aligned} - q_{sw} (\text{berat sendiri balok}) &= (\rho_c) * (A) = 25 \times 0,5 \times 0,7 \\ &= 8,75 \text{ kN/m} \\ - M_{sw} (\text{Momen berat sendiri}) &= 1/8 \cdot q_{sw} \cdot L^2 = 1/8 \times 8,75 \times 10^2 \\ &= 109,375 \text{ kN.m} \\ - \text{Quarter 2, } x &= 0,6 \text{ m} \\ - M(x) &= 4.M \max \frac{x(L-x)}{L^2} \\ - M(x) &= 4(109,375) \frac{0,6(10-0,6)}{100} = 24,675 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Kontrol tegangan :

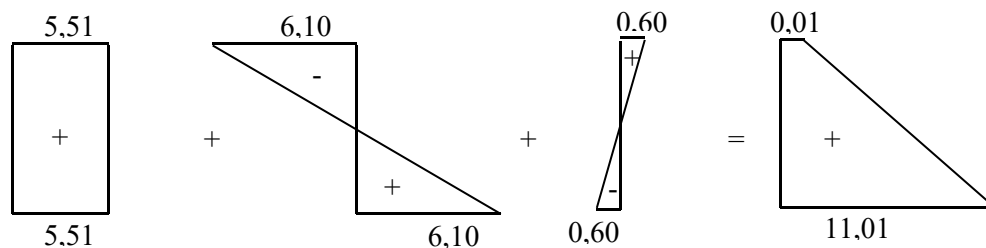
Pada tengah bentang.

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{top} &= \frac{Po}{A} - \frac{Po.e}{wt} + \frac{Msw}{wt} \\ &= \frac{1931000}{350000} - \frac{249099000}{40833333} + \frac{24675000}{40833333} \\ &= 5,51 - 6,10 + 0,60 \\ &= 0,01 \text{Mpa} < f_{ci} 12,45 \text{Mpa} \dots \dots \dots \text{ok!!}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{bot} &= \frac{Po}{A} + \frac{Po}{wb} - \frac{Msw}{wb} \\ &= 5,51 + 6,10 - 0,60 \\ &= 11,01 \text{Mpa} < f_{ci} 19,92 \text{Mpa} \dots \dots \dots \text{ok !!!}\end{aligned}$$

diagram tegangan :



3. Tahap Pemasangan

$$\text{- } q_{sl} \text{ (berat slab beton)} = (\partial_c) * (ts) * (s) = 25 \times 2 \times 0,2$$

$$= 10 \text{ kN/m}$$

$$\text{- } q_{asph} \text{ (berat aspal)} = (\partial_{asp}) * (t_{asp}) * (s) = 22 \times 2 \times 0,075$$

$$= 3,3 \text{ kN/m}$$

$$\text{- } q_{const} = 2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total beban pemasangan (q. erect)} = 15,3 \text{ kN/m}$$

$$\text{- } M_{cons} = 1/8 \times q_{erect} \times L^2$$

$$= 1/8 \times 15,3 \times 10^2 = 191,250 \text{ kN.m}$$

$$= 191250000 \text{ Nmm}$$

$$\text{- } M_{cons} \text{ pada } x = 0,6 \text{ m}$$

$$M(x) = 4.M \max \frac{x(L-x)}{L^2}$$

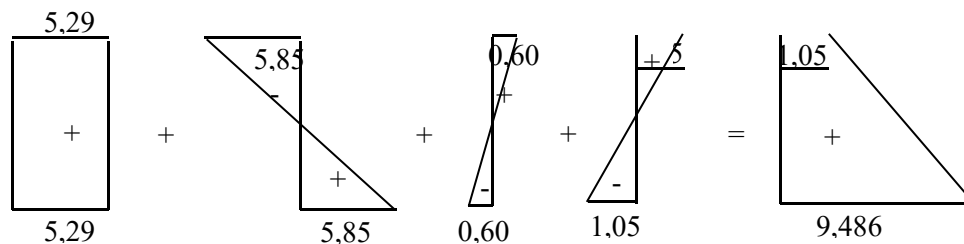
$$M(x) = 4(191,250) \frac{0,6(10 - 0,6)}{100} = 43,146 \text{ kN.m}$$

Kontrol tegangan :

$$\begin{aligned} \sigma_{top} &= \frac{P_i}{A} - \frac{P_i.e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} + \frac{M_{cons}}{wt} \\ &= \frac{1853000}{350000} - \frac{239037000}{40833333} + \frac{24675000}{40833333} + \frac{43146000}{40833333} \\ &= 5,29 - 5,85 + 0,604 + 1,05 \\ &= 1,094 \text{ Mpa} < f_{ccall} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{bot} &= \frac{P_i}{A} + \frac{P_i.e}{wb} - \frac{M_{sw}}{wb} - \frac{M_{cons}}{wb} \\ &= 5,29 + 5,85 - 0,604 - 1,05 \\ &= 9,486 \text{ Mpa} < f_{ccall} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!} \end{aligned}$$

diagram tegangan :



4. Tahap Layan

- q_{sdl} (Super- dead load) = q_{sl} + q_{Asp} = 10 + 3,3 = 13,3 kN/m'

$$M_{sdl} = \frac{1}{8} q_{sdl} l^2 = 165 \text{ kN.m}$$

- M_{sdl} pada x = 0,6 m

$$M(x) = 4.M \max \frac{x(L-x)}{L^2}$$

$$M(x) = 4(165) \frac{0,6(10 - 0,6)}{100} = 37,224 \text{ kN.m}$$

- q_{ll} (Life load) = 16 kN/m,

$$M_{ll} = \frac{1}{8} q_{ll} l^2 = 200 \text{ kN.m}$$

- M_{ll} pada x = 3,7 m

$$M(x) = 4.M \max \frac{x(L-x)}{L^2}$$

$$M(x) = 4(200) \frac{0,6(10-0,6)}{100} = 45,12 \text{ kN.m}$$

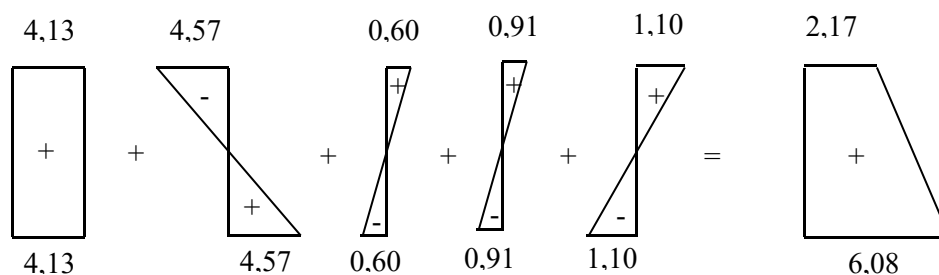
$$\text{Momen total} = 82,334 \text{ kN.m}$$

Kontrol tegangan :

$$\begin{aligned} \sigma_{top} &= \frac{P_{eff}}{A} - \frac{P_{eff}.e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} + \frac{M_{sdl}}{wt} + \frac{M_{ll}}{wt} \\ &= \frac{1448000}{350000} - \frac{186792000}{40833333} + \frac{24675000}{40833333} + \frac{37224000}{40833333} + \frac{45120000}{40833333} \\ &= 4,13 - 4,57 + 0,604 + 0,911 + 1,104 \\ &= 2,179 \text{ Mpa} < f_{ccall} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{bot} &= \frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff}.e.y}{wt} - \frac{M_{sw}}{wt} - \frac{M_{sdl}}{wt} - \frac{M_{ll}}{wt} \\ &= 4,13 + 4,57 - 0,604 - 0,911 - 1,104 \\ &= 6,081 \text{ Mpa} < f_{ccall} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!} \end{aligned}$$

Diagram tegangan :



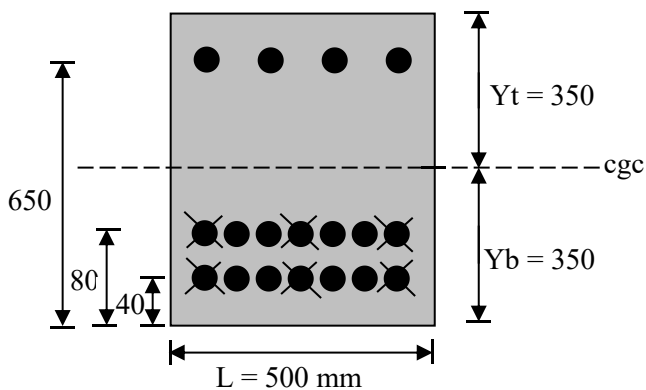
PENGECEKAN TEGANGAN DI UJUNG (II)

2. Perencanaan gaya prategang :

- ✓ Jenis strand ½ “ ASTM A416 Grade 270
- ✓ As (luas strand) = 98,71 mm²
- ✓ fpu (kuat tarik) = 1860 Mpa
- ✓ fy (kuat leleh) = 1680 Mpa

✓ UTS

= 184 Kn



Posisi (d_i) (mm)	n_i	$d_i \cdot n_i$
40	4	160
80	4	280
650	4	2600
	$\Sigma n_i = 12$	$\Sigma d_i \cdot n_i = 3040$

Pengecekan tegangan :

Posisi (mm)	n	70%UTS (P_o) (kN)	4% Losses (P_i) (kN)	25% Losses (P_{eff}) (kN)	mcc (kN)
40	4	515	494	386	20600
80	4	515	494	386	41200
650	4	515	494	386	334880
Σ	12	1545	1482	1158	396680

$$cgs = \frac{\sum mcc}{\sum P_o} = \frac{396690}{1545} = 256 \text{ mm}$$

$$e = cgc - cgs = 350 - 256 = 94 \text{ mm}$$

keterangan :

Po1, Po2 dan Po3 : menunjukkan posisi strand pada jarak 40, 80 dan 650 mm

✓ Tahap Transfer : Pada tahap ini gaya prategang bekerja penuh beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi kekuatan beton belum termobilisasi penuh, pada tahap ini belum loss (kehilangan gaya prategang).

$$\left. \begin{array}{l} - Po1 = 4 \times 184 \times 0,7 = 515 \text{ kN} \\ - Po2 = 4 \times 184 \times 0,7 = 515 \text{ kN} \\ - Po3 = 4 \times 184 \times 0,7 = 515 \text{ kN} \end{array} \right\} \text{Belum terjadi loss}$$

✓ Tahap Pemasangan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami kehilangan

yang bersifat seketika, kurang lebih sebesar 4% beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi, kekuatan beton telah termobilisasi penuh

$$\begin{array}{l}
 - P_{i1} = 0,96 \times 515 = 494 \text{ kN} \\
 - P_{i2} = 0,96 \times 515 = 494 \text{ kN} \\
 - P_{i3} = 0,96 \times 515 = 494 \text{ kN}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array}} \right\} \text{Telah terjadi loss sebesar 4\%}$$

✓ Tahap Layan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami seluruh komponen kehilangannya, beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban hidup, kekuatan beton telah termobilisasi penuh. Loss yang terjadi pada tahap ini sebesar 25 %

$$\begin{array}{l}
 - P_{eff1} = 0,75 \times 515 = 386 \text{ kN} \\
 - P_{eff2} = 0,75 \times 515 = 386 \text{ kN} \\
 - P_{eff3} = 0,75 \times 515 = 386 \text{ kN}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array}} \right\} \text{Telah terjadi loss sebesar 25\%}$$

$$\begin{array}{l}
 - M_{cc1} = 515 \times 40 = 20600 \text{ kN} \\
 - M_{cc2} = 515 \times 80 = 41200 \text{ kN} \\
 - M_{cc3} = 515 \times 650 = 334880 \text{ kN}
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 - q_{sl} (\text{berat slab beton}) &= (\partial_c) * (t_s) * (s) = 25 \times 2 \times 0,2 \\
 &= 10 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - q_{asp} (\text{berat aspal}) &= (\partial_{asp}) * (t_{asp}) * (s) = 22 \times 2 \times 0,075 \\
 &= 3,3 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$- q_{const} = 2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total beban pemasangan (q. erect)} = 14,03 \text{ kN/m}$$

$$- M_{cons} = 0$$

3. Tahap Transfer :

Pada tahap ini, gaya prategang bekerja penuh, beban yang bekerja adalah berat sendiri, dan kekuatan beton belum termobilisasi penuh.

$$\begin{aligned}
 - q_{sw} (\text{berat sendiri balok}) &= (\partial_c) * (A) = 25 \times 0,5 \times 0,7 \\
 &= 8,75 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$- M_{sw} (\text{Momen berat sendiri}) = 0, (\text{Momen pada ujung bentang} = 0)$$

Kontrol tegangan :

Pada tengah bentang.

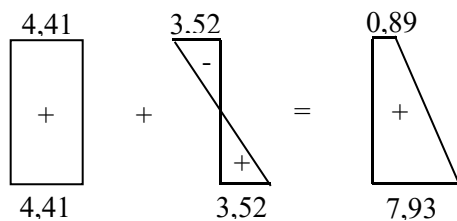
$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I} \quad \sigma_{top} = \frac{Po}{A} - \frac{Po.e}{wt}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1545600}{350000} - \frac{143740800}{40833333} \\ &= 4,416 - 3,520 \\ &= 0,89Mpa < f_{ci} = 19,92Mpa \dots\dots\dots ok!!! \end{aligned}$$

$$\sigma_{bot} = \frac{Po}{A} + \frac{Po.e}{wb}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1545600}{350000} + \frac{143740800}{40833333} \\ &= 4,41 + 3,520 \\ &= 7,93Mpa < f_{ci} = 19,92Mpa \dots\dots\dots ok!!! \end{aligned}$$

diagram tegangan :



Dari kontrol tegangan yang dilaksanakan, dapat kita lihat bahwa tegangan yang terjadi masih dibawah tegangan ijin.

5. Tahap Pemasangan

Kontrol tegangan :

$$\sigma_{top} = \frac{Pi}{A} - \frac{Pi.e.y}{wt}$$

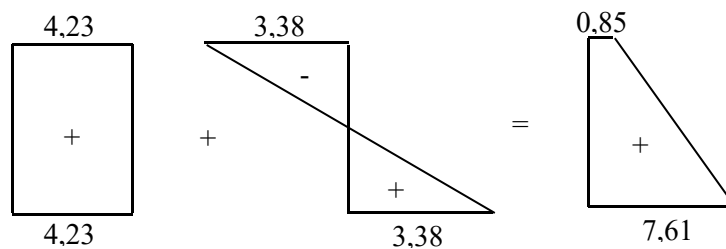
$$\begin{aligned} &= \frac{1482000}{350000} - \frac{137826000}{40833333} \\ &= 4,23 - 3,38 \\ &= 0,85Mpa < f_{cc} = 18,675Mpa \dots\dots\dots ok!! \end{aligned}$$

$$\sigma_{bot} = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e}{wb}$$

$$= 4,23 + 3,38$$

$$= 7,61 \text{ Mpa} < f_{ccall} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!}$$

diagram tegangan :



6. Tahap Layan

Kontrol tegangan :

$$\sigma_{top} = \frac{P_{eff}}{A} - \frac{P_{eff} \cdot e}{wt} + \frac{M_{sdl}}{wt} + \frac{M_{ll}}{wt}$$

$$= \frac{1158000}{350000} - \frac{108852000}{40833333}$$

$$= 3,308 - 2,66$$

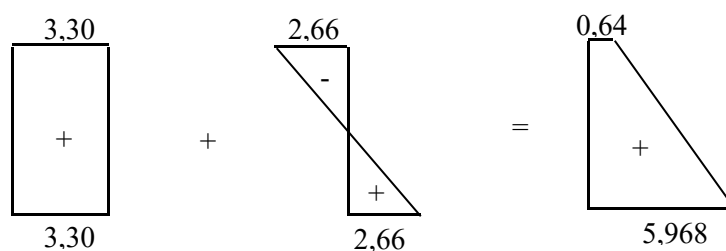
$$= 0,64 \text{ Mpa} < f_{ccall} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!}$$

$$\sigma_{bot} = \frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e \cdot y}{wt} - \frac{M_{sdl}}{wt} - \frac{M_{ll}}{wt}$$

$$= 3,308 + 2,66$$

$$= 5,968 \text{ Mpa} < f_{ccall} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!}$$

diagram tegangan :



CRACK AND ULTIMATE STAGE

Pada Pertengahan bentang

$$M_{CR} = \left(\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff}.e}{wb} + fr \right) wb$$

$$\begin{aligned} fr &= 0,7 \sqrt{fc'} \\ &= 0,7 \sqrt{41,5} \\ &= 4,51 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{CR} &= \left(\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff}.e}{wb} + fr \right) wb \\ &= \left(\frac{1738800}{350000} + \frac{1738800.159}{40833333} + 4,51 \right) 40833333 \\ &= (4,968 + 6,77 + 4,51).40833333 \\ &= 663,454 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= 14 & A_s &= 14 \times 98,71 \\ d &= 450 & &= 1381,94 \text{ mm}^2 \\ A_s.f_{pu} &= 1860 \times 1381,94 = 2570 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s.f_{py} \left\{ d - \frac{1}{2} \frac{A_s.f_{py}}{0,85 f_c' b} \right\} \\ &= 2570 \left\{ 450 - \frac{1}{2} \frac{1381,94 \times 1680}{0,85 \times 41,5 \times 500} \right\} \\ &= 987,352 \text{ kN} \end{aligned}$$

Ultimate Check

$$\begin{aligned} 1,2 M_{dl} + 1,6 M_{ll} &= 1,2(165) + 1,6(200) \\ &= 198 + 320 \\ &= 518 \text{ kN.m} < 0,8 M_n = 759,88 \text{ ok !!!} \end{aligned}$$

Crack/ Ultimate ratio

$$\frac{M_{cr}}{M_n} = \frac{663,454}{987,352} = 67\% < 80\% \quad \dots \quad \dots \text{ ok !!!}$$

CRACK AND ULTIMATE STAGE

Pada quarter I

$$M_{CR} = \left(\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e}{wb} + fr \right) wb$$

$$\begin{aligned} fr &= 0,7 \sqrt{f_c'} \\ &= 0,7 \sqrt{41,5} \\ &= 4,51 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{CR} &= \left(\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e}{wb} + fr \right) wb \\ &= \left(\frac{1738800}{350000} + \frac{1738800 \cdot 159}{40833333} + 4,51 \right) \cdot 40833333 \\ &= (4,968 + 6,77 + 4,51) \cdot 40833333 \\ &= 663,487 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= 11 & A_s &= 11 \times 98,71 \\ d &= 635 & &= 1085,81 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \cdot f_{pu} = 1860 \times 1085,81 = 2019 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \cdot f_{pu} \left\{ d - \frac{1}{2} \frac{A_s \cdot f_{py}}{0,85 f_c' b} \right\} \\ &= 2019 \left\{ 635 - \frac{1}{2} \frac{1381,94 \times 1680}{0,85 \times 41,5 \times 500} \right\} \\ &= 1149,183 \text{ kN} \end{aligned}$$

Ultimate Check

$$\begin{aligned} 1,2 M_{dl} + 1,6 M_{ll} &= 1,2(186,48) + 1,6(153,84) \\ &= 223,776 + 246,114 \\ &= 469,92 \text{ kN.m} < 0,8 M_n = 919,346 \text{ kN..... ok !!!} \end{aligned}$$

Crack/ Ultimate ratio

$$\frac{M_{cr}}{M_n} = \frac{663,487}{1149,183} = 57,73\% < 80\% \quad \dots \quad \dots \text{ ok !!!}$$

CRACK AND ULTIMATE STAGE

Pada quarter II

$$M_{CR} = \left(\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e}{wb} + fr \right) wb$$

$$\begin{aligned} fr &= 0,7 \sqrt{f_c'} \\ &= 0,7 \sqrt{41,5} \\ &= 4,51 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{CR} &= \left(\frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e}{wb} + fr \right) wb \\ &= \left(\frac{1448000}{350000} + \frac{1448000 \cdot 129}{40833333} + 4,51 \right) 40833333 \\ &= (4,13 + 4,57 + 4,51) \cdot 40833333 \\ &= 718,802 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= 8 & A_s &= 8 \times 98,71 \\ d &= 640 & &= 789,68 \text{ mm}^2 \\ A_s \cdot f_{pu} &= 1860 \times 789,68 = 1468,805 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \cdot f_{pu} \left\{ d - \frac{1}{2} \frac{A_s \cdot f_{py}}{0,85 f_c' b} \right\} \\ &= 1468,805 \left\{ 640 - \frac{1}{2} \frac{789,68 \times 1680}{0,85 \times 41,5 \times 500} \right\} \\ &= 884,794 \text{ kN} \end{aligned}$$

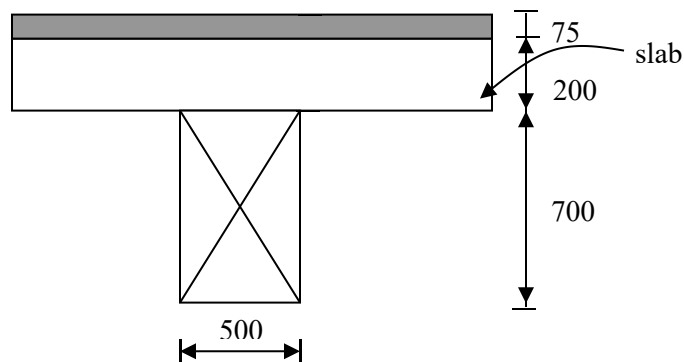
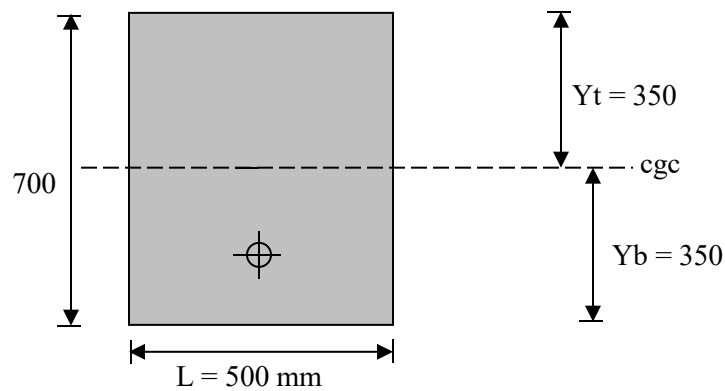
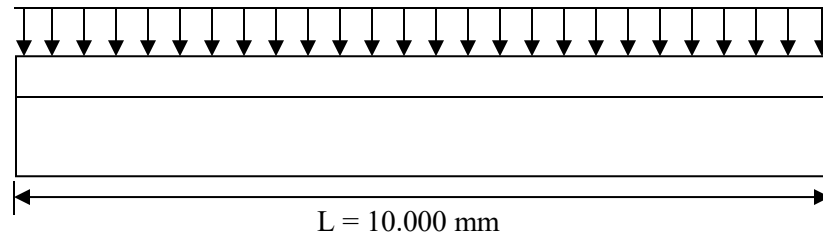
Ultimate Check

$$\begin{aligned} 1,2 M_{dl} + 1,6 M_{ll} &= 1,2(186,48) + 1,6(153,84) \\ &= 223,776 + 246,114 \\ &= 469,92 \text{ kN.m} < 0,8 M_n = 620,54 \dots \text{ ok !!!} \end{aligned}$$

Crack/ Ultimate ratio

$$\frac{M_{cr}}{M_n} = \frac{469,92}{884,794} = 53,11\% < 80\% \dots \dots \text{ ok !!!}$$

- Suatu balok persegi panjang, ($L = 10.000 \text{ mm}$), yang direncanakan untuk struktur jembatan, balok tersebut ditumpu di atas dua perletakan, direncanakan menggunakan sistem prategang pascatarik. Perhitungan yang dilakukan antara lain ; perencanaan “daerah aman”, total strand yang dibutuhkan serta “stress control”.



I. Data beton :

✓	Kuat tekan karakteristik	= K500
✓	$f_c' = 0,83 \sigma_{bk} = 415 \text{ kg/cm}^2$	= $415 \text{ kg/cm}^2 = 41,5 \text{ Mpa}$
✓	f_{ci}' (kuat tekan beton saat transfer) = $50\% * f_c'$	= 20,75 Mpa
✓	$f_{ciall} = 0,6 * 50\% f_c'$	= 12,45 Mpa
✓	$f_{ccall} = 0,6 * f_c'$	= 24,9 Mpa
✓	$f_{csall} = 0,45 * f_c'$	= 18.675 Mpa
✓	E_c (Modulus elastisitas beton) = $4700 \sqrt{f_c'}$	= 30278 Mpa
✓	E_{ci}	= $4700 \sqrt{f_{ci}}$ = 21409 Mpa
✓	f_t (kuat tarik beton)	= $0,7 \sqrt{f_c'}$ = 4,51 Mpa
✓	f_{ti}	= $0,7 \sqrt{f_{ci}}$ = 3,19 Mpa
✓	f_{tall}	= $\frac{f_t}{1,5}$ = 3,0 Mpa
✓	f_{tiall}	= $\frac{f_{ti}}{1,5}$ = 2,1 Mpa

II. Spesifikasi Beban :

✓	L (Panjang bentang)	= 10 m
✓	s (lebar slab)	= 2 m
✓	q_{sl} (beban slab)	= 9,6 kN/m
✓	q_{asp} (beban aspal)	= 3,3 kN/m
✓	q_{ll} (beban hidup)	= 16 kN/m
✓	t_{slab} (tebal slab)	= 200 mm
✓	t_{asp} (tebal aspal)	= 75 mm
✓	UDL	= 8 kPa
✓	$M_{sl} = 1/8 \times q \times L^2 = 1/8 \times 9,6 \times 100$	= 120 kN.m
✓	$M_{asp} = 1/8 \times q \times L^2 = 1/8 \times 3,3 \times 100$	= 41,25 kN.m
✓	$M_{ll} = 1/8 \times 16 \times L^2 = 1/8 \times 16 \times 100$	= 200 kN.m
✓	$M_{tot-sw} = M_{sl} + M_{asp} + M_{ll}$	= 361,25 kN.m

III. Estimasi penampang dan rencana prategang :

- ✓ h (tinggi penampang) = $L/18 - L/14$ (pakai yang maksimum),

$$L/14 \times 10000 \text{ mm} = 714 \text{ mm} = 700 \text{ mm}$$
- ✓ l (lebar penampang) = $h/2 - 2/3 h$ (pakai $2/3 h$),

$$2/3 \times 700 \text{ mm} = 466 \text{ mm} = 500 \text{ mm}$$

Jadi dimensi penampang yang dipakai : 500 x 700 mm
- ✓ A (luas) = $b * h = (500)*(700) = 350000 \text{ mm}^2$
- ✓ I (Momen inersia) = $\frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}(500)(700)^3 = 1,429E+10 \text{ mm}^4$
- ✓ R (radius girasi penampang) = $\sqrt{\frac{I}{A}} = 202 \text{ mm}$
- ✓ $wt = \frac{I}{yt} = 40833333 \text{ mm}^3$
- ✓ $wb = \frac{I}{yb} = 40833333 \text{ mm}^3$
- ✓ Momen akibat berat sendiri (Msw), $\gamma_c = 24 \text{ kN/m}^3$

$q_{sw} = \gamma_c \times A \text{ beton} = 24 \times 0,15 \times 0,7 = 8,4 \text{ kN/m}$

$M_{sw} = 1/8 \times q_{sw} \times L^2 = 1/8 \times 8,4 \times 10^2 = 105 \text{ kN.m}$

$MT = 361,25 + 105 = 466,25 \text{ kN.m}$
- ✓ Estimasi gaya prategang efektif (Teff)

$$T_{eff} = \frac{MT}{0,65 h} = \frac{466,25}{(0,65)(0,7)} = 1024,725 \text{ kN}$$

Besarnya loss yang terjadi, diasumsikan sebesar : 20 %

$$T_o = \frac{T_{eff}}{0,8} = \frac{1024,725}{0,8} = 1280,906 \text{ kN}$$

$$T_{ult} = \frac{T_o}{0,7} = \frac{1280,906}{0,7} = 1829,866 \text{ kN}$$
- ✓ Perkiraan jumlah strand yang dipakai
 (direncanakan pakai 1/2" UTS = 184 kN)

$$n \text{ strand} = \frac{T_{ult}}{184} = \frac{1829,866}{184} = 9,94 \rightarrow 10 \text{ strand}$$

IV. Perencanaan “Daerah aman”

✓ L (Panjang bentang) = 10,00 m

✓ Kern Top & Kern Bottom

$$K_t = \frac{r^2}{Y_{top}} = \frac{(202)^2}{350} = 116,6667$$

$$K_b = \frac{r^2}{Y} = \frac{(202)^2}{350} = 116,6667$$

✓ Location, x = 0,00 m

$$\begin{array}{l} M_{sw} = 0 \\ MT = 0 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} M_{sw} = 0 \\ MT = 0 \end{array}} \right\} \begin{array}{l} a_1 = 0, \\ a_2 = 0, \end{array} \quad \begin{array}{l} K_{top} = 350 + 116,667 = 467 \text{ mm} \\ K_{bot} = 350 - 116,667 = 233 \text{ mm} \end{array}$$

$$\text{Top margin} = K_t - a_2 = 467 - 0,00 = 467 \text{ mm}$$

$$\text{Bot margin} = K_b - a_1 = 233 - 0,00 = 233 \text{ mm}$$

✓ Location, x = 1,00 m

$$M_{sw} = \frac{4 \cdot M \max(x)(L-1)}{L^2}$$

$$= \frac{4 \cdot 105(1)(10-1)}{10^2}$$

$$= 37,8 \text{ kN.m} = 38 \text{ kN.m}$$

$$MT = \frac{4 \cdot M \max(x)(L-1)}{L^2}$$

$$= \frac{4 \cdot 105(1)(10-1)}{10^2}$$

$$= 167,85 \text{ kN.m} = 168 \text{ kN.m}$$

$$a_1 = \frac{M_{sw}}{T_o} = \frac{38}{1280,906} = 30 \text{ mm}$$

$$a_2 = \frac{MT}{T_{eff}} = \frac{167,85}{1024,725} = 164 \text{ mm}$$

$$\text{Top Margin} = K_t - a_2 = 303 \text{ mm}$$

$$\text{Bot Margin} = K_b - a_1 = 203 \text{ mm}$$

PENGECEKAN TEGANGAN DI TENGAH BENTANG

Type strand	½ “ ASTM A416 Grade 270	$A_s = 98,71 \text{ mm}^2$
fpu	: 1860 Mpa	UTS = 184 KN
fy	: 1680 Mpa	

Posisi n (mm)	70%UTS (Po) (kN)	4% Losses (Pi) (kN)	25% Losses (Peff) (kN)	mcc (kN)
175 12	<u>1542</u>	<u>1481</u>	<u>1157</u>	<u>269892</u>
\sum 12	1542	1481	1157	269892

keterangan :

- ✓ Tahap Transfer : Pada tahap ini gaya prategang bekerja penuh beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi kekuatan beton belum termobilisasi penuh, pada tahap ini belum ada loss (kehilangan gaya prategang).
 - $P_o = 8 \times 184 \times 0,7 = 1542 \text{ kN}$ (Belum terjadi loss)
 - cara perhitungan : $(1860 \times 98,71 = 183600,6/1000 = 183,600 \text{ kN})$
 $(183,600 \times 12 = 2203,2 \text{ kN} \times 0,70 = 1542,24 \text{ kN})$
- ✓ Tahap Pemasangan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami kehilangan yang bersifat seketika, kurang lebih sebesar 4% beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi, kekuatan beton telah termobilisasi penuh
 - $P_i = 0,96 \times 1542 = 1481 \text{ kN}$ Telah terjadi loss sebesar 4%
- ✓ Tahap Layan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami seluruh komponen kehilangannya, beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban hidup, kekuatan beton telah termobilisasi penuh. Loss yang terjadi pada tahap ini sebesar 25 %
 - $P_{eff} = 0,75 \times 1542 = 1157 \text{ kN}$ Telah terjadi loss sebesar 25%
 - $M_{cc1} = 1542 \times 175 = 269892 \text{ kN.mm}$

1. Tahap Transfer :

Pada tahap ini, gaya prategang bekerja penuh, beban yang bekerja adalah berat sendiri, dan kekuatan beton belum termobilisasi penuh.

$$\begin{aligned} - q_{sw} \text{ (berat sendiri balok)} &= (\gamma_c) * (A) = 24 \times 0,5 \times 0,7 \\ &= 8,4 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - M_{sw} \text{ (Momen berat sendiri)} &= 1/8 \cdot q_{sw} \cdot L^2 = 1/8 \times 8,4 \times 10^2 \\ &= 105 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Kontrol tegangan :

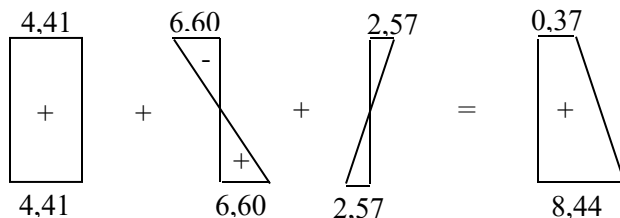
Pada tengah bentang.

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{top} &= \frac{P_o}{A} - \frac{P_o.e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} \\ &= \frac{1542000}{350000} - \frac{1542000.175}{40833333} + \frac{105000000}{40833333} \\ &= 4,41 - 6,608 + 2,57 \\ &= 0,372 \text{ Mpa} < f_{ci,all} = 12,45 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{bot} &= \frac{P_o}{A} + \frac{P_o}{wb} - \frac{M_{sw}}{wb} \\ &= \frac{1542000}{350000} - \frac{1542000.175}{40833333} + \frac{105000000}{40833333} \\ &= 4,41 + 6,608 - 2,57 \\ &= 8,448 \text{ Mpa} < f_{ci,all} = 12,45 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!} \end{aligned}$$

diagram tegangan :



Dari kontrol tegangan yang dilaksanakan, dapat kita lihat bahwa tegangan yang terjadi masih dibawah tegangan ijin.

2. Tahap Pemasangan :

Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami kehilangan yang bersifat seketika, beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi, dan kekuatan beton telah termobilisasi penuh.

Gaya prategang telah mengalami loss sebesar 4%

$$P_i = 4\% \times P_o = 0,96 \times 1542,24 = 1481 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} - q_{sw} (\text{berat sendiri balok}) &= (\gamma_c) * (A) &&= 24 \times 0,5 \times 0,7 \\ &&&= 8,4 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - q_{sl} (\text{berat slab beton}) &= (\gamma_c) * (t_s) * (s) &&= 24 \times 2 \times 0,2 \\ &&&= 9,6 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - q_{asp} (\text{berat aspal}) &= (\gamma_{asp}) * (t_{asp}) * (s) &&= 22 \times 2 \times 0,075 \\ &&&= 3,3 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$- q_{const} \quad \quad \quad = 2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total beban pemasangan (q.erec)} \quad \quad \quad = 14,90 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} - M_{cons} &= 1/8 \times q_{erec} \times L^2 \\ &= 1/8 \times 14,90 \times 10^2 &&= 186,25 \text{ kN.m} \\ &&&= 18625000000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

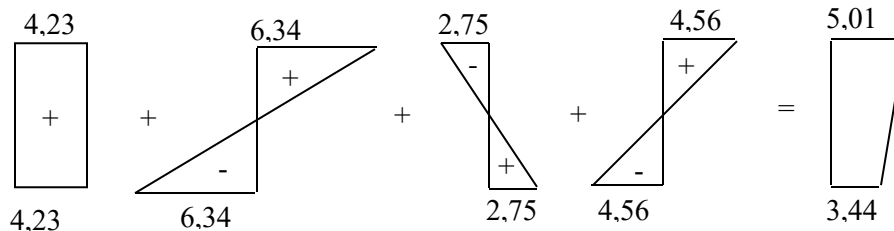
Kontrol tegangan :

$$\begin{aligned} \sigma_{top} &= \frac{P_i}{A} - \frac{P_i.e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} + \frac{M_{cons}}{wt} \\ &= \frac{1481000}{350000} - \frac{1481000 \cdot 175}{40833333} + \frac{105000000}{40833333} + \frac{186250000}{40833333} \\ &= 4,23 - 6,34 + 2,57 + 4,56 \\ &= 5,01 \text{ Mpa} < f_{csall} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!} \end{aligned}$$

$$\sigma_{bot} = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i.e}{wb} - \frac{M_{sw}}{wb} - \frac{M_{cons}}{wb}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1481000}{350000} + \frac{1481000 \cdot 175}{40833333} - \frac{105000000}{40833333} + \frac{186250000}{40833333} \\
 &= 4,23 + 6,34 - 2,75 - 4,56 \\
 &= 3,44 \text{ Mpa} < f_{tall} = 3 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!}
 \end{aligned}$$

Diagram tegangan :



3. Tahap Layan

Pada tahap ini beton telah mengalami seluruh komponen kehilangannya, beban yang bekerja adalah beban hidup dan berat sendiri, kekuatan beton juga telah termobilisasi penuh. Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami loss sebesar 25 %.

$$P_{eff} = 0,75 \times P_o = 0,75 \times 1542,24 = 1157 \text{ kNm.}$$

$$\text{- } q_{sdl} \text{ (Super- dead load) } = q_{sl} + q_{asp} = 9,6 + 3,3 = 12,9 \text{ kN/m'}$$

$$M_{sdl} = \frac{1}{8} q_{sdl} l^2 = 161,25 \text{ kN.m}$$

$$\text{- } q_{ll} \text{ (Life load) } = 16 \text{ kN/m,}$$

$$M_{ll} = \frac{1}{8} q_{ll} l^2 = \underline{200 \text{ kN.m}}$$

$$\text{Momen total} = 361,25 + 105 = 466,25 \text{ kN.m}$$

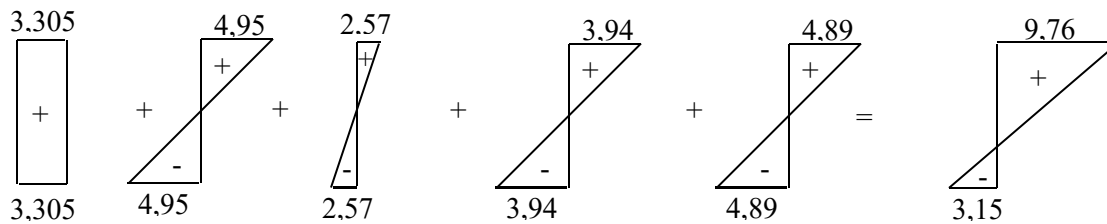
Kontrol tegangan :

$$\sigma_{top} = \frac{P_{eff}}{A} - \frac{P_{eff} \cdot e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} + \frac{M_{sdl}}{wt} + \frac{M_{ll}}{wt}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1157000}{350000} - \frac{1157000 \cdot 175}{40833333} + \frac{105000000}{40833333} + \frac{161250000}{40833333} + \frac{200000000}{40833333} \\
 &= 3,305 - 4,958 + 2,57 + 3,948 + 4,897 \\
 &= 9,76 \text{ Mpa} < f_{call} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{bot} &= \frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff}.e.y}{wt} - \frac{M_{sw}}{wt} - \frac{M_{sdl}}{wt} - \frac{M_{ll}}{wt} \\ &= 3,305 + 2,838 - 2,57 - 3,948 - 4,897 \\ &= (-3,15\text{Mpa}) < f_{tall} = 3,0\text{Mpa} \dots\dots\dots\end{aligned}$$

Diagram tegangan :



PENGECEKAN TEGANGAN PADA QUARTER 1 (x = 1,00 m)

1. Tahap Transfer :

Pada tahap ini, gaya prategang bekerja penuh, beban yang bekerja adalah berat sendiri, dan kekuatan beton belum termobilisasi penuh.

$$\begin{aligned}\text{- } q_{sw} \text{ (berat sendiri balok)} &= (\gamma_c) * (A) = 24 \times 0,5 \times 0,7 \\ &= 8,4 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{- } M_{sw} \text{ (Momen berat sendiri)} &= 1/8 \cdot q_{sw} \cdot L^2 = 1/8 \times 8,4 \times 10^2 \\ &= 105 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

Kontrol tegangan :

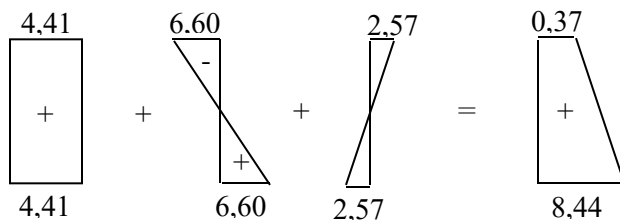
Pada tengah bentang.

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{top} &= \frac{P_o}{A} - \frac{P_o.e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} \\ &= \frac{1542000}{350000} - \frac{1542000.175}{40833333} + \frac{105000000}{40833333} \\ &= 4,41 - 6,608 + 2,57 \\ &= 0,372\text{Mpa} < f_{ci\text{all}} = 12,45\text{Mpa} \dots\dots\dots\text{ok!!!}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{bot} &= \frac{P_o}{A} + \frac{P_o}{wb} - \frac{M_{sw}}{wb} \\
 &= \frac{1542000}{350000} - \frac{1542000 \cdot 175}{40833333} + \frac{105000000}{40833333} \\
 &= 4,41 + 6,608 - 2,57 \\
 &= 8,448 \text{ Mpa} < f_{ci,all} = 12,45 \text{ Mpa} \dots \dots \dots \text{ok!!!}
 \end{aligned}$$

diagram tegangan :



Dari kontrol tegangan yang dilaksanakan, dapat kita lihat bahwa tegangan yang terjadi masih dibawah tegangan ijin.

2. Tahap Pemasangan :

Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami kehilangan yang bersifat seketika, beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi, dan kekuatan beton telah termobilisasi penuh.

Gaya prategang telah mengalami loss sebesar 4%

$$P_i = 4\% \times P_o = 0,96 \times 1542,24 = 1481 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 - q_{sw} \text{ (berat sendiri balok)} &= (\gamma_c) * (A) &= 24 \times 0,5 \times 0,7 \\
 & &= 8,4 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - q_{sl} \text{ (berat slab beton)} &= (\gamma_c) * (t_s) * (s) &= 24 \times 2 \times 0,2 \\
 & &= 9,6 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - q_{asp} \text{ (berat aspal)} &= (\gamma_{asp}) * (t_{asp}) * (s) &= 22 \times 2 \times 0,075 \\
 & &= 3,3 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$- q_{const} = 2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total beban pemasangan (q. erect)} = 14,90 \text{ kN/m}$$

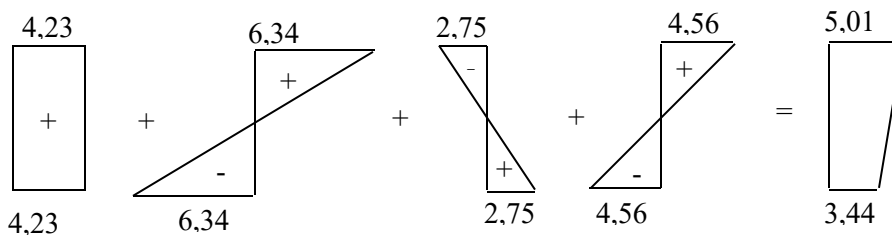
$$\begin{aligned}
 - M_{cons} &= 1/8 \times q_{erect} \times L^2 \\
 &= 1/8 \times 14,90 \times 10^2 = 186,25 \text{ kN.m} \\
 &= 18625000000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol tegangan :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{top} &= \frac{P_i}{A} - \frac{P_i.e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} + \frac{M_{cons}}{wt} \\
 &= \frac{1481000}{350000} - \frac{1481000 \cdot 175}{40833333} + \frac{105000000}{40833333} + \frac{186250000}{40833333} \\
 &= 4,23 - 6,34 + 2,57 + 4,56 \\
 &= 5,01 \text{ Mpa} < f_{csall} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{bot} &= \frac{P_i}{A} + \frac{P_i.e}{wb} - \frac{M_{sw}}{wb} - \frac{M_{cons}}{wb} \\
 &= \frac{1481000}{350000} + \frac{1481000 \cdot 175}{40833333} - \frac{105000000}{40833333} - \frac{186250000}{40833333} \\
 &= 4,23 + 6,34 - 2,75 - 4,56 \\
 &= 3,44 \text{ Mpa} < f_{tall} = 3 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!}
 \end{aligned}$$

Diagram tegangan :



3. Tahap Layan

Pada tahap ini beton telah mengalami seluruh komponen kehilangannya, beban yang bekerja adalah beban hidup dan berat sendiri, kekuatan beton juga telah termobilisasi penuh. Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami loss sebesar 25 %.

$$P_{eff} = 0,75 \times P_o = 0,75 \times 1542,24 = 1157 \text{ kNm.}$$

$$- q_{sdl} \text{ (Super- dead load)} = q_{sl} + q_{Asp} = 9,6 + 3,3 = 12,9 \text{ kN/m'}$$

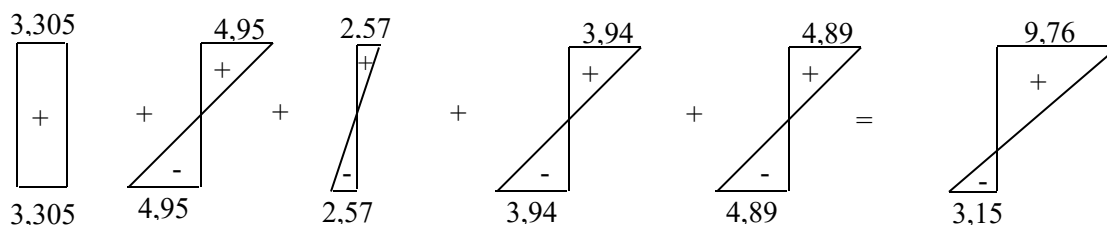
$$\begin{aligned}
 Msdl &= \frac{1}{8} q_s d l x l^2 = 161,25 \text{ kN.m} \\
 - \text{ qll (Life load)} &= 16 \text{ kN/m,} \\
 Mll &= \frac{1}{8} qll x l^2 = 200 \text{ kN.m} \\
 \text{Momen total} &= 361,25 + 105 = 466,25 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Kontrol tegangan :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{top} &= \frac{P_{eff}}{A} - \frac{P_{eff} \cdot e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} + \frac{Msdl}{wt} + \frac{Mll}{wt} \\
 &= \frac{1157000}{350000} - \frac{1157000 \cdot 175}{40833333} + \frac{105000000}{40833333} + \frac{161250000}{40833333} + \frac{200000000}{40833333} \\
 &= 3,305 - 4,958 + 2,57 + 3,948 + 4,897 \\
 &= 9,76 \text{ Mpa} < f_{call} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{bot} &= \frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e \cdot y}{wt} - \frac{M_{sw}}{wt} - \frac{Msdl}{wt} - \frac{Mll}{wt} \\
 &= 3,305 + 2,838 - 2,57 - 3,948 - 4,897 \\
 &= (-3,15 \text{ Mpa}) < f_{tall} = 3,0 \text{ Mpa} \dots\dots\dots
 \end{aligned}$$

Diagram tegangan :



PENGECEKAN TEGANGAN PADA QUARTER 2 (x = 4,00 m)

2. Tahap Transfer :

Pada tahap ini, gaya prategang bekerja penuh, beban yang bekerja adalah berat sendiri, dan kekuatan beton belum termobilisasi penuh.

$$\begin{aligned}
 - \text{ qsw (berat sendiri balok)} &= (\gamma_c) \cdot (A) = 24 \times 0,5 \times 0,7 \\
 &= 8,4 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$- M_{sw} (\text{Momen berat sendiri}) = 1/8 \cdot q_{sw} \cdot L^2 = 1/8 \times 8,4 \times 10^2 \\ = 105 \text{ kN.m}$$

- Quarter 2, $x = 4,0 \text{ m}$

$$- M(x) = 4.M \max \frac{x(L-x)}{L^2}$$

$$- M(x) = 4(105) \frac{4(10-4)}{100} = 101 \text{ kN.m}$$

Kontrol tegangan :

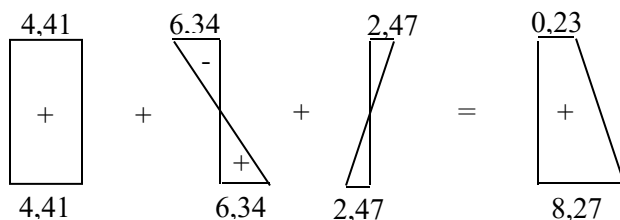
Pada tengah bentang.

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I}$$

$$\sigma_{top} = \frac{P_o}{A} - \frac{P_o.e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} \\ = \frac{1542000}{350000} - \frac{1542000.168}{40833333} + \frac{101000000}{40833333} \\ = 4,41 - 6,34 + 2,47 \\ = 0,53 \text{ Mpa} < f_{ci,all} = 12,45 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!}$$

$$\sigma_{bot} = \frac{P_o}{A} + \frac{P_o.e}{wb} - \frac{M_{sw}}{wb} \\ = \frac{1542000}{350000} + \frac{1542000.168}{40833333} - \frac{101000000}{40833333} \\ = 4,41 + 6,34 - 2,47 \\ = 8,27 \text{ Mpa} < f_{ci,all} = 12,45 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!}$$

diagram tegangan :



Dari kontrol tegangan yang dilaksanakan, dapat kita lihat bahwa tegangan yang terjadi masih dibawah tegangan ijin.

4. Tahap Pemasangan :

Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami kehilangan yang bersifat seketika, beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi, dan kekuatan beton telah termobilisasi penuh.

Gaya prategang telah mengalami loss sebesar 4%

$$P_i = 4\% \times P_o = 0,96 \times 1542,24 = 1481 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} - q_{sw} \text{ (berat sendiri balok)} &= (\gamma_c) * (A) &&= 24 \times 0,5 \times 0,7 \\ &&&= 8,4 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - q_{sl} \text{ (berat slab beton)} &= (\gamma_c) * (t_s) * (s) &&= 24 \times 2 \times 0,2 \\ &&&= 9,6 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - q_{asph} \text{ (berat aspal)} &= (\gamma_{asp}) * (t_{asp}) * (s) &&= 22 \times 2 \times 0,075 \\ &&&= 3,3 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$- q_{const} \quad \quad \quad = 2 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total beban pemasangan (q. erect)} \quad \quad \quad = 14,90 \text{ kN/m}$$

$$- M_{cons} \text{ pada lokasi } x = 4,00 \text{ m}$$

$$- M(x) = 4(186,25) \frac{4(10-4)}{100} = 178,80 \text{ kN.m}$$

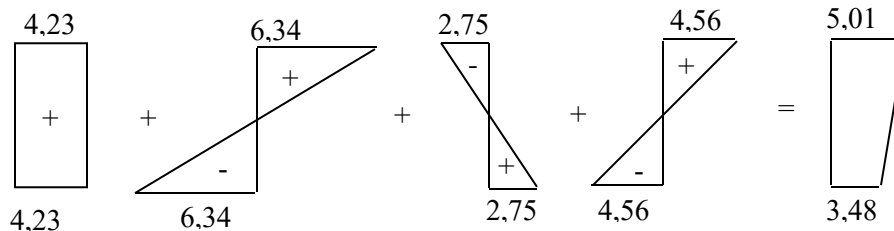
Kontrol tegangan :

$$\begin{aligned} \sigma_{top} &= \frac{P_i}{A} - \frac{P_i.e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} + \frac{M_{cons}}{wt} \\ &= \frac{1481000}{350000} - \frac{1481000 \cdot 168}{40833333} + \frac{105000000}{40833333} + \frac{178800000}{40833333} \\ &= 4,23 - 6,09 + 2,47 + 4,37 \\ &= 4,98 \text{ Mpa} < f_{csall} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!} \end{aligned}$$

$$\sigma_{bot} = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i.e}{wb} - \frac{M_{sw}}{wb} - \frac{M_{cons}}{wb}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1481000}{350000} + \frac{1481000 \cdot 175}{40833333} - \frac{105000000}{40833333} + \frac{186250000}{40833333} \\
&= 4,23 + 6,09 - 2,47 - 4,37 \\
&= 3,48 \text{ Mpa} > f_{tall} = 3 \text{ Mpa} \dots\dots \text{ Not ok !!!}
\end{aligned}$$

Diagram tegangan :



5. Tahap Layan

Pada tahap ini beton telah mengalami seluruh komponen kehilangannya, beban yang bekerja adalah beban hidup dan berat sendiri, kekuatan beton juga telah termobilisasi penuh. Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami loss sebesar 25 %.

$$P_{eff} = 0,75 \times P_o = 0,75 \times 1542,24 = 1157 \text{ kNm.}$$

$$\text{- } q_{sdl} \text{ (Super- dead load) } = q_{sl} + q_{Asp} = 9,6 + 3,3 = 12,9 \text{ kN/m'}$$

$$M_{sdl} = \frac{1}{8} q_{sdl} l^2 = 161,25 \text{ kN.m}$$

$$\text{- } q_{ll} \text{ (Life load) } = 16 \text{ kN/m,}$$

$$M_{ll} = \frac{1}{8} q_{ll} l^2 = 200 \text{ kN.m}$$

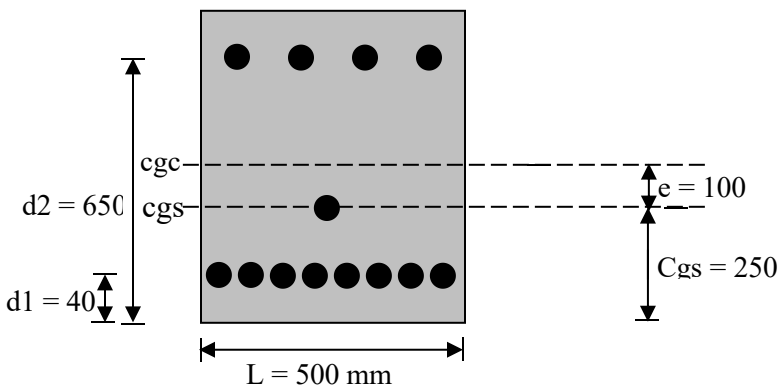
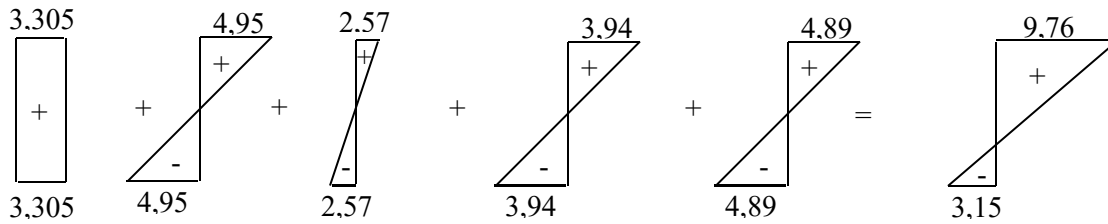
$$\text{Momen total} = 361,25 + 105 = 466,25 \text{ kN.m}$$

Kontrol tegangan :

$$\begin{aligned}
\sigma_{top} &= \frac{P_{eff}}{A} - \frac{P_{eff} \cdot e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} + \frac{M_{sdl}}{wt} + \frac{M_{ll}}{wt} \\
&= \frac{1157000}{350000} - \frac{1157000 \cdot 175}{40833333} + \frac{105000000}{40833333} + \frac{161250000}{40833333} + \frac{200000000}{40833333} \\
&= 3,305 - 4,958 + 2,57 + 3,948 + 4,897 \\
&= 9,76 \text{ Mpa} < f_{call} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ ok!!!}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{bot} &= \frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e \cdot y}{wt} - \frac{M_{sw}}{wt} - \frac{M_{sdl}}{wt} - \frac{M_{ll}}{wt} \\ &= 3,305 + 2,838 - 2,57 - 3,948 - 4,897 \\ &= (-3,15 \text{ Mpa}) < f_{tall} = 3,0 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \end{aligned}$$

Diagram tegangan :



$$\begin{aligned} e &= c_{gc} - c_{gs} \\ &= 350 - 250 \\ &= 100 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pengecekan tegangan :

Posisi (mm)	n	70%UTS (Po) (kN)	4% Losses (Pi) (kN)	25% Losses (Peff) (kN)	mcc (kN)
50	8	1030	989	772	51500
650	4	515	494	386	334880
Σ	12	1545	1483	1159	386380

keterangan :

Po1 & Po2 : 1 dan 2 menunjukkan posisi strand pada jarak 50 mm dan 650 mm

- ✓ Tahap Transfer : Pada tahap ini gaya prategang bekerja penuh beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi kekuatan beton belum termobilisasi penuh, pada tahap ini belum ada loss (kehilangan gaya prategang).

$$\begin{array}{l} - Po1 = 8 \times 184 \times 0,7 = 1030 \text{ kN} \\ - Po2 = 4 \times 184 \times 0,7 = 515 \text{ kN} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} - Po1 \\ - Po2 \end{array}} \right\} \text{Belum terjadi loss}$$

- ✓ Tahap Pemasangan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami kehilangan yang bersifat seketika, kurang lebih sebesar 4% beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi, kekuatan beton telah termobilisasi penuh

$$\begin{array}{l} - Pi1 = 0,96 \times 1030 = 989 \text{ kN} \\ - Pi2 = 0,96 \times 515,2 = 494 \text{ kN} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} - Pi1 \\ - Pi2 \end{array}} \right\} \text{Telah terjadi loss sebesar 4\%}$$

- ✓ Tahap Layan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami seluruh komponen kehilangannya, beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban hidup, kekuatan beton telah termobilisasi penuh. Loss yang terjadi pada tahap ini sebesar 25 %

$$\begin{array}{l} - Peff1 = 0,75 \times 1030 = 772 \text{ kN} \\ - Peff2 = 0,75 \times 515 = 386 \text{ kN} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} - Peff1 \\ - Peff2 \end{array}} \right\} \text{Telah terjadi loss sebesar 25\%}$$

$$\begin{array}{l} - Mcc1 = 1030 \times 50 = 51500 \text{ kN.mm} \\ - Mcc2 = 515 \times 650 = 334750 \text{ kN.mm} \end{array}$$

PENGECEKAN TEGANGAN DI TENGAH BENTANG

3. Tahap Transfer :

Pada tahap ini, gaya prategang bekerja penuh, beban yang bekerja adalah berat sendiri, dan kekuatan beton belum termobilisasi penuh.

$$\begin{aligned} - q_{sw} (\text{berat sendiri balok}) &= (\gamma_c) * (A) = 25 \times 0,5 \times 0,7 \\ &= 8,75 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - M_{sw} (\text{Momen berat sendiri}) &= 1/8 \cdot q_{sw} \cdot L^2 = 1/8 \times 8,75 \times 10^2 \\ &= 109,375 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Kontrol tegangan :

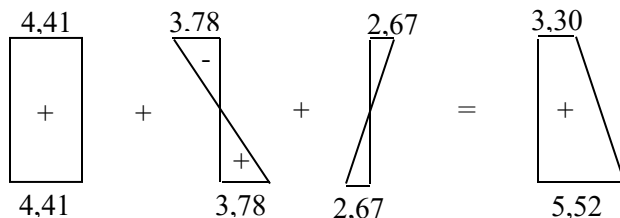
Pada tengah bentang.

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{top} &= \frac{P_o}{A} - \frac{P_o.e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} \\ &= \frac{1545600}{350000} - \frac{154560000}{40833333} + \frac{109375000}{40833333} \\ &= 4,416 - 3,785 + 2,678 \\ &= 3,309 \text{Mpa} < f_{ci\text{all}} = 12,45 \text{Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{bot} &= \frac{P_o}{A} + \frac{P_o}{wb} - \frac{M_{sw}}{wb} \\ &= \frac{1545600}{350000} - \frac{154560000}{40833333} + \frac{109375000}{40833333} \\ &= 4,41 + 3,785 - 2,678 \\ &= 5,528 \text{Mpa} < f_{ci\text{all}} = 12,45 \text{Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!}\end{aligned}$$

diagram tegangan :



Dari kontrol tegangan yang dilaksanakan, dapat kita lihat bahwa tegangan yang terjadi masih dibawah tegangan ijin.

6. Tahap Pemasangan :

Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami kehilangan yang bersifat seketika, beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi, dan kekuatan beton telah termobilisasi penuh.

Gaya prategang telah mengalami loss sebesar 4%

$$P_i = 4\% \times P_o = 0,96 \times 1545,6 = 1483 \text{ kN}$$

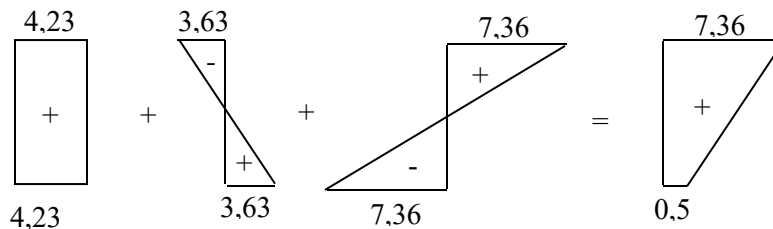
$$\begin{aligned}
 - \text{qsw (berat sendiri balok)} &= (\gamma_c) * (A) &&= 25 \times 0,5 \times 0,7 \\
 &&&= 8,75 \text{ kN/m} \\
 - \text{qsl (berat slab beton)} &= (\gamma_c) * (ts) * (s) &&= 25 \times 2 \times 0,2 \\
 &&&= 10 \text{ kN/m} \\
 - \text{qasph (berat aspal)} &= (\gamma_{asp}) * (t_{asp}) * (s) &&= 22 \times 2 \times 0,075 \\
 &&&= 3,3 \text{ kN/m} \\
 - \text{qconst} &&&= 2 \text{ kN/m} \\
 \text{Total beban pemasangan (q.erec)} &&&= 24,05 \text{ kN/m} \\
 - \text{Mcons} &= 1/8 \times \text{q.erec} \times L^2 \\
 &= 1/8 \times 24,05 \times 10^2 &&= 300,625 \text{ kN.m} \\
 &&&= 300625000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Kontrol tegangan :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{top} &= \frac{P_i}{A} - \frac{P_i.e.y}{wt} + \frac{M_{cons}}{wt} \\
 &= \frac{1483776}{350000} - \frac{148377600}{40833333} + \frac{300625000}{40833333} \\
 &= 4,23 - 3,63 + 7,36 \\
 &= 7,96 \text{ Mpa} < f_{csall} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{bot} &= \frac{P_i}{A} + \frac{P_i.e}{wb} - \frac{M_{cons}}{wb} \\
 &= \frac{1483776}{350000} + \frac{148377600}{40833333} - \frac{300625000}{40833333} \\
 &= 4,23 + 3,63 - 7,36 \\
 &= 0,5 \text{ Mpa} < f_{tall} = 3 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!}
 \end{aligned}$$

Diagram tegangan :



7. Tahap Layan

Pada tahap ini beton telah mengalami seluruh komponen kehilangannya, beban yang bekerja adalah beban hidup dan berat sendiri, kekuatan beton juga telah termobilisasi penuh. Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami loss sebesar 25 %.

$$P_{eff} = 0,75 \times P_o = 0,75 \times 1545,6 = 1159,2 \text{ kNm.}$$

$$\text{- } q_{sdl} \text{ (Super- dead load) } = q_{sl} + q_{asp} = 10 + 3,3 = 13,3 \text{ kN/m'}$$

$$M_{sdl} = \frac{1}{8} q_{sdl} l^2 = 165 \text{ kN.m}$$

$$\text{- } q_{ll} \text{ (Life load) } = 16 \text{ kN/m,}$$

$$M_{ll} = \frac{1}{8} q_{ll} l^2 = 200 \text{ kN.m}$$

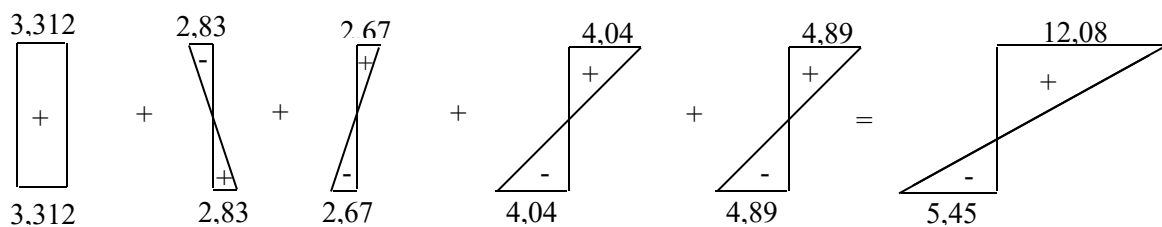
$$\text{Momen total} = 365 \text{ kN.m}$$

Kontrol tegangan :

$$\begin{aligned} \sigma_{top} &= \frac{P_{eff}}{A} - \frac{P_{eff} \cdot e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} + \frac{M_{sdl}}{wt} + \frac{M_{ll}}{wt} \\ &= \frac{1159200}{350000} - \frac{115920000}{40833333} + \frac{109375000}{40833333} + \frac{165000000}{40833333} + \frac{200000000}{40833333} \\ &= 3,312 - 2,838 + 2,678 + 4,040 + 4,897 \\ &= 12,089 \text{ Mpa} < f_{call} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{bot} &= \frac{P_{eff}}{A} + \frac{P_{eff} \cdot e \cdot y}{wt} - \frac{M_{sw}}{wt} - \frac{M_{sdl}}{wt} - \frac{M_{ll}}{wt} \\ &= 3,312 + 2,838 - 2,678 - 4,040 - 4,897 \\ &= (-5,458 \text{ Mpa}) > f_{tall} = 3,0 \text{ Mpa} \dots\dots \text{Not ok !!!} \end{aligned}$$

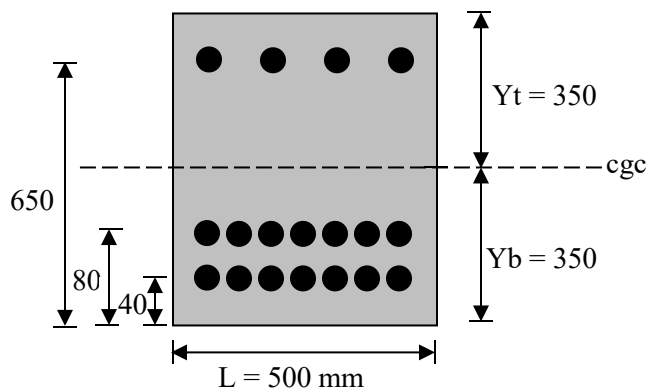
Diagram tegangan :



PERKUATAN DITAMBAH KARENA TIDAK MENCIKUPI PENGECEKAN DI TENGAH BENTANG

1. Perencanaan gaya prategang :

- ✓ Jenis strand ½ “ ASTM A416 Grade 270
- ✓ As (luas strand) = 98,71 mm²
- ✓ fpu (kuat tarik) = 1860 Mpa
- ✓ fy (kuat leleh) = 1680 Mpa
- ✓ UTS = 184 Kn



Posisi (di) (mm)	ni	di*ni
40	7	280
80	7	560
650	4	2600
Σni = 18		Σdi*ni = 3440

Pengecekan tegangan :

Posisi (mm)	n	70%UTS (Po) (kN)	4% Losses (Pi) (kN)	25% Losses (Peff) (kN)	mcc (kN)
40	7	901	865	676	36064
80	7	901	865	676	72080
650	4	515	494	386	334750
Σ	12	2317	2224	1738	442894

$$cgs = \frac{\sum mcc}{\sum Po} = \frac{442894}{2317} = 191 \text{ mm}$$

$$e = cgc - cgs = 350 - 191 = 159 \text{ mm}$$

keterangan :

Po1, Po2 dan Po3 : menunjukkan posisi strand pada jarak 40, 80 dan 650 mm

- ✓ Tahap Transfer : Pada tahap ini gaya prategang bekerja penuh beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi kekuatan beton belum termobilisasi penuh, pada tahap ini belum ada loss (kehilangan gaya prategang).

$$\begin{array}{rcl}
 - P_{o1} & = 7 \times 184 \times 0,7 & = 901 \text{ kN} \\
 - P_{o2} & = 7 \times 184 \times 0,7 & = 901 \text{ kN} \\
 - P_{o3} & = 4 \times 184 \times 0,7 & = 515 \text{ kN}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{rcl}} \right\} \text{Belum terjadi loss}$$

- ✓ Tahap Pemasangan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami kehilangan yang bersifat seketika, kurang lebih sebesar 4% beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban konstruksi, kekuatan beton telah termobilisasi penuh

$$\begin{array}{rcl}
 - P_{i1} & = 0,96 \times 901 & = 865 \text{ kN} \\
 - P_{i2} & = 0,96 \times 901 & = 865 \text{ kN} \\
 - P_{i3} & = 0,96 \times 515 & = 494 \text{ kN}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{rcl}} \right\} \text{Telah terjadi loss sebesar 4\%}$$

- ✓ Tahap Layan : Pada tahap ini gaya prategang telah mengalami seluruh komponen kehilangannya, beban yang bekerja adalah berat sendiri dan beban hidup, kekuatan beton telah termobilisasi penuh. Loss yang terjadi pada tahap ini sebesar 25 %

$$\begin{array}{rcl}
 - P_{eff1} & = 0,75 \times 901 & = 676 \text{ kN} \\
 - P_{eff2} & = 0,75 \times 901 & = 676 \text{ kN} \\
 - P_{eff3} & = 0,75 \times 515 & = 386 \text{ kN}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{rcl}} \right\} \text{Telah terjadi loss sebesar 25\%}$$

$$\begin{array}{rcl}
 - M_{cc1} & = 901 \times 40 & = 36064 \text{ kN} \\
 - M_{cc2} & = 901 \times 80 & = 72128 \text{ kN} \\
 - M_{cc3} & = 515 \times 650 & = 334880 \text{ kN}
 \end{array}$$

4. Tahap Transfer :

Kontrol tegangan :

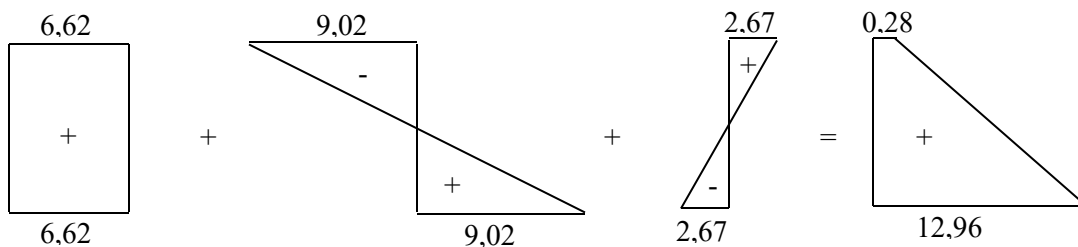
Pada tengah bentang.

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{P.e.y}{I} \pm \frac{M.y}{I}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{top} &= \frac{P_o}{A} - \frac{P_o.e}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} \\ &= \frac{2317000}{350000} - \frac{368403000}{40833333} + \frac{109375000}{40833333} \\ &= 6,62 - 9,02 + 2,67 \\ &= 0,267 \text{ Mpa} < f_{ci} 19,92 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{bot} &= \frac{P_o}{A} + \frac{P_o}{wb} - \frac{M_{sw}}{wb} \\ &= 6,624 + 9,02 - 2,67 \\ &= 12,97 \text{ Mpa} > f_{ci} 12,45 \dots\dots\dots \text{Not ok !!!}\end{aligned}$$

diagram tegangan :



Dari kontrol tegangan yang dilaksanakan, dapat kita lihat bahwa tegangan yang terjadi masih diatas tegangan ijin tekan, maka untuk mengatasi hal ini kuat tekan awal harus ditingkatkan misalnya 80% f_{ci} sehingga tegangan ijin $f_{ci} = (0,6)(0,8)(41,5) = 19,92$ Mpa $> 12,96$ Mpa $\dots\dots\dots \text{ok !!!}$

2. Tahap Pemasangan

Kontrol tegangan :

$$\sigma_{top} = \frac{P_i}{A} - \frac{P_i.e.y}{wt} + \frac{M_{sw}}{wt} + \frac{M_{cons}}{wt}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{2224000}{350000} - \frac{353616000}{40833333} + \frac{109375000}{40833333} + \frac{300625000}{40833333} \\
&= 6,35 - 8,65 + 2,67 + 7,36 \\
&= 7,73 \text{ Mpa} < f_{c\text{call}} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{bot} &= \frac{P_i}{A} + \frac{P_i \cdot e}{wb} - \frac{M_{sw}}{wb} - \frac{M_{cons}}{wb} \\
&= 6,35 + 8,65 - 2,67 - 7,36 \\
&= 4,97 \text{ Mpa} < f_{c\text{call}} = 18,675 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ok!!!}
\end{aligned}$$