

Analisis pengaruh jumlah *strand* terhadap persentase *jacking force*

Andien Putri Aulia^{1,*}, Astriana Hardawati¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Article Info

Available online

Keywords:

Number of strands
Jacking force
Prestress loss
Post-tensioning
PCI girder

Corresponding Author:

Andien Putri Aulia
22511071@students.uii.ac.id

Abstract

Prestressed bridges are widely used in highway construction. In designing prestressing, there are many considerations to achieve effective results. One parameter is interrelated with another. For example, the number of strands is related to the percentage of jacking force. In detail, this study examines how the number of strands affects the percentage due to jacking force in post-tensioned PCI beams for the Yogyakarta-Bawen Toll Road Project (Package 1 Part 1). A quantitative analytical approach is applied using project documents and relevant loading and design provisions. Variations in the number of strands from 46 to 62 are evaluated by comparing the percentage of jacking force. The results show that increasing the number of strands reduces the percentage of jacking force, from 79.38 percent at 46 strands to 58.89 percent at 62 strands. Although the number of strands affects the distribution of jacking force, the difference in the percentage of jacking-related prestress across the various variations is relatively small. Therefore, the effect of strand variation on the percentage of prestress due to jacking force is not significant, but this is a first step to find prestress loss. so that other loss components may be more dominant in the total prestress loss.

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

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

Dalam pembangunan infrastruktur jalan tol dan jembatan pada proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 Seksi 1, penggunaan beton prategang dengan metode *post-tensioning* menjadi pilihan utama untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan struktur. Pada metode ini, baja tendon ditarik setelah beton dicor dan mencapai kekuatan tertentu, yang bertujuan untuk mengimbangi

tegangan tarik yang terjadi selama penggunaan struktur tersebut.

Beton prategang erat kaitannya dengan kehilangan gaya prategang, karena gaya yang diberikan tidak seluruhnya bertahan hingga kondisi layan. Salah satu tahap paling krusial adalah penarikan tendon. Menurut Post-tensioning Institute (PTI), *jacking force* adalah gaya sementara yang diberikan oleh stressing jack pada tendon selama proses stressing. Ketika gaya ini ditransfer ke sistem ankur dan bekerja sepanjang lintasan tendon, sebagian gaya berkurang sehingga termasuk kehilangan gaya prategang awal (*initial losses*) pada sistem *post-tensioning*.

Penelitian mengenai struktur prategang rata-rata membahas desain tendon dengan variasi tata letak (Digo & Juliafad, 2023) dan desain beton prategang (Hidayati dkk., 2024). Meski demikian, kehilangan prategang

pernah diteliti oleh Sari dkk. (2022) mengenai kehilangan total dan Yamin dkk. (2020) mengenai variasi tata letak tendon.

Yamin dkk. (2020) membahas mengenai bagaimana perubahan posisi tendon dapat mempengaruhi distribusi gaya prategang, tegangan, dan lenturan pada balok. Selain itu, Jepriani dkk. (2020) dalam penelitian mereka membandingkan besarnya kehilangan gaya prategang yang terjadi pada girder tipe PCI dan PCU di Jembatan Mahakam IV, Kota Samarinda, dijelaskan bahwa penerapan prategang pasca pengecoran menyebabkan kehilangan gaya akibat friksi tendon, pengangkur, rangkai dan susut beton, serta relaksasi baja. *Loss of Prestress* tersebut kemudian diklasifikasikan ke dalam dua kategori, yaitu kehilangan jangka pendek dan kehilangan jangka panjang.

Salah satu permasalahan penting pada struktur beton prategang adalah berkurangnya gaya prategang yang disebabkan oleh berbagai faktor yang bekerja selama maupun setelah proses penegangan. ACI 423.10R-16 menyatakan bahwa kehilangan awal mencakup kehilangan selama proses *stressing*, yang salah satunya muncul akibat *jacking force*. Namun demikian, kehilangan total prategang tidak hanya dipengaruhi oleh *jacking force*. Kehilangan ini juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti *anchorage friction*, *jack friction*, *elastic shortening*, dan *relaxation of tendon*.

Jumlah strand pada balok beton prategang memengaruhi distribusi gaya dan berpotensi meningkatkan kehilangan gaya prategang saat proses *jacking*. Semakin banyak strand, kapasitas balok meningkat, tetapi peluang

kehilangan gaya saat penarikan tendon juga dapat bertambah Nawy (2001).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jumlah *strand* terhadap persentase akibat *jacking force* pada balok beton prategang dalam proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 Seksi 1, dengan mengacu pada pedoman SNI 1725:2016 yang mengatur spesifikasi beton prategang dalam konstruksi jalan raya dan jembatan.

Lin.Y.T & Burns (1988) mengatakan dalam bukunya bahwa penggunaan jumlah *strand* yang tepat dapat meminimalkan kehilangan gaya prategang yang disebabkan oleh faktor-faktor seperti gesekan angkur dan pengaruh persentase *jacking force*, yang pada akhirnya berkontribusi pada stabilitas dan daya tahan struktur beton prategang.

Sejalan dengan itu, melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai hubungan antara jumlah *strand* dengan persentase *jacking force* dan juga kehilangan gaya prategang, serta dampaknya terhadap perencanaan dan pelaksanaan struktur beton prategang yang efisien dan optimal dalam jangka panjang.

Metode Penelitian

Jenis penelitian

Jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan menggunakan metode analitis yang mengacu pada SNI 1725:2016. Teknik pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini yaitu berupa studi dokumen. Dokumen diperoleh dari instansi terkait.

Denah lokasi proyek

Lokasi penelitian dalam penelitian ini berada pada proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 Seksi 1 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Proyek Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 Seksi 1

A. Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data Analisis yang difokuskan pada PCI Girder dengan kategori bentang panjang. Rincian data jembatan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Jembatan

Keterangan	Kode	Ukuran	Satuan
Total Panjang balok	L	40,8	m
Tinggi girder	H	2,10	m
Jarak antar balok prategang	S	2,48	m
Tebal plat lantai jembatan	t-slab	0,20	m
Ketebalan aspal+overlay	t-aspal	0,10	m
Kuat tekan beton	fc'	41,50	MPa
Kuat tekan beton plat	fc'	24,90	MPa
Total berat balok	w	705,7	kN

Dimensi balok PCI Girder dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi Balok PCI Girder

Gambar	Kode	Lebar (m)	Kode	Tebal (m)
	b1	0,64	h1	0,07
	b2	0,80	h2	0,13
	b3	0,30	h3	0,12
	b4	0,20	h4	1,28
	b5	0,25	h5	0,25
	b6	0,70	h6	0,25
			h	2,10

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

Tabel 3. Spesifikasi Tendon Prategang

Jumlah untai tendon	-	62	buah
Diameter tendon	d	15.24	mm
Luas tampang <i>strand</i>	Ast	140	mm ²
Modulus elastisitas	Es	195000	MPa
Kuat tarik <i>strand</i>	fpu	1860	MPa
Tegangan leleh <i>strand</i>	fpy	1674	MPa

B. Tahapan Penelitian

1. Kajian Teori

Kajian Teori dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari berbagai referensi terlebih dahulu yang akan dijadikan sebagai acuan dalam melakukan analisis kehilangan tegangan.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan meminta secara langsung kepada konsultan pengawas tentang dokumen-dokumen yang dibutuhkan.

3. Analisis Penampang

Analisis penampang dibutuhkan untuk mengetahui luas, titik berat, momen inersia dan modulus *section* pada balok. perhitungan tersebut dapat dilakukan

dengan menggunakan persamaa 1 hingga 6 berikut ini.

Luas Penampang balok prategang

Letak titik berat :

$$y_b = \frac{\Sigma A * y}{\Sigma A} \quad (1)$$

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

dengan,

ΣA = Total luas tampang (m^2)

y = Jarak terhadap alas (m)

h = Tinggi total balok (m)

Momen inersia terhadap alas balok :

$$I_o = \Sigma A * y^2 + \Sigma I_o \quad (3)$$

dengan,

ΣI_o = Total inersia momen (m^4)

Momen inersia terhadap titik berat balok

$$I_x = I_o - A * y_b^2 \quad (4)$$

dengan,

A = Luas tampang (m^2)

Tahanan Momen sisi atas dan bawah

$$W_a = \frac{I_x}{y_a} \quad (5)$$

$$W_b = \frac{I_x}{y_b} \quad (6)$$

dengan,

I_x = Momen inersia terhadap titik berat balok (m^4)

Analisis penampang pada Girder dapat dilihat pada Tabel 4.

4. Pembebanan

1) Beban mati

Berat sendiri balok = 17,29 kN/m

Plat lantai = 9 kN/m

Deck slab = 2,03 kN/m

Diafragma = 3,73 kN/m

2) Beban mati tambahan

Aspal = 3,96 kN/m

Air hujan = 0,88 kN/m

3) Beban lajur "D"

Q = 17,17 kN/m

P = 152,46 kN/m

4) Gaya rem

M = 105,50 kNm

5) Beban angin

Q = 1,00 kNm

6) Beban gempa

$$Q = 3,68 \text{ kNm}$$

5. Analisis Momen dan Gaya Geser

Analisis Momen dan Gaya geser untuk balok prategang tipe PCI Girder dapat dihitung dengan persamaan 7 hingga 18 berikut ini.

Beban Mati:

$$\text{Momen} = \frac{1}{8} \times Q \times L^2 \quad (7)$$

$$\text{Gaya Geser} = \frac{1}{2} \times Q \times L \quad (8)$$

Beban Mati Tambahan:

$$\text{Momen} = \frac{1}{8} \times Q \times L^2 \quad (9)$$

$$\text{Gaya Geser} = \frac{1}{2} \times Q \times L \quad (10)$$

Lajur "D" :

$$\text{Momen} = \frac{1}{8} \times Q \times L^2 + \frac{1}{4} \times P \times L \quad (11)$$

$$\text{Gaya Geser} = \frac{1}{2} \times Q \times L + \frac{1}{2} \times P \quad (12)$$

Gaya Rem :

$$\text{Momen} = \frac{1}{8} \times Q \times L^2 \quad (13)$$

$$\text{Gaya Geser} = \frac{M}{L} \quad (14)$$

Angin :

$$\text{Momen} = \frac{1}{8} \times Q \times L^2 \quad (15)$$

$$\text{Gaya Geser} = \frac{1}{2} \times Q \times L \quad (16)$$

Gempa :

$$\text{Momen} = \frac{1}{8} \times Q \times L^2 \quad (17)$$

$$\text{Gaya Geser} = \frac{1}{2} \times Q \times L \quad (18)$$

dengan,

Q = Beban (kN/m)

L = Panjang balok (m)

M = Beban gaya rem (kNm)

Dari persamaan tersebut didapatkan hasil perhitungan momen dan gaya geser dapat dilihat pada Tabel 5.

6. Analisis Kehilangan Prategang

Kehilangan prategang yaitu pengurangan gaya yang bekerja pada tendon dalam tahap pembebanan.

1) Kondisi Awal (Saat Transfer)

Kuat tekan beton

$$f_c' = 41500 \text{ kPa}$$

Dimana,

K = Mutu beton

Kuat tekan beton kondisi awal

$$F_{ci}' = 33200 \text{ kPa}$$

Section properties :

$$W_a = 0,3795 \text{ m}^3$$

$$W_b = 0,4104 \text{ m}^3$$

$$A = 0,6783 \text{ m}^2$$

Jarak titik berat

$$Z_o = 0,155 \text{ m}$$

Eksentrisitas tendon dapat dihitung dengan persamaan 19 berikut.

$$e_s = y_b - Z_o \quad (19)$$

dengan,

Y_b = Letak titik berat (m)

Z_o = Jarak titik berat (m)

Dari persamaan 19 di atas didapatkan hasil eksentrisitas tendon sebesar 0,8540 m.

Besarnya gaya prategang awal dapat dihitung pada tegangan di serat atas dan tegangan serat di bawah menggunakan persamaan 20 dan 21 sebagai berikut.

Tegangan serat atas:

$$P_{t1} = \frac{M_{balok}}{e_s - \frac{W_a}{A}} \quad (20)$$

Tegangan serat bawah:

$$P_{t2} = \frac{0,60 \times F_{ci} \times W_b + M_{balok}}{\frac{W_b}{A} + e_s} \quad (21)$$

dengan,

M_{balok} = Momen balok (kNm)

e_s = Eksentrisitas tendon (m)

W_a = Tahanan momen sisi atas (m³)

W_b = Tahanan momen sisi bawah (m³)

A = Luas penampang (m²)

Dari persamaan 20 dan 21 tersebut didapatkan hasil tegangan serat atas 12221,531 kN dan tegangan serat bawah 8069,41 kN. Sehingga diambil besarnya gaya prategang sebesar 8069,41 kN.

2) Kondisi Akhir

Gaya prategang awal

$$P_t = 8069,41 \text{ kN}$$

Beban putus satu tendon

$$P_{b1} = 3120 \text{ kN}$$

Beban putus satu *strand*

$$P_{bs} = 260 \text{ kN}$$

Jumlah tendon yang diperlukan dapat dihitung dengan persamaan 22 berikut.

$$n_t = \frac{P_t}{0,85 \times 0,80 \times P_{b1}} \quad (22)$$

dengan,

P_t = Gaya prategang awal (kN)

P_{b1} = Beban putus satu tendon (kN)

Dari persamaan 22 di atas didapatkan hasil jumlah tendon 3,803 tendon, Sehingga diambil jumlah tendon sebanyak 4 tendon.

Untuk perhitungan jumlah kawat untai yang diperlukan dapat dihitung dengan persamaan 23 berikut.

$$n_s = \frac{P_t}{0,85 \times 0,80 \times P_{bs}} \quad (23)$$

Dengan,

P_t = Gaya prategang awal (kN)

P_{bs} = Beban putus satu *strand* (kN)

Didapatkan jumlah kawat untai yang diperlukan yaitu 46 *strands*, tetapi yang digunakan di lapangan sebanyak 62 *strands*.

Presentase *jacking force* dapat dihitung dengan persamaan 24 berikut.

Dengan syarat < 80%.

$$P_o = \frac{P_t}{0,85 \times n_s \times P_{bs}} \quad (24)$$

Dimana,

P_t = Gaya prategang awal (kN)

n_s = Jumlah kawat untai

P_{bs} = Beban putus satu *strand* (kN)

Gaya prategang yang terjadi akibat *jacking* dihitung dengan persamaan 25 berikut.

$$P_j = P_o \times n_s \times P_{bs} \quad (25)$$

Dimana,

P_o = Presentase tegangan leleh pada baja

n_s = Jumlah kawat untai

P_{bs} = Beban putus satu *strand* (K_n)

Dari persamaan 25 tersebut didapatkan hasil gaya prategang yang terjadi akibat *jacking* adalah 9793,4230 kN.

Diperkirakan kehilangan tegangan sebesar 30%, sehingga gaya prategang akhir setelah kehilangan tegangan

sebesar 30% dapat dihitung dengan persamaan 26 berikut.

$$P_{eff} = 70\% \times P_j \quad (26)$$

Dimana,

P_j = Gaya prategang yang terjadi akibat *jacking* (kN).

Dari persamaan 26 didapatkan hasil gaya prategang akhir setelah kehilangan tegangan sebesar 30% adalah 6645,40 kN.

Pembahasan

Penentuan jumlah strands

Berdasarkan persamaan 23 diatas, di dapatkan jumlah *strand* yang diperlukan yaitu 46 *strand* untuk memastikan balok prategang memenuhi kriteria kekuatan dan kriteria layan. Akan tetapi, dalam

pelaksanaannya di lapangan *strand* yang digunakan sebanyak 62 *strand*, sehingga terdapat selisih yang cukup signifikan dibanding dengan hasil desain.

Kondisi ini menunjukkan bahwa penentuan konfigurasi *strand* pada tahap pelaksanaan tidak hanya berorientasi pada kebutuhan minimum, tetapi juga mempertimbangkan kemudahan pelaksanaan, keseragaman produksi pabrik, serta faktor keamanan tambahan untuk mengantisipasi variasi beban dan kehilangan prategang.

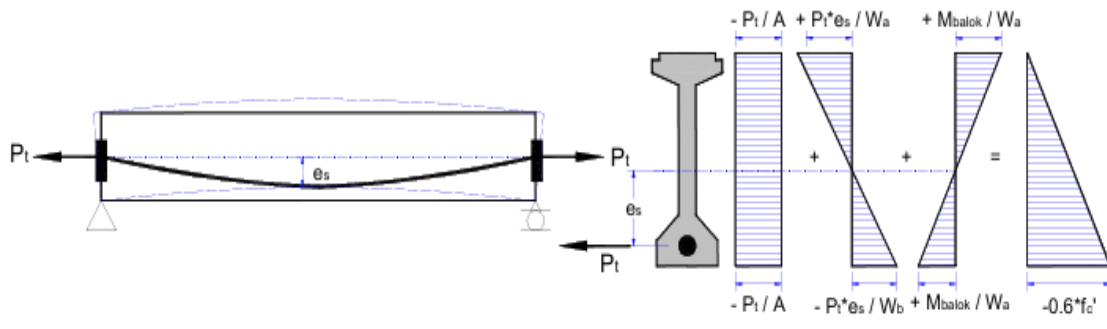
Berdasarkan kondisi tersebut, perbandingan dilakukan untuk melihat perubahan yang terjadi ketika jumlah *strand* divariasikan. Perhitungan disusun pada rentang 46 sampai dengan 62 *strand* agar pengaruh variasi jumlah *strand* terhadap persentase *jacking* dapat terlihat secara jelas pada setiap variasi.

Tabel 4. Section Properties

Luas penampang (A) m ²	Jarak terhadap alas (y) m	Statis momen (A*y) m ³	Inersia momen (A*y ²) m ⁴	Inersia momen (I _o) m ⁴
0,048	2,07	0,0927	0,1920	0,00002
0,104	1,97	0,2048	0,4036	0,00015
0,036	1,86	0,0669	0,1245	0,00003
0,256	1,08	0,2764	0,2986	0,07487
0,062	0,33	0,0206	0,0068	0,00022
0,175	0,13	0,0227	0,0030	0,00091
0,678		0,6844	1,0285	0,0762

Tabel 5. Hasil Perhitungan Momen dan Gaya Geser

Beban	Kode	Q (kN/m)	P (kN)	M (kNm)	V kN	Mmax kNm
Beban Mati	MS	32,049	-	-	653,809	6668,84
Beban Mati Tambahan	MA	4,842	-	-	98,777	1007,52
Beban Lajur	TD	17,179	152,46	-	426,69	5129,78
Gaya Rem	EB	-	-	105,50	2,59	52,75
Angin	EW	1,008	-	-	20,563	209,74
Gempa	EQ	3,689	-	-	75,258	767,637



Gambar 2. Tegangan serat atas dan bawah

Hubungan jumlah strand terhadap jacking force

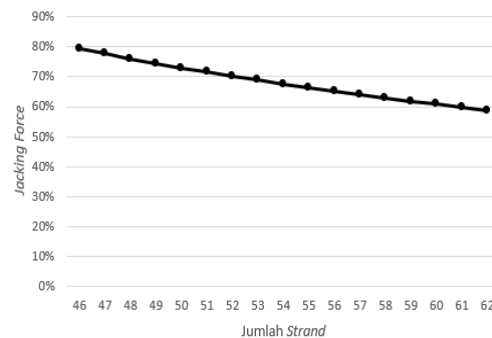
Hasil perhitungan untuk variasi jumlah *strand*, serta untuk menunjukkan nilai persentase *jacking force* secara rinci, dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 3. berikut.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Variasi Jumlah *Strand* dan Persentase *Jacking Force*

Jumlah <i>strand</i> (ns)	Persentase <i>Jacking Force</i> (P _o)
46	79,38%
47	77,69%
48	76,07%
49	74,52%
50	73,03%
51	71,59%
52	70,22%
53	68,89%
54	67,62%
55	66,39%
56	65,20%
57	64,06%
58	62,95%
59	61,89%
60	60,86%
61	59,86%
62	58,89%

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh data yang ditunjukkan pada Tabel 6 dan grafik pada Gambar 3. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi jumlah *strand* berpengaruh terhadap persentase *jacking force*. Penelitian ini membuktikan adanya pengaruh jumlah *strand* terhadap persentase *jacking force*, yang sejalan dengan tujuan penelitian yang telah dijelaskan pada

pendahuluan. *Jacking force* dapat dipahami sebagai gaya tarikan awal yang diberikan oleh jack saat tendon ditarik pada proses *stressing*. Persentase *jacking force* pada penelitian ini menggambarkan tingkat penegangan yang terjadi pada baja prategang pada tahap tersebut.



Gambar 3. Grafik variasi jumlah *strand* terhadap persentase *jacking force*

Berdasarkan hasil pada Tabel 6 dan grafik, terlihat bahwa penambahan jumlah *strand* dari 46 hingga 62 diikuti oleh penurunan persentase *jacking force* dari 79,38% menjadi 58,89%. Nilai tersebut masih berada di bawah batas penurunan yang dipersyaratkan. Pola penurunan ini berlangsung secara konsisten dan menunjukkan hubungan berbanding terbalik antara jumlah *strand* dan persentase *jacking force*. Dalam konsep beton prategang, gaya prategang total pada balok merupakan hasil penjumlahan gaya dari setiap *strand*. Dengan bertambahnya jumlah *strand*, gaya prategang terbagi ke lebih banyak *strand*. Hal ini membuat gaya tarik pada tiap *strand*

lebih kecil, sehingga persentase *jacking force* ikut menurun.

Kondisi ini sejalan dengan teori Nilson H. Arthur (1987) bahwa sebaran gaya prategang pada penampang tidak hanya ditentukan oleh besarnya gaya total, tetapi juga oleh jumlah *strand* dan tata letak *strand*. Ketika *strand* lebih banyak, gaya dapat dibagi ke jumlah elemen yang lebih besar sehingga beban per *strand* berkurang, dan respon pada zona jangkar cenderung lebih terkendali.

Namun demikian, meskipun penambahan jumlah *strand* mengubah cara gaya prategang terdistribusi pada balok, perubahan persentase *jacking force* masih berada dalam rentang yang relatif terkendali dan tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Penurunan persentase *jacking force* seiring bertambahnya jumlah *strand* menunjukkan bahwa tingkat penegangan relatif yang diperlukan menjadi lebih rendah karena kapasitas total tendon meningkat. Dengan kata lain, beban penarikan pada tahap *jacking* terbagi ke lebih banyak *strand* sehingga gaya tarik per *strand* menurun.

Hal ini menunjukkan bahwa jumlah *strand* memengaruhi persentase *jacking force*, sedangkan persentase *jacking force* merepresentasikan kondisi penegangan awal saat tendon ditarik. Pada tahap transfer gaya dari jack ke sistem ankur dan saat tendon bekerja sepanjang lintasannya, sebagian gaya dapat berkurang sehingga memicu kehilangan gaya prategang awal. Namun, persentase *jacking force* tidak dapat langsung diperlakukan sebagai besaran kehilangan gaya prategang total. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menganalisis berbagai faktor lain yang mempengaruhi total kehilangan pada balok prategang, seperti *anchorage friction*, *jack friction*, *elastic shortening*, *relaxation of tendon*, serta pengaruh susut dan rayapan beton pada tahap layan.

Kesimpulan

penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah *strand* berpengaruh

terhadap persentase *jacking force* dengan pola berbanding terbalik. Ketika jumlah *strand* meningkat dari 46 menjadi 62, persentase *jacking force* turun secara konsisten dari 79,38% menjadi 58,89% dan seluruh nilainya masih memenuhi batas yang dipersyaratkan, yaitu di bawah 80%. Penurunan ini terjadi karena bertambahnya jumlah *strand* meningkatkan kapasitas total tendon sehingga tingkat penegangan relatif yang diperlukan pada tahap *jacking* menjadi lebih rendah, karena beban penarikan terbagi ke lebih banyak *strand*. Namun, persentase *jacking force* hanya menggambarkan kondisi penegangan awal saat *stressing* sehingga belum mewakili kehilangan gaya prategang total. Karena itu, perlu dilakukan analisis lanjutan mengenai faktor-faktor kehilangan prategang lainnya agar estimasi kehilangan total pada balok prategang dapat dijelaskan secara lebih menyeluruh.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih yang mendalam disampaikan kepada pihak manajemen proyek pembangunan Jalan Tol Yogyakarta-Bawen Paket 1 Seksi 1 atas izin dan bantuan dalam penyediaan data lapangan. Semoga hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang positif dalam pengembangan ilmu teknik sipil, khususnya dalam bidang struktur dan perencanaan beton prategang.

Daftar Pustaka

- ACI 423.10R-16. (2016). American Concrete Institute.
- Digo, M., & Juliafad, E. (2023). *Perencanaan Alternatif Tendon Prategang dengan Variasi Tata Letak Tendon dan Mutu Tendon Pada Struktur Tas Jembatan Batang Lasi Kota Sawahlunto* (Vol. 4, Nomor 3).
- Hidayati, N., Hariyadi, & Sahlinda, R. (2024). Analisa Desain Beton Prategang Tipe I-Girder pada Jembatan Samota. Dalam *MITSU" Media Informasi Teknik Sipil UNIJA* (Vol. 12, Nomor 2).
- Ilham, N. (t.t.). *Perhitungan balok prategang (PCI girder) jembatan srandakan kulon progo. Yogyakarta*.

- Jepriani, S., Widosari, G., Fitriyani, W., Id, S. A., Sipil, J. T., Samarinda, P. N., Cipto, J., Kampus, M., Panjang, G., Samarinda, K., Timur, K., & Naskah, K. (2020). *Analisa Perbandingan Kehilangan Prategang Girder PCI dan PCU pada Jembatan Mahakam IV Sisi Samarinda Kota. 1.*
- Lin.Y.T, & Burns, H. (1988). *Desaian Struktur Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 1.*
- Nawy. (2001). *Beton Prategang EDISI KETIGA Jilid 1.*
- Nilson H. Arthur. (1987). *Design Of Prestressed Concrete.*
- Post-tensioning Institute (PTI). *Post-Tensioning Institue (PTI).*
- Sari, N. P., Irwan, I., & Hermansyah, H. (2022). Analisis Kehilangan Gaya Prategang Girder Pada Jembatan Proyek Pembangunan Jalan Tol Tebing Tinggi – Inderapura. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Arsitektur (JITAS)*, 1(2), 112–117. <https://doi.org/10.31289/jitas.v1i2.1456>
- SNI 1725:2016. (2016). " *Pembebanan untuk jembatan Badan Standardisasi Nasional.* www.bsn.go.id
- UU No 38 Tahun 2004. (t.t.). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 Tentang Jalan Dengan Rahmat Tuhan Yang Maha Esa Presiden Republik Indonesia.*
- Yamin, I., Zuraida, S., & Ilham. (2020). Analisis Perbandingan Kehilangan Prategang Akibat Variasi Letak Tendon PC I Girder Jembatan Beton Prategang. *Agustus*, 2(2). <http://journal.itsb.ac.id/index.php/JAPPS>