

**ANALISIS PERBANDINGAN KEHILANGAN PRATEGANG  
AKIBAT VARIASI LETAK *TENDON* PADA *GIRDER*  
JEMBATAN BETON PRATEGANG**

**TUGAS AKHIR**

**IBHAM YAMIN**

**NIM: 111.15.004**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK DAN DESAIN  
INSTITUT TEKNOLOGI SAINS BANDUNG  
KOTA DELTAMAS  
AGUSTUS 2019**

**ANALISIS PERBANDINGAN KEHILANGAN PRATEGANG  
AKIBAT VARIASI LETAK *TENDON* PADA *GIRDER*  
JEMBATAN BETON PRATEGANG**

**TUGAS AKHIR**

**IBHAM YAMIN**

**NIM: 111.15.004**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi Teknik Sipil



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK DAN DESAIN  
INSTITUT TEKNOLOGI SAINS BANDUNG  
KOTA DELTAMAS  
AGUSTUS 2019**

## **HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.**

**NAMA : Ibham Yamin**

**NIM : 111.15.004**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 28 Agustus 2019**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**ANALISIS PERBANDINGAN KEHILANGAN PRATEGANG  
AKIBAT VARIASI LETAK *TENDON* PADA *GIRDER*  
JEMBATAN BETON PRATEGANG**

**TUGAS AKHIR**

**Ibham Yamin**

**111.15.004**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik  
Pada Program Studi Teknik Sipil*

Disetujui dan Disahkan  
Kota Deltamas, 28 Agustus 2019

Pembimbing I

Pembimbing II

Siswanti Zuraida, S.T., M.T.

NIK. 19900305201510508

Ilham, S.T., M.T.

NIK. 19840703201704541

Mengetahui  
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. L. Bambang Budi P., M.T.

NIK. 19731106201510501

## **KATA PENGANTAR**

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan kesehatan jasmani dan rohani kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat disusun dan diselesaikan.

Saya menyadari bahwa tanpa bantuan berbagai pihak proposal ini tidak dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, kami mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Ir. L. Bambang Budi P., MT. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi dan Sains Bandung.
2. Ibu Annisa., MT. selaku Dosen Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi dan Sains Bandung.
3. Ibu Siswanti Zuraida., MT. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi dan Sains Bandung.
4. Bapak Ilham Yunus., MT. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi dan Sains Bandung.
5. Dosen-Dosen Program Studi Teknik Sipil Institut Teknologi dan Sains Bandung.
6. Beserta Rekan-rekan yang telah membantu dalam penyelesaian Proposal Tugas Akhir ini.

Saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Proposal Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Dalam penulisan proposal ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis bersedia untuk menerima kritik dan saran atas kekurangan, kesalahan, dan ketidak-ilmiahannya dari susunan dan isi proposal ini.

Demikian kata pengantar yang dapat penulis sampaikan, atas perhatiannya penulis mengucapkan terima kasih.

Kota Deltamas, 28 Agustus 2019

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Institut Teknologi Sains Bandung, saya yakin bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ibham Yamin  
NIM : 111.15.004  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik dan Desain  
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Institut Teknologi dan Sains Bandung Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Nonexclusive Royalty-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**ANALISIS PERBANDINGAN KEHILANGAN PRATEGANG  
AKIBAT VARIASI LETAK *TENDON* PADA *GIRDER*  
JEMBATAN BETON PRATEGANG.**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Institut Teknologi dan Sains Bandung berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Kota Deltamas  
Pada tanggal : 28 Agustus 2019  
Yang menyatakan,

(Ibham Yamin)

## ABSTRAK

Pemberian tegangan pada beton prategang mengakibatkan kehilangan gaya prategang (*loss prestressed*). Bentuk yang umum digunakan pada balok pratarik adalah tendon lurus dan untuk balok pascatarik adalah tendon lengkung. Dalam perencanaan struktur jembatan beton prategang kehilangan gaya prategang harus dipertimbangkan, karena tegangan pada tendon beton prategang berkurang secara kontinu seiring berjalannya waktu. Banyaknya faktor yang saling terkait, untuk keefektifan desain letak tendon di sepanjang bentang perlu diperhatikan, hingga tarik yang terjadi di serat ekstrim balok hanya terbatas atau tidak ada sama sekali di penampang. Penelitian pada tugas akhir ini penulis menggunakan PC I, U, dan Box Girder dengan 4 kondisi letak tendon yaitu kabel tendon lurus ditempatkan berada pada sumbu netral sehingga eksentrisitas = 0 (kondisi1), kabel tendon lurus ditempatkan berada pada  $1/6 h$  sehingga eksentrisitas  $\neq 0$  (kondisi2), kabel tendon memiliki lintasan berbentuk *draped* /parabola (kondisi3), dan kondisi tendon memiliki lintasan berbentuk *harped* (kondisi4). Hasil kehilangan prategang terbesar adalah PC I Girder (kondisi2) = 395.81 MPa (26.07%), PC U Girder (kondisi3) = 418.77 MPa (27.58%), dan PC Box Girder (kondisi4) = 371.14 MPa (24.44%), sedangkan kehilangan prategang terkecil adalah PC I Girder (kondisi3) = 367.44 MPa (24.2%), PC U Girder (kondisi3) = 364.12 MPa (23.9%), dan PC Box Girder (kondisi2) = 359.81 MPa (23.6%). Kondisi 1 pada semua bentuk girder tidak cocok digunakan karena melampaui nilai tegangan yang diizinkan pada tegangan izin dan lendutan izin pada semua bentuk girder aman untuk setiap kondisi.

Kata-kunci: kehilangan prategang, variasi tendon, kontrol tegangan, kontrol lendutan.

## ABSTRACT

Prestressed force loss always occurs in prestressed concrete (loss prestressed). The most common form used in pre-tensile beams is straight tendons and for post-tensile beams are curved tendons. In planning a prestressed concrete bridge structure, the loss of prestressed force must be considered, because the stress on the prestressed concrete tendon decreases continuously over time. The number of factors that are interrelated, for the effectiveness of the design, location of tendons along the spans need to be considered, so that the tensile strength that occurs in the extreme fiber beam is limited or none at all in the cross section. This final project will examine the shape of the PC beam I, U, and Box Girder with 4 tendon setting conditions namely straight tendon cable which is on the neutral axis so that the eccentricity = 0 (condition 1), straight tendon cable which is at  $1/6 h$  so that the eccentricity  $\neq 0$  (condition 2), tendon cable with draped / parabolic shape (condition 3), and tendon condition with harped shape (condition 4). The biggest prestressed loss results were PC I Girder (condition 2) = 395.81 MPa (26.07%), followed by PC U Girder (condition 3) = 418.77 MPa (27.58%), and PC Box Girder (condition 4) = 371.14 MPa (24.44%), while the smallest prestressed loss is PC I Girder (condition 3) = 367.44 MPa (24.2%), followed by PC U Girder (condition 3) = 364.12 MPa (23.9%), and PC Box Girder (condition 2) = 359.81 MPa (23.6%). Condition 1 in all forms of girders is not suitable for use because it exceeds the value of the allowable stress at the limit of prestressed and deflection permits on all forms of girders are safe for each condition.

Keywords: loss of prestressed, tendon variation, tension control, deflection control



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....</b>	<b>iv</b>
<b>TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR NOTASI.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1    LATAR BELAKANG.....	1
1.2    IDENTIFIKASI MASALAH.....	2
1.3    RUMUSAN MASALAH .....	3
1.4    BATASAN MASALAH .....	3
1.5    TUJUAN PENELITIAN .....	4
1.6    MANFAAT PENELITIAN.....	4
1.7    SISTEMATIKA PENULISAN .....	4
<b>BAB II .....</b>	<b>6</b>
<b>TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
2.1    JEMBATAN BETON PRATEGANG .....	6
2.2    PEMBEBANAN JEMBATAN .....	6
2.2.1    Berat Sendiri .....	6
2.2.2    Beban Mati Tambahan .....	7
2.2.3    Beban Lalu Lintas .....	7
2.2.4    Gaya Rem.....	10

2.2.5	Beban Angin .....	10
2.2.6	Beban Gempa .....	10
2.3	BETON PRATEGANG .....	11
2.3.1	Prinsip Dasar .....	11
2.3.2	Metode Prategang .....	14
2.3.3	Material Beton Prategang .....	16
2.4	STRUKTUR BETON PRATEGANG .....	18
2.4.1	Gaya Prategang .....	18
2.4.2	Analisa Prategang .....	19
2.4.3	Tegangan Izin Pada Beton Prategang .....	21
2.4.4	Kontrol Lendutan .....	21
2.5	KEHILANGAN PRATEGANG .....	22
2.5.1	Kehilangan Jangka Pendek .....	22
2.5.2	Kehilangan Jangka Panjang .....	24
2.5.3	Penelitian Kehilangan Prategang .....	27
<b>BAB III.....</b>		<b>28</b>
<b>METODOLOGI.....</b>		<b>28</b>
3.1	DATA PERENCANAAN .....	28
3.1.1	Data Jembatan Beton Prategang .....	28
3.1.2	Spesifikasi Bahan .....	30
3.2	PEMODELAN STRUKTUR .....	31
<b>BAB IV .....</b>		<b>34</b>
<b>ANALISA PENAMPANG PCI GIRDER .....</b>		<b>34</b>
4.1	ANALISIS PENAMPANG DAN PEMBEBANAN JEMBATAN .....	34
4.1.1	<i>Section Properties</i> Balok Prategang dan Balok Komposit .....	34
4.1.2	Kombinasi Momen Akibat Pembebanan .....	37
4.2	KEHILANGAN PRATEGANG PC I GIRDER.....	38
<b>BAB V .....</b>		<b>41</b>
<b>ANALISA PENAMPANG PC U GIRDER .....</b>		<b>41</b>
5.1	ANALISIS PENAMPANG DAN PEMBEBANAN JEMBATAN .....	41
5.1.1	<i>Section Properties</i> Balok Prategang dan Balok Komposit .....	41
5.1.2	Kombinasi Momen Akibat Pembebanan .....	44

5.2	KEHILANGAN PRATEGANG PC U <i>GIRDER</i> .....	45
<b>BAB VI.....</b>		<b>48</b>
<b>ANALISA PENAMPANG PC BOX <i>GIRDER</i> .....</b>		<b>48</b>
6.1	ANALISIS PENAMPANG DAN PEMBEBANAN JEMBATAN .....	48
6.1.1	<i>Section Properties</i> Balok Prategang .....	48
6.1.2	Kombinasi Momen Akibat Pembebanan .....	50
6.2	KEHILANGAN PRATEGANG PC BOX <i>GIRDER</i> .....	51
<b>BAB VII .....</b>		<b>53</b>
<b>PEMBAHASAN .....</b>		<b>53</b>
7.1	KEHILANGAN PRATEGANG .....	53
7.2	KONTROL TEGANGAN.....	57
7.3	KONTROL LENDUTAN .....	60
<b>BAB VIII.....</b>		<b>62</b>
<b>PENUTUP.....</b>		<b>62</b>
8.1	KESIMPULAN .....	62
8.2	SARAN .....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>64</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>lxvi</b>
LAMPIRAN A .....		lxvii
LAMPIRAN B .....		lxxvi
LAMPIRAN C .....		lxxxii

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Beban lajur "D" .....	8
Gambar 2. 2 Pembebanan truk "T" (500 kN).....	9
Gambar 2. 3 Sistem prategang 1 .....	11
Gambar 2. 4 Sistem prategang 2 .....	12
Gambar 2. 5 Sistem prategang 3 .....	13
Gambar 2. 6 Metode pratarik .....	14
Gambar 2. 7 Metode pascatarik .....	15
Gambar 2. 8 Prategang eksentrisitas .....	18
Gambar 2. 9 Diagram tegangan .....	19
Gambar 2. 10 Prategang <i>konsentris</i> .....	20
Gambar 2. 11 Distribusi tegangan <i>tendon konsentris</i> .....	20
Gambar 2. 12 Distribusi tegangan pada <i>tendon eksentris</i> .....	21
Gambar 3. 1 Bentang balok prategang .....	28
Gambar 3. 2 PC I <i>girder</i> .....	28
Gambar 3. 3 PC U <i>girder</i> .....	29
Gambar 3. 4 PC box <i>girder</i> .....	29
Gambar 3. 5 Sketsa bentang <i>Girder</i> .....	31
Gambar 3. 6 Potongan Melintang .....	31
Gambar 3. 7 Potongan melintang PC U <i>girder</i> .....	32
Gambar 3. 8 Potongan melintang PC box <i>girder</i> .....	32
Gambar 3. 9 Kondisi – kondisi letak <i>tendon</i> .....	32
Gambar 3. 10 Diagram alir penelitian .....	33
Gambar 4. 1 Notasi dimensi balok prategang .....	34
Gambar 4. 2 Notasi pembagian dimensi .....	35
Gambar 4. 3 Penampang balok komposit .....	36
Gambar 5. 1 PC U <i>girder</i> .....	41

Gambar 5. 2 Notasi pembagian dimensi .....	42
Gambar 5. 3 Penampang balok komposit .....	43
Gambar 6. 1 PC box <i>girder</i> .....	48
Gambar 6. 2 Notasi pembagian dimensi .....	49
Gambar 7. 1 Letak variasi <i>tendon</i> .....	54
Gambar 7. 2 Grafik perbandingan jenis kehilangan .....	55
Gambar 7. 3 Grafik total kehilangan prategang .....	56
Gambar 7. 4 Diagram tegangan sesaat setelah transfer .....	58
Gambar 7. 5 Diagram tegangan pada saat beban layan .....	59

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jumlah lajur lalu lintas rencana.....	7
Tabel 2. 2 Spesifikasi <i>strand</i> 7 kawat .....	17
Tabel 2. 3 Kehilangan gesek kelengkungan dan <i>wobble</i> .....	23
Tabel 2. 4 Koefisien K dan Friksi .....	24
Tabel 2. 5 Nilai Ksh .....	25
Tabel 2. 6 Nilai KRE (koefisien relaksai) dan j (faktor waktu).....	26
Tabel 2. 7 Nilai C (faktor relaksasi).....	26
Tabel 2. 8 Hasil penelitian .....	27
Tabel 3. 1 Data prategang .....	28
Tabel 3. 2 Dimensi PC I <i>girder</i> .....	28
Tabel 3. 3 Dimensi PC U <i>girder</i> .....	29
Tabel 3. 4 Dimensi PC box <i>girder</i> .....	29
Tabel 3. 5 Berat isi bahan .....	30
Tabel 3. 6 Data kabel PC I <i>girder</i> .....	31
Tabel 4. 1 Dimensi balok prategang .....	34
Tabel 4. 2 Analisis dimensi balok prategang .....	35
Tabel 4. 3 Analisis penampang balok komposit .....	36
Tabel 4. 4 Kombinasi Pembebanan .....	37
Tabel 4. 5 Perhitungan Momen.....	37
Tabel 4. 6 Data variasi <i>tendon</i> .....	38
Tabel 4. 7 Kehilangan prategang pada setiap kondisi.....	39
Tabel 4. 8 Kontrol tegangan pada setiap kondisi .....	40
Tabel 4. 9 Kontrol lendutan pada setiap kondisi.....	40
Tabel 5. 1 Dimensi PC U <i>girder</i> .....	41
Tabel 5. 2 Analisis dimensi balok prategang .....	42

Tabel 5. 3 Analisis penampang balok komposit .....	43
Tabel 5. 4 Kombinasi pembebanan.....	44
Tabel 5. 5 Perhitungan momen .....	44
Tabel 5. 6 Data variasi <i>tendon</i> .....	45
Tabel 5. 7 Kehilangan prategang pada setiap kondisi.....	46
Tabel 5. 8 Kontrol tegangan pada setiap kondisi .....	47
Tabel 5. 9 Kontrol lendutan pada setiap kondisi.....	47
Tabel 6. 1 Dimensi PC box <i>girder</i> .....	48
Tabel 6. 2 Analisis dimensi balok prategang .....	49
Tabel 6. 3 Kombinasi pembebanan.....	50
Tabel 6. 4 Perhitungan momen .....	50
Tabel 6. 5 Data variasi <i>tendon</i> .....	51
Tabel 6. 6 Kehilangan prategang pada setiap kondisi.....	51
Tabel 6. 7 Kontrol tegangan pada setiap kondisi .....	52
Tabel 6. 8 Kontrol lendutan pada setiap kondisi.....	52
Tabel 7. 1 Kontrol tegangan.....	58
Tabel 7. 2 Kontrol tegangan beban layan .....	59
Tabel 7. 3 Kontrol lendutan setiap <i>girder</i> .....	60
Tabel 7. 4 Perbandingan variasi <i>tendon</i> .....	61

## DAFTAR NOTASI

- A = Luas penampang balok prategang ( $\text{mm}^2$ ).
- a = *Tendon* yang mengalami kehilangan prategang.
- b = *Tendon* yang mengalami penarikan kehilangan prategang.
- C = Faktor relaksasi.
- CR = Kehilangan tegangan akibat Rangkak pada beton (MPa).
- $C_{sm}$  = Koefisien respons gempa elastis
- $C_w$  = Koefisien seret
- e = Eksentrisitas *tendon* (mm).
- $e_a$  = Eksentrisitas *tendon* yang mengalami kehilangan penarikan prategang (mm).
- $e_b$  = Eksentrisitas *tendon* yang mengalami penarikan (mm).
- $E_c$  = Modulus elastis beton (Mpa).
- ES = Kehilangan tegangan akibat elastis pada beton (MPa).
- $E_s$  = Modulus elastis *strand* (Mpa).
- $E_Q$  = Gaya gempa horizontal statis (kN)
- F = gaya prategang.
- $f_{C(a,b)}$  = Tegangan rata-rata beton akibat gaya prategang ( $\text{N/mm}^2$ ).
- $f_{CA(a,b)}$  = Tegangan beton di tumpuan ( $\text{N/mm}^2$ ).
- $f_{CD(a,b)}$  = Tegangan beton di tengah bentang ( $\text{N/mm}^2$ ).
- $F_j$  = Gaya prategang awal (N).
- $F_o$  = Gaya prategang setelah kehilangan jangka pendek (N).



- h = tinggi parabola lintasan kabel prategang.
- I = Momen Inersia balok prategang ( $\text{mm}^4$ ).
- J = Faktor waktu.
- K = koefisien *wobble*.
- Kcr = Koefisien rangkai, 2 (pratarik) dan 1,6 (pascatarik).
- KRE = Koefisien Relaksasi.
- Ksh = Koefisien susut yang tergantung waktu.
- L = Panjang jembatan (m).
- L<sub>b</sub> = bentangan balok.
- L<sub>t</sub> = Panjang *tendon* (mm).
- M<sub>ADL</sub> = Beban momen mati tambahan.
- M<sub>BS</sub> = Beban Momen balok sendiri.
- n = Angka Ekuivalen dari Es/Eci.
- q = Intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa).
- RH = Kelembaban relatif udara.
- R<sub>d</sub> = Faktor modifikasi respon
- S = Luas permukaan beton (inch).
- SH = Kehilangan tegangan akibat susut pada beton (MPa).
- V = Volume beton (inch).
- V<sub>w</sub> = Kecepatan angin rencana (m/det)
- w<sub>b</sub> = beban merata kearah atas, akibat gaya prategang F.

$W_t$  = Berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup (kN)

$\Delta f_{ES(a,b)}$  = Kehilangan prategang akibat elastis beton ( $N/mm^2$ ).

$\mu$  = Koefisien gesek kelengkungan.

$\alpha$  = Sudut kelengkungan pada *tendon* (rad).

$\Delta a$  = Slip rata-rata (mm).

## DAFTAR LAMPIRAN

### LAMPIRAN A

*Section Properties* Balok Prategang, Balok Komposit, & Pembebanan.....lxvii

### LAMPIRAN B

Kehilangan Prategang. ....lxxvi

### LAMPIRAN C

Kontrol Tegangan dan Lendutan. ....lxxxii

