

## Korelasi Jalur Kabel Dengan Gaya Prategang (Studi Literatur)

Johan Oberlyn Simanjuntak<sup>1</sup>, Eben Oktavianus Zai<sup>2</sup>, Lam Uli Siahaan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen

email : [oberlyn.simanjuntak@yahoo.co.id](mailto:oberlyn.simanjuntak@yahoo.co.id)<sup>1</sup>, [eben.zai@uhn.ac.id](mailto:eben.zai@uhn.ac.id)<sup>2</sup>, [lamulisiahaan79@gmail.com](mailto:lamulisiahaan79@gmail.com)<sup>3</sup>

### ABSTRAK

Beton prategang merupakan suatu kondisi dimana beton menerima tegangan internal yang besar untuk mengimbangi tegangan akibat beban eksternal. Untuk meminimalkan tegangan-tegangan yang terjadi ada hubungannya dengan gaya prategang awal, karakteristik penampang, dan jalur kabel prategang. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kondisi tegangan dan lendutan pada empat bentuk jalur kabel. Sifat-sifat dasar beton prategang yaitu sistem prategang mengubah beton menjadi bahan yang elastis, sistem prategang merupakan kombinasi bahan dengan mutu-tinggi dan sistem prategang untuk mencapai beban perimbang.

Pada studi literatur ini, penulis melakukan analisa perhitungan tegangan dengan metode beban batas. Analisa tegangan dan lendutan pada penampang I tidak simetris dengan bentang 20 meter dan mutu beton  $f'_c = 45 \text{ MPa}$  dilakukan dengan meninjau kondisi (1) jalur kabel lurus sentris, (2) jalur kabel lurus eksentris, (3) jalur kabel trapezium, dan (4) jalur kabel parabola.

Hasil analisis gaya prategang yang diperoleh jalur kabel lurus sentris  $F_0 = 3603,43 \text{ kN}$ , untuk jalur kabel lurus eksentris, trapezium, dan parabola diperoleh gaya prategang yang sama  $F_0 = 7704,83 \text{ kN}$ . Tegangan yang terjadi pada kondisi pembebanan maksimum yaitu untuk jalur kabel lurus sentris  $f_t = -26,563 \text{ MPa}$  dan  $f_b = 20,023 \text{ MPa}$ . Tegangan jalur kabel lurus eksentris, trapezium dan parabola  $f_t = -7,376 \text{ MPa}$  dan  $f_b = -25,410 \text{ MPa}$ . Dan lendutan akibat gaya prategang dari masing-masing jalur kabel didapat  $0 \text{ mm}$ ;  $-103 \text{ mm}$ ;  $-85,5 \text{ mm}$  dan  $-85,5 \text{ mm}$ .

**Kata kunci :** jalur kabel, gaya prategang, tegangan, lendutan.

### ABSTRACT

*Prestressed concrete is a condition where the concrete receives sustain internal stress to compensate for the stressed due to external loads. Minimize the stresses that occur have to do with the initial prestressing force, cross-sectional characteristics, and prestressed cable path. The purpose of this study was to determine the conditions of stress and deflection in four forms of cable prestressed. The basic systems of prestressed concrete are that the prestressing system converts the concrete into an elastic material, the prestressing system is a combination of high-strength materials and a prestressing system to achieve a balanced load.*

*In this cases, the author analyzes the stress calculation using the limit load method. Analysis stressed and deflection at cross-section I asymmetric with a span of 20 meters and concrete quality  $f'_c=45 \text{ MPa}$  is carried out by reviewing the conditions of (1) centric straight cable path, (2) eccentric straight cable path, (3) trapezoidal cable path, and (4) parabolic cable path.*

*The results of the analysis of the prestressing force obtained for the centric straight cable path  $F_0 = 3603,43 \text{ kN}$ , the eccentric straight cable, trapezoidal cable, and parabolic cable have the same prestressing force was obtained  $F_0 = 7704,83 \text{ kN}$ . The stresses that occurs under maximum loading conditions for a straight-centric cable are  $f_t = -26,563 \text{ MPa}$  and  $f_b = 20,023 \text{ MPa}$ . The stresses of the eccentric straight cable, trapezium, and parabola  $f_t = -7,376 \text{ MPa}$  and  $f_b = -25,410 \text{ MPa}$ . And the deflection due to the prestressing force and each cable path are  $0 \text{ mm}$ ;  $-103 \text{ mm}$ ;  $-85,5 \text{ mm}$  and  $-85,5 \text{ mm}$ .*

**Keywords:** cable path, prestressing force, stress, deflection.

## PENDAHULUAN

Beton prategang merupakan suatu kondisi dimana beton menerima tegangan internal yang besar sehingga dapat mengimbangi batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal. Karakteristik ini memungkinkan beton prategang untuk menghasilkan struktur dengan bentang panjang dan dapat mengurangi ketebalan struktural dibandingkan dengan beton bertulang. Penggunaan beton prategang yang umum seperti gedung bertingkat, pelat untuk perumahan, jembatan, sistem pondasi dan sebagainya.

Dalam perencanaan beton prategang untuk meminimalkan tegangan-tegangan yang terjadi pada saat transfer maupun beban layan ada hubungannya dengan karakteristik penampang, gaya prategang awal, beban eksternal serta jalur kabel prategang. Beberapa kasus umum perencanaan beton prategang, baja prategang didesain dengan jalur kabel parabolik. Kondisi ini menghasilkan momen akibat gaya prategang tidak konstan disepanjang bentang struktur sehingga tegangan-tegangan yang dihasilkan dapat memenuhi batas tegangan ijin.

Beberapa literatur menjelaskan jalur kabel prategang dapat didesain dengan atau tanpa eksentrisitas antara pusat penampang beton dengan baja prategang. Jalur kabel yang umum yaitu jalur kabel lurus sentris, lurus eksentris, *harped* (trapesium) dan *draped* (parabola). Selain mempengaruhi besaran tegangan, jalur kabel prategang juga mempengaruhi lendutan yang terjadi. Berdasarkan hal ini, adanya hubungan antara jalur kabel dengan gaya prategang dalam menentukan besar gaya prategang awal untuk menghasilkan tegangan dan lendutan yang memenuhi batas tegangan ijin pada struktur beton prategang menjadi dasar pengetahuan yang penting bagi perencana struktur beton prategang.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Beton Prategang

Menurut ACI (*American Concrete Institute*), Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal.

### Konsep Dasar Beton Prategang

Menurut T. Y. Lin (1988), tiga konsep dasar yang menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang;

- a. Konsep pertama, sistem prategang untuk mengubah beton menjadi bahan yang elastis. buah pemikiran Eugene Freyssinet ini memvisualisasikan beton prategang merupakan bahan yang elastis dengan memberikan tekanan (desakan) terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut. Sehingga dari konsep tersebut lahirlah kriteria “tidak ada tegangan tarik” pada beton.

- b. Konsep kedua, sistem prategang untuk kombinasi baja dan beton bermutu tinggi. Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang dimana baja menahan tarik dan beton menahan tekan, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal.
- c. Konsep ketiga, sistem prategang untuk mencapai perimbangan beban. Konsep ini menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat gaya-gaya pada sebuah batang menjadi seimbang.

**Sistem Prategang**

- a. Pratarik (*Pre-tensioned Method*) : pada metode ini baja prategang diberi gaya prategang dulu sebelum beton dicor, oleh karena itu disebut pretensioned method.
- b. Pada metode pascatarik, beton dicor lebih dahulu, dimana sebelumnya telah disiapkan saluran kabel atau tendon yang disebut *duct*

Tabel 1. Data *Strands Cable*

<b>DATA STRANDS CABLE</b>		
Jenis <i>strands</i> : <i>Uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270</i>		
Tegangan leleh <i>strands</i> (fpy)	1581	Mpa
Kuat tarik <i>strands</i> (fpu)	1860	Mpa
Diameter nominal <i>strands</i>	15,24	mm
Luas tampang nominal <i>strands</i> (As)	140	mm <sup>2</sup>
Beban putus minimal satu <i>strands</i> (Pbs)	260,7	kN (100% UTS)
Jumlah <i>strand cable</i>	12	<i>strand/ 1 tendon</i>
Diameter selubung ideal tendon	91	mm
Luas total <i>strands</i> (Ast)	1680	mm <sup>2</sup>
Beban putus satu tendon (Pbt)	3128,4	kN (100% UTS)
Modulus elastisitas <i>strands</i> (Es)	197000	Mpa

(Sumber : SNI 1154:2016, 2016)

Berdasarkan SNI 2847:2019 persyaratan tegangan-tegangan izin pada sistem beton prategang adalah sebagai berikut:

- 1. Tegangan izin beton
  - a. Tegangan tekan sesaat setelah transfer gaya prategang :
    - Ujung dari balok tumpuan :  $f_{ct} = 0,70f'_{ci}$   
sederhana
    - Semua lokasi lainnya :  $f_{ct} = 0,60f'_{ci}$
  - b. Tegangan tarik sesaat setelah transfer gaya prategang
    - Ujung dari balok tumpuan :  $f_{tt} = 0,5\sqrt{f'_c}$   
sederhana
    - Semua lokasi lainnya :  $f_{tt} = 0,25\sqrt{f'_c}$
  - c. Tegangan tekan beton saat beban layan
    - Prategang + beban total :  $f_{cs} = 0,60.f'_c$

2. Tegangan izin tendon prategang

Tegangan tarik pada tendon prategang tidak boleh melampaui nilai berikut:

a. Akibat gaya gaya pengangkutan tendon

$$f_p = 0,94f_{py}$$

$$f_p \leq 0,80f_{pu}$$

b. Sesaat setelah transfer gaya prategang

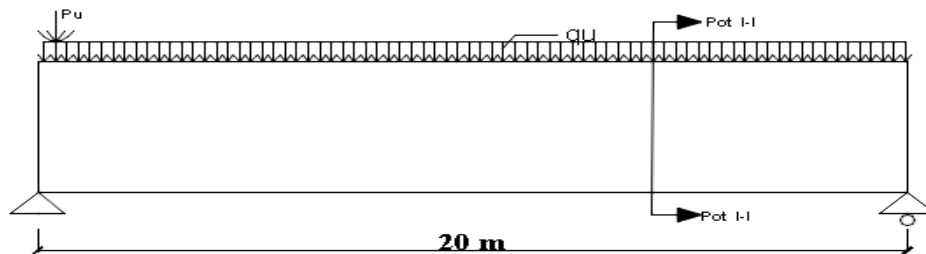
$$f_{pi} = 0,82f_{py}$$

$$f_{pi} \leq 0,74f_{pu}$$

Kontrol tegangan umumnya dilakukan pada dua tahapan yaitu tahap transfer dan kondisi *service* (servis).

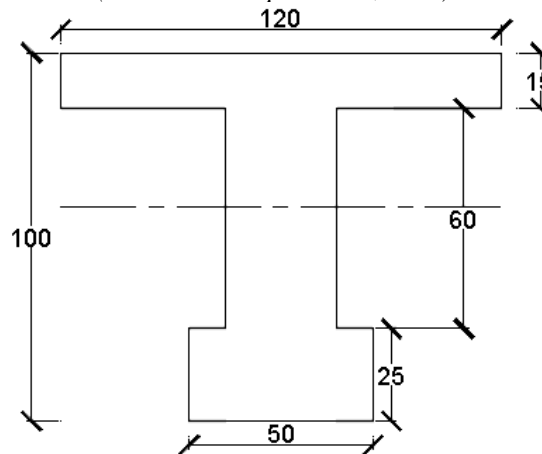
**METODE PENELITIAN**

**Data Perencanaan**



**Gambar 1. Bentang balok prategang**

(Sumber: Hasil penelitian, 2017)



**Gambar 2. Penampang balok prategang (Pot I-I)**

(Sumber : Hasil penelitian, 2017)

Diketahui : struktur beton prategang dengan bentang 20 m. Menerima beban total berupa berat sendiri beton, beban hidup merata dan beban bergerak terpusat.

Beban hidup merata ( $q_L$ ) = 4,5 kN/m

Beban bergerak terpusat = 150 kN

Berat jenis beton ( $\gamma_{Beton}$ ) = 24 kN/m<sup>3</sup>

Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) = 45 MPa  
 Kuat tekan awal beton = 38,25 MPa  
 ( $f'_{ci}$ ) (85%  $f'_c$ ) =  $4700\sqrt{f'_c} = 31529$  MPa  
 Modulus elastisitas beton  
 ( $E_c$ )

### Bentuk Jalur Kabel Prategang

Berikut ini bentuk-bentuk jalur kabel yang digunakan :

- a. Jalur kabel lurus sentris ( $e = 0$ ).
- b. Jalur kabel lurus eksentris ( $e = 0,480$  m).
- c. Jalur kabel trapezium ( $e_{maks} = 0,480$  m).
- d. Jalur kabel parabola ( $e_{maks} = 0,480$  m).

### 1. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Penentuan data penelitian : dimensi penampang, mutu beton, dan pembebanan,
- b. Menghitung analisis dimensi penampang
  1. Letak titik berat beton ( $Y_t$  dan  $Y_b$ )

$$Y_t = \frac{\sum A \cdot z_a}{A_c} \quad (1)$$

$$Y_b = h_{total} - Y_t \quad (2)$$

2. Momen inersia ( $I_c$ )

$$I_x = \frac{1}{12}bh^3 \text{ (bentuk persegi)} \quad (3)$$

Sehingga didapatkan inersia penampang beton prategang yaitu :

$$I_c = \sum I_x + A \cdot Y^2 \quad (4)$$

3. Menghitung modulus penampang balok ( $W_t$  dan  $W_b$ )

$$W_t = \frac{I_c}{Y_t} \quad (5)$$

$$W_b = \frac{I_c}{Y_b} \quad (6)$$

4. Menghitung kern atas dan kern bawah ( $k_t$  dan  $k_b$ )

$$k_t = \frac{i^2}{Y_b} \quad (7)$$

$$k_b = \frac{i^2}{Y_t} \quad (8)$$

$$i^2 = \frac{I_c}{A_c} \quad (9)$$

Dimana :

$Y_t$  = Jarak titik berat balok keserat atas (m)

$Y_b$  = Jarak titik berat balok ke serat bawah (m)

$i^2$  = Jari-jari inersia penampang ( $m^2$ )

$k_t$  = Kern atas/ daerah aman bagian atas  
 $k_b$  = Kern bawah/ daerah aman bagian bawah

c. Menghitung momen akibat pembebanan eksternal,

1. Menghitung momen akibat berat sendiri balok ( $M_{BS}$ )

$$M_{DL} = \frac{1}{8} q_{BS} L^2 \quad (10)$$

2. Menghitung momen akibat beban layan ( $M_L$ )

$$M_{LL} = \frac{1}{8} q_L L^2 + \frac{1}{4} PL \quad (11)$$

3. Menghitung momen ultimate ( $M_u$ )

$$M_u = 1,2M_{DL} + 1,6M_{LL} \quad (12)$$

4. Menghitung momen nominal ( $M_n$ )

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad (13)$$

Dimana :

$L$  = Bentang balok (m)  
 $P$  = Beban hidup terpusat bergerak(kN)  
 $M_u$  = Momen ultimate/ momen terfaktor (kNm)  
 $M_{DL}$  = Momen total akibat beban mati (kNm)  
 $M_{LL}$  = Momen total akibat beban hidup (kNm)  
 $M_n$  = Momen nominal (kNm)  
 $q_{BS}$  = Beban merata akibat berat sendiri (kN/m)  
 $q_L$  = Beban hidup merata (kN/m)  
 $\phi$  = Faktor reduksi = 0.9

d. Menghitung gaya prategang,

1. Tegangan serat atas beton ( $f_t$ ) :

$$-\frac{F_0}{A_c} + \frac{F_0 \times e}{W_t} - \frac{M_n}{W_t} \leq 0,6f'_c \quad (14)$$

2. Tegangan serat bawah beton ( $f_b$ ) :

$$-\frac{F_0}{A_c} - \frac{F_0 \times e}{W_b} + \frac{M_n}{W_b} = 0 \quad (15)$$

3. Gaya prategang saat *jacking* :

$$F_j = \frac{F_0}{0,85} \quad (16)$$

$$F_j = 0,80 \times n_t \times P_{bt} \quad (17)$$

4. Berdasarkan kedua rumus diatas maka diperoleh jumlah tendon yang digunakan dapat ditentukan dengan rumus :

$$n_t = \frac{F_0}{0,85 \times 0,8 \times P_{bt}} \quad (18)$$

Jumlah untaian kawat (*strand cable*):

$$n_s = \frac{F_0}{0,85 \times 0,8 \times P_{bs}} \quad (19)$$

5. Persentase tegangan leleh yang timbul pada baja (% *jacking force*) :

$$p_o = \frac{F_o}{0,85 \times n_s \times P_{bs}} \quad (20)$$

6. Gaya prategang akibat *jacking* :

$$F_j = p_o \cdot n_t \cdot P_{bt} \quad (21)$$

7. Maka gaya prategang efektif (setelah mengalami kehilangan gaya prategang) :

$$F_e = (100 - KP)\% \times P_j \quad (22)$$

e. Menghitung kontrol tegangan dan lendutan,

1. Jalur kabel lurus

Tegangan :

$$f_{b,t} = \pm \frac{F_e}{A_c} \pm \frac{F \times e}{W_b} \pm \frac{M_n}{W_b} \quad (23)$$

Lendutan :

$$\delta = -\frac{F_e \times e \times L^2}{8E_c I_c} \quad (24)$$

2. Jalur Kabel Trapesium

Tegangan :

$$f_{b,t} = \pm \frac{F_e}{A_c} \pm \frac{F' \cdot x + F'' \cdot e_i}{W_b} \pm \frac{M_n}{W_b} \quad (25)$$

Lendutan :

$$\delta = -\frac{F_e \times e}{6E_c I_c} (2l_1^2 + 6l_1 l_2 + 2l_2^2) \quad (26)$$

3. Jalur Kabel Parabola

Persamaan lengkung kabel :

$$Y_x = -\frac{4}{L} \cdot e_{max} \left( \frac{X_i^2}{L} - X_i \right) \quad (27)$$

Persamaan putaran sudut kabel :

$$\theta_x = \frac{dy}{dx} = -\frac{4}{L} \cdot e_{max} \left( \frac{2X_i}{L} - 1 \right) \quad (28)$$

Lendutan :

$$\delta = -\frac{5F_e \times e \times L^2}{48E_c I_c} \quad (29)$$

f. Menyimpulkan korelasi jalur kabel dengan gaya prategang.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Penampang

Tabel 2. Analisis Penampang

No	Luas (m <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> (m <sup>3</sup> )	Y (m)	I <sub>c</sub> (m <sup>4</sup> )
<b>I</b>	0,1800	0,0003	0,345	0,0218
<b>II</b>	0,1800	0,0054	0,030	0,0056
<b>III</b>	0,125	0,0007	0,455	0,0265
<b>Total</b>	0,485			0,0539

**Momen akibat pembebanan**

Tabel 3. Momen akibat pembebanan

Jarak X	Momen pada balok prategang akibat beban			Momen Ultimate (Mu)				Momen Nominal (Mn)
	Berat balok	Beban hidup merata	Beban hidup terpusat	Berat balok	Beban hidup merata	Beban hidup terpusat	Momen Total	
	MD	ML		1,2*MD	1,6*ML		1,2MD+1,6ML	Mu/Ø
(m)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)	(kNm)
0,00	0	0,0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00	110,58	42,8	142,5	132,70	68,40	228,00	429,10	476,77
2,00	209,5	81,0	270	251,42	129,60	432,00	813,02	903,36
3,00	296,8	114,8	382,5	356,18	183,60	612,00	1151,78	1279,76
4,00	372,5	144,0	480	446,98	230,40	768,00	1445,38	1605,97
5,00	436,5	168,75	562,5	523,80	270,00	900,00	1693,80	1882,00
6,00	488,9	189,0	630	586,66	302,40	1008,00	1897,06	2107,84
7,00	529,6	204,8	682,5	635,54	327,60	1092,00	2055,14	2283,49
8,00	558,7	216,0	720	670,46	345,60	1152,00	2168,06	2408,96
9,00	576,2	222,8	742,5	691,42	356,40	1188,00	2235,82	2484,24
10,00	582	225,0	750	698,40	360,00	1200,00	2258,40	2509,33
11,00	576,2	222,8	742,5	691,42	356,40	1188,00	2235,82	2484,24
12,00	558,7	216,0	720	670,46	345,60	1152,00	2168,06	2408,96
13,00	529,6	204,8	682,5	635,54	327,60	1092,00	2055,14	2283,49
14,00	488,9	189,0	630	586,66	302,40	1008,00	1897,06	2107,84
15,00	436,5	168,8	562,5	523,80	270,00	900,00	1693,80	1882,00
16,00	372,5	144,0	480	446,98	230,40	768,00	1445,38	1605,97
17,00	296,8	114,8	382,5	356,18	183,60	612,00	1151,78	1279,76
18,00	209,5	81,0	270	251,42	129,60	432,00	813,02	903,36
19,00	110,6	42,8	142,5	132,70	68,40	228,00	429,10	476,77
20,00	0	0,0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**Gaya Prategang**

Tabel 4. Momen akibat pembebanan

Keterangan	Kode	Sat.	Jalur Kabel			
			Lurus Sentris	Lurus Eksentris	Trapesium	Parabola
Eksentrisitas	e	m	0	0,480	0,480	0,480
Gaya Prategang awal	F <sub>o</sub>	kN	3603,43	7704,83	7704,83	7704,83
Jumlah <i>strand</i> total	n <sub>s</sub>	-	24	48	48	48
Jumlah tendon	n <sub>t</sub>	-	2	4	4	4
Gaya Prategang akibat <i>jacking</i>	F <sub>j</sub>	kN	4239,33	9064,51	9064,51	9064,51
Gaya prategang efektif	F <sub>e</sub>	kN	3391,46	7251,61	7251,60	7251,60



Penampang beton I tidak simetris dengan luasan ( $A_c = 0,485 \text{ m}^2$ ) dan momen nominal maksimum akibat pembebanan total ( $M_n = 2509,33 \text{ kNm}$ ), diperoleh gaya prategang untuk masing-masing jalur kabel: jalur kabel lurus sentris ( $F_0 = 3603,43 \text{ kN}$ ) dan jalur kabel lurus eksentris, trapezium dan parabola memiliki nilai kebutuhan prategang yang sama ( $F_0 = 7704,83 \text{ kN}$ ). Kebutuhan prategang untuk jalur kabel lurus eksentris, trapezium, dan parabola memiliki nilai yang sama akibat dari nilai eksentrisitas maksimum yang sama untuk ketiganya ( $e_{\text{maks}} = 0,480 \text{ m}$ ) sedangkan untuk lurus sentris kabel prategang diletakan tepat pada titik berat beton ( $e = 0$ ).

Dengan mengasumsikan terjadinya kehilangan total gaya prategang sebesar 20% untuk metode prategang pascatarik, gaya prategang efektif untuk masing-masing jalur kabel: jalur kabel lurus sentris ( $F_e = 3391,46 \text{ kN}$ ) dan jalur kabel lurus eksentris, trapezium, dan parabola ( $F_e = 7251,61 \text{ kN}$ ).

Kondisi tegangan saat servis (setelah mengalami kehilangan gaya prategang total), untuk jalur kabel lurus sentris pada serat bawah mengalami tegangan tarik tidak memenuhi batas tegangan tarik ijin, sementara pada serat atas tegangan tekan memenuhi batas tegangan tekan ijin. Tegangan tarik yang besar pada serat bawah disebabkan oleh kabel prategang diposisikan tepat pada pusat penampang beton sehingga gaya prategang tidak dapat memberikan perlawanan (momen akibat gaya prategang sama dengan nol) terhadap momen akibat beban eksternal yang dipikul beton.

Untuk kondisi tegangan pada ketiga jalur kabel lainnya: lurus eksentris, trapezium dan parabola. Kabel prategang diposisikan bereksentrisitas dari pusat penampang beton sebesar 0,480 m. Dikarenakan gaya prategang awal dan eksentrisitas maksimum yang sama pada ketiga jalur maka tegangan yang terjadi pada tengah bentang ( $x = 10 \text{ m}$ ) bernilai sama yaitu  $f_t = -7,376 \text{ MPa}$  dan  $f_b = -25,410 \text{ MPa}$ . Kondisi tegangan pada tumpuan, jarak  $L/10$ ,  $L/4$ , dan  $L/2$  diperlihatkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Tegangan pada tumpuan, jarak  $L/10$ ,  $L/4$ , dan  $L/2$

Jarak	Jalur Kabel Prategang							
	Lurus Sentris		Lurus Eksentris		Trapezium		Parabola	
x	$f_t$	$f_b$	$f_t$	$f_b$	$f_t$	$f_b$	$f_t$	$f_b$
(m)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
0,00	-6,993	-6,993	12,195	-52,426	-14,952	-14,952	-14,952	-14,952
2,00	-14,038	2,733	5,149	-42,701	-0,379	-35,069	-3,575	-30,657
5,00	-21,670	13,269	-2,483	-32,164	-2,483	-32,164	-9,293	-22,763
10,00	-26,563	20,023	-7,376	-25,410	-7,376	-25,410	-7,376	-25,410

Tegangan tekan dan tarik terbesar di tumpuan terjadi pada jalur kabel lurus eksentris yaitu  $f_t = 12,195 \text{ MPa}$  dan  $f_b = -52,426 \text{ MPa}$ , dimana kedua tegangan tersebut tidak memenuhi batas

tegangan ijin. Tegangan besar yang terjadi dikarenakan momen akibat gaya prategang terjadi lebih besar dibandingkan dengan momen eksternal yang dipikul beton. Jalur kabel trapezium dan parabola memiliki tegangan tekan yang sama besar  $f_t = f_b = -14,952$  MPa di tumpuan, sementara pada jarak  $L/10$  dan  $L/4$  tegangan yang terjadi berbeda dikarenakan eksentrisitas yang berbeda. Jalur kabel trapezium dengan eksentrisitas  $e_2 = 0,192$  m dan  $e_5 = 0,480$  m sedangkan jalur kabel parabola  $e_2 = 0,173$  m dan  $e_5 = 0,360$  m sehingga menghasilkan momen prategang yang besarnya berbeda pada tiap titiknya.

Lendutan yang terjadi akibat gaya prategang dan bentuk jalur kabel untuk masing-masing bentuk jalur kabel yaitu jalur kabel lurus sentris ( $\delta = 0$  mm), lurus eksentris ( $\delta = -103$  mm), jalur kabel trapezium dan parabola dengan nilai lendutan yang sama ( $\delta = -85,50$  m). Berdasarkan lendutan ijin yang diberikan  $L/250$  ( $\delta_{ijin} = 80$  mm), maka lendutan untuk jalur kabel lurus eksentris, trapezium dan parabola tidak memenuhi lendutan ijin.

### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan :

1. Gaya prategang awal untuk masing masing jalur kabel yaitu jalur kabel lurus sentris ( $F_0 = 3603,43$  kN), jalur kabel eksentris, trapezium dan parabola dengan nilai gaya prategang yang sama ( $F_0 = 7704,83$  kN).
2. Tegangan yang terjadi pada masing-masing jalur kabel :
  - a. Jalur kabel lurus sentris: pada tumpuan ( $x = 0$  m) tegangan  $f_t = f_b = -6,993$  MPa; jarak ( $x = 2$  m) tegangan  $f_t = -14,038$  MPa dan  $f_b = 2,733$  MPa, jarak ( $x = 5$  m) tegangan  $f_t = -21,670$  MPa dan  $f_b = 13,269$  MPa dan jarak ( $x = 10$  m)  $f_t = -26,563$  MPa dan  $f_b = 20,023$  MPa.
  - b. Jalur kabel lurus eksentris: pada tumpuan ( $x = 0$  m) tegangan  $f_t = 12,195$  MPa dan  $f_b = -52,246$  MPa; jarak ( $x = 2$  m) tegangan  $f_t = 5,149$  MPa dan  $f_b = -42,701$  MPa, jarak ( $x = 5$  m) tegangan  $f_t = -2,483$  MPa dan  $f_b = -32,164$  MPa dan jarak ( $x = 10$  m)  $f_t = -7,376$  MPa dan  $f_b = -25,410$  MPa.
  - c. Jalur kabel lurus trapesium: pada tumpuan ( $x = 0$  m) tegangan  $f_t = f_b = -14,952$  MPa; jarak ( $x = 2$  m) tegangan  $f_t = -0,379$  MPa dan  $f_b = -35,069$  MPa, jarak ( $x = 5$  m) tegangan  $f_t = -2,483$  MPa dan  $f_b = -32,164$  MPa dan jarak ( $x = 10$  m)  $f_t = -7,376$  MPa dan  $f_b = -25,410$  MPa.
  - d. Jalur kabel lurus trapesium: pada tumpuan ( $x = 0$  m) tegangan  $f_t = f_b = -14,952$  MPa; jarak ( $x = 2$  m) tegangan  $f_t = -3,575$  MPa dan  $f_b = -30,657$  MPa, jarak ( $x = 5$  m) tegangan  $f_t = -9,293$  MPa dan  $f_b = -22,763$  MPa dan jarak ( $x = 10$  m)  $f_t = -7,376$  MPa dan  $f_b = -25,410$  MPa.
3. Lendutan pada kabel prategang akibat dari bentuk jalur kabel dan gaya prategang: lurus sentris ( $\delta = 0$  mm), lurus eksentris ( $\delta = -103$  mm), trapezium ( $\delta = -85,50$  mm), dan parabola ( $\delta = -85,50$  mm).

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2004. RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan. Badan Standarisasi Nasional Jakarta. 2004.
- Anonim. 2016. Tujuh kawat baja tanpa lapisan dipilin untuk konstruksi beton pratekan (PC *strand*/ KBjP-P7). SNI 1154:2016.
- Anonim. 2019. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan. SNI 2847:2019.
- Apriyanto, D. (2021). Perencanaan Girder Jembatan Beton Prategang Jl. Raya Sememi Benowo Surabaya Section 0-152. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 9(1).
- Boediono, Bambang, dkk. (2019). Perancangan Beton Prategang. Bandung: ITB PRESS
- Batubara, S., & Simatupang, L. (2018). Perencanaan Jembatan Beton Prategang Dengan Bentang 24 Meter Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI). In *Agustus* (Vol. 1, Issue 2).
- Dixit, A. S., & Khurd, V. G. (2008). Effect of prestressing force, cable profile and eccentricity on post tensioned beam. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 9001. www.irjet.net
- Huda dan Anang Setyo Priono. 1998. "Perancangan Balok Menerus Beton Prategang Dengan Cara Beban Berimbang". Skripsi. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Ibham Yamin, dkk. 2020. Analisis Perbandingan Kehilangan Prategang Akibat Variasi Tata Letak Tendon PC I Girder Jembatan Beton Prategang. *Journal of Applied Science*. 2 (2), 34-42.
- Kurniasih Rahmadani Lasinta, dkk. 2020. Penentuan Tata Letak Tendon *Box Girder Prestressed Segmental* Dalam Daerah Aman Pada Jembatan Dian Pulau-Tetoat Di Provinsi Maluku. Malang: Institut Teknologi Negeri.
- Laintarawan, I Putu, dkk. 2009. Buku Ajar Struktur Beton Pratekan. Denpasar: Universitas Hindu Indonesia.
- Legowo, R. Al Amin Eko dan Imron, Muchamad. 1996. "Kapasitas Lentur Balok Beton Prategang Post Tension Dengan Grounting Pada Pasca Retak". Tugas Akhir. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Lin, T.Y. dan Burns, Ned. H. 1988. Desain Struktur Beton Prategang Edisi Ketiga. Jakarta: Erlangga.
- Nawy, G. Edward. 2000. *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar Jilid I Edisi Ketiga*. Bambang Suryoatmono. 2021. Jakarta: Erlangga.
- Raju, N. Krishna. 1989. Beton Prategang Edisi Kedua. Jakarta: Erlangga.
- Soetoyo. 2015. Konstruksi Beton Pratekan. Jakarta: Gunadharma.