

Analisis Perbandingan Kehilangan Prategang akibat Metode *Stressing* Satu Arah dan Dua Arah pada Jembatan Beton Prategang

Selvia Rahma Rizkia¹⁾

Suyadi²⁾

Hasti Riakara Husni³⁾

Abstract

A prestressed concrete bridge is a construction structure bridging one location to another location and this is made by stressing strands with opposite force caused by the external loading. The stressing process can be done before the concrete is molded (pre-tensioning) and after the concrete is molded (post-tensioning). The stressing in the prestressed post-tensioning concrete can be done with two methods; the one way and two ways stressing. Stressing by using these two stressing methods may cause different prestress force loss in the concrete. The objective of this research was to find out the influence of one way and two ways stressing methods to the prestress force loss, analysis was conducted by estimating prestress forces, determining amounts and lines of stranded-wire tendons, estimating pre-stress force loss because of one way and two ways stressing methods and force controlling and deflection in the girder. This research used PC I girder, PC U girder, and box girder types. The analysis results showed that the prestress force loss in the one way stressing method in PC I girder was 30.826%, 30.3401% in PC U girder, and 31.885% in box girder. The prestress force loss in two ways stressing method was 29.8397% in PC I girder, 29.3169% in PC U girder, and 31.4955% in box girder. The conclusion was that the prestress force loss in the girder by using one way stressing method was bigger than in two ways stressing method.

Keywords: prestress concrete, stressing method, one way, two ways.

Abstrak

Jembatan beton prategang adalah suatu struktur konstruksi yang menghubungkan suatu tempat ke tempat lainnya yang dibuat dengan cara memberikan tegangan yang berlawanan dengan tegangan yang diakibatkan oleh beban eksternal. Proses pemberian tegangan dapat dilakukan sebelum beton dicetak (pratarik) atau setelah beton dicetak (pascatarik). Pemberian tegangan pada beton prategang pascatarik dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu *stressing* satu arah dan dua arah. Pemberian tegangan dengan menggunakan kedua metode *stressing* mengakibatkan kehilangan gaya prategang yang berbeda pada beton. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh metode *stressing* satu arah dan dua arah terhadap kehilangan prategang. Analisis yang dilakukan yaitu menghitung gaya prategang, menentukan jumlah dan lintasan tendon, menghitung kehilangan prategang akibat metode *stressing* satu arah dan dua arah, serta kontrol tegangan dan lendutan pada *girder*. Jenis *girder* yang digunakan pada penelitian ini adalah PC I *girder*, PC U *girder* dan *box girder*. Dari hasil analisis didapatkan hasil kehilangan prategang metode *stressing* satu arah pada PC I *girder* sebesar 30,826%, PC U *girder* sebesar 30,3401% dan *box girder* sebesar 31,8852%. Kehilangan prategang metode *stressing* dua arah pada PC I *girder* sebesar 29,8397%, PC U *girder* sebesar 29,3169% dan *box girder* sebesar 31,4955%. Dapat disimpulkan bahwa kehilangan prategang pada *girder* yang menggunakan metode *stressing* satu arah lebih besar dibandingkan kehilangan prategang pada *girder* yang menggunakan metode *stressing* dua arah.

Kata kunci : beton prategang, metode *stressing*, satu arah, dua arah.

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Surel : selviarahmarizkia99@gmail.com

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145. Surel : adi_unila@yahoo.co.id

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. Surel : hasti.riakara.h@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan salah satu struktur yang digunakan untuk sarana berpindahnya manusia dari tempat asal ke tempat tujuan. Selain itu jembatan juga berguna untuk memperpendek jarak tempuh dan juga memperlancar kegiatan berpindah. Jembatan dapat menghubungkan suatu tempat ke tempat yang lain dimana diantara kedua tempat tersebut terdapat rintangan seperti sungai, laut, lembah, jurang, drainase, jalan dan sebagainya.

Pada saat ini mulai dikenal jembatan yang menggunakan beton prategang pada strukturnya. Penggunaan sistem beton prategang untuk struktur jembatan biasanya diterapkan pada jembatan bentang menengah, bentang panjang dan jembatan jalan layang. Jembatan beton prategang terbagi menjadi tiga bagian yaitu struktur atas (*superstructures*), struktur bawah (*substructures*) dan fondasi. Struktur atas jembatan juga terdiri dari beberapa bagian yaitu trotoar, *slab* lantai kerja, *girder*, balok diafragma, ikatan pengaku dan tumpuan.

Girder adalah bagian struktur atas yang berfungsi menyalurkan beban berupa beban sendiri, beban mati, beban lalu lintas kendaraan, gaya rem, pejalan kaki dan sebagainya. Menurut sistem perancangannya, *girder* terdiri dari dua jenis yaitu *girder precast* dan *on site girder*. *Girder* sendiri memiliki banyak bentuk diantaranya PC I *girder*, PC U *girder*, *box girder* dan *voided slab* dimana setiap bentuk memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing.

Pada jembatan beton prategang ada salah satu pekerjaan penting yang harus dilakukan pada *girder* yaitu proses pemberian tegangan pada beton prategang yang dapat dilakukan sebelum beton dicetak (pratarik) atau setelah beton dicetak (pascatarik). Metode kerja *stressing* pada pascatarik terdiri dari dua cara yaitu metode satu arah dan dua arah. Pemberian tegangan pada beton prategang mengakibatkan kehilangan gaya prategang. Dalam perencanaan struktur jembatan beton prategang kehilangan gaya prategang harus dipertimbangkan, karena tegangan pada tendon beton prategang berkurang secara kontinu seiring berjalannya waktu.

Oleh karena beberapa hal diatas maka dilakukan penelitian mengenai perbandingan kehilangan gaya prategang pada jembatan beton prategang akibat metode *stressing* satu arah dan dua arah.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Jembatan

Jembatan adalah suatu konstruksi bangunan pelengkap sarana transportasi jalan yang menghubungkan suatu tempat ke tempat lainnya yang terputus akibat suatu rintangan tanpa menutup/menimbun rintangan tersebut. Rintangan yang dimaksud dapat berupa jalan kendaraan, jalan kereta api, sungai, drainase, lembah, jurang dan sebagainya.

2.2. Pembebanan Jembatan

Beban-beban yang bekerja pada desain struktur *girder* pada penelitian ini mengacu pada SNI 1725 (2016). Beban-beban yang bekerja adalah :

2.2.1. Berat Sendiri

Berat sendiri dari bagian bangunan adalah berat dari bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya. Termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non-struktural yang dianggap tetap.

2.2.2. Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur “D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar lajur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar lajur kendaraan itu sendiri. Beban truk “T” adalah satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Hanya satu truk “T” diterapkan per lajur lalu lintas rencana.

2.2.3. Gaya Rem

Gaya rem harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan.

2.2.4. Beban Angin

Gaya akibat tekanan angin pada kendaraan, dimana tekanan tersebut harus diasumsikan sebagai tekanan menerus sebesar 1,46 N/mm, tegak lurus dan bekerja 1800 mm di atas permukaan jalan.

2.2.5. Beban Gempa

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastik (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respon (R_d).

2.3. Beton Prategang

Beton adalah material yang mempunyai kuat tekan tinggi tetapi kuat tarik yang relatif rendah. Sedangkan baja adalah material yang mempunyai kekuatan tarik yang sangat tinggi. Sehingga dengan mengkombinasikan kedua material tersebut maka, akan tercipta material yang dapat menahan tekan dan tarik yang biasa dikenal sebagai beton bertulang. Pada beton bertulang, beton hanya memikul tegangan tekan, sedangkan tegangan tarik dipikul oleh baja sebagai penulangan (*rebar*). Sehingga pada beton bertulang, penampang beton tidak efektif 100% digunakan, karena bagian tertarik beton tidak diperhitungkan sebagai pemikul tegangan. Untuk mengatasi beberapa permasalahan yang ada, beton diberi tekanan awal sebelum beban-beban bekerja, sehingga seluruh penampang beton dalam keadaan tertekan seluruhnya, inilah yang kemudian disebut beton prategang (*prestressed concrete*).

2.4. Material Beton Prategang

2.4.1. Beton

Beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran (*admixture*) (SNI 2847:2013). Beton yang digunakan untuk beton prategang adalah yang mempunyai kekuatan tekan yang cukup tinggi dengan f'_c antara 30-45 MPa. Kuat tekan tersebut diperlukan untuk menahan tegangan tekan pada serat tertekan, pengangkuran tendon, mencegah terjadinya keretakan, mempunyai modulus elastisitas yang tinggi dan mengalami rangkai lebih kecil (Budiadi, 2008).

2.4.2. Baja Prategang

Baja prategang adalah elemen baja mutu tinggi seperti kawat, batang, atau strand, atau bundel elemen seperti itu, yang digunakan untuk menyalurkan gaya prategang ke beton

(SNI 2847:2013). Baja Prategang yang banyak digunakan untuk beton prategang adalah *strand* tujuh kawat. Spesifikasi *strand* 7 kawat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *Strand* 7 Kawat.

Diameter Nominal (mm)	Luas Nominal (mm ²)	Kuat Putus (kN)
6,35	23,22	40
7,94	37,42	64,5
9,53	51,61	89
11,11	69,68	120,1
12,7	92,9	160,1
15,24	139,35	240,2

2.4.3. Grouting

Grouting adalah bahan pengisi selubung baja prategang (tendon) pada beton prategang yang menggunakan metode pascatarik. *Grouting* terdiri dari semen *portland* dan air atau semen *portland* pasir dan air (SNI 2847,2013).

2.4.4. Selubung (*Sheathing*)

Selubung adalah material yang melingkupi baja prategang yang mencegah lekatan baja prategang dengan beton yang mengelilinginya, menyediakan perlindungan korosi dan mengandung pelapis (*coating*) pencegah korosi (SNI 2847,2013).

2.5. Metode Prategang

2.5.1. Pratarik (*Pre-Tensioning*)

Pada metode ini baja prategang diberi gaya prategang terlebih dahulu sebelum dicor. Setelah beton mengering dan cukup umur kuat untuk menerima gaya prategang, tendon dipotong dan dilepas, sehingga gaya prategang ditransfer ke beton.

2.5.2. Pascatarik (*Post-Tensioning*)

Pada metode ini beton dicor terlebih dahulu dengan cetakan yang telah disediakan lengkap dengan selongsong kabel prategang. Setelah beton cukup umur dan kuat memikul gaya prategang, kabel prategang dimasukkan dalam selongsong dan kemudian ditarik untuk mendapatkan gaya prategang. Penarikan kabel dapat menggunakan metode satu arah maupun dua arah.

2.6. Balok Gelagar (*Girder*)

Girder adalah bagian struktur atas yang berfungsi menyalurkan beban berupa beban kendaraan, berat sendiri *girder* dan beban-beban lainnya yang berada di atas *girder* ke bagian struktur bawah yaitu *abutment*. Menurut sistem perancangannya, *girder* terdiri dari dua jenis yaitu *girder precast* dan *on site girder*. *Girder* sendiri memiliki banyak bentuk diantaranya PC *voided slab*, PC I *girder*, PC U *girder* dan *box girder*.

2.7. Perhitungan Struktur Beton Prategang

2.7.1. Gaya Prategang

Pemberian gaya prategang pada beton prategang akan memberikan tegangan tekan pada penampang. Tegangan ini memberikan perlawanan terhadap beban luar yang bekerja. Gaya prategang diatur sesuai tegangan izin yang mengacu pada SNI 2847 (2013). besarnya tegangan maksimum pada serat penampang dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\sigma = \frac{-P}{A} \pm \frac{P \cdot e}{W} \pm \frac{M}{W} \quad (1)$$

2.7.2. Tegangan Izin pada Beton Prategang (SNI 2847,2013)

Tegangan izin beton sesaat sesudah penyaluran gaya prategang (sebelum terjadinya kehilangan prategang sebagai fungsi waktu) pada serat tekan ($0,6 \times f'_{c(awal)}$) dan pada serat tarik ($0,5 \times \sqrt{f'_{c(awal)}}$). Sedangkan tegangan pada beton saat beban layan (setelah mengalami semua kehilangan prategang) pada serat tekan ($0,45 \times f'_c$) dan pada serat tarik ($0,5 \times \sqrt{f'_c}$).

2.7.3. Kontrol Lendutan

Karena adanya eksentrisitas kabel prategang, elemen balok prategang biasanya melengkung ke atas pada saat momen luar yang bekerja masih kecil. Defleksi ke atas ini disebut *camber*. Sebaliknya beban luar yang bekerja akan menyebabkan defleksi ke bawah pada balok. Dalam perencanaan, besarnya defleksi ke atas dan ke bawah harus diperiksa dan dibatasi agar tidak melampaui batas yang diizinkan. $0,5 \times \sqrt{f'_c}$.

2.7.4. Lintasan Inti Tendon

Dalam menentukan lintasan tendon pada balok prategang digunakan rumus berikut :

$$Y = \frac{4 \cdot f_i \cdot X}{L^2} \cdot (L - X) \quad (2)$$

2.7.5. Sudut Angkur

Dalam menentukan sudut angkur pada balok prategang digunakan rumus berikut :

$$\frac{dY}{dX} = 4 \cdot f_i \cdot L \quad (3)$$

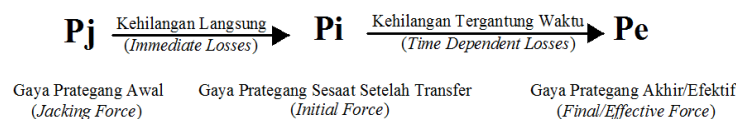
2.7.6. Tata Letak dan Trace Tendon

Dalam menentukan tata letak dan *trace* tendon digunakan rumus berikut :

$$z_i = z_i' - \left[\frac{4 \cdot f_i \cdot X}{L^2} \cdot (L - X) \right] \quad (4)$$

2.7.8. Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon dalam tahap pembebanan. Di dalam suatu sistem struktur beton prategang selalu terdapat kehilangan prategang, baik akibat sistem penegangan maupun akibat pengaruh waktu.



Gambar 1. Ilustrasi Kehilangan Prategang.

Kehilangan prategang langsung atau kehilangan sesaat adalah $P_j - P_i$ dan kehilangan prategang akibat pengaruh waktu adalah $P_i - P_e$. Kehilangan prategang langsung disebabkan oleh perpendekan elastis dari beton, gesekan sepanjang kelengkungan tendon

pada struktur pascatarik dan slip pada angkur. Sedangkan kehilangan prategang akibat pengaruh waktu disebabkan oleh perpindahan dari beton pada level baja akibat rangkai dan penyusutan beton serta relaksasi baja.

Kehilangan prategang langsung terdiri dari :

1. Kehilangan prategang akibat perpindahan elastis beton

Dalam menghitung kehilangan prategang akibat elastis beton dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\Delta f_{ES} = n \cdot f_{Cr(a,b)} \quad (5)$$

2. Kehilangan prategang akibat gesekan tendon

Kehilangan prategang ini terjadi akibat gesekan antara tendon dengan bahan sekitarnya (selubung tendon). Kehilangan ini langsung dapat diatasi dari penarikan tendon pada *jack*. Untuk menentukan kehilangan prategang akibat gesekan tendon dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$P_s = P_j \cdot e^{(\mu \alpha + KL)} \quad (6)$$

3. Kehilangan prategang akibat slip angkur

Kehilangan prategang akibat slip angkur terjadi sewaktu kawat dilepaskan dari mesin penarik dan ditahan baji pada angkur. Panjang atau besarnya slip tergantung tipe baji dan tegangan pada kawat tendon. Besarnya nilai rata-rata panjang slip adalah 2,5 mm. Untuk menentukan kehilangan prategang akibat slip angkur dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\Delta f_s = \epsilon_s \cdot E_s \quad (7)$$

Kehilangan prategang akibat pengaruh waktu terdiri dari :

1. Kehilangan prategang akibat rangkai pada beton

Rangkai pada beton terjadi karena deformasi akibat adanya tegangan pada beton sebagai suatu fungsi waktu. Pada struktur beton prategang, rangkai pada beton mengakibatkan berkurangnya tegangan pada penampang. Besarnya kehilangan prategang akibat rangkai pada beton dapat dihitung menggunakan rumus :

$$\Delta f_{CR} = C_t \cdot n \cdot f_c \quad (8)$$

2. Kehilangan prategang akibat susut pada beton

Susut pada beton merupakan perubahan volume pada beton yang dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor tersebut meliputi proporsi campuran, tipe agregat, tipe semen, waktu perawatan waktu antara akhir perawatan eksternal dan pemberian prategang, ukuran komponen struktur dan kondisi lingkungan. Kehilangan prategang akibat susut pada beton dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta f_{sh} = K_{sh} \cdot \epsilon_{sh} \cdot E_s \quad (9)$$

3. Kehilangan prategang akibat relaksasi baja

Relaksasi diartikan sebagai kehilangan dari tegangan tendon secara perlahan seiring dengan waktu dan besarnya gaya prategang yang diberikan dibawah regangan yang hampir konstan. Kehilangan prategang akibat relaksasi baja dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta f_{RE} = [K_{RE} - J \cdot (\Delta f_{SH} + \Delta f_{CR} + \Delta f_{ES})] \cdot C \quad (10)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1. Pemodelan Struktur

3.1.1. Data Struktur Desain Jembatan

Data struktur desain jembatan adalah sebagai berikut :

1. Bentang jembatan : 38 m
2. Lebar jembatan : 8,5 m
3. Jumlah jalur : 2 jalur
4. Lebar jalur : 3,5 m
5. Lebar trotoar dan pagar tepi : 1,5 m
6. Tebal plat lantai jembatan : 0,2 m
7. Tebal aspal : 0,1 m
8. Tinggi genangan air hujan : 0,05 m

3.1.2. Dimensi Girder

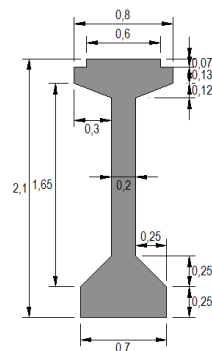
1. PC I Girder

Beam spacing

: 185 cm

Kuat tekan beton

: 500 kg/cm²



Gambar 2. Detail PC I Girder.

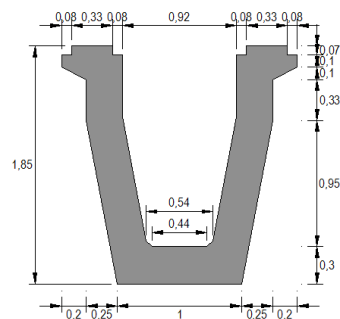
2. PC U Girder

Beam spacing

: 310 cm

Kuat tekan beton

: 600 kg/cm²

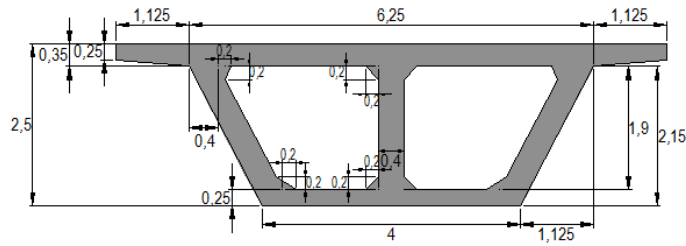


Gambar 3. Detail PC U Girder.

3. Box Girder

Kuat tekan beton

: 500 kg/cm²



Gambar 4. Detail *Box Girder*.

3.2. Model Jembatan

Jembatan yang digunakan pada penelitian ini adalah jembatan beton prategang pascatarik dengan tumpuan sederhana yang dimodelkan menggunakan 3 variasi *girder*, yaitu PC I *girder*, PC U *girder* dan *box girder*.

3.3. Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut :

1. Menentukan data struktur jembatan dan profil *girder*
2. Menghitung analisis penampang *girder*
3. Menghitung pembebanan pada jembatan
3. Menentukan gaya prategang
4. Menentukan jumlah dan lintasan tendon
5. Menghitung kehilangan prategang akibat metode *stressing* satu arah dan dua arah
6. Menghitung kontrol tegangan dan lendutan
7. Menyimpulkan bagaimana perbedaan kehilangan prategang akibat kedua metode *stressing*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Penampang

Analisis penampang dibutuhkan untuk mengetahui luas, titik berat, momen inersia dan modulus *section* pada balok, baik balok *precast* maupun balok komposit. Analisis penampang pada masing-masing *girder* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis Penampang.

Ket	PC I Girder		PC U Girder		Box Girder
	Balok Precast	Balok Komposit	Balok Precast	Balok Komposit	Balok Precast
A (m ²)	0,7523	1,1223	1,2927	1,9127	6,335
y _b (m)	1,016	1,4064	0,8854	1,2305	1,5389
y _a (m)	1,084	0,8936	0,9146	0,7695	0,9611
I (m ⁴)	0,4144	0,7633	0,4351	0,912	4,9861
W _a (m ³)	0,3823	0,8541	0,4757	1,1853	5,1879
W _b (m ³)	0,4079	0,5428	0,4914	0,7412	3,2401

4.2. Pembebanan pada Jembatan

Balok *girder* merupakan komponen struktur yang menerima beban kombinasi, baik beban mati, beban hidup, gaya rem, beban angin dan beban gempa. Dalam hal ini digunakan acuan pembebanan pada balok tengah, karena pada balok tengah menerima beban lebih besar dibandingkan beban yang diterima bagian tepi balok. Kombinasi pembebanan pada masing-masing *girder* dapat dilihat Tabel 3.

Tabel 3. Kombinasi Pembebanan.

Jenis Beban	Kode	PC I Girder		PC U Girder		Box Girder	
		Komb 1 (kNm)	Komb 2 (kNm)	Komb 1 (kNm)	Komb 2 (kNm)	Komb 1 (kNm)	Komb 2 (kNm)
Berat sendiri	MS	5317,9064	5317,9064	8511,1636	8511,1636	28640,74	28640,74
Beban mati tamb	MA	898,2583	898,2583	1505,1895	1505,1895	3398,815	3398,815
Beban lajur	TD	3894,62	3894,62	6526,12	6526,12	13157,5	13157,5
Gaya rem	TB	69,8412	69,8412	111,2287	111,2287	357,6381	357,6381
Beban angin	EW	135,5297	-	135,5297	-	271,0594	-
Beban gempa	EQ	-	1438,8349	-	2040,5764	-	7416,089
Jumlah	Mu	10316,156	11619,461	16789,232	18694,278	46419,983	53565,01

4.3. Gaya Prategang dan Jumlah Tendon

Jenis kabel yang digunakan *uncoated 7 wire super strands*, ASTM A-416 grade 270 dengan spesifikasi diameter standar 1,27 cm, modulus elastisitas 1960000 Mpa dan *effective section area* (A_{st}) 0,987 cm². Gaya prategang dan jumlah tendon pada masing-masing *girder* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Gaya Prategang dan Jumlah Tendon.

Keterangan	Kode	PC I Girder	PC U Girder	Box Girder
Titik berat tendon (m)	zo	0,135	0,25	0,3
Eksentrisitas tendon (m)	es	0,881	0,6354	0,1239
Momen beban sendiri (kNm)	Mbs	3170,7475	5492,7415	26700,3663
Teg. serat atas (kN/m ²)	σ_a	2880,9721	3155,9468	2880,9721
Teg. serat bawah (kN/m ²)	σ_b	19920	23904	19920
Gaya prategang awal (kN)	P _t	7936,7389	16974,7808	52128,0387
Jumlah tendon rencana (tendon)	n _t	4	8	18
Jumlah strand tiap tendon (strand)	n _s	16	17	23
Teg. Leleh strand	f _{py}	1303,117	1303,117	1303,117
Gaya prategang jacking	P _j	8232,3214	17493,6829	53252,8288

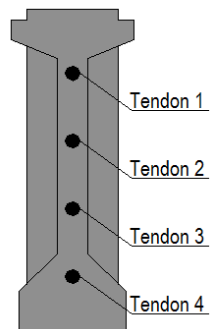
4.4. Posisi Tendon

Jarak posisi tendon pada masing-masing *girder* dapat dilihat pada Tabel 5.

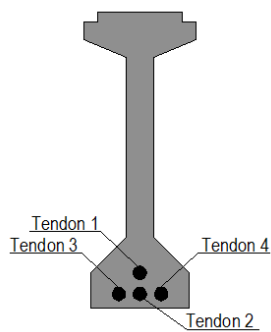
Tabel 5. Posisi Tendon dari Sisi Bawah Girder.

Baris Tendon	PC I Girder		PC U Girder		Box Girder	
	Tengah Bentang	Tumpuan	Tengah Bentang	Tumpuan	Tengah Bentang	Tumpuan
1	240	1682	350	1341	450	1939
2	100	1238	350	1037	300	1539
3	100	794	150	734	150	1139
4	100	350	150	430	-	-

4.4.1. Posisi Tendon pada PC I Girder

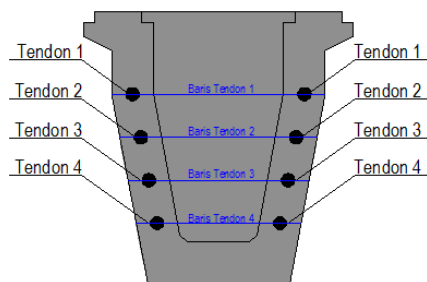


Gambar 5. Posisi Tendon di Tumpuan (PC I Girder).

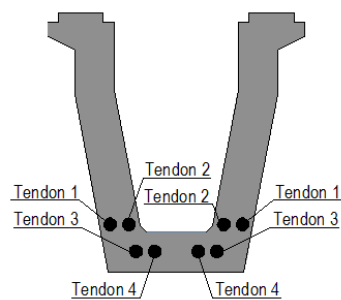


Gambar 6. Posisi Tendon di Tengah Bentang (PC I Girder).

4.4.2. Posisi Tendon pada PC U Girder

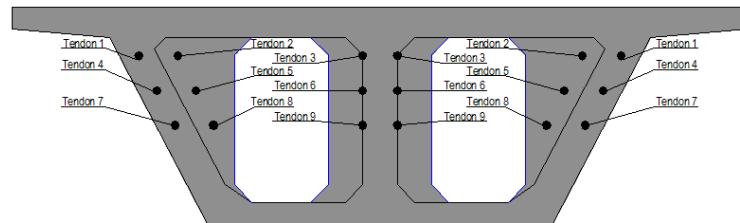


Gambar 7. Posisi Tendon di Tumpuan (PC U Girder).

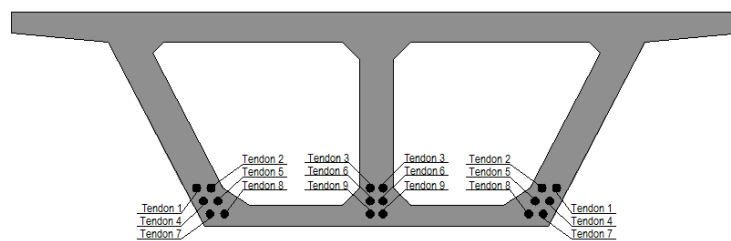


Gambar 8. Posisi Tendon di Tengah Bentang (PC U Girder).

4.4.3. Posisi Tendon pada Box Girder



Gambar 9. Posisi Tendon di Tumpuan (*Box Girder*).



Gambar 10. Posisi Tendon di Tengah Bentang (*Box Girder*).

4.5. Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang pada masing-masing *girder* akibat metode *stressing* satu arah dan dua arah dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Kehilangan Prategang.

Kehilangan Prategang		PC I Girder		PC U Girder		Box Girder	
		Satu Arah	Dua Arah	Satu Arah	Dua Arah	Satu Arah	Dua Arah
Pemendekan beton	elastis	3,6746	2,5142	3,8048	2,601	4,2332	3,7748
Gesekan tendon		3,3134	3,3134	2,8154	2,8154	4,0301	4,0301
Slip ankur		0,9752	0,9752	0,974	0,974	1,0162	1,0162
Rangkak pada beton		13,3917	13,3917	13,3599	13,3599	13,6949	13,6949
Susut pada beton		1,6853	1,6853	1,6174	1,6174	0,6536	0,6536
Relaksasi baja		7,7859	7,96	7,7686	7,9492	8,2571	8,3259
Total kehilangan prategang		30,826	29,8397	30,3401	29,3169	31,8852	31,4955

4.6. Kontrol Tegangan dan Lendutan

Kontrol tegangan izin dan lendutan pada masing-masing *girder* dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Kontrol Tegangan.

Kontrol Tegangan		PC I Girder	Box Gitder	Teg. Izin	PC U Girder	Teg. Izin
Sesaat Setelah Penegangan	Atas	-0,9043	-1,2358	2,881	-2,4591	3,1559
	Bawah	-18,6639	-17,8581	-19,92	-22,2308	-23,904
Pada Saat Layan	Atas	-8,0495	-7,3885	-18,675	-8,9223	-22,41
	Bawah	1,5378	-3,0634	3,221	0,0368	3,5285

Tabel 8. Kontrol Lendutan

Kontrol Lendutan	PC I Girder (mm)	PC U Girder (mm)	Box Girder (mm)	Lendutan Izin (mm)
Kondisi Awal	22,4705	56,0925	36,0335	152
Kondisi Akhir	-40,2085	-35,9475	-7,0465	152

5. KESIMPULAN

Metode *stressing* pada beton prategang pascatarik berpengaruh pada kehilangan prategang khususnya pada kehilangan prategang akibat elastis tendon dan kehilangan prategang akibat relaksasi baja. Metode *stressing* satu arah menghasilkan kehilangan prategang lebih besar daripada metode *stressing* dua arah. Hal ini berlaku pada semua bentuk girder yang dianalisis, yaitu PC I girder, PC U girder dan box girder.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiadi, Andri, 2008, *Desain Praktis Beton Prategang*, Penerbit: Penerbit Andi, Yogyakarta, 498 hlm.
- Ilham, M. Noer, 2008, *Perhitungan Box Girder Beton Prestress*, Yogyakarta.
- Nawy, Edward. G., 2001, *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar Edisi Ketiga*, Penerbit : Erlangga, Jakarta, 452 hlm.
- RSNI T-12, 2004, *Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 1725, 2016, *Pembebanan untuk Jembatan*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 2847, 2013, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.