

DIMENSI ULANG BETON PRATEKAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE BEBAN IMBANG (BALANCE) PADA HOTEL L. J. MERITUS SURABAYA

Made Dharma Astawa, Wahyu Kartini
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

ABSTRAK

Gedung L. J. Meritus Hotel Surabaya merupakan salah satu gedung baru pada lantai 4 terdapat ruangan Convention Hall, dimana terdapat balok pratekan dengan dimensi 100 x 350 dengan bentang 24 meter yang terdiri 24 lantai. Dibutuhkan ruangan yang luas tanpa halangan dan berfungsi untuk menahan 20 lantai di atasnya akan mengakibatkan besarnya dimensi dan lendutan yang besar. Maka balok beton pratekan dengan metode *Post-tensioning* dengan menggunakan metode keseimbangan beban yang dipakai. Didimensi ulang yaitu 100 x 340 dan 100 x 330. Kedua dimensi menggunakan kabel dengan tipe 7K7 yang berukuran 12,70 mm dan terdapat 14 tendon pada tiap dimensi. Kehilangan pratekan total yang dihasilkan 100 x 340 adalah 11,54% dan 100 x 330 adalah 11,46%, dimana syarat menurut SNI 03 2847 2002 $\leq 20\%$. Lendutan maksimal yang terjadi pada dimensi 100 x 340 = - 11,99 mm (arah keatas), 100 x 330 = - 8,484 mm (arah keatas). Dari analisa yang didapatkan balok pratekan dengan dimensi 100 x 340 dan 100 x 330 sudah mampu untuk menahan beban layan yang ada dan sudah memenuhi persyaratan SNI 03 2847 2002. Sehingga didapatkan balok pratekan dengan metode *post-tensioning* yang efisien adalah balok dengan dimensi 100 x 330.

Kata kunci: balok pratekan, metode kesetimbangan beban, *post-tensioning*

PENDAHULUAN

Gedung L. J Meritus Hotel Surabaya membuat Convention Hall dengan kebutuhan ruangan yang luas dan bebas halangan, untuk itu harus menghilangkan kolom tengah pada lantai tersebut. Meniadakan kolom tengah menyebabkan balok pratekan mempunyai bentang yang panjang, mencapai 24 meter, dari perhitungan sebelumnya didapatkan dimensi yang sangat khusus dari segi ukuran yaitu $b = 100$ cm; $h = 350$ cm. Balok ini memiliki ukuran yang besar dikarenakan menahan beban 20 lantai di atasnya yang kemudian ditransfer ke kolom yang berukuran $b = 150$ cm; $h = 180$ cm. Dari data fisik yang didapat dengan ukuran balok yang cukup besar maka dari 2 lantai dijadikan 1 supaya didapatkan ruang yang luas dan bebas. Sehingga dari data primer didapat pada proyek pembangunan hotel ini menggunakan balok beton pratekan metode *post-tensioning* atau dengan beban imbang (*balance*).

Kondisi saat ini penggunaan aplikasi beton pratekan pada ruangan Convention Hall yang memiliki bentang balok 24 meter dan berdimensi $b = 100$ cm; $h = 350$ cm cukup besar untuk ukuran balok.

Permasalahannya adalah bagaimana mendimensi ulang penampang balok pratekan yang memenuhi persyaratan. rencana gaya pratekan untuk menahan beban layan, mendimensi tendon dan jumlah tendon yang digunakan, defleksi yang di ijinakan, membagi kerja beban pada balok pratekan terutama pada tendon agar dapat memenuhi standar yg diijinkan.

TINJAUAN PUSTAKA

Perkembangan Beton Pratekan

Perbedaan utama antara beton bertulang dan beton pratekan adalah beton bertulang mengkombinasikan beton dan tulangan baja dengan cara menyatukan keduanya bekerja sama-sama, beton memikul gaya tekan dan baja memikul gaya tarik lentur, sedangkan beton pratekan mengkombinasikan beton berkekuatan tinggi

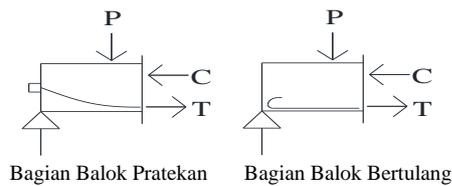
dan baja mutu tinggi dengan cara aktif. Hal ini dicapai dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya ke beton, jadi membuat beton dalam keadaan tertekan. Kombinasi aktif ini menghasilkan perilaku yang lebih baik dari kedua bahan tersebut.

Perkembangan historis beton pratekan sebenarnya dimulai dengan cara yang berbeda dimana gaya pratekan yang dibuat hanya ditujukan untuk menciptakan tekanan permanent pada beton guna memperbaiki kekuatan tariknya. Kemudian menjadi lebih jelaslah bahwa memberikan gaya pratekan pada baja juga penting untuk pemanfaatan baja mutu-tinggi (*high-tensile steel*) yang efisien. Memberikan gaya pratekan berarti membuat tegangan permanen di dalam struktur dengan tujuan memperbaiki perilaku dan kekuataannya pada bermacam-macam pembebanan.

Prinsip-prinsip Dasar Beton Pratekan

Ada tiga konsep yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari beton pratekan.

1. Konsep pertama: sistem pratekan untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis. Pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut. Beton yang tidak mampu menahan tarikan dan kuat memikul tekanan, dengan baja mutu-tinggi yang ditarik sedemikian rupa sehingga beton yang getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep ini lahirlah kriteria "tidak ada tegangan tarik" pada beton.
2. Konsep kedua: sistem pratekan untuk mengkombinasi baja mutu tinggi dengan beton. Konsep ini mempertimbangkan beton pratekan sebagai kombinasi (gabungan) dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang, dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal.



Gambar 1. Momen Penahan Internal pada Balok Beton Pratekan dan Beton Bertulang

3. Konsep ketiga: sistem pratekan untuk mencapai kesetimbangan beban. Konsep ini terutama menggunakan pratekan sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah batang.

Pada keseluruhan desain struktur beton pratekan, pengaruh dari pratekan dipandang sebagai keseimbangan berat sendiri sehingga batang yang mengalami lenturan seperti pelat (slab), balok, dan gelagar (girder) tidak akan mengalami tegangan lentur pada kondisi pembebanan yang terjadi. Ini memungkinkan transformasi dari batang lentur menjadi batang yang mengalami tegangan langsung dan sangat menyederhanakan persoalan baik didalam desain maupun analisa dari struktur yang rumit.

Metode Beban Imbang (*Balance Load Method*)

Konsep kesetimbangan beban (*balanced load concept*) merupakan cara yang sederhana dalam desain dan analisa pratekan namun keuntungannya dibanding dengan konsep lainnya tidak begitu berarti untuk struktur statis tertentu. Metode kesetimbangan beban ini sangat memberikan kemudahan dalam penghitungan dan penggambaran, bila yang dibahas adalah struktur statis tak tentu. Penggunaan metode sangat disarankan karena lebih sederhana dari metode-metode yang lain.

Desain dengan metode kesetimbangan beban adalah mencocokkan $DL + k3LL$ (dimana $k3$ adalah nol atau bernilai jauh lebih kecil dari 1) dengan titik tanpa lenturan. Dalam beberapa situasi desain pengimbangan sebagian dari beban mati boleh jadi merupakan penyelesaian terbaik, sementara dalam situasi lain sebagian dari beban hidup yang harus diimbangi.

Suatu pertimbangan lain dalam pemilihan konsep yang layak adalah faktor kesederhanaan dalam analisa dan desain. Metode kesetimbangan beban diyakini menyajikan cara yang jauh lebih sederhana untuk struktur statis tak tentu, khususnya untuk desain pendahuluan. Metode ini juga memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai perilaku struktural dengan demikian memungkinkan suatu pendekatan yang lebih piawai untuk desain dan tata letak.

Keuntungan selanjutnya dari metode ini adalah kemudahan dalam penghitungan lendutan. Karena pembebanan yang memberikan lendutan nol disepanjang balok sudah diketahui maka lendutan netto akibat kondisi pembebanan lainnya dapat dihitung cukup dengan meninjau selisih beban yang bekerja pada balok elastis. Jadi, jika gaya pratekan efektif seimbang maka balok akan tetap mendatar sempurna tanpa mengindahkan modulus elastisitas atau rangkang lentur beton.

Kehilangan Gaya Pratekan

- a. Perpendekan elastic beton (ES)

$$ES = \Delta f_s = n f_{cir} = \frac{E_s f_{cir}}{E_{ci}} \dots\dots\dots(1)$$
- b. Kehilangan gaya pratekan akibat rangkang beton (CR)

$$CR = K_{cr} \frac{E_s}{E_c} (f_{c ds} - f_{cir}) \dots\dots\dots(2)$$
- c. Kehilangan gaya pratekan akibat susut beton (SH)

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} K_{sh} E_s \left(1 - 0,06 \frac{V}{S} \right) (100 - RH) \dots\dots\dots(3)$$
- d. Kehilangan gaya pratekan akibat relaksasi baja, tendon dengan 7 strand, Raju N.K. (1989)

$$\frac{90}{0,8 f_{pu}} \times 100\% = \dots\dots\dots(4)$$
- e. Kehilangan pratekan akibat penggelinciran ankur

$$\frac{PL}{AE_s} = \Delta \dots\dots\dots(5)$$
- f. Kehilangan tegangan akibat gesekan

$$P_x = P_o e^{-(\mu \alpha + Kx)} \dots\dots\dots(6)$$
- g. Kehilangan total yang diizinkan untuk desain.

Kontrol Lendutan

1. Pengaruh profil tendon terhadap lendutan

$$a = \left[\frac{-5 PL^2}{48 EI} (e_1 + e_2) \right] + \left[\frac{Pe_2 L^2}{8EI} \right]$$

$$a = \frac{PL^2}{48EI} (-e_1 + e_2) \dots\dots\dots(7)$$

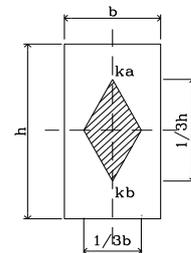
2. Meramalkan lendutan jangka panjang

$$a_t = \left[a_{il} - a_{ip} \times \frac{P_t}{P_i} \right] (1 + \Phi) \dots\dots\dots(8)$$

3. Momen retak

$$M = M_1 + M_2 = F \left(e + \frac{r^2}{c} \right) + \frac{f_r + I}{c} \dots\dots\dots(9)$$

Menentukan Letak Kabel Tendon

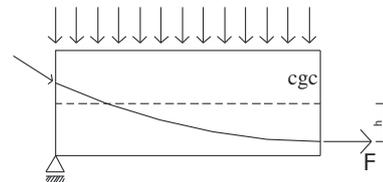


Gambar 2. Penampang Kern (Inti)

Bila gaya aksial tekan bekerja pada kern sentral maka pada seluruh penampang tidak akan mengalami tegangan tarik. Untuk penampang yang sama sepanjang bentang, maka jarak kern tidak tergantung pada geometri penampang dan tidak tergantung pada gaya aksial maupun tegangan lainnya.

Penentuan Nilai Eksentrisitas Tendon

Konsep prategang yang diberikan harus mampu melawan beban eksternal maupun internal dari struktur, sehingga didapatkan perbandingan nilai ekonomis tendon terhadap faktor beban yang dipikulnya.



Gambar 3. Skema Eksentrisitas Tendon

- dengan:
- F = Gaya Prategang
 - L = Panjang bentang
 - h = Tinggi parabola

Maka momen eksentrisitas gaya prategang F adalah

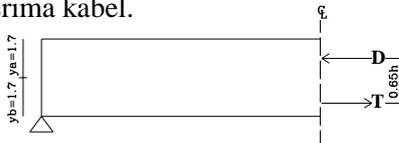
$$M = F \times h \text{ (gaya dalam)}$$

Gaya merata ke atas:

$$M = \frac{1}{8} w_b L^2$$

$$F \times h = \frac{1}{8} w_b L^2 \rightarrow w_b = \frac{8 \times F \times h}{L^2}$$

Besarnya gaya eksternal maupun internal yang dipikul oleh kabel prategang kan didistribusikan merata ke sepanjang bentang balok, maka untuk mendapatkan perlawanan gaya dibutuhkan penegangan kabel yang sesuai dengan beban yang diterima kabel.



Gambar 4. Skema Kerja Gaya Prategang

Penentuan Tegangan Tekan Kabel Prategang

Ringkasan prosedural untuk penentuan tegangan tekan kabel:

1. Tentukan letak lokasi cgs:

$$i - k_b = \frac{M_p}{F_o} \rightarrow i = e = \text{eksentrisitas}$$

2. Hitung besarnya gaya prategang selama service (F) dan gaya prategang mula-mula F_o dari $F = \frac{M_T}{i + k_a}$ dan

$$F_o = \frac{F}{\eta} \rightarrow \eta = \text{efisiensi}(0,80 - 0,85)$$

3. Hitung luas kern yang diperlukan

$$A_{c1} = \frac{F \cdot h}{\sigma_{ra} \cdot y_b} \text{ dan } A_{c2} = \frac{F_o}{\sigma_{pb}} \left(1 + \frac{i - M_p}{F_o \cdot k_a} \right)$$

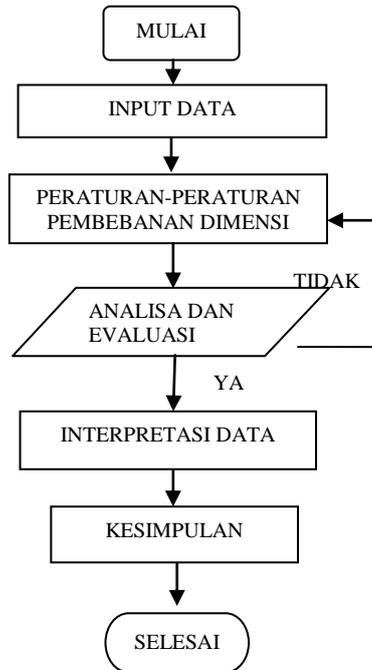
kedua luasan ini harus dibandingkan dengan luasan A_{balok} , dan nilainya harus < dari A_{balok} .

4. Pilih A_c yang terbesar dan harga F yang baru, perbaiki dimensi tampang ukuran bila diperlukan.
5. Beton tidak diperkenankan menerima adanya tegangan tarik, karena akan menyebabkan kondisi keruntuhan pada beton, tegangan tarik dipikul sepenuhnya oleh kabel prategang dan beton hanya diperkenankan menerima tekanan, apabila terdapat tarikan, maka tinggi

penampang, besarnya eksentrisitas dan besarnya gaya prategang harus dikontrol.

METODE

Beberapa tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam melakukan analisa ini adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Diagram Alir (flowchart)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Perhitungan

1. Pembebanan
 - a. Beban mati dan hidup pada plat atap dan lantai
 - b. Beban angin
 - c. Beban gempa
2. Karakteristik penampang balok



Gambar 6. Penampang Balok

Dimensi balok yang direncanakan:

- a. 100x340
 $I_x = 327.533.333,3 \text{ cm}^4$
 $Y_a \text{ dan } Y_b = 170 \text{ cm}$
- b. 100x330
 $I_x = 299.475.000 \text{ cm}^4$
 $Y_a \text{ dan } Y_b = 165 \text{ cm}$

Mutu beton equivalen dengan $f_c' = 55 \text{ Mpa}$
 σ_{bw}' (kuat tekan pada badan) = $0,45f_c'$
 $= 0,45 \times 550 = 247,5 \text{ kg/cm}^2$

M_p = momen lentur pada tampang akibat beban terpusat

M_q = momen lentur pada tampang akibat beban merata

$$M_d = 33.495,42 \text{ kNm}'$$

$$M_l = 8.375,39 \text{ kNm}'$$

$$\begin{aligned} M_T &= M_p + M_q \\ &= 33.495,42 + 8.375,39 \\ &= 41.870,81 \text{ kNm}' \end{aligned}$$

$$F = \frac{M_T}{0,65h}$$

Desain balok 100 x 340

$Y_a = 170 \text{ cm}$; $Y_b = 170 \text{ cm}$

$k_a = 150 \text{ cm}$; $k_b = 150 \text{ cm}$

$$\frac{I_x}{y_b} \geq \frac{M_d(K-\eta)}{\sigma_{bw}}$$

$$\frac{327.533.333,3}{170} \geq \frac{33.495,42 \times 10^4 (1,25 - 0,83)}{247,5}$$

$$1.926.666,67 \geq 568.407,1273$$

$$\sigma_{pa} = \frac{M_p y_a}{I_x}$$

$$\sigma_{pa} = \frac{33.495,42 \times 10^4 \times 170}{327.533.333,3} = 173,85 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{qa} = \frac{M_q y_a}{I_x}$$

$$\sigma_{qa} = \frac{8.375,39 \times 10^4 \times 170}{327.533.333,3} = 43,47 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \Sigma_{ra} &= \sigma_{pa} + \sigma_{qa} = 173,85 + 43,47 \\ &= 217,32 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

σ_{bw}' (kuat tekan pada badan) = $0,45f_c' = 0,45 \times 550 = 247,5 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_{bw}' > \sigma_{pa} + \sigma_{qa}$

$$c = \eta \frac{\sigma_{bw}' - \sigma_{pa} - \sigma_{qa}}{\sigma_{pb} + \sigma_{bw}'}$$

$$\sigma_{pb} = \frac{M_p y_b}{I_x}$$

$$\sigma_{pb} = \frac{33.495,42 \times 10^4 \times 170}{327.533.333,3} = 173,85 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{qa} = \frac{M_q y_a}{I_x}$$

$$\sigma_{qb} = \frac{8.375,39 \times 10^4 \times 170}{327.533.333,3} = 43,47 \text{ kg/cm}^2$$

$$c = 0,83 \frac{247,5 - 173,85 - 43,47}{173,85 + 247,5} = 0,059$$

Kontrol penampang trace kabel terhadap beban yang bekerja pada balok

$$im \geq \frac{1-c}{y_a + y_b c} \cdot r^2$$

$$y_b - \frac{1}{12} h_t \geq \frac{1-c}{y_a + y_b c} (y_a \cdot k_b)$$

$$170 - \frac{1}{12} 340 \geq \frac{1-0,059}{170 + (170 \times 0,059)} (170 \times 150)$$

$$141,67 \text{ cm} \geq 133,28 \text{ cm}$$

Karena beban yang bekerja dipikul badan balok, maka besarnya beban yang bekerja pada kabel prategang adalah nilai momen yang bekerja keseluruhan pada bentang balok tersebut.

$$F = \frac{M_T}{0,65h} = \frac{41.870,81 \times 10^4}{0,65 \times 340} \times 10^{-2}$$

$$F = 18.946,06 \text{ kN}$$

$$F_o = \frac{F}{\eta} = \frac{18.946,06}{0,83}$$

$$F_o = 22.826,58 \text{ kN}$$

$$i = \frac{M_p}{F_o} + k_b$$

$$i = \frac{33.495,42}{22.174,4} + (150 \times 10^{-2})$$

$$i = 3,01 \text{ m} \rightarrow \text{nilai cgs pada balok beton}$$

$$i = y_b - 50 - 25 = 1700 - 50 - 25 = 1625 \text{ mm} = 1,625 \text{ m}$$

$$F = \frac{M_T}{i + k_a} = \frac{41.870,81}{1,625 + (150 \times 10^{-2})}$$

$$= 13.398,66 \text{ kN}$$

$$F_o = \frac{F}{\eta} = \frac{13.398,66}{0,83} = 16.142,96 \text{ kN}$$

$$A_{balok} = 34.000 \text{ cm}^2 = 3,4 \text{ m}^2$$

$$A_{c1} = \frac{F \cdot h}{\sigma_{ra} \cdot y_b} = \frac{13.398,66 \times 340 \times 10^{-2}}{217,32 \times 170} = 1,233 \text{ m}^2$$

$$\text{jadi } A_{c1} < A_{balok} = 1,233 \text{ m}^2 < 3,5 \text{ m}^2$$

$$A_{c2} = \frac{F_o}{\sigma_{pb}} \left(1 + \frac{i - \frac{M_p}{F_o}}{k_a} \right)$$

$$A_{c2} = \frac{16.142,96}{173,85 \times 10^2} \left(1 + \frac{1,675 - \frac{33.495,42}{16.142,96}}{150 \times 10^{-2}} \right)$$

$$A_{c2} = 0,68 \text{ m}^2$$

Dipakai A_c terbesar yaitu $1,233 \text{ m}^2$.

$$I = 327.533.333,3 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$Y_a = 1700 \text{ mm}$$

$$Y_b = 1700 \text{ mm}$$

maka digunakan balok ukuran 100×340

Tabel 1. Kontrol Tegangan pada Balok 100×340

Beban (kN)	σ_a (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)
$M_p = 33.495,42$ kNm	$\sigma_{pa} = \frac{M_p}{I/y_a} =$ -17,385	$\sigma_{pb} = \frac{M_p}{I/y_b} =$ 17,385
$F_o = 16.142,96$ kN	$\sigma_f = \frac{F_o}{Ac} =$ - 13,124	$\sigma_r = \frac{F_o}{Ac} =$ - 13,124
$i = 1,625$ m	$\sigma_{fa} = \frac{M_f \cdot y_a}{I} =$ 13,615	$\sigma_{fb} = \frac{M_f \cdot y_b}{I} =$ - 13,615
$M_f = F_o \times i =$ $26.232,31$ kNm	$\sigma_{fa} + \sigma_f = 0,491$ $\eta \times 0,491 = 0,407$	$\sigma_{fb} + \sigma_r = -26,739$ $\eta \times -26,739 = -22,19$
$M_p + M_f =$ $59.727,73$ kNm	$\sigma_{pa} + 0,491 = -16,894$ $\sigma_{pa} + 0,407 = -16,98$	$\sigma_{pb} - 26,739 = -9,354$ $\sigma_{pb} - 22,19 = -4,81$
$M_q = 8.375,39$ kNm	$\sigma_{qa} = \frac{M_q}{I/y_a} =$ - 4,347	$\sigma_{qb} = \frac{M_q}{I/y_b} =$ 4,347
$M_p + M_f + M_q =$ $68.223,99$ kNm	-16,894-4,347 = -21,240 -16,98-4,347 = -21,324	-9,354+4,347 = -5,007 -4,81+4,347 = -0,461

Tabel 2. Kontrol Tegangan pada Balok 100×330

Beban (kN)	σ_a (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)
$M_p = 33.495,42$ kNm	$\sigma_{pa} = \frac{M_p}{I/y_a} =$ = -17,385	$\sigma_{pb} = \frac{M_p}{I/y_b} =$ = 17,385
$F_o = 16.142,96$ kN	$\sigma_f = \frac{F_o}{Ac} =$ = - 13,124	$\sigma_r = \frac{F_o}{Ac} =$ = - 13,124
$i = 1,625$ m	$\sigma_{fa} = \frac{M_f \cdot y_a}{I} =$ = 13,615	$\sigma_{fb} = \frac{M_f \cdot y_b}{I} =$ = - 13,615
$M_f = F_o \times i =$ $26.232,31$ kNm	$\sigma_{fa} + \sigma_f = 0,491$ $\eta \times 0,491 = 0,407$	$\sigma_{fb} + \sigma_r = -26,739$ $\eta \times -26,739 = -22,19$

Lanjutan Tabel 2

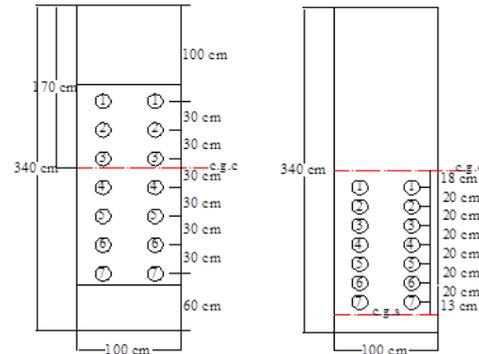
$M_p + M_f = 59.727,73$ kNm	$\sigma_{pa} + 0,491 = -16,894$ $\sigma_{pa} + 0,407 = -16,98$	$\sigma_{pb} - 26,739 = -9,354$ $\sigma_{pb} - 22,19 = -4,81$
$M_q = 8.375,39$ kNm	$\sigma_{qa} = \frac{M_q}{I/y_a} = -4,347$	$\sigma_{qb} = \frac{M_q}{I/y_b} = 4,347$
$M_p + M_f + M_q =$ $68.223,99$ kNm	-16,894-4,347 = -21,240 -16,98-4,347 = -21,324	-9,354+4,347 = -5,007 -4,81+4,347 = -0,461

Perjanjian tanda, dikatakan tekan (-) jika daerah ya atau yb terjadi kontak langsung dari beban atau tegangan. Tabel ini untuk mengontrol tegangan pada beton sesuai sifat dasar beton mampu menahan tekan dan tarik akan dipikul oleh tulangan dan kabel tendon. Maka, hasil akhir harus bernilai negatif (tekan).

Dengan menggunakan rumus:

$$y = \frac{4fx(L-x)}{L^2}$$

Letak tendon bisa dilihat pada Tabel 13.



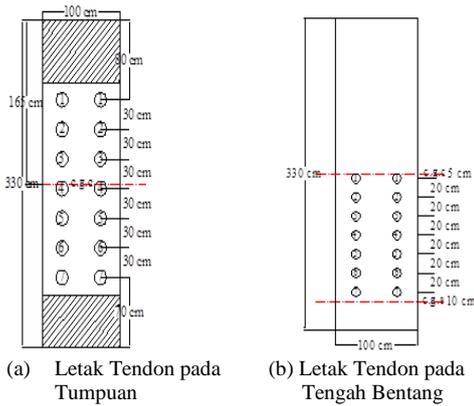
(a) Letak Tendon pada Tumpuan

(b) Letak Tendon pada Tengah Bentang

Gambar 7. Konfigurasi letak tendon, balok dimensi $100/330$

Tabel 3. Letak Tendon pada Balok 100×340

No	Eksentrisitas (cm)	Tumpu (cm)	Lapangan (cm)
1	88	-70	18
2	78	-40	38
3	68	-10	58
4	58	20	78
5	48	50	98
6	38	80	128
7	28	110	158



Gambar 7. Konfigurasi letak tendon, balok dimensi 100/340

Tabel 4. Letak Tendon pada Balok 100 x 330

No	Eksentrisitas (cm)	Tumpu (cm)	Lapangan (cm)
1	90	-85	5
2	80	-55	25
3	70	-25	45
4	60	5	65
5	50	35	85
6	40	65	105
7	25	95	125

3. Kehilangan Pratekan Total

a. Perpendekan elastik beton (ES)

Tabel 5. Hasil dari Perpendekan Elastis Beton

No	% (100x340)	% (100x330)
1	0,81	0,83
2	0,69	0,71
3	0,58	0,60
4	0,46	0,48
5	0,35	0,36
6	0,23	0,24
7	0,12	0,12

b. Kehilangan gaya pratekan akibat rangkai beton (CR)

Tabel 6. Kehilangan Akibat Rangkai Balok 100 x 340

No. Kabel	e (tumpuan) (cm)	CR (Mpa)	% kehilangan
1	-70	6,133	0,613
2	-40	3,925	0,392
3	-10	1,082	0,108
4	20	2,103	0,210
5	50	4,734	0,473
6	80	6,723	0,672
7	110	7,7	0,77

Tabel 7. Kehilangan Akibat Rangkai Balok 100 x 330

No. Kabel	e (tumpuan) (cm)	CR (Mpa)	% kehilangan
1	-85	10,507	1,05
2	-55	6,81	0,681
3	-25	3,115	0,311
4	-5	0,651	0,065
5	35	4,347	0,434
6	65	8,043	0,804
7	95	11,74	1,174

c. Kehilangan gaya pratekan akibat susut beton (SH)

Prosentase kehilangan pratekan
 $= \left(\frac{21,45}{1000} \times 100 \right) = 2,145\%$

d. Kehilangan gaya pratekan akibat relaksasi baja

$$\frac{90}{1860} \times 100\% = 4,38\%$$

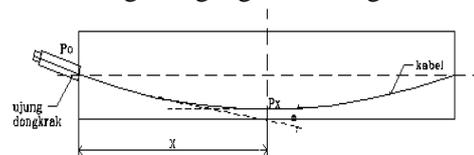
e. Kehilangan pratekan akibat penggelinciran angkur

Jadi presentasi kehilangan tegangan pada balok 100x340
 $= \frac{16,79}{1000} \times 100 = 1,679\%$

Jadi presentasi kehilangan tegangan pada balok 100x330

$$= \frac{16,79}{1000} \times 100 = 1,679\%$$

f. Kehilangan tegangan akibat gesekan



Gambar 8. Kabel Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan

Tabel 8. Kehilangan Akibat Gesekan.

Kabel	Po	Prosentase (%) Balok 100x340	Prosentase (%) Balok 100x330
1	1318,8	1,71	0,16
2	1318,8	1,94	0,83
3	1318,8	2,18	1,5
4	1318,8	2,41	2,16
5	1318,8	2,64	2,82
6	1318,8	2,88	3,5
7	1318,8	3,11	4,16

g. Kehilangan total yang diijinkan untuk desain

Untuk balok 100x340

$$\frac{80,776}{7} = 11,54\% \leq 20\% \text{ (OK)}$$

Untuk Balok 100x330

$$\frac{80,254}{7} = 11,46\% < 20\% \text{ (OK)}$$

Kehilangan total yang diijinkan tidak boleh lebih dari 20 %, dari hasil perhitungan untuk balok dimensi 100X330 dan 100x340 memenuhi syarat. Prosentase kehilangan total terbesar pada kabel yang mempunyai jarak terjauh dari gcg terjadi pada kabel no 6 dan 7.

Kontrol terhadap lendutan

Tabel 9. Lendutan yang Terjadi pada Tengah Bentang Balok 100 x 340

No. kabel	e (mm)	pratekan setelah kehilangan (mm)	lendutan akhir (mm)
1	180	1,648	1,73
2	380	3,472	0,55
3	580	5,304	-2,84
4	780	7,136	-5,13
5	980	8,96	-7,41
6	1180	10,792	-9,7
7	1380	12,624	-11,99

Tabel 10. Lendutan yang Terjadi pada Tengah Bentang Balok 100 x 330

No. kabel	e (mm)	pratekan setelah kehilangan (mm)	lendutan akhir (mm)
1	50	0,5	3,52
2	250	2,5	1,52
3	450	4,504	-0,484
4	650	6,504	-2,484
5	850	8,504	-4,484
6	1050	10,504	-6,484
7	1250	12,504	-8,484

Tabel 11. Lendutan Jangka Panjang Balok 100 x 340

No. kabel	(e) mm	lendutan akhir jangka panjang (mm)	lendutan jangka panjang menurut Lin (mm)
1	180	9,812	9,84
2	380	9,126	9,18

Lanjutan Tabel 11

3	580	8,489	8,575
4	780	7,439	7,918
5	980	6,779	7,264
6	1180	6,48	6,656
7	1380	5,794	6

Tabel 12. Lendutan Jangka Panjang pada Balok 100 x 330

No. kabel	(e) mm	lendutan akhir jangka panjang (mm)	lendutan jangka panjang menurut Lin (mm)
1	50	11,287	11,285
2	250	10,99	10,987
3	450	10,69	10,67
4	650	10,38	10,36
5	850	10,08	10,05
6	1050	9,77	9,74
7	1250	9,47	9,428

Momen Retak

Balok 100 x 340

Momen total retak adalah

$$313,87 + 43.771,55 = 44.085,42 \text{ kNm.}$$

Balok 100 x 330

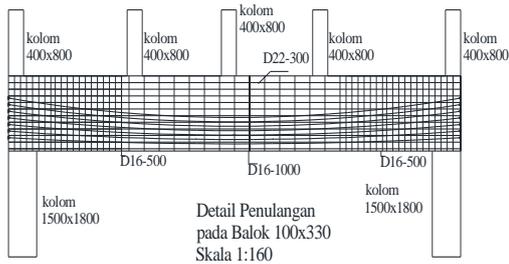
Momen total retak adalah

$$296,73 + 40.083,94 = 40.380,67 \text{ kNm}$$

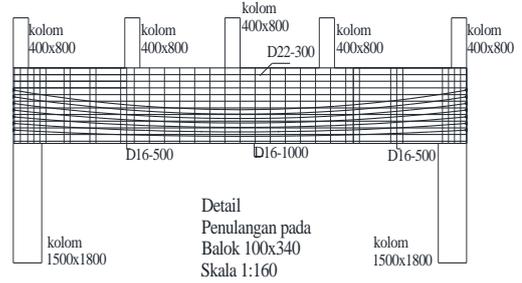
Penulangan

- Tulangan tumpu atas
Maka dipakai tulangan 20-D28
= 12.315 mm²
- Tulangan tumpu bawah
Maka dipakai tulangan 20-D28
= 12.315 mm²
- Tulangan geser
 - Didalam daerah sendi plastis
Digunakan ø16–25 mm
 - Diluar daerah sendi plastis
Digunakan ø16–1500 mm
 Untuk balok 100 x 330 menggunakan tulangan yang sama jumlah dan jaraknya.

Detail tulangan geser pada balok ukuran 100 x 330 dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Detail Penulangan Balok 100x330



Gambar 11. Detail Penulangan Balok 100x340

Detail tulangan geser pada balok ukuran 100 x 340 dapat dilihat pada Gambar 11.

Kontrol Lendutan

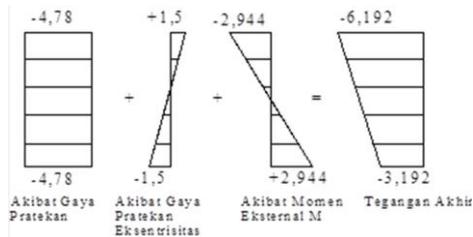
Kehilangan akibat perpendekan elastis beton pada tiap-tiap kabel dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Untuk Balok 100 x 340

No. kabel	e (mm) $\frac{L}{2}$	$\frac{F}{A}$ (N/mm ²)	$\frac{Fey}{I}$ (N/mm ²)	$\frac{My}{I}$ (N/mm ²)	$\frac{F}{A} \pm \frac{Fey}{I} \pm \frac{My}{I}$	
					atas	bawah
1	180	4,748	1,5	2,944	-6,192	-3,192
2	380	4,748	3,18	2,944	-4,512	-4,984
3	580	4,748	4,86	2,944	-2,832	-6,664
4	780	4,748	6,53	2,944	-1,162	-8,334
5	980	4,748	8,21	2,944	0,518	-10,014
6	1180	4,748	9,89	2,944	2,198	-11,694
7	1380	4,748	11,56	2,944	3,868	-13,364

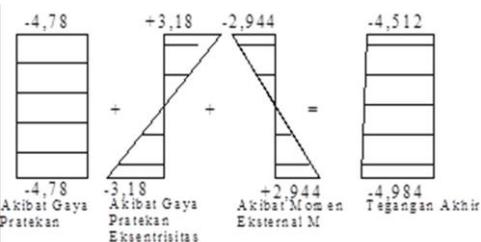
Lendutan terjadi pada tengah bentang, sesuai gambar yang di ilustrasikan sebagai berikut.

Kabel 1



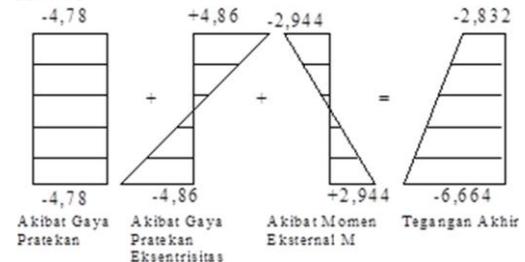
Gambar 12. Diagram Tegangan pada Kabel 1

Kabel 2



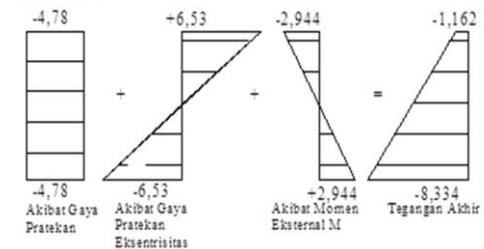
Gambar 13. Diagram Tegangan pada Kabel 2

Kabel 3



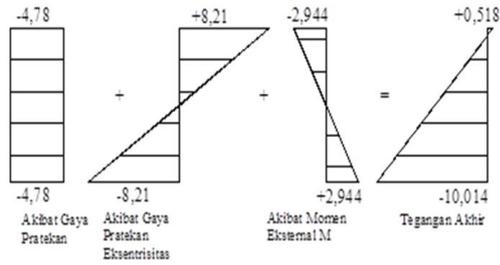
Gambar 14. Diagram Tegangan pada Kabel 3

Kabel 4



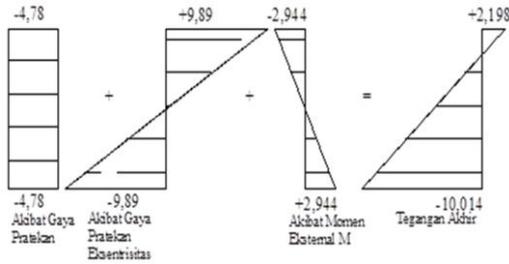
Gambar 15. Diagram Tegangan pada Kabel 4

Kabel 5



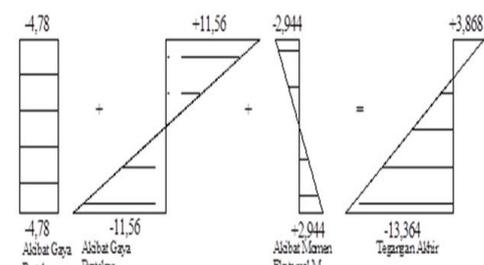
Gambar 16. Diagram Tegangan pada Kabel 5

Kabel 6



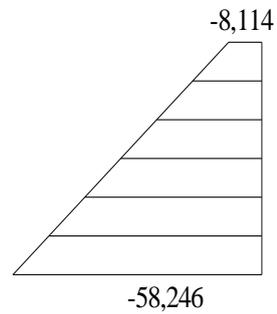
Gambar 17. Diagram Tegangan pada Kabel 6

Kabel 7



Gambar 18. Diagram Tegangan pada Kabel 7

Hasil total lendutan akhir

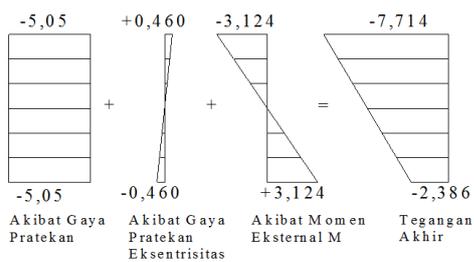


Gambar 19. Diagram Tegangan Total

Tabel 14. Untuk 100 x 330

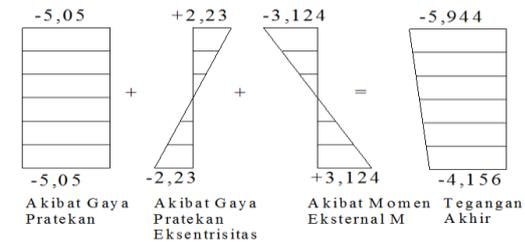
No. kabel	$e \frac{L}{2}$ (mm)	$\frac{F}{A}$ (N/mm ²)	$\frac{Fey}{I}$ (N/mm ²)	$\frac{My}{I}$ (N/mm ²)	$\frac{F}{A} \pm \frac{Fey}{I} \pm \frac{My}{I}$	
					atas	bawah
1	50	5,05	0,460	3,124	-7,714	-2,386
2	250	5,05	2,23	3,124	-5,944	-4,156
3	450	5,05	4,13	3,124	-4,044	-6,056
4	650	5,05	5,97	3,124	-2,204	-7,896
5	850	5,05	7,81	3,124	-0,364	-9,736
6	1050	5,05	9,65	3,124	1,476	-11,576
7	1250	5,05	11,48	3,124	3,306	-13,406

Kabel 1



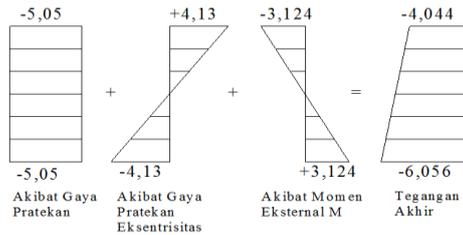
Gambar 20. Diagram Tegangan pada Kabel 1

Kabel 2



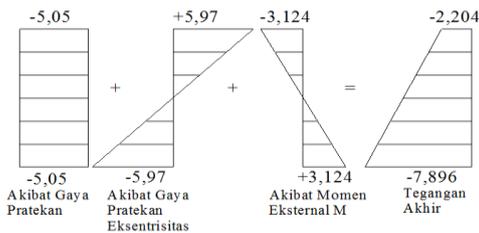
Gambar 21. Diagram Tegangan pada Kabel 2

Kabel 3



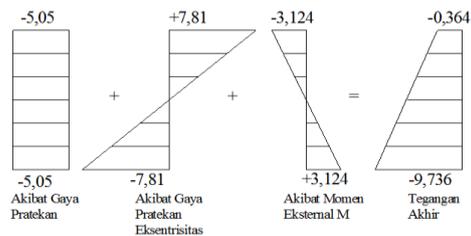
Gambar 22. Diagram Tegangan pada Kabel 3

Kabel 4



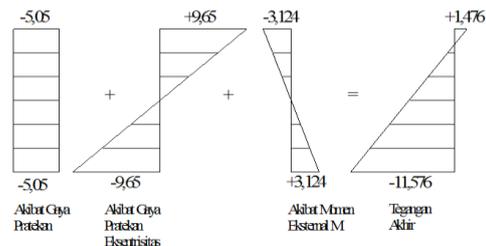
Gambar 23. Diagram Tegangan pada Kabel 4

Kabel 5



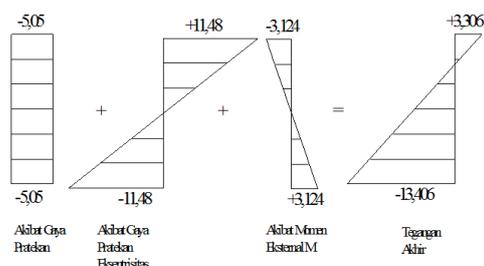
Gambar 23. Diagram Tegangan pada Kabel 5

Kabel 6



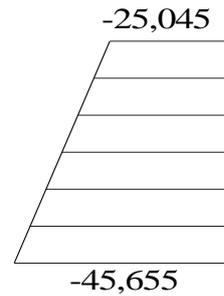
Gambar 24. Diagram Tegangan pada Kabel 6

Kabel 7



Gambar 25. Diagram Tegangan pada Kabel 7

Hasil total lendutan akhir



Gambar 26. Diagram Tegangan Total

KESIMPULAN

Untuk menentukan kern penampang pada tendon yang memenuhi syarat minimal pada dimensi balok 100 x340 didapat 141,67 cm \geq 133,28 cm, untuk dimensi 100x330 didapat 137,5 cm \geq 1,243 cm.

Rencana gaya (F) yang bekerja pada balok $F_{rencana} = 13.398,66$ kN untuk balok dengan dimensi 100x340. Sedangkan $F_{rencana} = 13.841,6$ kN untuk balok dengan dimensi 100x330. Rencana gaya ini untuk memperoleh dimensi balok yang memenuhi persyaratan, selain itu juga rencana gaya ini sebagai batas atas gaya pratekan yang dapat digunakan pada balok pratekan tersebut.

Pada balok pratekan ukuran 100 x 340 dan 100 x 330 digunakan kabel berukuran 12,70 mm tipe 7K7. Setelah dianalisa untuk kedua balok tersebut didapat jumlah 14 tendon dan dibagi menjadi 2 baris.

Pada balok 100 x 340 defleksi atau lendutan jangka panjang didapat pada tendon nomor 1 pada eksentrisitas 180 mm adalah 9,812 mm. Pada balok 100 x 330 juga terjadi tendon nomor 1 pada eksentrisitas 50 mm adalah 11,287 mm. Lendutan terjadi disebabkan oleh pratekan rata-rata yang bekerja selama waktu tertentu, lendutan akibat beban-beban transversal dan lendutan awal akibat pratekan.

Pembagian kerja beban pada balok pratekan adalah beban mati dan hidup ditopang oleh tendon. Beban gempa yang mengakibatkan gaya aksial ditopang oleh tulangan. Inilah pembagian kerja yang dimaksudkan dalam analisa desain balok pratekan.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 1983, *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*, Dep. PU, Bandung

- Anonim, 1991, *Standard Nasional Indonesia Tata Cara Perhitungan Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung T15-1991-03*, Dep. PU, Jakarta.
- Anonim, 2009, *Standard Nasional Indonesia Tata Cara Perhitungan Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung 2847-03-2002*, ITS Press, Surabaya.
- Astawa, Made Dharma, 2006, *Struktur Beton I*, Modul ajar.
- Nawy, Edward G., 2003, *Prestressed Concrete (A Fundamental Aproach)*, Departement of Civil and Environmental Engineering, Rutgers, The State University of New Jersey, USA.
- Purwono, Rachmat, 2005, *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*, ITS Press, Surabaya.
- Raju, Krishna, 1989, *BetonPrategang*, PT Erlangga, Jakarta.
- Lin, T. Y., 2000, *Desain Struktur Beton Prategang*, Jilid 1 dan Jilid 2, PT Interaksara, Batam Centre.