

# HUBUNGAN BENTANG DAN GAYA PRATEGANG DENGAN NILAI PADA SERAT BAWAH NOL ( $f'b = 0$ )

## (STUDI LITERATUR)

Johan Oberlyn Simanjuntak<sup>1</sup>, Eben Oktavianus Zai<sup>2</sup>,

Luhut Pipin Fidelius Bagariang<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen Medan  
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>,  
[luhut.bagariang@student.uhn.ac.id](mailto:luhut.bagariang@student.uhn.ac.id)<sup>3</sup>,

### ABSTRAK

Sistem prategang mengubah beton yang getas menjadi bahan elastis dimana beton tidak mampu menahan kuat tarik tetapi kuat terhadap tekan. Pada umumnya, baja mutu tinggi yang ditarik sedemikian rupa membuat beton yang getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep inilah lahir kemungkinan tidak ada tegangan tarik pada beton. Beton prategang didefinisikan sebagai beton yang telah diberikan dengan jumlah dan distribusi tegangan internal yang memungkinkan untuk menahan jumlah tegangan yang disebabkan oleh beban eksternal seperti yang direncanakan. Penelitian ini merupakan studi literatur dengan menggunakan metode kombinasi beban dalam menganalisa permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini. Data yang direncanakan seperti mutu beton 40 MPa, panjang bentang 12 m; 16 m; 18 m; 20 m; 24 m; 28 m; 32 m, dimensi penampang  $h = L/20$  dan  $b = h/2$ , berat isi beton 2,4 T/m<sup>3</sup>, beban hidup bergerak terpusat 18.000 Kg, beban hidup merata 450 Kg/m, selimut beton 10 cm dan modulus elastisitas. Dari hasil analisa yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa hubungan bentang dengan lendutan adalah melengkung kebawah dan hubungan bentang dengan gaya prategang adalah berbanding lurus serta hubungan bentang dengan tegangan serat atas adalah berbanding terbalik.

**Kata Kunci :** Lendutan, Bentang, Tegangan

### ABSTRACT

*The prestressing system converts brittle concrete into an elastic material where the concrete is not able to withstand tensile strength but is strong in compression. In general, high-strength steel is drawn in such a way that brittle concrete can withstand tensile stresses. From this concept was born the possibility of no tensile stress in the concrete. Prestressed concrete is defined as concrete that has been supplied with an amount and distribution of internal stresses that allow it to withstand the amount of stress caused by external loads as planned. This research is a literature study using the combined load method in analyzing the problems raised in this study. Planned data such as concrete quality 40 MPa, span length 12 m; 16 m; 18 m; 20 meters; 24 meters; 28 m; 32 m, cross-sectional dimensions  $h = L/20$  and  $b = h/2$ , concrete weight of 2.4 T/m<sup>3</sup>, centered moving live load 18,000 Kg, live load evenly 450 Kg/m, concrete cover 10 cm and modulus of elasticity. From the results of the analysis, it can be concluded that the relationship between the span and the deflection is curved downwards and the relationship between the span and the prestressing force is directly proportional and the relationship between the span and the top fiber stress is inversely proportional.*

**Keywords :** Deflection, Span, Stress

## PENDAHULUAN

Pada era perkembangan ini, beton prategang cukup banyak digunakan dalam konstruksi di Indonesia. Penggunaan struktur beton prategang dinilai memiliki beberapa keunggulan (Triwiyono, 2003), mulai dari struktur yang lebih ringan, dapat mengurangi retak dan mencegah korosi baja, dapat mencapai penghematan maksimum pada struktur bentang panjang, dan dapat digunakan untuk pracetak, serta struktur yang dapat memberikan jaminan kualitas konstruksi yang lebih baik, sederhana, cepat, dan biaya awal yang lebih murah.

Jika pembangunan konstruksi memiliki bentang yang panjang maka dimensi konstruksi tersebut menjadi sangat besar dan berat, ini akan berdampak pada mahalnya biaya konstruksi, waktu pembangunan yang lama dan rumit. Pada pengaplikasian dilapangan, konstruksi dengan bentang yang panjang dapat membuat konstruksi tersebut mengalami lendutan yang berakibat terjadinya retak hingga patah pada bentang.

Penggunaan beton prategang sebagai material konstruksi dengan bentang panjang dikarenakan pada sifat yang dimiliki oleh beton itu sendiri dan kekuatan untuk menahan beban yang didukungnya. Beton dibandingkan dengan bahan lain memiliki beberapa kelebihan yaitu kuat tekan tinggi, tahan api termasuk bahan yang awet. Sifat beton yang tidak kuat terhadap tegangan tarik yang tinggi, maka diperkuat dengan baja yang memiliki kuat tarik tinggi.

Sistem prategang mengubah beton yang getas menjadi bahan elastis dimana beton tidak mampu menahan kuat tarik tetapi kuat terhadap tekan. Pada umumnya, baja mutu tinggi yang ditarik sedemikian rupa membuat beton yang getas dapat memikul tegangan tarik. Dari konsep inilah lahir kemungkinan tidak ada tegangan tarik pada beton. Umumnya telah diketahui bahwa jika tidak ada tegangan tarik pada beton, berarti tidak akan terjadi retak dan beton tidak merupakan bahan yang getas lagi, melainkan berubah menjadi bahan yang elastis.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan memahami hubungan bentang dengan lendutan, hubungan bentang dengan gaya prategang dan hubungan bentang dengan tegangan pada serat atas.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Beton

Bahan penyusun beton dibagi menjadi dua kategori yaitu aktif dan pasif. Kelompok bahan aktifnya adalah semen dan air, sedangkan bahan pasifnya adalah pasir dan kerikil (disebut agregat halus dan kasar). Golongan bahan pasif disebut *filler*, sedangkan bahan aktif disebut *binder*/pengikat (Tjokrodimuljo, 1996).

### Berat Jenis Beton

Berat jenis diartikan sebagai massa suatu bahan per satuan volume bahan tersebut. Berdasarkan kerapatannya (berat jenis), beton dapat diklasifikasikan seperti pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Klasifikasi berat jenis beton

<b>Jenis Beton</b>	<b>Berat Jenis Beton (Kg/cm<sup>3</sup>)</b>
Beton Berbobot Ringan	< 2200
Beton Berbobot Normal	> 2200 – 2500

*(Sumber : Teknologi Beton, 2005)*

### Kuat Tekan Beton ( $f'c$ )

Kuat beton adalah kemampuan beton untuk menahan gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Besarnya kuat tekan beton dapat dihitung dengan persamaan :

$$f'c = \frac{P}{A} \tag{1}$$

Dimana:

$f'c$  = kuat tekan beton (Mpa)

$P$  = gaya (Kg)

$A$  = luas penampang (cm<sup>2</sup>)

Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui pengujian standart berdasarkan SNI 03-1974-1990 dengan benda uji berupa silinder beton yang kemudian diuji menggunakan mesin uji tekan / desak.

### Modulus Elastisitas Beton

Sesuai dengan SK SNI T-15-1991-03 digunakan rumus nilai modulus elastisitas beton dengan mempertimbangkan unsur berat isi beton, untuk berat isi beton ( $\gamma$ ) diantara 1500 dan 2500 kg/m<sup>3</sup>, rumus yang digunakan adalah :

$$E = (\gamma) 1,5 \times 0.043 f'c \tag{2}$$

Dimana :

$\gamma$  = berat jenis beton (kg/m<sup>3</sup>)

$f'c$  = kuat tekan beton (mpa)

sedangkan untuk beton normal adalah :

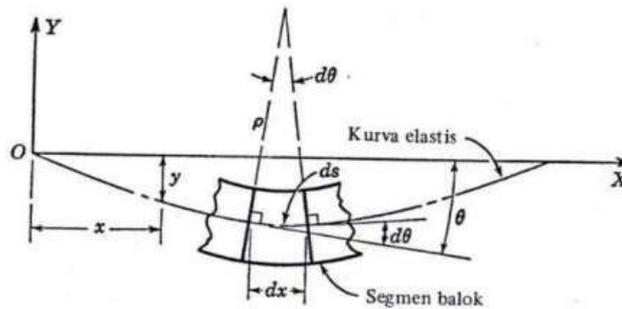
$$E = 4700 \sqrt{f'c} \tag{3}$$

Kuat Tarik Baja

Nilai modulus elastisitas baja tulangan ditetapkan berdasarkan ketentuan SNI 2847-2013 yaitu sebesar 200.000 MPa.

Metode Perhitungan Lendutan Balok

Ada beberapa metode perhitungan lendutan balok, salah satu diantaranya metode integrasi ganda. Lendutan balok dengan metode integrasi ganda adalah dengan mengintegrasikan persamaan diferensial kurva elastis balok secara dua kali. Persamaan diferensial kurva elastis balok diperoleh dari elastis balok seperti Gambar 1.



Gambar 1. Kurva Elastis Balok  
(Sumber : Tri Handayani dan Yudi Irawadi, 2018)

Lendutan yang terjadi pada balok dengan kondisi pembebanan dengan kondisi tumpuan sederhana sebagai berikut :

1. Lendutan terhadap beban merata

$$Y_a = \frac{5qL^4}{384 EI} \tag{4}$$

Dimana :

- $Y_q$  = lendutan akibat beban merata (cm)
- $q$  = beban merata pada bentang (kg/cm)
- $L$  = panjang bentang (cm)
- $E$  = modulus elastisitas beton (kg/cm<sup>2</sup>)
- $I$  = momen inersia (cm<sup>4</sup>)

2. Lendutan terhadap beban terpusat

$$Y_p = \frac{PL^3}{48 EI} \tag{5}$$

Dimana :

- $Y_p$  = lendutan akibat beban terpusat (cm)
- $P$  = beban terpusat pada bentang (kg/cm)

3. Lendutan total

$$Y = Yq + Yp \quad (6)$$

Menurut RSNI T-12-2004 hal. 97, batas lendutan ijin maksimum yang di perhitungkan adalah  $L/250$ .

### **Beton Prategang**

#### Defenisi Beton Prategang

Beberapa definisi beton prategang menurut beberapa peraturan adalah sebagai berikut:

1. Menurut PBI-1971

Beton prategang adalah beton bertulang dimana telah ditimbulkan tegangan-tegangan intern dengan nilai dan pembagian yang sedemikian rupa hingga tegangan-tegangan akibat beton-beton dapat dinetralkan sampai suatu taraf yang diinginkan.

2. Menurut Draft Konsensus Pedoman Beton 1998

Beton prategang adalah beton bertulang dimana telah diberikan tegangan dalam mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat pemberian beban yang bekerja.

3. Menurut ACI

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.

#### Prinsip Dasar Beton Prategang

Ada 3 (tiga) konsep yang dapat digunakan untuk menjelaskan dan menganalisa sifat-sifat dasar dari beton prategang :

1. Konsep Pertama, “Sistem prategang untuk mengubah beton yang getas menjadi bahan yang elastis.”

Menurut Eugene Freyssinet, dengan memberikan tekanan lebih dahulu pada beton yang pada dasarnya getas, akan menjadi bahan yang elastis. dengan memberikan tekanan (menarik baja mutu tinggi), beton yang bersifat getas dan kuat memikul tekanan, karena adanya tekanan dalam yang memikul tegangan tarik akibat beban luar.

2. Konsep Kedua, “Sistem prategang untuk kombinasi baja mutu tinggi dengan beton mutu tinggi.”

Pada beton prategang, baja prategang ditarik dengan gaya prategang T yang mana membentuk suatu kopel momen dengan gaya tekan pada beton C untuk melawan momen akibat beban luar.

Sedangkan pada beton bertulang biasa, besi penulangan menahan gaya tarik  $T$  akibat beban luar yang juga membentuk kopel momen dengan gaya tekan pada beton  $C$  untuk melawan momen luar akibat beban luar.

### 3. Konsep Ketiga, “Sistem prategang untuk mencapai keseimbangan beban”

Suatu balok beton diatas dua perletakan (*simple beam*) yang diberi gaya prategang  $F$  melalui suatu kabel prategang dengan lintasan parabola. Beban akibat gaya prategang yang terdistribusi secara merata kearah atas. Jadi beban merata akibat beban (mengarah ke bawah) diimbangi oleh gaya merata akibat prategang  $W_b$  yang mengarah keatas.

#### Tahap Pembebanan

Dua tahap pembebanan pada beton prategang adalah tahap transfer dan tahap *service* (Layan).

##### 1. Tahap Transfer

Pada saat ini beban yang bekerja hanya berat sendiri struktur, beban pekerja dan peralatan, sedangkan beban hidup belum bekerja sepenuhnya, jadi beban yang bekerja sangat minimum, sementara gaya prategang yang bekerja adalah maksimum karena belum ada kehilangan gaya prategang.

##### 2. Tahap *Service*

Setelah beton prategang digunakan atau difungsikan sebagai komponen struktur, maka mulailah masuk ke tahap *service*, atau tahap layan dari beton prategang tersebut. Pada tahap ini beban luar seperti *live load*, angin, gempa dll. mulai bekerja, sedangkan pada tahap ini semua kehilangan gaya prategang sudah harus dipertimbangkan di dalam analisa strukturnya.

#### Perencanaan Beton Prategang

Ada 2 (dua) metode perencanaan beton prategang, yaitu:

##### 1. *Working stress method* (metode beban kerja)

Dengan menghitung tegangan yang terjadi akibat pembebanan (tanpa dikalikan dengan faktor beban) dan membandingkan dengan tegangan yang diijinkan. tegangan yang diijinkan dikalikan dengan suatu faktor kelebihan tegangan (*overstress factor*) dan jika tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan yang diijinkan tersebut , maka struktur dinyatakan aman.

##### 2. *Limit state method* (metode beban batas)

Metode ini didasarkan pada batas-batas tertentu yang dapat dilampaui oleh suatu sistem struktur. Batas-batas ini ditetapkan terutama terhadap kekuatan, kemampuan layan, keawetan, ketahanan terhadap beban, api, kelelahan dan persyaratan-persyaratan khusus yang berhubungan dengan penggunaan struktur tersebut.

**METODE PENELITIAN**

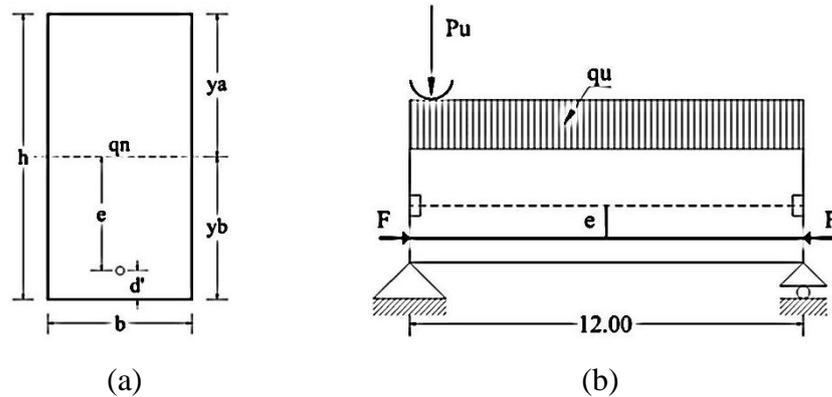
**Studi Literatur**

Studi literatur dari jurnal dan buku yang terkait dalam hubungan bentang dan gaya prategang dengan nilai tegangan pada serat bawah nol ( $f^{\prime}b = 0$ ). Dengan menggunakan jurnal dan buku yang berkaitan dengan konsep beton prategang dan metode pengerjaan yang mampu diaplikasikan pada struktur beton prategang.

**Penetapan Data**

Data Studi Literatur

1. Gambar tipikal pada setiap bentang yang ditinjau.



Gambar 2.(a) Model penampang dan (b) bentang balok yang akan ditinjau.

2. Beban yang digunakan merupakan beban sederhana.
3. Analisa perhitungan tegangan menggunakan metode kombinasi beban dengan nilai tegangan serat bawah adalah nol.
4. Diasumsikan telah mengalami kehilangan gaya prategang (pasca-tarik).
5. Kondisi yang digunakan adalah tahap *service* (layan).

Tabel 2. Data penampang yang akan ditinjau

No	Panjang	h	b	y <sub>b</sub>	e	γ	P	q <sub>l</sub>	f'c
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(kg/cm <sup>3</sup> )	(kg)	(kg/cm)	(kg/cm <sup>2</sup> )
1	1200	60	30	30	20	0,0024	18000	0,45	400
2	1600	80	40	40	30	0,0024	18000	0,45	400
3	1800	90	45	45	35	0,0024	18000	0,45	400
4	2000	100	50	50	40	0,0024	18000	0,45	400
5	2400	120	60	60	50	0,0024	18000	0,45	400
6	2800	140	70	70	60	0,0024	18000	0,45	400
7	3200	160	80	80	70	0,0024	18000	0,45	400

Dasar Perencanaan Analisa Perhitungan

1. Lendutan Balok

Untuk mengetahui besarnya lendutan yang terjadi pada balok yang akan ditinjau maka dihitunglah besarnya lendutan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

- a. Menghitung lendutan beban mati ultimate

$$Y_{qd} = \frac{5 q_{ud} L^4}{384 EI} \quad (7)$$

- b. Menghitung lendutan terhadap beban merata ultimate

$$Y_q = \frac{5 q_u L^4}{384 EI} \quad (8)$$

- c. Menghitung lendutan terhadap beban terpusat ultimate

$$Y_p = \frac{P_u L^3}{48 EI} \quad (9)$$

- d. Menghitung lendutan total

$$Y = Y_q + Y_p \quad (10)$$

- e. Menghitung lendutan ijin maksimum

$$Y_i = L/250 \quad (11)$$

2. Beton Prategang

Untuk mengetahui besarnya gaya prategang yang terjadi pada balok yang akan ditinjau maka digunakan rumus- rumus sebagai berikut :

- a. Tegangan Ijin

Tegangan ijin yang dipakai dalam menghitung penampang balok beton prategang, yaitu kondisi beban layan. Berdasarkan SNI 03-2874-2002, tidak boleh melampaui tegangan tekan serat terluar akibat gaya prategang, beban mati dan beban hidup total yaitu  $0,60 f'_c$ .

- b. Analisis Bentuk Penampang

Dari bentuk penampang yang dihitung, analisis yang dilakukan berupa menghitung luas, momen inersia dan menghitung momen perlawanan pada balok.

1) Luas (A) = b x h (12)

2) Momen Inersia (I) =  $\frac{1}{12}$  b x h<sup>3</sup> (13)

3) Jarak serat ke tendon (y) =  $\frac{1}{2}$  h (14)

4) Momen perlawanan (W) =  $W_a = W_b = \frac{I}{y}$  (15)

- c. Menghitung Momen

Dalam menghitung momen *ultimate*, analisa yang dilakukan berupa mencari nilai beban sendiri, momen akibat beban mati, momen beban hidup, momen total akibat beban mati dan beban hidup serta mencari nilai momen nominal yang dapat dipikul balok.

- 1) Beban mati (berat sendiri balok) :

$$q_d = \text{luas penampang } (A) \times \text{berat isi beton } (\gamma_c) \quad (16)$$

2) Menghitung momen pada balok :

a) Momen akibat beban mati

$$M_d = \frac{1}{8} \times q_d \times L^2 \quad (17)$$

b) Momen akibat beban hidup

$$M_l = \frac{1}{4} \times P \times L + \frac{1}{8} \times q_L \times L^2 \quad (18)$$

c) Momen maksimum akibat Beban Mati dan Beban Hidup

$$M_u = 1,2 M_d + 1,6 M_l \quad (19)$$

d) Momen nominal yang dapat dipikul penampang

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}, \text{ dimana : } \phi = 0,85 \quad (20)$$

d. Perhitungan Tegangan Beton pada serat atas dan bawah

Setelah nilai momen akibat pembebanan diperoleh, dihitunglah nilai tegangan pada serat atas dan bawah, rumus sebagai berikut :

1) Tegangan tarik pada serat bawah balok :

$$f'_b = -\frac{F}{A} - \frac{M_f}{W_b} + \frac{M_n}{W_b} \quad (21)$$

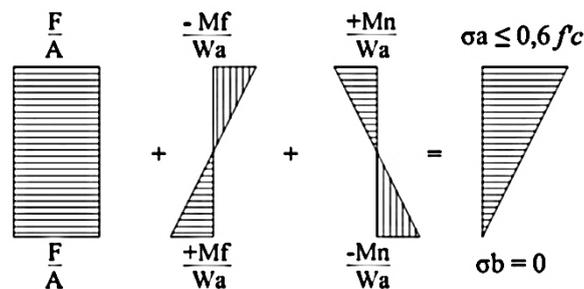
2) Tegangan tarik pada serat atas balok :

$$f'_a = -\frac{F}{A} + \frac{M_f}{W_a} - \frac{M_n}{W_a} \leq 0,6 f'_c \quad (22)$$

Dimana :

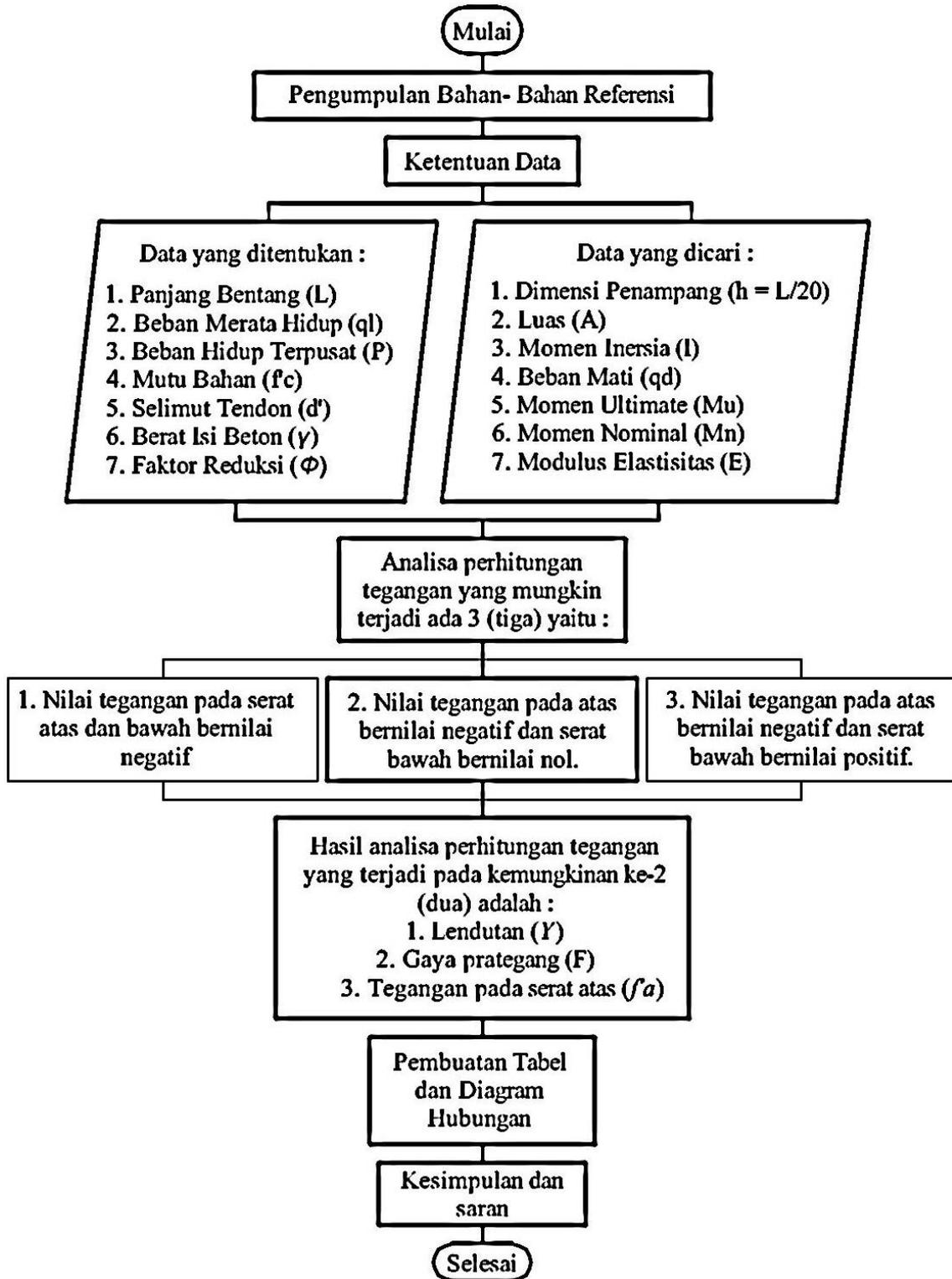
$$\text{Momen akibat gaya prategang } (M_f) = F \times e \quad (23)$$

Sehingga, tegangan yang akan terjadi sebagai berikut :



Gambar 3. Diagram tegangan dengan  $f'_b = 0$

Diagram Alir



Gambar 4. Diagram alir studi literatur

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Tabel Hasil Perhitungan Lendutan, Momen, dan Gaya Prategang

Perhitungan lendutan, momen dan gaya prategang dihitung secara manual pada beberapa bentang kemudian digunakan Ms. Office untuk menyederhanakan dan mencari hasil dari pada setiap bentang lainnya.

#### Hasil Perhitungan Lendutan

Tabel 3. Hasil perhitungan momen inersia

Panjang (L)	Tinggi (h)	Lebar (b)	Luas (A)	Inersia (I)
	$L/20$	$L/2$	$b.h$	$1/12.b.h^3$
cm	cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>
1200	60	30	1800	540000,0
1600	80	40	3200	1706666,7
1800	90	45	4050	2733750,0
2000	100	50	5000	4166666,7
2400	120	60	7200	8640000,0
2800	140	70	9800	16006666,7
3200	160	80	12800	27306666,7

Tabel 4. Hasil perhitungan lendutan total

Panjang (L)	Inersia (I)	Modulus Elastisitas (E)	Lendutan (Yq)	Lendutan (Yp)	Lendutan Total (Y)	Batas Lendutan Ijin (Yi)	Keterangan
	$1/12.b.h^3$	$4700.\sqrt{f}c$	$(5.qu.L^4)/(384.E.I)$	$(Pu.L^3)/(48.E.I)$	$Yq+Yp$	$L/250$	
cm	cm <sup>4</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	cm	cm	cm	cm	
1200	540000,0	297254,1	2,08	6,46	8,54	4,80	Tidak Memenuhi
1600	1706666,7	297254,1	2,76	4,84	7,61	6,40	Tidak Memenuhi
1800	2733750,0	297254,1	3,17	4,31	7,48	7,20	Tidak Memenuhi
2000	4166666,7	297254,1	3,63	3,88	7,51	8,00	Memenuhi
2400	8640000,0	297254,1	4,70	3,23	7,93	9,60	Memenuhi
2800	16006666,7	297254,1	5,96	2,77	8,73	11,20	Memenuhi
3200	27306666,7	297254,1	7,41	2,42	9,83	12,80	Memenuhi

Pada Tabel 3. didapatkan hasil perhitungan tegangan yang menunjukkan bahwa, jika batas tegangan ijin yang ditentukan adalah  $L/250$ , maka  $Y > Y_i$  adalah 12 m, 16 m, 18 m dan  $Y < Y_i = 20$  m, 24 m, 28 m dan 32 m.

Hasil Perhitungan Momen

Tabel 5. Hasil perhitungan momen nominal

Panjang	Momen Ultimate (Mu)			Momen Nominal (Mn)
	Momen Beban Mati	Momen Beban Hidup	Total	
L	1,2.Md	1,6.MI	1,2.Md+1,6.MI	Mu/Ø
cm	Kgcm	Kgcm	Kgcm	Kgcm
1200	933120	9.936.000	10869120,0	12787200,0
1600	2949120	13.824.000	16773120,0	19733082,4
1800	4723920	15.876.000	20599920,0	24235200,0
2000	7200000	18.000.000	25200000,0	29647058,8
2400	14929920	22.464.000	37393920,0	43992847,1
2800	27659520	27.216.000	54875520,0	64559435,3
3200	47185920	32.256.000	79441920,0	93461082,4

4.1.1. Hasil Perhitungan Tegangan

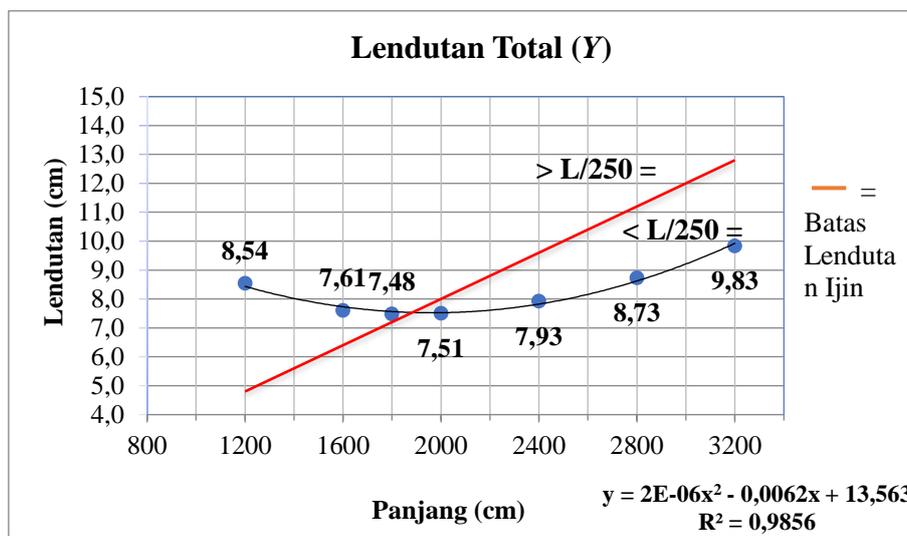
Tabel 6. Hasil perhitungan besar tegangan yang terjadi

Panjang	Yb	Jarak Tendon (e)	Inersia (I)	Momen Perlawanan (W)	Gaya Prategang (F)	Momen akibat Gaya Prategang (Mf)	Tegangan pada serat atas (f'a)
L	h/2	Yb-d'	1/12.b.h <sup>3</sup>	I/Yb		F.e	
cm	cm	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	Kg	Kgcm	kg/cm <sup>2</sup>
1.200	30	20	540000,0	18.000,0	426.240,0	8.524.800,0	473,60
1.600	40	30	1706666,7	42.666,7	455.378,8	13.661.364,7	284,61
1.800	45	35	2733750,0	60.750,0	484.704,0	16.964.640,0	239,36
2.000	50	40	4166666,7	83.333,3	523.183,4	20.927.335,6	209,27
2.400	60	50	8640000,0	144.000,0	628.469,2	31.423.462,2	174,57
2.800	70	60	16006666,7	228.666,7	774.713,2	46.482.793,4	158,10
3.200	80	70	27306666,7	341.333,3	966.838,8	67.678.714,8	151,07

Pada Tabel 5. didapatkan hasil perhitungan tegangan yang menunjukkan bahwa, jika batas tegangan ijin yang ditentukan adalah  $< 0,6 f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$  maka bentang yang memiliki  $f'a > f'c = 12 \text{ m}$  dan  $16 \text{ m}$  dan bentang yang memiliki  $f'a < f'c$  adalah bentang  $18 \text{ m}$ ,  $20 \text{ m}$ ,  $24 \text{ m}$ ,  $28 \text{ m}$ , dan  $32 \text{ m}$ . Sehingga hubungan bentang dengan tegangan serat atas adalah berbanding terbalik. Sedangkan gaya prategang yang dihasilkan memiliki hubungan bentang dengan gaya prategang adalah berbanding lurus, dimana semakin panjang bentang maka semakin besar pula gaya prategang yang dihasilkan.

**Diagram Hubungan Bentang Antara Lendutan, Momen, dan Gaya Prategang**

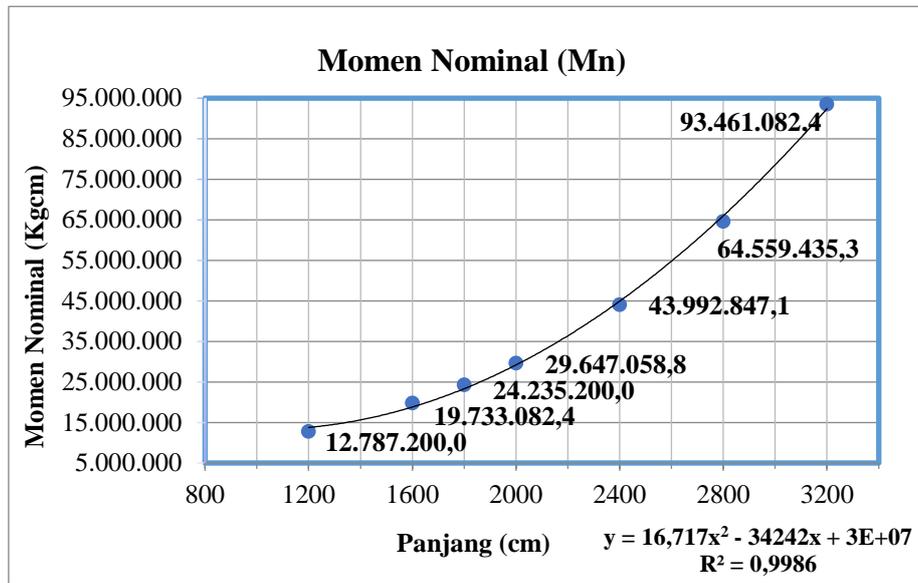
Diagram Hubungan Bentang Antara Lendutan



Gambar 5. Lendutan total pada bentang

(Sumber : Hasil penelitian, 2022)

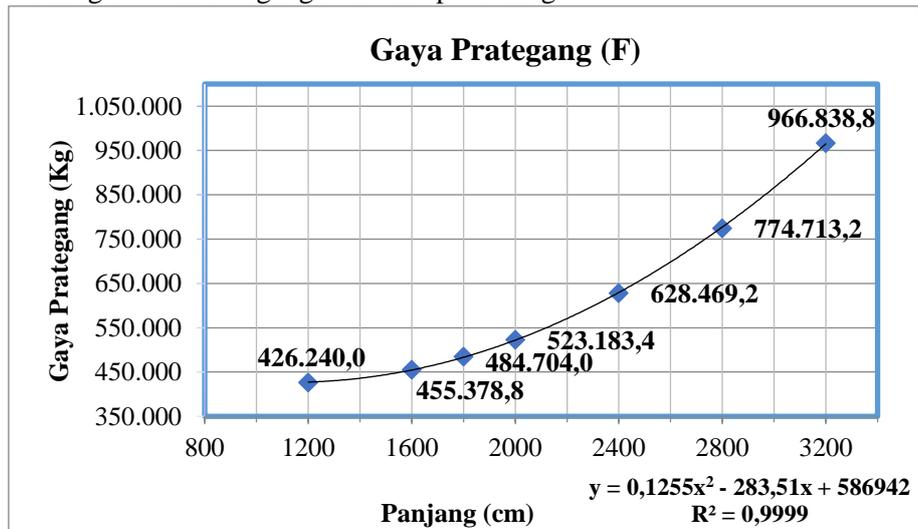
Diagram Hubungan Bentang Antara Momen



Gambar 6. Momen nominal pada bentang

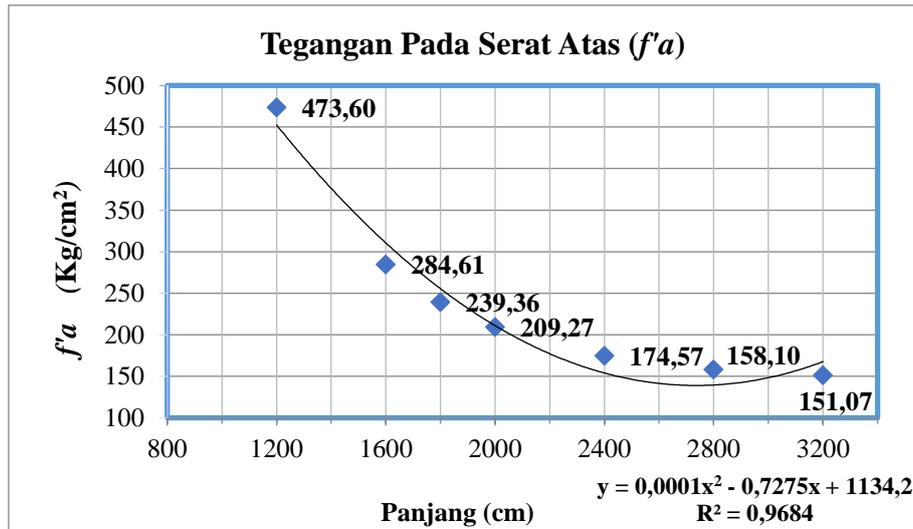
(Sumber : Hasil penelitian, 2022)

Diagram Hubungan Antara Tegangan terhadap Bentang



Gambar 7. Gaya prategang yang terjadi pada bentang

(Sumber : Hasil penelitian, 2022)



Gambar 8. Tegangan pada serat atas

(Sumber : Hasil penelitian, 2022)

## KESIMPULAN

Dari hasil analisa yang dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hubungan lendutan dengan panjang bentang adalah melengkung kebawah dan pada beberapa bentang memiliki lendutan lebih besar daripada lendutan ijin yaitu bentang 12 m hingga 18 m.
2. Hubungan gaya prategang berbanding lurus dengan panjang bentang, dimana pada bentang 12 m dengan penampang persegi panjang memiliki gaya prategang sebesar 426.240 Kg dan pada bentang 32 m dengan penampang persegi panjang memiliki gaya prategang sebesar 966.838,8 Kg.
3. Hubungan tegangan serat atas berbanding terbalik dengan panjang bentang, dimana pada bentang 12 m dan 16 m dengan penampang persegi panjang memiliki tegangan serat atas lebih besar daripada tegangan ijin, dan pada bentang 18 m sampai 32 m memiliki tegangan serat atas lebih kecil daripada tegangan ijin.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2013. SNI 2847. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 2847:2013 *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2013.
- Badan Standarisasi Nasional, RSNI T-12-2004 *Perencanaan struktur beton untuk jembatan*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2004.

- Dixit, Ajinkya S. & Khrud, V. G., 2017, *Effect of prestressing force, cable profile and eccentricity on post tensioned beam*, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Volume:04 Issue: 11, November 2017.
- Handayani, Tri & Irawadi, Yudi., 2018, *Analisis Lendutan Balok Beton Secara Eksperimental Dan Metode Elemen Hingga Sesuai SNI 2847 : 2013*, Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur, Tangerang.
- Kojongian, Alexandro Mark, 2018, *Desain Struktur Balok Beton Prategang Untuk Bangunan Industri*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Legowo, R. AL Amin Eko, dkk, 1996. "*Kapasitas Lentur Balok Beton Prategang Post Tension Dengan Grouting Pada Pasca Retak*". Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII. Yogyakarta.
- Masnul, C.R, 2009. *Analisa Prestress (Post-Tension) Pada Precast Concrete U Girder*. Bidang Studi Struktur Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik USU.
- Nawy, Edward.G, *Beton Prategang: Suatu Pendekatan Mendasar*, Erlangga, Jakarta, 2001.
- Pade, Maria.M.M, dkk, 2013. *Pemeriksaan Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton Beragregat Kasar Batu Ringan Ape Dari Kepulauan Talaud*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Syam, H. Armeyn, 2013, *Bahan Ajar Mata Kuliah Teknologi Beton Pratekan*, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Padang.
- Soetoyo, Ir, *Konstruksi Beton Pratekan*. Surabaya.