

# PERENCANAAN GELAGAR PENAMPANG I JEMBATAN BETON PRATEGANG BENTANG 30 METER

*Ari Endra Nasution, Suwarjo, Tidah Indriyani*

Teknik Sipil Universitas Muara Bungo

*ariendra.tekniksipilumb@gmail.com*

## ABSTRAK

Struktur beton prategang merupakan salah satu pilihan metode dalam membangun jembatan saat ini. Hal tersebut mempertimbangkan daya guna yang lebih lama dan perawatan yang lebih sedikit. Oleh karena itu analisis perhitungan gelagar jembatan beton prategang untuk berbagai bentang menjadi banyak diperlukan. Standar Bangunan Atas Jembatan Beton Pratekan Dirjen Bina Marga Departemen PU Tahun 1993 telah menetapkan ukuran penampang berdasarkan panjang gelagar dari 22 hingga 40 meter dengan interval tiap 3 meter sehingga tidak seluruh bentang tersedia dimensi penampangnya dari interval tersebut. Pada tulisan ini akan dilakukan analisis perhitungan penampang gelagar dengan bentang 30 meter hingga perhitungan kabel dan penempatan tendon. Dengan ini diharapkan dapat memperbanyak khazanah contoh perhitungan yang ada. Hasil analisis perhitungan memperlihatkan bahwa penampang gelagar dapat direncanakan lebih efisien lagi dari ukuran yang diberikan oleh standar di atas dengan kontrol tegangan dan lendutan yang masih dalam batas aman. Gaya prategang sebesar 14.500 kg sudah dapat mengakomodir semua beban-beban yang bekerja akan tetapi jika asumsi kehilangan gaya prategang sebesar 15% untuk jangka panjang terjadi maka akan menghasilkan nilai tegangan yang terjadi pada serat bawah gelagar melebihi tegangan tarik izin beton sehingga gaya prategang perlu dinaikkan sebesar 250 kg saat penegangan untuk mengeliminir tegangan yang terjadi tersebut.

**Kata kunci** : jembatan, beton prategang, 30 meter.

---

## 1 PENDAHULUAN

Jembatan merupakan salah satu infrastruktur penting dalam menunjang kehidupan manusia. Infrastruktur ini dibuat untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh rintangan yang melintang seperti lembah, sungai, danau, jalan kereta api, dan sebagainya (Zaini & Suprpto, 2018). Jembatan dengan bentang panjang direkomendasikan menggunakan struktur gelagar beton prategang, mempertimbangkan faktor efisiensi jika dibandingkan dengan menggunakan struktur beton bertulang biasa. Efisiensi yang dihasilkan yaitu pada volume beton serta jumlah tulangan yang digunakan hingga mencapai 20 - 35 %. Walaupun penghematan dari material ini harus dibayar mahal dengan tingginya harga material bermutu tinggi yang digunakan dan operasi pemberian gaya prategang akan tetapi dari sisi perawatan yang lebih sedikit dan daya guna yang lebih lama serta metode pekerjaan yang lebih mudah diterapkan untuk pekerjaan jembatan dengan bentang panjang maka jenis struktur ini menjadi banyak dipilih untuk struktur jembatan saat ini (Nawi, 2001). Material bermutu tinggi yang dimaksud di sini yaitu beton dan sistem kabel yang meliputi kabel, selongsong dan ankur (Triandita, 2016).

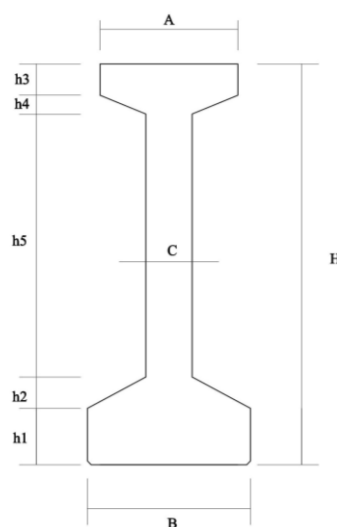
Panjang gelagar beton pratekan menyesuaikan dengan kebutuhan sesuai dengan perencanaan awal terhadap dua bagian jalan yang akan dihubungkan. Sementara itu, Standar Bangunan Atas Jembatan Beton Pratekan dari Dirjen Bina Marga Departemen PU Tahun 1993 menetapkan dimensi penampang gelagar berdasarkan panjang gelagar tersebut. Dalam standar tersebut diberikan masing-masing dimensi mulai dari panjang gelagar 22, 25, 28 hingga 40 meter dengan interval tiap panjang gelagar yang diberikan yaitu 3 meter seperti ditunjukkan pada tabel 1. Ada kalanya kebutuhan panjang gelagar di lapangan adalah tepat 30 meter sehingga untuk perencanaan yang efisien dan ekonomis sesuai dengan kebutuhan maka perlu dibuat perhitungan penampang gelagar pratekan untuk panjang tersebut di samping itu juga untuk menambah khazanah contoh perhitungan yang ada untuk gelagar prategang dengan bentang tertentu.

Penggunaan terhadap sesuatu baik material, metode kerja dan sebagainya tidak lepas dari kelebihan dan kekurangan. Penggunaan jenis struktur beton prategang tentunya juga memiliki kelebihan dan kekurangan seperti disebutkan berikut ini.

**Tabel 1.** Dimensi Gelagar Sesuai Dengan Panjang Gelagar

L (m)	H (mm)	h1 (mm)	h2 (mm)	h3 (mm)	h4 (mm)	h5 (mm)	A (mm)	B (mm)	C (mm)
22	1350	200	200	100	100	750	550	650	200
25	1500	200	200	100	100	900	550	650	200
28	1650	300	250	150	200	750	700	700	200
31	1800	300	250	150	200	900	700	700	200
34	2000	300	250	150	200	1100	700	700	200
37	2150	300	250	200	200	1200	700	700	200
40	2350	300	250	200	200	1400	700	700	200

Sumber : Standar Bangunan Atas Jembatan Beton Pratekan, Dirjen Bina Marga Dep. PU



**Gambar 1.** Penampang Melintang Gelagar

**Kelebihan Beton Prategang** (Hidayat & Chayati, 2014)

- Lebih kuat memikul beban lentur dibandingkan bertulang.
- Penampang struktur lebih ramping karena luas penampang dipakai secara efektif secara keseluruhan.
- Bobot baja prategang jauh lebih kecil dari bobot baja tulangan biasa.
- Retak pada daerah tarik dapat dihindari sehingga aman terhadap korosi
- Dapat dipakai pada bentang yang lebih panjang.
- Adanya penegangan kabel prategang dapat meningkatkan kapasitas geser dan punter.
- Dapat dipakai pada rekayasa konstruksi tertentu seperti jembatan segemental.

**Kekurangan Beton Prategang** (Rangan, 2019)

- Pemeliharaan dan perbaikan yang sulit jika terjadi kerusakan
- Kurang tahan terhadap beban gempa

Terdapat dua jenis perencanaan struktur yaitu Metode Tegangan Kerja/*Allowable Stress Design* (ASD) dan Metode Kekuatan Batas/*Ultimate Strength Design* (USD). Pada metode ASD, Penampang struktur direncanakan terhadap lentur sedemikian sehingga tegangan- tegangan yang timbul akibat beban layan tanpa beban terfaktor yang dihitung (dengan asumsi hubungan tegangan-regangan masih bersifat linear) masih di bawah tegangan izin yang ditetapkan, Pada metode USD, Penampang melintang pada elemen struktur direncanakan dengan memperhitungkan perilaku regangan inelastik sampai dicapai batas maksimum kekuatan material. (kekuatan beton diperhitungkan sampai batas kuat tekan ultimate, dan baja tulangan diperhitungkan sampai dicapai tegangan leleh).

Gelagar jembatan prategang penampang I bentang 31 meter dengan dimensi penampang sesuai dengan ukuran standar Bina Marga seperti sebelumnya pernah dihitung oleh Santosa dkk. pada Jembatan Kali Suru Pemalang dengan perencanaan mulai dari struktur atas hingga struktur bawah. Hidayat & Chayati juga membuat perencanaan gelagar jembatan prategang dengan penampang I dengan bentang 42 meter yang meliputi struktur atas jembatan saja. Pada tulisan ini akan dibuat perencanaan gelagar dengan penampang I bentang 30 meter beserta tulangan dan penempatan tendonnya.

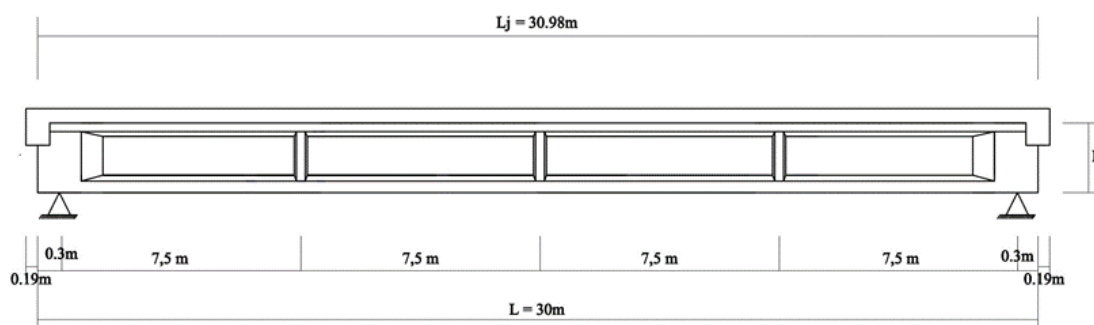
## 2 METODOLOGI

Data-data perencanaan dalam perhitungan gelagar di sini dapat dilihat pada tabel 2. Beban dihitung menggunakan Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan raya Dirjen Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Tahun 1987). Analisis perhitungan menggunakan metode perencanaan kuat batas (*ultimate strength design*).

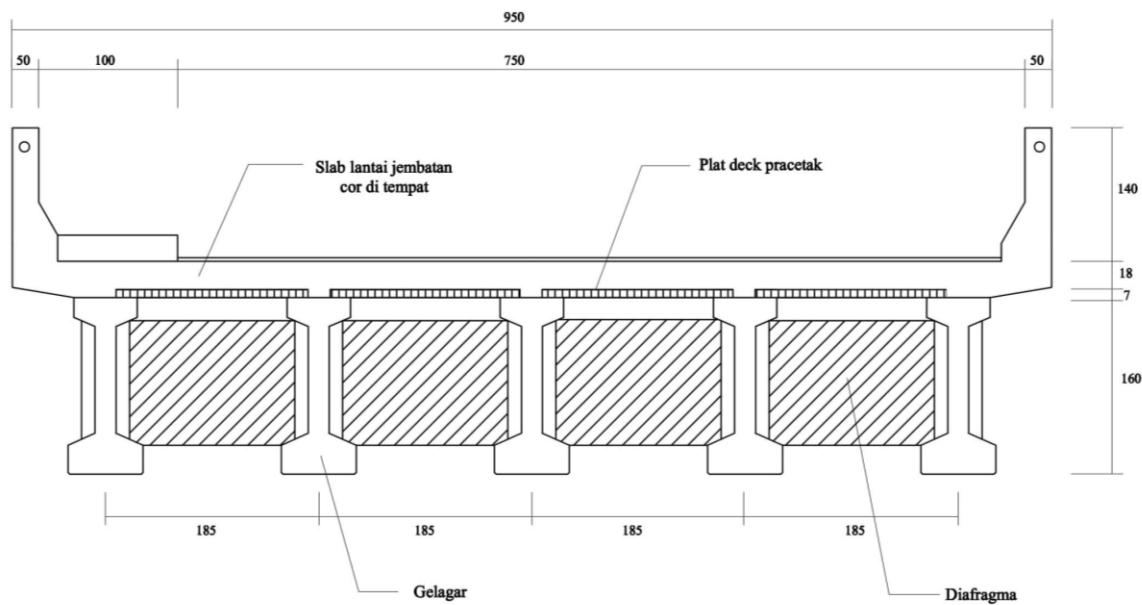
**Tabel 2.** Data Spesifikasi Perencanaan

<b>Spesifikasi Umum</b>	
Jembatan Kelas A	Jarak sekat antar gelagar 1,85 m
Tipe Gelagar I <i>Beam</i> Segmental	Jarak sekat antar gelagar 1,85 m
Panjang Gelagar (L) 30 m	Tebal pelat deck 7 cm (sebagai bekisting permanen)
Panjang Gelagar (Lg) 30,6 m	Tebal lapisan aspal (overlay) 8 cm
Panjang Lantai Jembatan (Lj) 30,98 m	Tebal beton lantai jembatan bagian tepi 25 cm dan bagian tengah 28 cm
<b>Spesifikasi Teknis</b>	
Mutu beton gelagar K500	Tegangan izin tarik tul. polos $0,66 \times 2400 \approx 1600 \text{ kg/cm}^2$
Dimensi unit pelat deck (100 x 160 x 7) cm	Mutu Kabel Prategang Super Grade 270 ASTM A146
Mutu beton pelat <i>deck</i> K250	Jenis 7 wire PC Strand
Mutu beton slab lantai jembatan K350	Diameter nominal ( $\varnothing_s = 12,7 \text{ mm}$ )
Mutu baja tulangan ulir (BJTD) U40	Luas penampang nominal ( $A_{st} = 97,7 \text{ mm}^2$ )
Diameter tulangan ulir $\geq 13 \text{ mm}$	Breaking load (minimum) = 19.000 kg
Tegangan baja Tulangan ulir (fs) $4000 \text{ kg/cm}^2$	Yield load (beban mulur) = 17.850 kg (minimum)
Tegangan izin Tarik $f_y' = 0,66 \times 4000 = 2640 \text{ kg/cm}^2$	Rencana penarikan (penegangan) perkabel Uts $\pm 75\%$
Mutu baja tulangan polos (BJTP) U24	Penarikan (14.000 – 15.000) kg per kabel.
Diameter tulangan polos $\leq 13 \text{ mm}$	Modulus elastis kabel <i>strand</i> $E_{st} = 1,9 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$
Tegangan baja tulangan polos $f_s = 2400 \text{ kg/cm}^2$	

Tahapan analisis perhitungan meliputi analisis *properties* penampang pada kondisi pracetak dan komposit, analisis rencana pembebanan (beban primer, beban sekunder dan beban dinamis), analisis mekanika teknik, perhitungan gaya prategang, kontrol tegangan, pengangkuran serta analisa *trace* tendon.



**Gambar 2.** Penampang Memanjang Gelagar



**Gambar 3.** Potongan Melintang Jembatan Kelas A

### 3 HASIL PEMBAHASAN

#### 3.1 ANALISIS PROPERTIS PENAMPANG

Secara Empiris, dimensi bagian-bagian dari penampang gelagar pada gambar 1 dapat diambil sesuai dengan tabel berikut ini :

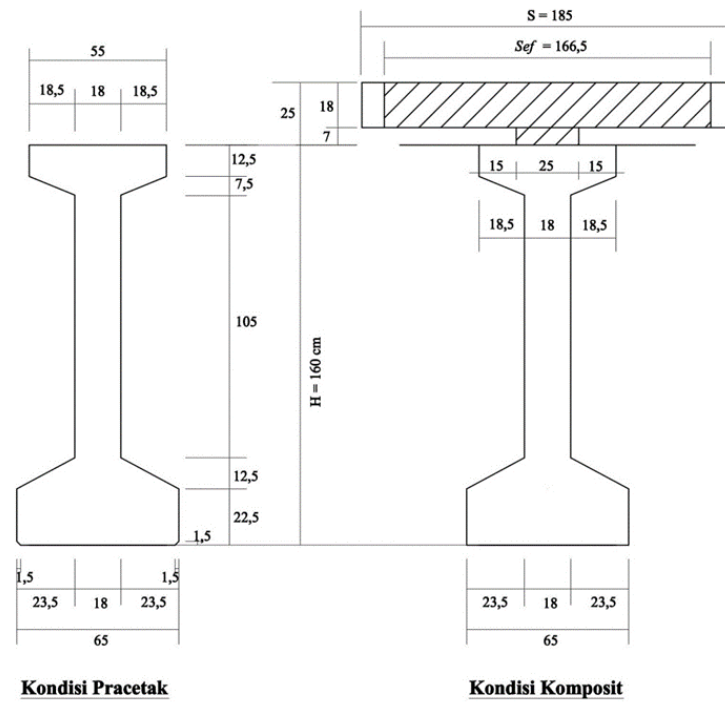
**Tabel 3.** Rumus Empiris Penentuan Dimensi penampang

Dimensi Tinggi	Dimensi Lebar
$H = (0,052 - 0,057).H$	$A = (0,32 - 0,34).H$
$h_1 = (0,34 - 0,38).B$	$B = (0,39 - 0,41).H$
$h_2 = (1/2).h_1$	$C = (1/3).A$
$h_3 = (0,215 - 0,25).H$	
$h_4 = (1/2).h_3$	
$h_5 = H - h_1 - h_2 - h_3 - h_4$	

Dengan melakukan analisis perhitungan terhadap *section properties* pada kondisi pracetak dan kondisi komposit maka didapat resume propertis penampang gelagar pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Resume Propertis Penampang

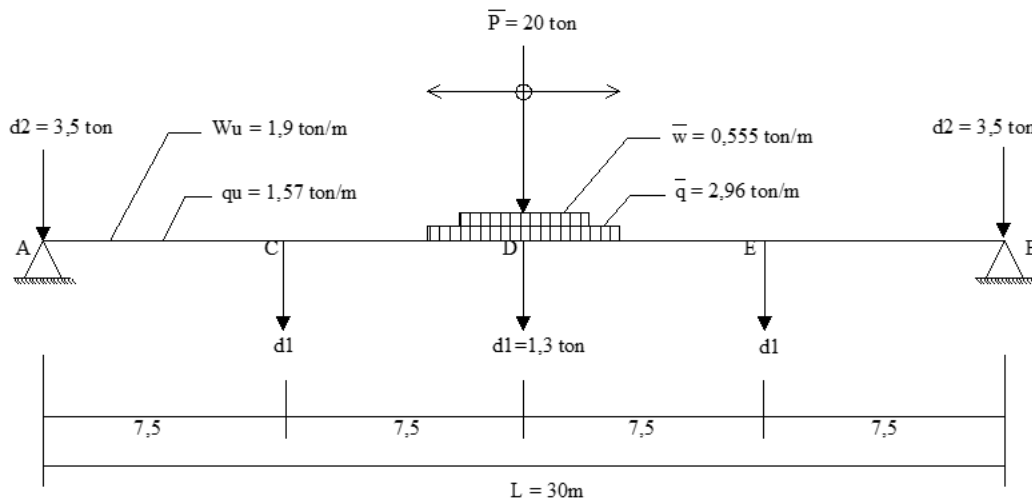
Parameter	Kondisi Pracetak	Kondisi Komposit
Luas Penampang	$A_p = 4.821 \text{ cm}^2$	$A_k = 8.373,38 \text{ cm}^2$
Titik Berat	$y_a = 89,638 \text{ cm}$	$y_{ak} = 66,98 \text{ cm}$
	$y_b = 70,362 \text{ cm}$	$y_{bk} = 118,02 \text{ cm}$
Momen Inersia	$I_{yp} = 14.908.864,702$	$I_{yk} = 36.098.653,47 \text{ cm}^4$
Modulus Penampang		
Sisi atas plat	-	$W_{at} = 538.946,8 \text{ cm}^3$
Sisi atas dalam plat	-	$W_{ad} = 859.901,2 \text{ cm}^3$
Sisi atas gelagar	$W_{ap} = 166.324,04 \text{ cm}^3$	$W_{ag} = 1.031.980 \text{ cm}^3$
Sisi bawah gelagar	$W_{bp} = 211.888,08 \text{ cm}^3$	$W_{bk} = 305.868,9 \text{ cm}^3$
Jari-jari inersia	$i_p = 3.092,48 \text{ cm}^2$	$i_k = 4.311,12 \text{ cm}^2$



**Gambar 4.** Penampang Melintang Kondisi Pracetak dan Kondisi Komposit (dalam cm)

### 3.2 ANALISA RENCANA PEMBEBANAN

Analisis beban primer meliputi beban merata berat sendiri gelagar kondisi *ultimate* ( $q_u$ ), berat sendiri dudukan dan diafragma tengah ( $d_1$ ), berat sendiri dudukan dan diafragma di tumpuan ( $d_2$ ), berat sendiri lantai jembatan ( $W_u$ ). Analisis beban sekunder meliputi beban angin atau air hujan ( $w$ ) serta tekanan gaya rem dan traksi. Analisis beban dinamis akibat kendaraan ( $q$  dan  $p$ ). Resume pembebanan seluruhnya pada gelagar dapat dilihat pada gambar 6.



**Gambar 5.** Resume Beban Rencana

### 3.3 ANALISA MEKANIKA TEKNIK

Dari hasil analisa mekanika teknik pada gelagar dengan pembebanan seperti pada Gambar 6 maka didapat nilai reaksi tumpuan dan momen di tengah bentang sebagai berikut :

a. Akibat berat sendiri gelagar

Reaksi Tumpuan  
 $R_A = R_B = 23,55 \text{ Ton}$   
 Momen maksimum di tengah bentang (titik D)  
 $M_{Dqu} = 176,63 \text{ Ton.m}$

b. Akibat beban tetap lainnya

Reaksi Tumpuan	
Diafragma	$R_A = 5,45 \text{ Ton}$
Beton lantai dan aspal	$R_A = 28,5 \text{ Ton}$
	(+)
	$R_{AL} = 33,95 \text{ ton}$
Momen di tengah bentang	
Diafragma	$M_{Dd} = 9,75 \text{ Ton.m}$
Beton lantai dan aspal	$M_{DL} = 213,75 \text{ Ton.m}$
	(+)
	$M_{DL. Tot} = 223,5 \text{ Ton.m}$

c. Akibat beban dinamis

Reaksi Tumpuan  
 $R_A = R_B = 78,2 \text{ Ton}$

Gaya lintang di tengah bentang (titik D)  
 $R_D = 20 \text{ Ton}$

Momen maksimum di tengah bentang (titik D)  
 $M_{Dpq} = 546 \text{ Ton.m}$

Momen Maksimum akibat beban truk kondisi kritis di atas jembatan  
 $M_{Dpq} = 503 \text{ Ton.m}$

Maka Nilai  $M_{Dpq}$  yang menentukan adalah  $546 \text{ Ton.m}$

d. Akibat beban Dinamis

Reaksi Tumpuan  
 $R_A = R_B = 78,2 \text{ Ton}$

Gaya lintang di tengah bentang (titik D)  
 $R_D = 20 \text{ Ton}$

Momen maksimum di tengah bentang (titik D)  
 $M_{Dpq} = 546 \text{ Ton.m}$

Momen Maksimum akibat beban truk kondisi kritis di atas jembatan  
 $M_{Dpq} = 503 \text{ Ton.m}$

Maka Nilai  $M_{Dpq}$  yang menentukan adalah  $546 \text{ Ton.m}$

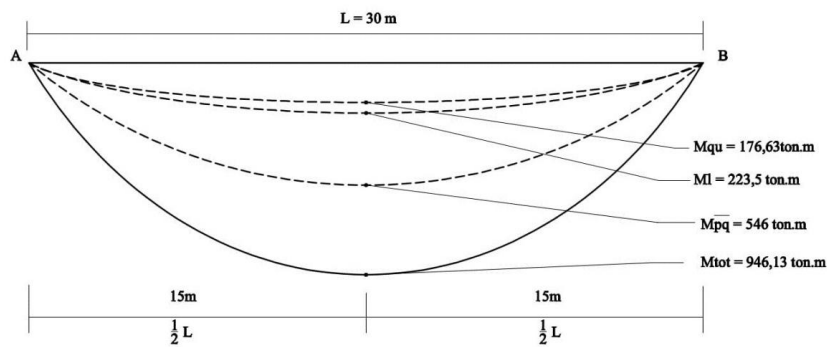
Dari poin a, b dan c maka didapat nilai momen maksimum total ( $M_{Tot}$ ) =  $946,13 \text{ Ton.m}$ . Resume momen maksimu dan gaya lintang dapat dilihat pada Gambar 6.

### 3.4 MENENTUKAN GAYA PRATEGANG

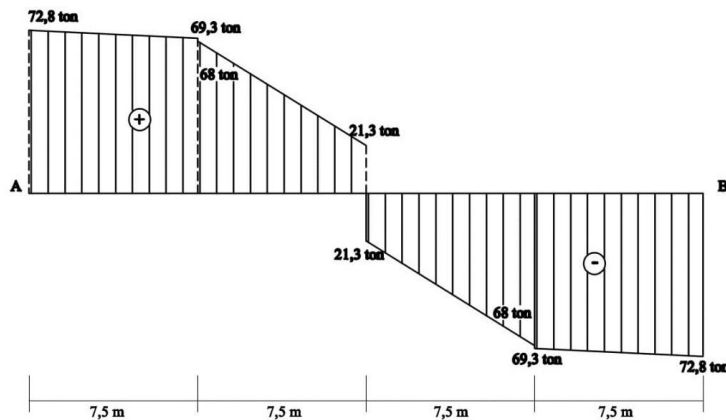
Dari Gambar 5 dan 6 maka dapat diketahui parameter untuk perhitungan gaya prategang yaitu :

**Tabel 5.** Parameter Tegangan Beton

Tegangan Beton	
Teg izin beton ( $f_c'$ ) = $0,83 \cdot f_c$	Tegangan tarik izin ( $f_{cr}$ ) = $0,045 \cdot \bar{f}_c'$
Tegangan izin beton terfaktor ( $\bar{f}_c'$ ) = $0,85 \cdot f_c'$	Tegangan tekan izin ( $f_{ct}$ ) = $0,65 \cdot \bar{f}_c'$

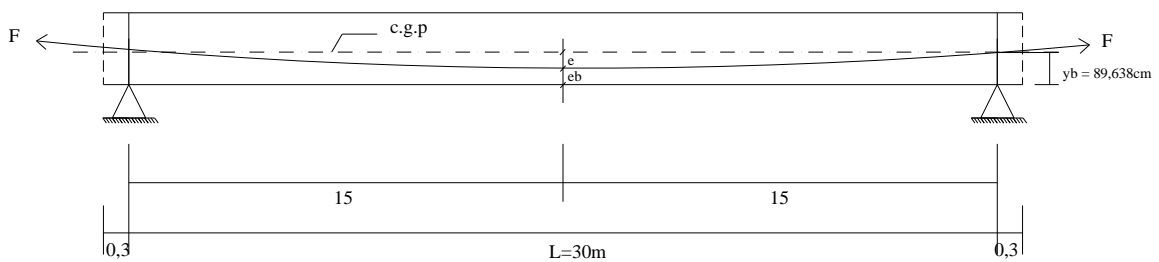


BIDANG M (MOMEN)



BIDANG D (Gaya Lintang)

**Gambar 6.** Bidang Momen dan Gaya Lintang



**Gambar 7.** Skema Analisis Penentuan Gaya Prategang

### 3.4.1 Gaya Prategang pada kondisi pracetak

Gaya prategang di hitung dengan menggunakan rumus :

Sisi atas gelagar

$$f_{cr} \geq \frac{-F}{A_p} + \frac{F \cdot e}{W_{ap}} - \frac{M_{qu}}{W_{ap}} \quad \dots(1)$$

Sisi bawah gelagar

$$f_{ct} \geq \frac{-F}{A_p} + \frac{F \cdot e}{W_{bp}} - \frac{M_{qu}}{W_{bp}} \quad \dots(2)$$

Dicoba :

$$e_b = 10 \text{ cm}$$

$$e = y_b - e_b = 60,4 \text{ cm}$$

maka didapat nilai gaya prategang

Sisi atas gelagar,  $F \leq 782.506,4 \text{ kg}$

Sisi bawah gelagar,  $F \leq 777.739,8 \text{ kg}$

### 3.4.2 Gaya Prategang pada kondisi komposit

Gaya prategang di hitung dengan menggunakan rumus :

Sisi atas gelagar

$$f_{cr} \geq \frac{-F}{Ak} + \frac{F \cdot e^o}{Wat} - \frac{M_{qu}}{Wat} \quad \dots(3)$$

Sisi bawah gelagar

$$f_{ct} \geq \frac{-F}{Ak} + \frac{F \cdot e^o}{W_{bk}} - \frac{M_{qu}}{W_{bk}} \quad \dots(4)$$

$$e' = y_{bk} - y_b$$

$$e^o = e + e'$$

maka didapat gaya prategang

Sisi atas gelagar,  $F \leq 4.998.000 \text{ kg}$

Sisi bawah gelagar,  $F \leq 655.360,2 \text{ kg}$

Dari batasan gaya prategang yang didapat pada kondisi pracetak dan kondisi komposit, maka dicoba gunakan gaya prategang ( $F$ ) = 700.000 kg. satu kabel strand ditarik dengan gaya 14.500 kg ( $\pm 75\%$  UTS). Maka jumlah kabel strand ( $n$ ) adalah  $700.000/14.500 \approx 48$  kabel sehingga total gaya prategang per kabel  $48 \times 14.500 \text{ kg} = 696.000 \text{ kg}$ .

**Tabel 6.** Standar Diameter Tendon (Ducting)

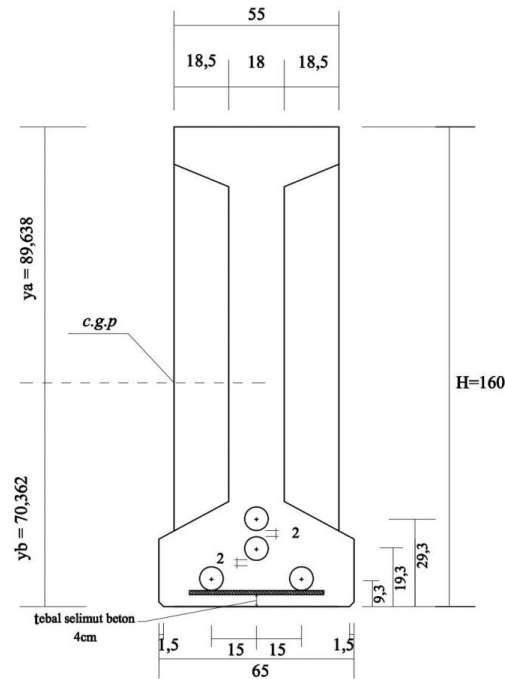
Maksimum Isi Kabel Strand	Diameter Tendon	
	Diameter Dalam (id)	Diameter Luar (od)
7	5 cm	5,3
s/d 15	7,3	7,6
s/d 22	10,3	10,6

**Tabel 7.** Eksentrisitas Gaya Prategang

Jumlah Kabel (nk)	Total Gaya Prategang $Nk \times F$	Nilai e	Statis Momen Gaya Prategang $M_f = e \times F$
12	174.000 kg	61,062	10.624.788 kg.cm
12	174.000 kg	61,062	10.624.788 kg.cm
12	174.000 kg	51,062	8.884.788 kg.cm
12	174.000 kg	41,062	7.144.788 kg.cm
<b>48</b>	<b><math>\Sigma F = 696.000 \text{ kg}</math></b>		<b><math>\Sigma M_f = 37.279.152 \text{ kg.cm}</math></b>

Jarak eksentrisitas gaya prategang dari garis sumbu c.g.p

$$\bar{e} = \frac{\Sigma M_f}{\Sigma F} = \frac{37.279.152}{696.000} = 53,562 \text{ cm}$$



Gambar 8. Penempatan Tendon (Ducting) Di Pangkal Gelagar

### 3.4.3 Kontrol tegangan

#### 3.4.3.1 Tegangan Kondisi Pracetak

Tegangan serat atas gelagar

$$\sigma_a \geq \frac{-\sum F}{Ap} + \frac{(\sum F) \cdot \bar{e}}{Wap} - \frac{Mqu}{Wap} = -26,428 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan serat bawah gelagar

$$\sigma_b \geq \frac{-\sum F}{Ap} - \frac{(\sum F) \cdot \bar{e}}{Wb} + \frac{Mqu}{Wb} = -237,946 \text{ kg/cm}^2$$

#### 3.4.3.2 Tegangan Kondisi Komposit

Momen garis pengaruh

Momen yang bekerja adalah akibat beban diafragma (Md) dan akibat berat lantai beton dan aspal (MDL.Tot).

Tegangan serat atas lantai jembatan

$$\sigma_{Top} = \frac{-M_{DL.Tot}}{W_{at}} = -41,52 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan serat bawah lantai jembatan

$$\sigma_P = \frac{-M_{DL.Tot}}{W_{bt}} = -26,02 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan serat bawah gelagar

$$\sigma_{bk} = \frac{+M_{DL.Tot}}{W_{bk}} = +73,15 \text{ kg/cm}^2$$

#### 3.4.3.3 Tegangan Akibat Beban Dinamis

Tegangan serat atas lantai jembatan

$$\sigma_{Top} = \frac{-M_{pq}}{W_{at}} = -101,309 \text{ kg/cm}^2$$

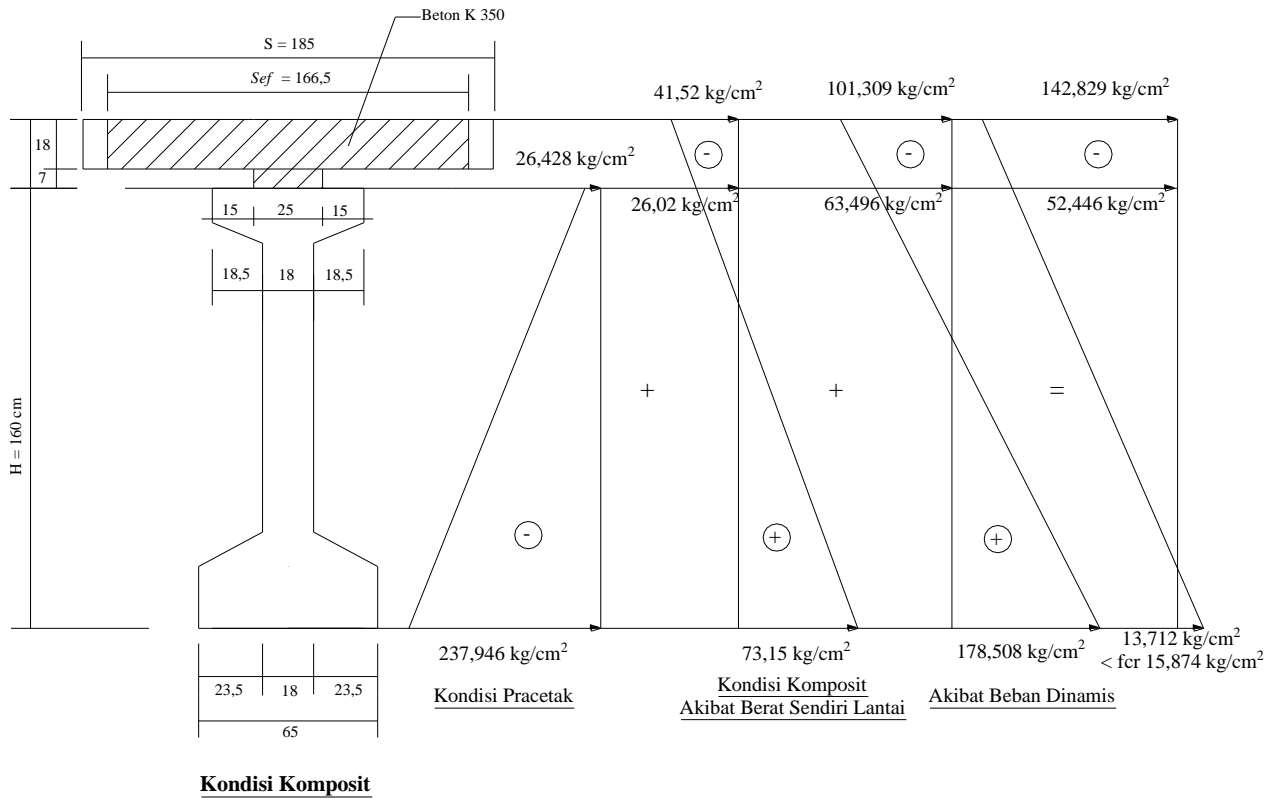
Tegangan serat bawah lantai jembatan

$$\sigma_p = \frac{-M_{pq}}{W_{bt}} = -63,496 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan serat bawah gelagar

$$\sigma_{bk} = \frac{+M_{pq}}{W_{bk}} = +178,508 \text{ kg/cm}^2$$

### 3.4.3.4 Tegangan Kondisi Akhir (Final) di Tengah Bentang



Gambar 9. Tegangan Kondisi Akhir

### 3.4.4 Kontrol Tegangan Dengan Asumsi Kehilangan Tegangan Jangka Panjang ( $\pm 15\%$ )

Efektifitas gaya penegangan :

$$\sum F_{ef} = 85\% \times \sum F = 591.600 \text{ kg/cm}^2$$

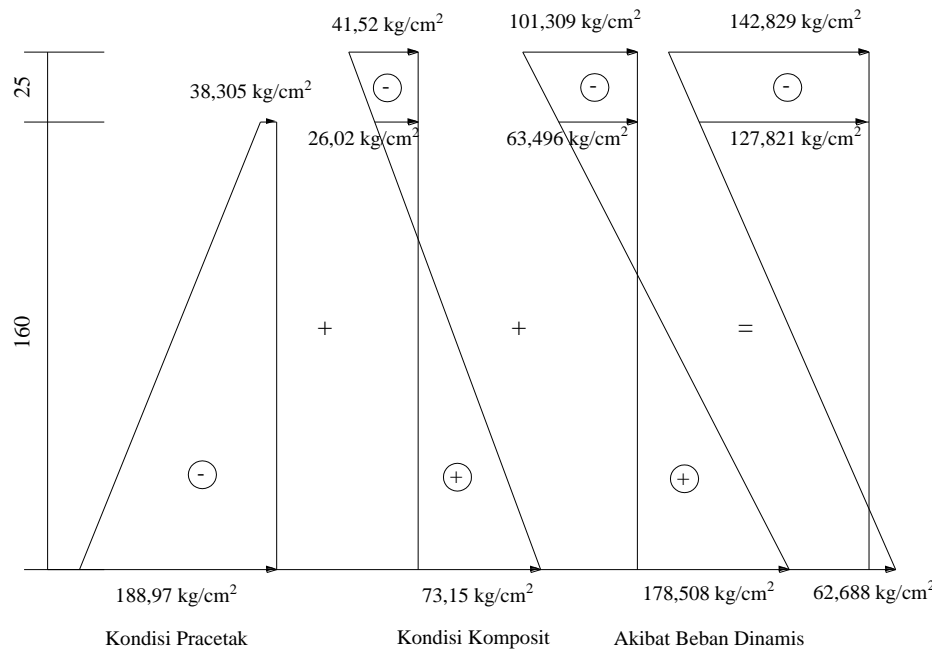
#### 3.4.4.1 Tegangan Kondisi Pracetak

Serat atas gelagar

$$\sigma_a \geq \frac{-\sum F_{ef}}{A_p} + \frac{(\sum F_{ef}) \cdot \bar{e}}{W_{ap}} - \frac{M_{qu}}{W_{ap}} = -38,305 \text{ kg/cm}^2$$

Serat bawah gelagar

$$\sigma_b \geq \frac{-\sum F_{ef}}{A_p} - \frac{(\sum F_{ef}) \cdot \bar{e}}{W_b} + \frac{M_{qu}}{W_b} = -188,97 \text{ kg/cm}^2$$



**Gambar 10.** Tegangan Jangka Panjang

Setelah gaya penegangan kehilangan 15% maka menghasilkan tegangan tarik pada serat bawah sebesar  $+62,688 \text{ kg/cm}^2 \geq F_{cr} = 15,637 \text{ kg/cm}^2$  sehingga pada pelaksanaan pemasangan gelagar secara segmental perlu dinaikkan gaya penegangan kabel lebih besar daripada  $F = 14.500 \text{ kg}$ .

### 3.4.5 Gaya Prategang Gelagar Tipe Segmental

Diambil gaya tarik penegangan  $F = 14.750 \text{ kg}$

**Tabel 8.** Eksentrisitas Gaya Prategang Kondisi Segmental

Jumlah Kabel (nk)	Total Gaya Prategang $Nk \times F$	Nilai e	Statis Momen Gaya Prategang $M_f = e \times F$
12	177.000 kg	61,062	10.807.974 kg.cm
12	177.000 kg	61,062	10.807.974 kg.cm
12	177.000 kg	51,062	9.037.974 kg.cm
12	177.000 kg	41,062	7.267.074 kg.cm
<b>48</b>	<b><math>\Sigma F = 696.000 \text{ kg}</math></b>		<b><math>\Sigma M_f = 37.921.896 \text{ kg.cm}</math></b>

Jarak eksentrisitas gaya prategang kondisi segmental :

$$\bar{e} = \frac{\Sigma M_f}{\Sigma F} = \frac{37.921.896}{708.000} = 53,562 \text{ cm}$$

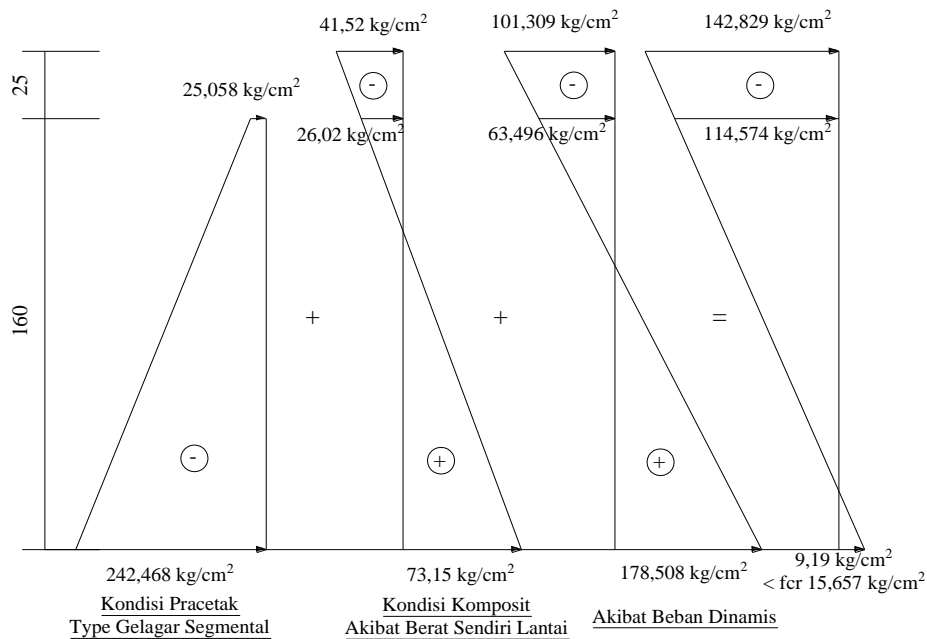
#### 3.4.5.1 Kontrol Tegangan Kondisi Pracetak

Tegangan serat atas gelagar

$$\sigma_a \geq \frac{-\Sigma F}{A_p} + \frac{(\Sigma F) \cdot \bar{e}}{W_{ap}} - \frac{M_{qu}}{W_{ap}} = -25,058 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan serat bawah gelagar

$$\sigma_b \geq \frac{-\Sigma F}{A_p} - \frac{(\Sigma F) \cdot \bar{e}}{W_b} + \frac{M_{qu}}{W_b} = -242,468 \text{ kg/cm}^2 < f_c' = 352,75 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{Ok, Aman!}$$



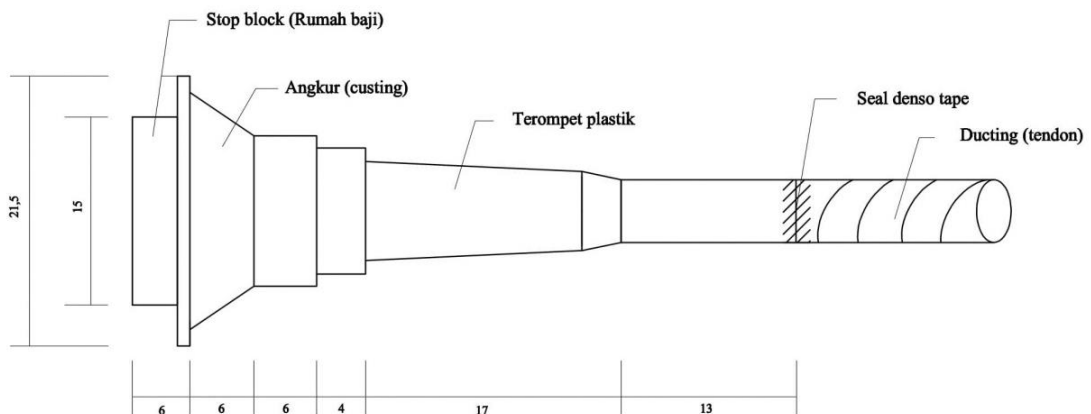
**Gambar 9.** Tegangan Akhir Gelagar Tipe Segmental

Pada kondisi akhir, tegangan serat bawah adalah  $+9,19 \text{ kg/cm}^2 < f_{cr} = +15,657 \text{ kg/cm}^2$ , sehingga kondisi beton masih aman.

### 3.5 PENGANGKURAN DAN ANALISA KOORDINAT TRACE

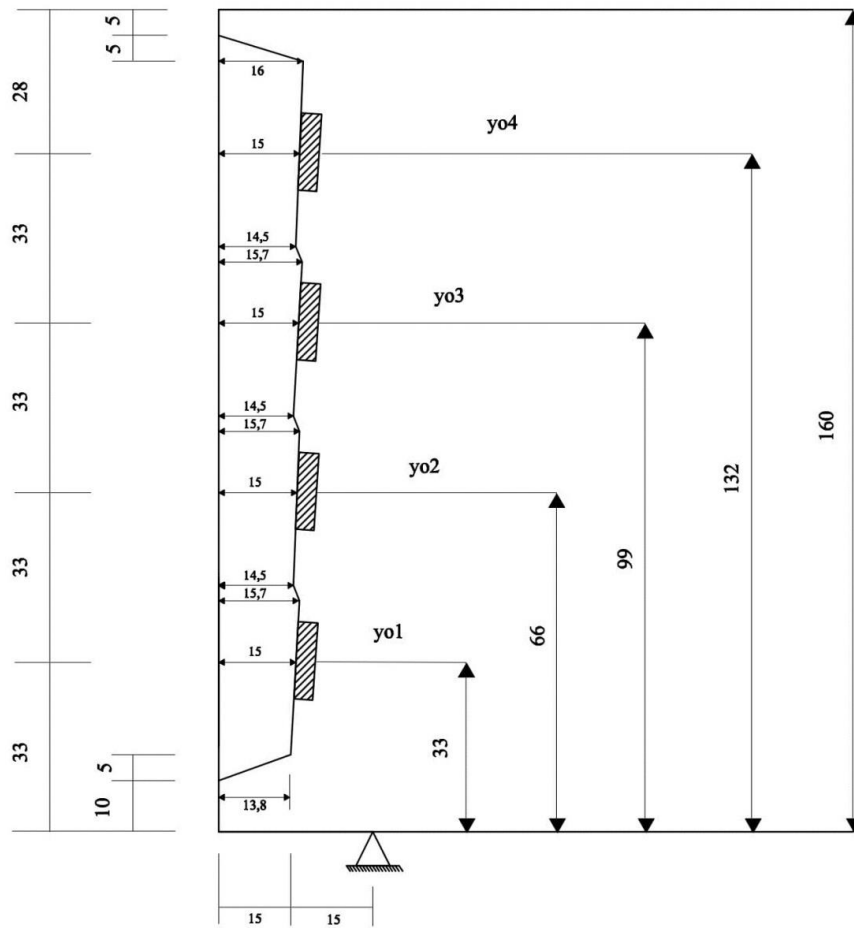
#### 3.5.1 Pengangkuran

Dipilih angkur (*custing*) tipe 12S (isi 12 kabel) sebanyak 4 buah sesuai dengan jumlah kabel yang digunakan yaitu 48 kabel.

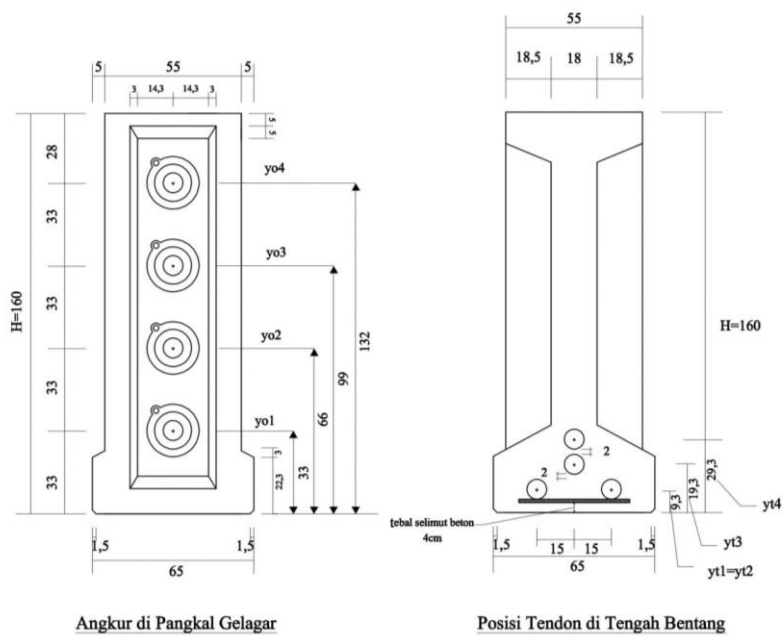


**Gambar 11.** Tampak Samping Angkur (ukuran dalam cm)

Dari hasil analisa diperlukan 4 buah tendon sehingga dipasang angkur sebanyak 4 titik dengan susunan seperti gambar berikut.



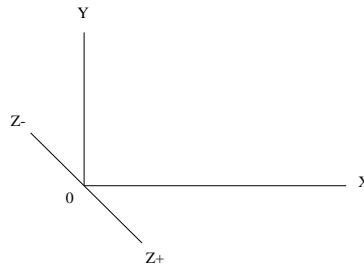
**Gambar 12.** Tampak Samping Posisi Angkur di Pangkal Gelagar (ukuran dalam cm)



**Gambar 13.** Posisi Angkur dan Tendon (ukuran dalam cm)

### 3.5.2 Analisa Trace Tendon

Agar gelagar tidak mudah melengkung dalam arah melintangnya maka tendon diatur arahnya melengkung ke kanan dan ke kiri secara seimbang sehingga trace koordinat tendon dibuat dalam tiga sumbu x, y dan z. Posisi tendon dalam arah x dan y menggunakan persamaan lengkung parabola.



Gambar 14. Sistem Koordinat Sumbu Perencanaan Trace Tendon

$$y_n \geq \frac{4 \cdot \alpha \cdot x(l-x)}{l^2} \quad \dots(5)$$

$$L_x = L \cdot \left(1 + \frac{8\alpha^2}{3L^2}\right) \quad \dots(6)$$

Dimana  $y_n$  adalah ordinat pada nilai  $x$  tertentu dan  $L_x$  adalah panjang lintasan lengkung parabola

Tabel 10. Analisa Jalur (Trace) Tendon ½ Bentang

	x	115	215	315	415	515	615	715	815	915	1015	1115	1215	1315	1415	1515		
Tendon 4	yn	132	117	103,84	93,73	83,44	74,05	65,54	57,94	51,23	45,41	40,49	36,46	33,33	31,09	29,75	29,30	
	ybo	0	113,00	99,84	89,73	79,44	70,05	61,54	53,54	47,23	41,41	36,49	32,46	29,33	27,09	25,75	25,30	
	z	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tendon 3	yn	99	87,36	77,98	69,3	61,32	54,02	47,43	41,52	36,31	31,80	27,98	24,86	22,43	20,69	19,65	19,30	
	ybo	0	21,84	73,98	65,30	57,32	50,02	43,43	37,57	32,31	27,80	23,98	20,86	18,43	16,69	15,65	15,30	
	z	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tendon 2	yn	66	57,72	51,05	44,87	39,19	34,00	29,31	25,11	21,40	18,19	15,48	13,25	11,52	10,29	9,55	9,30	
	ybo	0	14,43	12,76	11,22	9,80	8,50	7,33	6,28	5,35	4,55	3,87	3,31	2,88	2,57	2,39	2,33	
	z	0	-2,19	-3,96	-5,59	-7,09	-8,46	-9,71	-10,82	-11,82	-12,65	-13,37	-13,95	-14,41	-14,74	-14,93	-15	
Tendon 2	yn	33	29,54	26,75	24,17	21,79	19,63	17,66	15,91	14,36	13,02	11,88	10,95	10,23	9,71	9,40	9,30	
	ybo	0	7,83	6,69	6,04	5,45	4,91	4,42	3,98	3,59	3,25	2,97	2,74	2,56	2,43	2,35	2,33	
	z	0	+2,19	+3,96	+5,59	+7,09	+8,46	+9,71	+10,82	+11,82	+12,65	+13,37	+13,95	+14,41	+14,74	+14,93	+15	

### 3.6 ANALISA LENDUTAN

Lendutan yang terjadi pada gelagar segmental akibat gaya prategang dengan arah ke atas akan dikurangi oleh lendutan-lendutan arah ke bawah akibat berat sendiri gelagar, diafragma, lantai dan lapisan aspal, beban dinamis dan beban roda kendaraan yang ditinjau untuk jangka pendek dan jangka panjang.

Nilai akhir lendutan pada kondisi akhir didapat untuk jangka pendek -1,605 cm dan untuk jangka panjang -2,831 cm < lendutan izin ( $\Delta i$ )  $= (1/180)L_o = 3,75$  cm sehingga dalam kondisi yang aman.

#### 4 KESIMPULAN

Dari hasil analisis perhitungan di atas maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- a. Penampang gelagar bentang 30 meter yang didapat pada analisis perhitungan ini lebih kecil daripada penampang gelagar yang ada pada Standar Struktur Bangunan Atas Jembatan Pratekan Dirjen Bina Marga Departemen PU dengan kontrol tegangan dan lendutan yang masih dalam batas aman.
- b. Pada perencanaan ini, dengan gaya prategang sebesar 14.500 kg sudah dapat mengakomodir semua beban-beban yang bekerja akan tetapi jika asumsi kehilangan gaya prategang sebesar 15% untuk jangka panjang maka akan menghasilkan nilai tegangan yang terjadi pada serat bawah gelagar melebihi tegangan tarik izin beton sehingga gaya prategang perlu dinaikkan sebesar 250 kg saat penegangan untuk mengeliminir tegangan yang terjadi tersebut.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Dirjen Bina Marga Departemen PU. (1987). *Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya* (hal. 24). Yayasan Badan Penerbit PU.
- Dirjen Bina Marga Departemen PU. (1993). *Standar Bangunan Atas Jembatan Gelagar Beton Pratekan Tipe T - Kelas A* (hal. 62). Departemen Pekerjaan Umum.
- Hidayat, A. S., & Chayati, N. (2014). Perancangan Struktur Atas Jembatan Beton Prategang. *Jurnal Rekayasa Sipil ASTONJADRO*, 3(2), 29–42. <http://ejournal.uika-bogor.ac.id/index.php/ASTONJADRO/article/view/813/652>
- Nawi, E. G. (2001). *Beton Prategang : Suatu Pendekatan Mendasar* (B. Suryoatmono (ed.); 3 ed., Nomor 9). Erlangga.
- Rangan, P. R. (2019). Perencanaan Jembatan Sungai Mappajang Dengan Jembatan Beton Prategang. *Journal Dynamic Saint*, 4(1), 782–787. <https://doi.org/10.47178/dynamicsaint.v4i1.692>
- Santosa, A., Sugiyanto, Wicaksono, Y. I., & Atmono, I. D. (2015). Perencanaan Jembatan Prategang Kali Suru Pernalang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4, 1–12. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jkts/article/view/9490>
- Trianida, A. (2016). Perhitungan Struktur Jembatan Prategang Pada Jalan Muallaf Menuju Km.12 Jalan Poros Kota Bangun. *Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 2, 1–12. <http://ejournal.untag-smd.ac.id/index.php/TEK/article/view/2425>
- Zaini, M., & Suprpto. (2018). Analisis Optimalisasi Tinggi Fokus ( F ) Pelengkung Pada Perencanaan Jembatan Lengkung Tipe Lantai Atas ( Arch Bridge Deck Type ). *Rekayasa Teknik Sipil*, 2, 1–5. <https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/view/23488/21472>