

# Studi Mengenai Analisis Penampang Balok Prategang Parsial pada Beban Kerja

DALLY MARGAN, PRIYANTO SAELAN

Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Bandung  
Email: dallymargan.dm@gmail.com

## ABSTRAK

*Penampang balok prategang parsial dapat dirancang dengan dua metode analisis yaitu metode analisis terhadap beban runtuh dan metode analisis terhadap beban kerja. Perancangan penampang balok prategang parsial pada umumnya dilakukan dengan menggunakan metode analisis terhadap beban runtuh yang telah ditetapkan dalam SNI 03-2847-2002, namun perancangan menggunakan pendekatan beban kerja tidak dicantumkan. Oleh karena itu dilakukan studi analisis untuk mengetahui sejauh mana metode analisis terhadap beban kerja dapat diaplikasikan dalam perancangan penampang balok prategang parsial. Studi kasus ini dilakukan dengan persentase 60, 70, 80, dan 90. Dari hasil studi kasus didapatkan bahwa dengan menggunakan metode analisis terhadap beban kerja dapat dilakukan namun dengan batasan persentase prategang yang beragam yaitu 90, 95, dan 99. Metode analisis terhadap beban kerja dapat dilakukan pada kasus-kasus tertentu dan menggunakan beton dan tendon dengan mutu tinggi untuk faktor keamanan bangunan.*

**Kata kunci:** beton prategang parsial, pendekatan beban kerja, persentase prategang, lebar retak

## ABSTRACT

*Partial prestressed beam section can be designed with two analysis methods are failure load analysis method and service load analysis method. The design of the partial prestressed beam section generally is using the failure load analysis method which has been specified in SNI 03-2847-2002, but the design with the analytical method of service load is not included. Therefore an analytical study was conducted to determine the extent to which the service load analysis method can be applied for the design of a partial prestressed beam section. This case study was carried out at 60, 70, 80, and 90 prestressed percentages. From the case study results it was found that using the analysis method of service load can be done but with variations of a limited percentage are 90, 95, and 99. The method of analysis of workload can be done in certain cases and using high-quality concrete and tendons for building safety factor.*

**Keywords:** partial prestressed concrete, service load analysis method, prestressed percentage, crack width

## 1. PENDAHULUAN

Beton prategang merupakan struktur komposit dari material beton dan tendon dengan mutu tinggi. Prinsip kerja dari beton prategang yaitu tendon ditegangkan diawal dengan cara ditarik untuk memberikan tegangan tekan pada penampang beton sebelum adanya beban yang bekerja pada struktur. Perkembangan beton prategang semakin berkembang dengan adanya beton prategang parsial, yaitu kombinasi beton prategang dan beton bertulang. Perancangan beton prategang parsial pada struktur dapat menggunakan dua metode analisis, yaitu analisis terhadap beban runtuh dan analisis terhadap beban kerja. Namun metode analisis terhadap beban kerja tidak dicantumkan dalam SNI 03-2847-2002 sehingga masih harus dikasi dan dibandingkan dengan metode analisis pada beban runtuh.

Penelitian ini merupakan studi kasus dari analisis penampang beton prategang parsial pada beban kerja. Persentase prategang parsial yang dikaji adalah 60, 70, 80, dan 90.

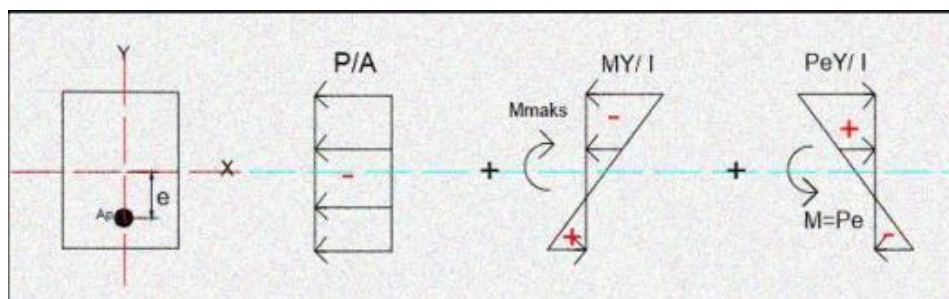
## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Beton Prategang

Draft Konsensus Pedoman Beton (1998) mengatakan bahwa beton prategang adalah beton bertulang yang dimana telah diberikan tegangan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat pemberian beban yang bekerja. Prinsip kerja dari beton prategang yaitu tendon ditegangkan diawal dengan cara ditarik untuk memberikan tegangan tekan pada penampang beton sebelum adanya beban yang bekerja pada struktur. Besarnya gaya prategang yang diberikan pada tendon harus disesuaikan dengan beban batas sedemikian rupa sehingga penampang beton tidak mengalami tegangan tarik saat beban bekerja. Metode penegangan pada beton prategang terdapat dua cara yaitu prategang pra-tarik (*pre-tensioned prestressed concrete*) dan prategang pasca tarik (*post tensioned prestressed concrete*).

### 2.2 Analisis Penampang Balok Prategang Penuh Terlentur (*Full Prestressed*)

Analisis penampang balok prategang terlentur dilakukan berdasarkan perhitungan tegangan pada penampang saat kondisi elastis, yaitu pada kondisi beban kerja (*service load*). Besar tegangan yang terjadi pada balok beton prategang penuh dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1. Kondisi tegangan pada penampang beton prategang penuh (Sumber: Yolanda D., 2017)**

Tegangan yang terjadi pada penampang balok prategang penuh pada serat atas dan serat bawah dapat dilihat pada **Persamaan 1** dan **Persamaan 2**.

$$\sigma_a = -\frac{M_{ya}}{I} - \frac{P}{A} + \frac{Pe y_a}{I} \quad \dots(1)$$

$$\sigma_b = \frac{M_{yb}}{I} - \frac{P}{A} + \frac{Pe y_a}{I} \quad \dots(2)$$

halmana:

- $\sigma_a$  = tegangan di serat atas [kg/cm<sup>2</sup>],
- $\sigma_b$  = tegangan di serat bawah [kg/cm<sup>2</sup>],
- $M$  = momen yang dipikul tiap kondisi [kgm],
- $I$  = momen inersia [cm<sup>4</sup>],
- $e$  = eksentrisitas kabel [cm],
- $P$  = gaya prategang [kg],
- $y_a$  = jarak serat atas dari titik berat [cm],
- $y_b$  = jarak serat bawah dari titik berat [cm].

Perjanjian tanda:

- Tegangan tekan [-],
- Tegangan tarik [+].

Adapun besarnya tegangan beton yang diizinkan pada penampang beton prategang diatur dalam SNI 03-2847-2002.

1. Tegangan beton sesaat sesudah penyaluran gaya prategang (sebelum terjadinya kehilangan tegangan sebagai fungsi waktu) tidak boleh melampaui nilai berikut:
  - a. Tegangan serat tekan terluar  $0,60 f_{ci}'$ .
  - b. Tegangan serat tekan terluar kecuali seperti yang diizinkan  $0,25 \sqrt{f_{ci}'}$ .
  - c. Tegangan serat tarik terluar pada ujung-ujung komponen struktur di atas perletakan sederhana  $0,5 \sqrt{f_{ci}'}$ .
2. Tegangan beton pada kondisi beban layan (sesudah memperhitungkan semua kehilangan prategang yang mungkin terjadi) tidak boleh melampaui nilai berikut:
  - a. Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati dan beban hidup tetap  $0,45 f_{ci}'$ .
  - b. Tegangan serat tekan terluar akibat pengaruh prategang, beban mati dan beban hidup total  $0,60 f_{ci}'$ .
  - c. Tegangan serat tarik terluar dalam daerah tarik yang pada awalnya mengalami tekan  $0,5 \sqrt{f_{ci}'}$ .

Besarnya tegangan tendon prategang yang diizinkan juga diatur dalam SNI 03-2847-2002.

1. Akibat gaya pengangkutan, tegangan tendon tidak lebih dari  $0,94 f_{py}$  dan tidak lebih besar dari nilai terkecil dari  $0,80 f_{pu}$  dan nilai maksimum yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat tendon prategang atau perangkat angkur.
2. Sesaat setelah penyaluran gaya prategang, tegangan tendon tidak lebih dari  $0,82 f_{py}$  dan tidak lebih besar dari  $0,74 f_{pu}$ .
3. Tendon pasca tarik, pada daerah angkur dan sambungan, segera setelah penyaluran gaya, tegangan tendon tidak lebih dari  $0,70 f_{pu}$ .

halmana:

- $f_{ci}'$  = kuat tekan beton [MPa],
- $f_{pu}$  = tegangan ultimate tendon [MPa],
- $f_{py}$  = tegangan leleh tendon [MPa].

Skema tegangan yang terjadi pada penampang berdasarkan kondisi dapat dilihat pada **Gambar 2**.



**Gambar 2. Tegangan pada penampang dan besar tegangan izin pada beton berdasarkan kondisi penampang (Sumber: Yolanda D., 2017)**

Berdasarkan kondisi pembebanan maka formulasi tegangan penampang balok prategang terlentur menjadi seperti pada **Persamaan 3, Persamaan 4, Persamaan 5, Persamaan 6, Persamaan 7, dan Persamaan 8.**

1. Kondisi saat pembangunan

$$\sigma_a = -\frac{My_a}{I} - \frac{P}{A} + \frac{Pe_y a}{I} \leq 0 \quad \dots(3)$$

$$\sigma_b = \frac{My_b}{I} - \frac{P}{A} - \frac{Pe_y b}{I} \geq -0,60 f_c' \quad \dots(4)$$

2. Kondisi saat selesai pembangunan (belum terpakai)

$$\sigma_a = -\frac{My_a}{I} - \frac{P}{A} + \frac{Pe_y a}{I} \geq -0,45 f_c' \quad \dots(5)$$

$$\sigma_b = \frac{My_b}{I} - \frac{P}{A} - \frac{Pe_y b}{I} \leq 0 \quad \dots(6)$$

3. Kondisi saat bangunan dipakai

$$\sigma_a = -\frac{My_a}{I} - \frac{P}{A} + \frac{Pe_y a}{I} \geq -0,45 f_c' \quad \dots(7)$$

$$\sigma_b = -\frac{My_b}{I} - \frac{P}{A} + \frac{Pe_y b}{I} \leq 0 \quad \dots(8)$$

halmana:

$f_c'$  = kuat tekan beton [MPa].

Perhitungan luas tendon yang diperlukan pada penampang dapat dihitung dengan **Persamaan 9.**

$$A_p = \frac{P}{0,82 f_{py}} \quad \dots(9)$$

halmana:

$A_p$  = luas tendon [mm<sup>2</sup>],

$f_{pa}$  = tegangan tarik tendon yang diizinkan [MPa].

### 2.3 Beton Prategang Parsial

Beton prategang parsial merupakan kombinasi dari beton bertulang dan beton prategang penuh. Penggunaan desain beton prategang parsial pada penampang balok akan

menghemat jumlah tendon yang dipakai, tetapi agar kekuatan penampang tetap sama maka digunakan sejumlah baja tulangan. Penampang beton prategang parsial tidak dapat memikul beban lebih (*overload*) dari beban kerja yang direncanakan, maka penampang diharuskan menggunakan beton prategang penuh.

Kelebihan beton prategang parsial:

1. Beton prategang parsial memerlukan jumlah tendon yang lebih sedikit dibandingkan dengan beton prategang penuh, sehingga beton prategang parsial lebih ekonomis.
2. Tidak akan menimbulkan lendutan ke atas (*camber*) akibat besarnya gaya pratekan.
3. Memiliki daktilitas lebih baik, terutama pada saat terjadi beban siklus (*cyclic loading*).

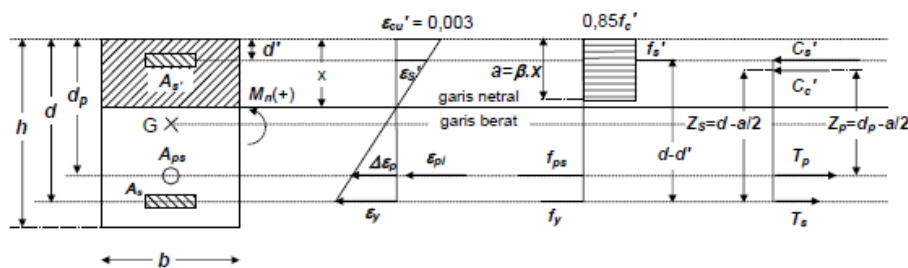
Kekurangan beton Prategang Parsial:

1. Penampang sudah dalam keadaan retak pada saat kondisi beban kerja (*service load*).
2. Lendutan yang terjadi akan lebih besar.

#### 2.4 Analisis Penampang Balok Prategang Parsial pada Kondisi Beban Runtuh

Beton prategang parsial merupakan kombinasi dari beton bertulang dan beton prategang penuh. Penggunaan desain beton prategang parsial pada penampang balok akan menghemat jumlah tendon yang dipakai, tetapi agar kekuatan penampang tetap sama maka digunakan sejumlah baja tulangan. Penampang beton prategang parsial tidak dapat memikul beban lebih (*overload*) dari beban kerja yang direncanakan, maka penampang diharuskan menggunakan beton prategang penuh.

Analisa penampang balok prategang parsial pada kondisi beban runtuh telah ditetapkan di dalam SNI 03-2847-2002. Analisis penampang beton prategang parsial dapat dilihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3. Skema penampang beton prategang parsial pada kondisi beban runtuh (Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2002)**

halmana:

- a = tinggi balok tekan [mm],
- $C_s'$  = gaya tekan pada tulangan [kg],
- $C_c'$  = gaya tekan pada beton [kg],
- $\epsilon_{pi}$  = regangan awal kabel prategang,
- $T_p$  = gaya tarik pada tendon [kg],
- $T_s$  = gaya tarik pada tulangan [kg],
- x = jarak garis netral dari serat tekan terluar [mm],
- $\Delta\epsilon_{pi}$  = regangan kabel prategang akibat lentur.

Pada skema penampang beton prategang parsial pada kondisi beban runtuh didapatkan **Persamaan 10**.

$$C_s' + C_c' = T_p + T_s \quad \dots(10)$$

$$C_s' = A_s' * f_{sa} \quad \dots(11)$$

$$C_c' = 0,85 * f_c' * b * a \quad \dots(12)$$

$$T_p = A_p * f_{ps} \quad \dots(13)$$

$$T_s = A_s * f_y \quad \dots(14)$$

halmana:

$A_s$  = luas tulangan [ $\text{mm}^2$ ],

$b$  = lebar penampang beton prategang parsial [mm],

$f_{sa}$  = tegangan ijin tekan tulangan [MPa],

$f_{ps}$  = tegangan ijin tekan tendon [MPa],

$f_y$  = tegangan ijin tarik tulangan [MPa].

Sehingga didapat rumus perhitungan momen seperti pada **Persamaan 15**.

$$M_n = C_c' \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s' \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T_s \left( d' - \frac{h}{2} \right) + T_p \left( d_p - \frac{h}{2} \right) \quad \dots(15)$$

halmana:

$M_n$  = kapasitas momen runtuh penampang prategang parsial [kgm],

$d'$  = tebal selimut beton [mm],

$d_p$  = jarak tendon dari serat tekan terluar beton [mm],

$h$  = tinggi penampang beton prategang parsial [mm].

Lebar retak dapat dihitung dengan menggunakan rumus Gergely-Lutz seperti pada **Persamaan 16**.

$$w_{maks} = k_1 f_s \sqrt[3]{d'A} \quad \dots(16)$$

halmana:

$w_{maks}$  = lebar retak maksimum [mm],

$k_1$  = koefisien yang tergantung kepada tipe tulangan prategang dan non-prategang,

$f_s$  = tegangan pada tulangan tarik [ $\text{kg}/\text{cm}^2$ ],

$A$  = luas daerah tarik beton efektif di sekeliling tulangan utama dibagi dengan jumlah [ $\text{mm}^2$ ].

Pada rumus Gergely-Lutz lebar retak maksimum yang diizinkan pada balok interior sebesar 0,25 mm, sedangkan pada balok eksterior sebesar 0,3 mm. Nilai  $k_1$  yang diambil untuk **Persamaan 16** pada perhitungan lebar retak maksimum adalah berbeda-beda tergantung tipe tulangan prategang dan non-prategang yang digunakan. Nilai  $k_1$  dapat dilihat pada **Tabel 1**.

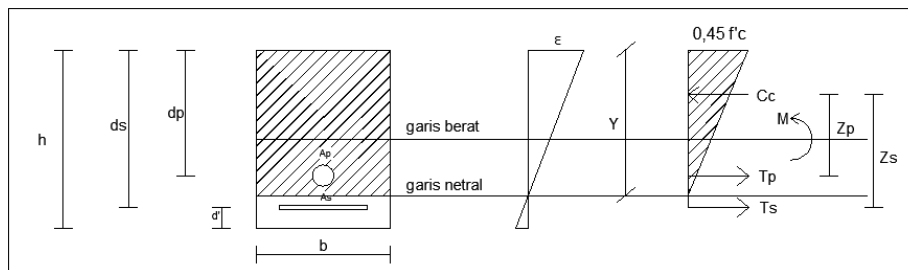
**Tabel 1. Nilai  $k_1$  untuk Rumus Gergely-Lutz**

Kategori	Tipe Baja	$k_1$ (dalam $10^{-6}$ )
1	Deformed Bar – Strand	13,7
2	Deformed Bar – Wire	20,3
3	Strand Only	22,5
4	Wires Only	37,2
5	Unbonded Tendon	25,0

(Sumber: Dilger, W.H., & Suri, K.M., dalam Kusuma, G. H., Tjio, V. S., & Pudjisuryadi, P., 2000)

### 2.5 Analisis Penampang Balok Prategang Parsial pada Kondisi Beban Kerja

Analisis penampang beton prategang parsial pada kondisi beban kerja dapat dilihat pada **Gambar 4**.



**Gambar 4. Skema penampang beton prategang parsial pada kondisi beban kerja**

halmana:

$d_p$  = jarak tulangan dari serat tekan terluar beton [mm],

$d'$  = tebal selimut beton [mm],

$Y$  = tinggi tegangan tekan penampang beton prategang parsial [mm],

$Z_p$  = jarak gaya tarik pada tendon dari resultan gaya tekan pada beton [mm],

$Z_s$  = jarak gaya tarik pada tulangan dari resultan gaya tekan pada beton [mm].

Analisis penampang beton prategang parsial terhadap beban kerja dilakukan dengan mengasumsikan tegangan tarik pada beton diabaikan dan dipikul penuh oleh tulangan. Selain itu tegangan tekan pada serat terbawah yang terjadi dianggap jatuh diantara tendon dan tulangan sehingga garis netral berada diantara tendon dan tulangan, agar penampang beton tetap berperilaku sebagai beton prategang.

Analisis perhitungan momen penampang beton prategang parsial terhadap beban kerja dapat menggunakan **Persamaan 17**.

$$M = T_p * Z_p + T_s * Z_s \quad \dots(17)$$

Analisis perhitungan tegangan tekan pada beton dapat menggunakan **Persamaan 18**.

$$C_c = T_p + T_s \quad \dots(18)$$

Perhitungan luas kabel prategang dan luas tulangan yang dibutuhkan pada penampang beton prategang parsial dapat dihitung dengan **Persamaan 19** dan **Persamaan 20**.

$$A_p = \frac{T_p}{f_{pa}} \quad \dots(19)$$

$$A_s = \frac{T_s}{f_s} \quad \dots(20)$$

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan pada studi kasus ini berupa parameter utama, yang terdiri dari:

1. Sistem struktur yang dikaji yaitu penampang balok pada dua tumpuan sederhana.
2. Bentuk penampang adalah penampang persegi beserta dimensi penampangnya. Bentang balok terdiri dari 24 m dan 30 m.
3. Mutu material yang digunakan yaitu beton dengan  $f_c' = 35$  MPa dan mutu baja tulangan dengan  $f_y = 400$  MPa.
4. Kabel prategang yang digunakan yaitu kabel VSL ASTM A 416-06 *Grade 270*.
5. Persentase prategang yang digunakan adalah 60, 70, 80, dan 90.

#### 3.2 Prosedur Penelitian

Dari data yang sudah ada dilakukan perhitungan gaya prategang penuh dan luas tendon yang diperlukan. Selanjutnya perhitungan gaya prategang parsial serta luas tendon dan luas tulangan biasa yang diperlukan, dengan menggunakan metode analisis terhadap beban runtuh dan metode analisis terhadap beban kerja. Dilanjutkan menghitung tegangan tarik maksimum dan lebar retak pada penampang balok prategang parsial, dengan menggunakan metode analisis terhadap beban runtuh dan metode analisis terhadap beban kerja. Setelah itu membandingkan hasil perhitungan pada penampang yang menggunakan metode analisis terhadap beban runtuh dan penampang yang menggunakan metode analisis terhadap beban kerja.

### 4. HASIL STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN

Hasil dari studi kasus yang dilakukan dengan perhitungan secara manual dapat dilihat pada **Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7.**

**Tabel 2. Hasil Studi Kasus dengan Tinggi Balok 150 cm, Panjang Bentang Balok 24 m, dan Menggunakan Metode Analisis terhadap Beban Runtuh**

Parameter	Persentase Prategang				
	100	90	80	70	60
Gaya Prategang [kg]	415.000	376.405	337.395	297.555	257.300
Luas Tendon Prategang [mm <sup>2</sup> ]	3.022	2.741	2.457	2.167	1.874
Luas Tulangan [mm <sup>2</sup> ]	-	1.177	2.372	3.584	4.818
Momen Beban Kerja [Nmm]	3.499.200.000	3.499.200.000	3.499.200.000	3.499.200.000	3.499.200.000
Momen Runtuh [Nmm]	6.114.852.812	6.114.852.812	6.114.852.812	6.114.852.812	6.114.852.812
Tegangan Serat Atas pada Beban Kerja [kg/cm <sup>2</sup> ]	-90,96	-96,97	-103,04	-109,23	-115,5
Tegangan Serat Bawah pada Beban Kerja [kg/cm <sup>2</sup> ]	-1,26	13,32	28,06	43,11	58,32



**Tabel 2. Hasil Studi Kasus dengan Tinggi Balok 150 cm, Panjang Bentang Balok 24 m, dan Menggunakan Metode Analisis terhadap Beban Runtuh lanjutan**

Parameter	Persentase Prategang				
	100	90	80	70	60
Kuat Tarik Lentur [kg/cm <sup>2</sup> ]	41,41	41,41	41,41	41,41	41,41
Lebar Retak [mm]	-	-	-	0,37	0,53
Maksimum Lebar Retak pada Balok Interior [mm]	0,3				

**Tabel 3. Hasil Studi Kasus dengan Tinggi Balok 150 cm, Panjang Bentang Balok 24 m, dan Menggunakan Metode Analisis terhadap Beban Kerja**

Parameter	Persentase Prategang				
	100	90	80	70	60
Gaya Prategang [kg]	415.000	277.692	246.366	215.164	184.082
Luas Tendon Prategang [mm <sup>2</sup> ]	3.022	2.022	1.794	1.567	1.341
Luas Tulangan [mm <sup>2</sup> ]	-	865	1726	2585	3440
Momen Beban Kerja [Nmm]	3.499.200.000	3.499.200.000	3.499.200.000	3.499.200.000	3.499.200.000
Momen Runtuh [Nmm]	6.114.852.812	3.897.609.073	3.889.653.397	3.881.838.685	3.874.173.166
Tegangan Serat Atas pada Beban Kerja [kg/cm <sup>2</sup> ]	-90,96	-112,32	-117,2	-122,05	-126,89
Tegangan Serat Bawah pada Beban Kerja [kg/cm <sup>2</sup> ]	-1,26	50,61	62,45	74,24	85,98
Kuat Tarik Lentur [kg/cm <sup>2</sup> ]	41,41	41,41	41,41	41,41	41,41
Lebar Retak [mm]	-	0,45	0,58	0,69	0,81
Maksimum Lebar Retak pada Balok Interior [mm]	0,3				

**Tabel 4. Hasil Studi Kasus dengan Tinggi Balok 170 cm, Panjang Bentang Balok 24 m, dan Menggunakan Pendekatan pada Beban Runtuh**

Parameter	Persentase Prategang				
	100	90	80	70	60
Gaya Prategang [kg]	412.000	373.684	334.132	294.580	254.204
Luas Tendon Prategang [mm <sup>2</sup> ]	3.000	2.721	2.433	2.145	1.851
Luas Tulangan [mm <sup>2</sup> ]	-	1182	2376	3589	4816
Momen Beban Kerja [Nmm]	3.706.560.000	3.706.560.000	3.706.560.000	3.706.560.000	3.706.560.000
Momen Runtuh [Nmm]	7.080.676.101	7.080.676.101	7.080.676.101	7.080.676.101	7.080.676.101

**Tabel 4. Hasil Studi Kasus dengan Tinggi Balok 170 cm, Panjang Bentang Balok 24 m, dan Menggunakan Pendekatan pada Beban Runtuh**

Parameter	Persentase Prategang				
	100	90	80	70	60
Tegangan Serat Atas pada Beban Kerja [kg/cm <sup>2</sup> ]	-68,85	-74,38	-80,08	-85,78	-91,6
Tegangan Serat Bawah pada Beban Kerja [kg/cm <sup>2</sup> ]	-11,93	1,12	14,57	28,02	41,76
Kuat Tarik Lentur [kg/cm <sup>2</sup> ]	41,41	41,41	41,41	41,41	41,41
Lebar Retak [mm]	-	-	-	-	0,40
Maksimum Lebar Retak pada Balok Interior [mm]	0,3				

**Tabel 5. Hasil Studi Kasus dengan Tinggi Balok 170 cm, Panjang Bentang Balok 24 m, dan Menggunakan Pendekatan pada Beban Kerja**

Parameter	Persentase Prategang				
	100	90	80	70	60
Gaya Prategang [kg]	412.000	245.486	217.965	190.507	163.110
Luas Tendon Prategang [mm <sup>2</sup> ]	3.000	1.787	1.587	1.387	1.188
Luas Tulangan [mm <sup>2</sup> ]	-	775	1.548	2.319	3.089
Momen Beban Kerja [Nmm]	3.706.560.000	3.706.560.000	3.706.560.000	3.706.560.000	3.706.560.000
Momen Runtuh [Nmm]	7.080.676.101	4.018.700.098	4.013.722.301	4.008.806.176	4.003.960.213
Tegangan Serat Atas pada Beban Kerja [kg/cm <sup>2</sup> ]	-68,85	-92,86	-96,83	-100,79	-104,74
Tegangan Serat Bawah pada Beban Kerja [kg/cm <sup>2</sup> ]	-11,93	44,73	54,09	63,43	72,76
Kuat Tarik Lentur [kg/cm <sup>2</sup> ]	41,41	41,41	41,41	41,41	41,41
Lebar Retak (mm)	-	0,47	0,57	0,69	0,80
Maksimum Lebar Retak pada Balok Interior [mm]	0,3				

**Tabel 6. Hasil Studi Kasus dengan Tinggi Balok 180 cm, Panjang Bentang Balok 30 m, dan Menggunakan Pendekatan pada Beban Runtuh**

Parameter	Persentase Prategang				
	100	90	80	70	60
Gaya Prategang [kg]	660.000	597.960	535.260	471.240	406.560
Luas Tendon Prategang [mm <sup>2</sup> ]	4.805	4.354	3.897	3.431	2.960
Luas Tulangan [mm <sup>2</sup> ]	-	1.897	3.818	5.761	7.728

**Tabel 6. Hasil Studi Kasus dengan Tinggi Balok 180 cm, Panjang Bentang Balok 30 m, dan Menggunakan Pendekatan pada Beban Runtuh lanjutan**

Parameter	Persentase Prategang				
	100	90	80	70	60
Momen Beban Kerja [Nmm]	6.925.500.000	6.925.500.000	6.925.500.000	6.925.500.000	6.925.500.000
Momen Runtuh [Nmm]	11.919.503.197	11.919.503.197	11.919.503.197	11.919.503.197	11.919.503.197
Tegangan Serat Atas pada Beban Kerja [kg/cm <sup>2</sup> ]	-91,56	-98,03	-104,56	-111,23	-117,96
Tegangan Serat Bawah pada Beban Kerja (kg/cm <sup>2</sup> )	-0,1	14,98	30,21	45,78	61,5
Kuat Tarik Lentur [kg/cm <sup>2</sup> ]	41,41	41,41	41,41	41,41	41,41
Lebar Retak [mm]	-	-	-	0,42	0,57
Maksimum Lebar Retak pada Balok Interior [mm]	0,3				

**Tabel 7. Hasil Studi Kasus dengan Tinggi Balok 180 cm, Panjang Bentang Balok 30 m, dan Menggunakan Pendekatan pada Beban Kerja**

Parameter	Persentase Prategang				
	100	90	80	70	60
Gaya Prategang [kg]	660.000	491.830	435.807	380.154	324.856
Luas Tendon Prategang [mm <sup>2</sup> ]	4.805	3.581	3.173	2.768	2.365
Luas Tulangan [mm <sup>2</sup> ]	-	1.544	3.079	4.606	6.124
Momen Beban Kerja [Nmm]	6.925.500.000	6.925.500.000	6.925.500.000	6.925.500.000	6.925.500.000
Momen Runtuh [Nmm]	11.919.503.197	8.383.346.387	8.353.034.273	8.323.504.871	8.294.661.950
Tegangan Serat Atas pada Beban Kerja [kg/cm <sup>2</sup> ]	-91,56	-109,08	-114,92	-120,71	-126,47
Tegangan Serat Bawah pada Beban Kerja [kg/cm <sup>2</sup> ]	-0,1	40,77	54,39	67,91	81,35
Kuat Tarik Lentur [kg/cm <sup>2</sup> ]	41,41	41,41	41,41	41,41	41,41
Lebar Retak [mm]	-	-	0,42	0,54	0,67
Maksimum Lebar Retak pada Balok Interior [mm]	0,3				

Dari hasil perhitungan pada **Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7** ini memperlihatkan bahwa:

1. Besar persentase prategang parsial yang digunakan berpengaruh terhadap besarnya tegangan yang terjadi pada serat atas dan serat bawah beton. Semakin besar persentase yang digunakan semakin kecil tegangan yang terjadi pada penampang beton.

2. Metode analisis yang digunakan dalam perancangan penampang beton prategang parsial berpengaruh terhadap:
  - a. Besar momen runtuh, dengan menggunakan metode analisis pada beban kerja menghasilkan momen runtuh yang lebih kecil dibandingkan metode analisis pada beban runtuh.
  - b. Besar tegangan, dengan menggunakan metode analisis pada beban kerja menghasilkan tegangan yang terjadi pada serat atas dan serat bawah lebih besar dibandingkan metode analisis pada beban runtuh, sehingga berpotensi menimbulkan lebar retak yang lebih besar.
  - c. Perancangan dengan menggunakan metode analisis beban kerja menghasilkan momen runtuh yang berbeda-beda tiap persentase yang digunakan.
  - d. Luas tulangan dan luas tendon yang dibutuhkan pada perancangan penampang beton prategang parsial dengan menggunakan metode analisis beban kerja lebih sedikit dibandingkan perancangan dengan metode analisis beban runtuh.
3. Retak pada penampang terjadi ketika tegangan tarik pada serat bawah melampaui kuat tarik lentur beton yaitu sebesar  $0,7\sqrt{f_c'} = 4,141 \text{ MPa} = 41,41 \text{ kg/cm}^2$ . Dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode analisis terhadap beban runtuh mulai terjadi retak pada:
  - a. Penampang balok prategang parsial dengan tinggi 150 cm, dan panjang bentang 24 m yaitu ketika persentase prategang 76%.
  - b. Penampang balok prategang parsial dengan tinggi 170 cm, dan panjang bentang 24 m yaitu ketika persentase prategang 67%.
  - c. penampang balok prategang parsial dengan tinggi 180 cm, dan panjang bentang 30 m yaitu ketika persentase prategang 77%.
4. Perancangan penampang beton prategang parsial dengan menggunakan metode analisis terhadap beban kerja mulai terjadi retak pada:
  - a. Penampang balok prategang parsial dengan tinggi 150 cm, dan panjang bentang 24 m yaitu ketika persentase prategang 98%.
  - b. Penampang balok prategang parsial dengan tinggi 170 cm, dan panjang bentang 24 m yaitu ketika persentase prategang 94%.
  - c. Penampang balok prategang parsial dengan tinggi 180 cm, dan panjang bentang 30 m yaitu ketika persentase prategang 89%.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Hasil analisis dari studi kasus dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

- a. Penggunaan beton prategang parsial pada penampang balok akan menimbulkan tegangan tarik pada penampang, maka saat merancang penampang balok prategang parsial harus dilakukan pemeriksaan lebar retak yang terjadi akibat tegangan tarik agar tidak melebihi syarat batas lebar retak maksimum.
- b. Metode analisis terhadap beban kerja dapat digunakan pada perancangan penampang balok prategang parsial, dengan batasan minimal persentase prategang yang digunakan yaitu 90, 95, dan 99.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diambil dari studi kasus yang telah dilakukan bahwa perancangan balok prategang parsial sebaiknya dilakukan dengan metode analisis terhadap beban runtuh untuk faktor keamanan bangunan. Apabila perancangan balok prategang parsial akan dilakukan dengan menggunakan metode analisis terhadap beban kerja harus memilih persentase

prategang dengan perhitungan yang benar, namun perancangan menggunakan metode analisis terhadap beban kerja menghasilkan momen runtuh yang tidak berselisih jauh dengan momen pada beban kerja akan tetapi dapat diatasi dengan memperbesar mutu beton dan tendon yang digunakan pada penampang.

#### **DAFTAR RUJUKAN**

- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-2347-2002 tentang Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1998). *Draft Konsensus Pedoman Beton 1998*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Kusuma, G.H., Tjio, V.S., & Pudjisuryadi, P. (2000). Perhitungan Lebar Retak pada Beton Pratekan Parsial dengan Unified Approach. *Dimensi Teknik Sipil*, 2(1), 9-21.
- Yolanda, D. (2017). *Studi Analisis Batasan Persentase Prategang Parsial pada Struktur Balok Prategang. Tugas Akhir*. Bandung: Jurusan Teknik Sipil - Institut Teknologi Nasional - Bandung.