

## PERENCANAAN ALTERNATIF TENDON PRATEGANG DENGAN VARIASI TATA LETAK TENDON DAN MUTU TENDON PADA STRUKTUR ATAS JEMBATAN BATANG LASI KOTA SAWAHLUNTO

Muhammad Digo<sup>1</sup>, Eka Juliafad<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

<sup>2</sup>Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email: [digopyk17@gmail.com](mailto:digopyk17@gmail.com)

**Abstrak:** Jembatan Batang Lasi dibangun dengan menggunakan beton prategang PCI girder dengan beton mutu  $f_c$  45 mPa dan menggunakan tendon dengan mutu ASTM A416 grade 270 low relaxation. Dalam perencanaan beton prategang, mutu dan layout tendon berpengaruh dalam menghasilkan tegangan-tegangan, serta *loss of prestressed*. Untuk itu perlu alternatif perencanaan layout tendon dan mutu yang berbeda, untuk mengetahui pengaruhnya terhadap elemen prategang untuk jembatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan PCI girder dalam memikul gaya-gaya yang bekerja serta melakukan analisa kehilangan gaya prategang akibat pengaruh penggunaan mutu dan letak tendon prategang. Jenis penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah penelitian kuantitatif dengan menggunakan metode analitis yang mengacu pada SNI 2847-2013. Hasil dari penelitian ini yaitu terdapat perbedaan tata letak tendon *strand 7 wire* ASTM A416 grade 250 low relaxation dan *strand 7 wire* ASTM A779 grade 270, dengan tendon yang digunakan di jembatan Batang Lasi. Kehilangan gaya prategang yang terjadi pada tendon 12,7 mm (*strand 7 wire* ASTM A416 grade 250 low relaxation) diperoleh nilai terkecil pada *loss of prestressed* akibat gesekan ankur, pemendekan elastis, relaksasi tendon, dan gaya prategang efektif. Sementara kehilangan gaya prategang akibat gesekan tendon dan pengangkutan diperoleh nilai terkecil dengan menggunakan tendon di lapangan (*strand 7 wire* ASTM A416 grade 270 low relaxation). Dari hasil analisis kedua variasi mutu tendon diketahui bahwa hanya *strand 7 wire* ASTM A416 grade 250 low relaxation yang mampu memikul beban dan memiliki *loss of prestressed* yang kecil daripada yang digunakan di *strand 7 wire* ASTM A779 grade 270

**Kata Kunci:** *Loss of prestressed*, tendon prategang, tata letak tendon, mutu tendon, posisi tendon, tegangan, balok prategang, girder.

**Abstract:** The Batang Lasi Bridge was built using PCI girder prestressed concrete with  $f_c$  45 mPa quality and using ASTM A416 grade 270 low relaxation tendons. In the design of prestressed concrete, the quality and layout of the tendons are influential in producing stresses, as well as loss of prestressed. For this reason, it is necessary to plan alternative tendon layouts and different qualities, to determine the effect on prestress elements for bridges. This study aims to determine the ability of the PCI girder to withstand the applied forces and to analyze the loss of prestressing forces due to the influence of the quality and location of the prestressed tendons. The type of research used in this final project is a quantitative research using analytical methods referring to SNI 2847-2013. The results of this study are that there are differences in the layout of ASTM A416 grade 250 low relaxation 7 wire strand tendons and ASTM A779 grade 270 7 wire strand tendons, with the tendons used in the Batang Lasi bridge. Loss of prestressing force that occurs in the 12.7 mm tendon (*strand 7 wire* ASTM A416 grade 250 low relaxation) obtained the smallest value for loss of prestressed due to anchor friction, elastic shortening, tendon relaxation, and effective prestressing force. While the loss of prestress due to tendon friction and anchorage, the smallest value was obtained by using a tendon in the field (*strand 7 wire* ASTM A416 grade 270 low relaxation). From the results of the analysis of the two variations in tendon quality,

it is known that only ASTM A416 grade 250 low relaxation strand 7 wire is capable of carrying loads and has a smaller loss of prestressed than that used in ASTM A779 grade 270 strand 7 wire.

**Keyword:** *Loss of prestressed, prestressed tendon, tendon layout, tendon quality, tendon position, stress, prestressed beam, girder.*

## PENDAHULUAN

Jalan dan jembatan adalah komponen dari sistem transportasi darat yang memegang peran penting terutama dalam menunjang sektor ekonomi, sosial budaya dan lingkungan hidup. Lalu diupayakan melalui pendekatan pembangunan wilayah untuk mencapai kesetaraan dan keseimbangan pembangunan antar wilayah (UU No. 38 Tahun 2004).

Jembatan Batang Lasi dibangun pada tahun 1975 dan diganti pada tahun 2022. Disebabkan umur jembatan yang sudah tua dan melebihi umur rencana konstruksi yaitu 40 tahun, serta adanya penurunan kemampuan menahan beban layan, maka dikhawatirkan jembatan dapat mengalami kegagalan struktur.

Jembatan Batang Lasi pada awalnya menggunakan struktur rangka baja dengan bentang jembatan 32 meter dan lebar 9 meter akan dilakukan pembongkaran dan diganti menjadi struktur balok *PCI girder (Prestressed Concrete I girder)* dengan bentang jembatan 40,8 meter dan lebar 9,6 meter. Balok PC I (*prestressed concrete I*) girder menggunakan beton dengan mutu beton  $f_c' 45$  MPa dan menggunakan baja mutu tinggi sebagai tulangnya. Satu bentang jembatan terdiri atas 5 segmen balok, dengan panjang segmen tepi 6900 mm dan 3 segmen lainnya dengan panjang 9000 mm (PCI Girder Stek Tepi Barat Batang Lasi, 2021)

Sementara untuk tendonnya diposisikan secara parabola dalam 4 buah lubang tendon. Tendon yang dipakai menggunakan untaian baja sebanyak 67 buah dengan panjang 40800 mm dan diameter 12,7 mm. Lubang tendon 1, 2, dan 3 terdiri atas 19 untaian kabel baja, lalu pada lubang tendon ke 4 menggunakan 10 buah untaian kabel baja.

Beton prategang menerima pretensioning terhadap tulangan-tulangan baja pada elemen beton bertulang. Hal ini dilakukan untuk mengurangi atau mencegah terjadinya retak lentur pada beton akibat lemahnya kemampuan beton dalam

menerima gaya tarik (Irwandi Imran, 2000). Sementara tendon didesain sesuai gaya eksentris dan konsentris, hal ini untuk mencegah berkembangnya retak, dengan menggunakan cara mengurangi tegangan tarik di tumpuan dan daerah kritis pada saat kondisi beban kerja, sehingga mampu meningkatkan kapasitas lentur, geser dan torsional penampang struktur. Oleh karena itu perencanaan alternatif dilakukan dengan menggunakan *strand 7 wire ASTM A416 grade 250 low relaxation* dan *strand 7 wire ASTM A779 grade 270*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan *PCI girder* dalam memikul gaya-gaya yang bekerja, serta mengetahui pengaruh variasi mutu tendon dan letak tendon terhadap *loss of prrressed* yang terjadi.

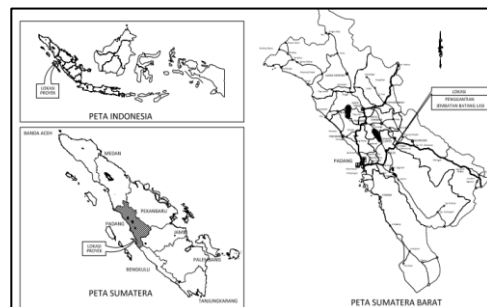
## METODE PENELITIAN

### A. Jenis Penelitian

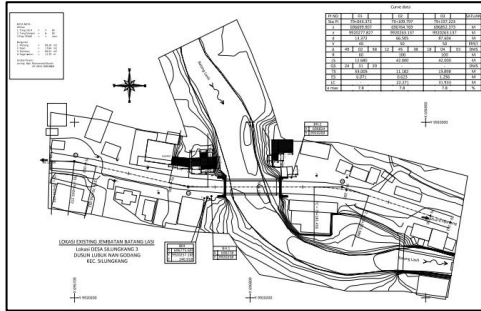
Jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan menggunakan metode analitis yang mengacu pada SNI 2847-2013. Teknik pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini yaitu berupa studi dokumen. Dokumen diperoleh dari instansi terkait.

### B. Denah Lokasi Proyek

Lokasi jembatan Batang Lasi CS yang menjadi fokus pembahasan pada penelitian ini yaitu terletak pada ruas Jalan Lintas Sumatera, tepatnya di Silungkang Kota Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat.



**Gambar 1. Peta Lokasi Proyek Penggantian Jembatan Batang Lasi**



**Gambar 2. Peta Lokasi Jembatan Batang Lasi**

Kode	Lebar (m)	Kode	Tebal (m)	Gambar
b1	0,6	h1	0,07	
b2	0,8	h2	0,13	
b3	0,3	h3	0,12	
b4	0,2	h4	1,65	
b5	0,25	h5	0,25	
b6	0,7	h6	0,25	
		h	2,1	

Tendon yang digunakan adalah baja ASTM A-416 *grade 270 Low Relaxation*, untuk detail spesifikasi tendon dapat dilihat pada tabel 3.

### C. Data dan Sumber Data Penelitian

**Tabel 1. Data Jembatan**

Keterangan	Kode	Ukuran	Satuan
Total panjang balok	L	40,8	meter
Jarak tumpuan as ke ujung balok	ctc	0,4	meter
Sudut kemiringan jembatan	$\theta$	0	derajat
Tinggi girder	H	2100	milimeter
Jarak ctc balok	s	1850	milimeter
Ketebalan plat lantai atas	t-slab	250	milimeter
Ketebalan Aspal	t-asphalt	100	milimeter
Ketebalan deck slab	t-deck	70	milimeter
Kuat tekan beton	fc'	45	MPa
Kuat tekan plat lantai	fc'	28	MPa
Umur jembatan	-	50	tahun
Total berat balok	w	82,76	ton

Dimensi balok PC I girder dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2. Dimensi Balok PC I Girder**

**Tabel 3. Spesifikasi Tendon Prategang**

Jumlah untai tendon	-	67	buah
Diameter tendon	dia	12,7	milimeter
Area efektif	Ast	98,78	milimeter <sup>2</sup>
Modulus elastisitas	Es	193000	N/mm <sup>2</sup>
Kekuatan tekan maksimum	fu	1860	N/mm <sup>2</sup>
Tegangan leleh strand	fpy	1674	N/mm <sup>2</sup>
Jacking force	-	75%	UTS
Kekuatan tekan awal	-	45	N/mm <sup>2</sup>

Baja tulangan yang digunakan memiliki diameter 10 mm dan 13 mm, untuk spesifikasinya dapat dilihat pada tabel 4.

**Tabel 4. Spesifikasi Baja Tulangan**

Keterangan	Kode	Ukuran	Satuan
Modulus elastisitas	Es	200000	N/mm <sup>2</sup>
Tegangan leleh	fy	420	N/mm <sup>2</sup>

### D. Tahapan Penelitian

#### 1. Kajian Teori

Mengumpulkan dan mempelajari berbagai referensi terlebih dahulu yang akan dijadikan sebagai acuan dalam melakukan analisis kehilangan tegangan dalam berbagai kondisi.

#### 2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer dan sekunder dilakukan dengan meminta secara langsung kepada

kontraktor pelaksana tentang dokumen-dokumen yang dibutuhkan.

### 3. Analisis Penampang

Luas Penampang balok prategang (A)

Letak titik berat

$$y_b = \frac{\sum A \cdot y}{\sum A} \quad \dots(1)$$

$$y_a = h - y_b \quad \dots(2)$$

Momen inersia terhadap alas balok

$$I_0 = \sum A \cdot y^2 + \sum I_0 \quad \dots(3)$$

Momen inersia terhadap titik berat balok

$$I_x = I_0 - A \cdot y_b^2$$

Tahanan Momen sisi atas dan bawah (W<sub>a</sub> dan W<sub>b</sub>)

$$W_a = I_x / y_a \quad \dots(4)$$

$$W_b = I_x / y_b \quad \dots(5)$$

**Tabel 5. Section Properties**

A (luas penampang)	y (jarak terhadap alas)	A. y (statis momen)	A. y <sup>2</sup> (inersia momen)	I <sub>0</sub> (inersia momen)
175000	125	21875000	2,734E+09	911458333,3
112500	375	42187500	1,582E+10	585937500
256000	1140	2,92E+08	3,327E+11	34952533333
60000	1840	1,1E+08	2,031E+11	72000000
104000	1965	2,04E+08	4,016E+11	14646666,7
42000	2065	86730000	1,791E+11	17150000
749500	1010,53	7,57E+08	1,135E+12	36685545833

### 4. Pembebanan

#### 1. Beban mati

Berat sendiri balok = 18,37 kN/m

Slab = 11,33 kN/m

Deck slab = 1,80 kN/m

Barrier = 3,92 kN/m

Diafragma = 20,30 kN

Jumlah diafragma = 4 buah

M<sub>max</sub> = 296,82 kN/m

Q<sub>diaf</sub> = 1,42 kN/m

#### 2. Beban mati tambahan

Aspal = 3,99 kN/m

#### 3. Beban lajur "D"

Q = 12,84 kN/m

P = 113,96 kN/m

#### 4. Gaya rem

M = 154,67 kNm

#### 5. Beban angin

Q = 0,83 kN/m

#### 6. Beban gempa

Q = 3,89 kN/m

### 7. Analisis Momen dan Gaya Geser

**Tabel 6. momen dan gaya geser**

Jenis Beban	Momen	Gaya Geser
Beban Mati	$1/8 \cdot Q \cdot L^2$	$1/2 \cdot Q \cdot L$
Beban Mati Tambahan	$1/8 \cdot Q \cdot L^2$	$1/2 \cdot Q \cdot L$
Lajur "D"	$1/8 \cdot Q \cdot L^2 + 1/4 \cdot P \cdot L$	$1/2 \cdot Q \cdot L + 1/2 \cdot P$
Gaya Rem	$1/8 \cdot Q \cdot L^2$	M/L
Angin	$1/8 \cdot Q \cdot L^2$	$1/2 \cdot Q \cdot L$
Gempa	$1/8 \cdot Q \cdot L^2$	$1/2 \cdot Q \cdot L$

**Tabel 7. Perhitungan momen dan gaya geser**

Jenis Beban	kode	Q (kN/m)	P (kN)	M (kN m)	V	M <sub>max</sub>
Beban Mati	M S	35,24403	-	-	718,9783	7333,578
Beban Mati Tambahan	M A	3,991042	-	-	81,41726	830,456
Beban Lajur	T D	12,8411	113,96	-	318,9384	3834,368
Gaya Rem	E B	-	-	154,675	3,791054	77,3375
Angin	E W	0,834286	-	-	17,01943	173,5982
Gempa	E Q	3,893	-	-	79,4172	810,0554

### 8. Analisis Kehilangan Prategang

#### a. Kehilangan tegangan akibat gesekan agnkur

$$P_o = 0,97 \cdot P_j \quad \dots(6)$$

P<sub>j</sub> = Gaya prategang akibat *jacking*

untuk tendon diameter 15,2 mm diperoleh

P<sub>o</sub> = 10122,86 kN

untuk tendon diameter 12,7 mm diperoleh

P<sub>o</sub> = 9911,43 kN

#### b. Kehilangan tegangan akibat gesekan kabel

$$P_x = P_o * e^{-\mu * (\alpha + \beta * L_x)} \quad \dots(7)$$

e = bilangan natural (2,7183)

$\mu$  = koefisien gesek

$\beta$  = koefisien wooble

$\alpha$  = sudut lintasan tendon dari ujung ke tengah

untuk tendon diameter 15,2 mm diperoleh

$P_x = 9310,82$  kN

untuk tendon diameter 12,7 mm diperoleh

$P_x = 91117,25$  kN

c. Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis

$$\Delta p_e = \Delta \sigma_{pe} * A_t \quad \dots\dots\dots(8)$$

$\Delta \sigma_{pe}$  = kehilangan tegangan pada baja oleh regangan elastik (tanpa penaruh berat sendiri)

$A_t$  = luas tampang tendon baja prategang untuk tendon diameter 15,2 mm diperoleh  $\Delta p_e = 728,76$  kN, sedangkan untuk tendon diameter 12,7 mm diperoleh  $\Delta p_e = 524,95$  kn

d. Kehilangan tegangan akibat pengangkuran

$$\Delta P = L_{max} * \tan \omega \quad \dots(9)$$

$L_{max}$  = jarak pengaruh slip ankur dari ujung

$\tan \omega$  = kemiringan diagram gaya untuk tendon

diameter 15,2 mm diperoleh  $P_{max} = 9032,20$  kN

untuk tendon diameter 12,7 mm diperoleh  $P_{max} = 9066,63$  kN

e. Kehilangan tegangan akibat relaksasi tendon

$$P_i = P_x - \Delta p_e$$

$P_x$  = *loss of prestressed* akibat ankur

untuk tendon diameter 15,2 mm diperoleh  $P_x = 8303,45$  kN, sedangkan untuk tendon diameter

12,7 mm diperoleh  $P_x = 8541,68$  kN

9. Tegangan pada penampang balok

a. Keadaan awal (saat transfer)

$$0,6 * f_{ci}' = -21600 \text{ kPa}$$

Untuk tendon diameter 15,2 mm sedangkan tegangan di serat atas = -1305 kPa dan tegangan di serat bawah = -21600 kPa  $\leq 0,6 * f_{ci}'$  **OK!**

Untuk tendon diameter 12,7mm

tegangan di serat atas = -794,08 kPa

tegangan di serat bawah = -21600 kPa  $\leq 0,6 * f_{ci}'$  **OK!**

b. Keadaan setelah loss of prestressed

$$0,45 * f_{ci}' = -20500 \text{ kPa}$$

Untuk tendon diameter 15,2 mm

tegangan di serat atas = -3124,61 kPa

tegangan di serat bawah = -15109,4 kPa

$$\leq 0,45 * f_{ci}' \text{ OK!}$$

Untuk tendon diameter 12,7mm

tegangan di serat atas = -2150,6 kPa

tegangan di serat bawah = -17030,7 kPa

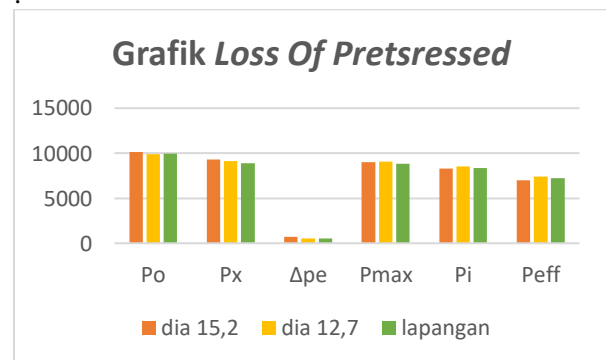
$$\leq 0,45 * f_{ci}' \text{ OK!}$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

**Tabel 6. Perbandingan *loss of pre stressed***

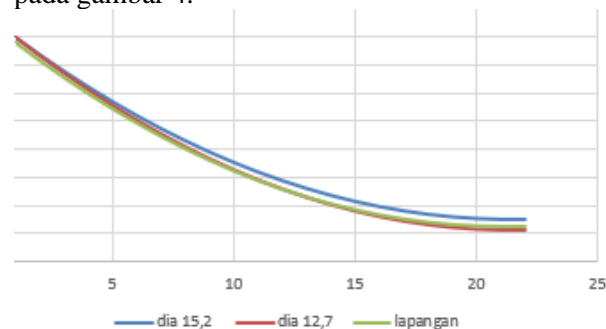
LOP	Gay a	dia 15,2	dia 12,7	lapangan
Anchorage friction	$P_o$	10122	9911,4	9942,66
Jack friction	$P_x$	9310,8	9117,2	8864,11
Elastic shortening	$\Delta p_e$	728,76	524,95	527,83
Anchoring	$P_{max}$	9032,2	9066,63	8799
Relaxation of tendon	$P_i$	8303,45	8541,68	8336
	$P_{eff}$	7002,2	7397,8	7218,71

Perbandingan loss of prestressed dapat dilihat pada Gambar 3



**Gambar 3. Perbandingan LOP**

Untuk perbedaan tata letak tendon 1 dapat dilihat pada gambar 4.

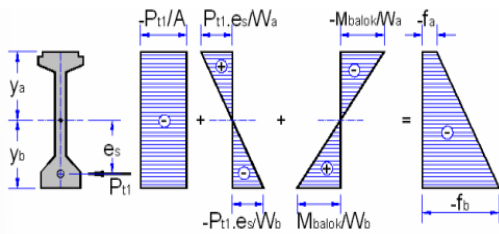


**Gambar 4. Perbedaan Tata Letak Tendon 1**

Untuk diagram tegangan yang terjadi pada penampang balok dapat dilihat pada gambar berikut:

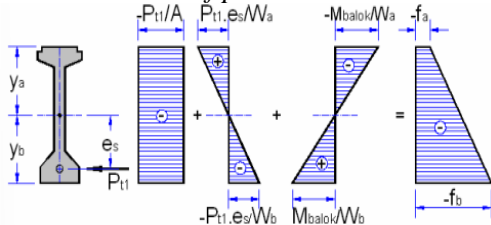
1. Saat transfer





**Gambar 4. Diagram tegangan di serat atas dan bawah balok saat transfer**

2. Setelah *loss of prestressed*



**Gambar 5. Diagram tegangan di serat atas dan bawah balok setelah *loss of prestressed***

**KESIMPULAN**

1. Terdapat perbedaan tata letak tendon *strand 7 wire* ASTM A416 grade 250 low relaxation dan *strand 7 wire* ASTM A779 grade 270, dengan tendon yang digunakan di jembatan Batang Lasi.
2. Gaya prategang akibat *jacking* terkecil diperoleh dengan menggunakan *strand 7 wire* ASTM A416 grade 250 low relaxation.
3. Jumlah *strands* berbeda, antara yang digunakan di lapangan dengan yang di analisis. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti tegangan leleh *strand*, kuat tarik *strand*, beban putus minimal satu *strand*.
4. Kehilangan gaya prategang yang terjadi pada tendon 12,7 mm (*strand 7 wire* ASTM A416 grade 250 low relaxation) diperoleh nilai terkecil pada *loss of prestressed* akibat gesekan ankur, pemendekan elastis, relaksasi tendon, dan gaya prategang efektif.
5. Sementara kehilangan gaya prategang akibat gesekan tendon dan pengankuran diperoleh nilai terkecil dengan menggunakan tendon di lapangan (*strand 7 wire* ASTM A416 grade 270 low relaxation).
6. Dari hasil analisis kedua variasi mutu tendon diketahui bahwa hanya *strand 7 wire* ASTM A416 grade 250 low relaxation yang mampu memikul beban dan memiliki *loss of prestressed* yang kecil daripada yang digunakan di *strand 7 wire* ASTM A779 grade 270.
7. Disarankan untuk menggunakan tendon ASTM A416 grade 270 low relaxation (tendon lapangan).

Sementara untuk tegangan yang terjadi pada penampang balok pada saat transfer, dengan menggunakan tendon di lapangan (*strand 7 wire* ASTM A416 grade 270 low relaxation) memiliki tegangan di serat bawah terkecil dengan nilai -19920 kPa, sementara tegangan di serat atas diperoleh nilai terkecil dengan menggunakan tendon diameter 12,7 mm. Kemudian tegangan yang terjadi setelah *loss of prestressed* dengan menggunakan tendon di lapangan memiliki nilai terkecil pada tegangan di serat atas dan bawah. Sehingga tendon lapangan lebih efektif digunakan.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. BETON, WIKA. (2020). *Post Tensioning Calculation PC-I girder for brigdes*. Jakarta. PT Wijaya Kaya Beton Tbk.
2. BETON, WIKA. (2020). *Technical Calculation*. Jakarta. PT. Wijaya Karya Beton Tbk
3. Budiadi, Andri. (2008). *Desain Praktis Beton Prategang*. Andi. Yogyakarta
4. Ilham, Noer. *Perhitungan balok prategang (PCI girder) jembatan srandakan kulon progo*. Yogyakarta
5. Imran, Iswandi 2000. *Perilaku struktur beton prategang*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
6. Nawy, E. G. (2001). *Beton Prategang*. Penerbit Erlangga, 3–5
7. Sa'idah, Nailis. (2015). *Perbandingan Besar Kehilangan Prategang Balok Beton Prategang Metode Pratarik dengan Pasca Tarik pada Flyover Bukittinggi*. Tugas Akhir Teknik Sipil.
8. Standar Nasional Indoensia 2847 (2013). *Tata cara peritungan beton untuk bangunan gedung*. Surabaya Institut Teknologi Sepuluh Novemeber
9. INDONESIA, S. N. R. (2004). *Undang undang no 34 tahun 2004 tentang TNI*. 1, 1–42.

