

Analisis Kehilangan Gaya Prategang Girder Pada Jematan Lusah Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulonprogo

Candra Kuncoro Jati ^{1*}, Agung Nusantoro, Eksi Widyanato

¹Universitas Muhammadiyah Purworejo, Jl. K.H. Akhmad Dahlan No. 3, Purworejo, Kecamatan Purworejo, Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah

*chandcoro@gmail.com

ABSTRAK

Jalan raya perlu dibangun untuk mendukung mobilitas ekonomi dan sosial. Salah satunya pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulonprogo. Dalam proyek ini dibangun beberapa jembatan melewati sungai atau jurang yang ada. Jembatan yang dibangun dalam proyek ini menggunakan balok prategang yang didalamnya diberi kabel baja sebagai upaya menaikkan kuat tarik beton. Balok mengalami kehilangan gaya prategang sehingga perlu dihitung apakah kehilangan gaya prategang yang dialami masih dalam kondisi yang diizinkan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui besar kehilangan prategang suatu beton girder. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode kuantitatif yaitu melakukan perhitungan dari data yang didapatkan. Sumber data untuk pengerjaan tugas akhir ini berasal dari pihak perusahaan PT Adhi Karya Persero Tbk. Kehilangan prategang jangka pendek terdiri dari perpendekan elastis beton, gesekan sepanjang tendon dan slip ankur. Kehilangan gaya prategang jangka panjang terdiri dari rangkak pada beton, susut pada beton dan relaksasi tendon. Hasil penelitian didapatkan tegangan awal sebesar 1433,121 MPa dan kehilangan prategang direncanakan 30%. Kehilangan gaya prategang jangka pendek akibat gesekan sepanjang tendon 30,806 MPa. Akibat slip ankur 29,250 MPa, akibat perpendekan elastisitas beton 70,207 MPa. Persentase kehilangan gaya prategang jangka pendek sebesar 9,098%. Kehilangan gaya prategang jangka panjang akibat rangkak pada beton yang mengalami kehilangan gaya prategang 162,596 MPa. Akibat susut pada beton 30,179 MPa, akibat relaksasi tendon 82,640 MPa, persentase kehilangan gaya prategang jangka panjang adalah 19,218%. Nilai kehilangan gaya prategang total sebesar 407,678 MPa atau 28,307% dari tegangan awal. Persentase tersebut masih dalam batas aman karena di bawah nilai persentase kehilangan gaya prategang yang direncanakan.

Kata kunci: beton prategang, girder, kehilangan prategang, tendon.

ABSTRACT

Highways need to be built to support economic and social mobility. One of them is the construction of the Solo – Yogyakarta – NYIA Kulonprogo Toll Road. In this project, several bridges were built across rivers or ravines. The bridges built in this project use prestressed beams with steel cables in them as an effort to increase the tensile strength of the concrete. The beams experience a loss of prestressing force so it is necessary to calculate whether the loss of prestressing force experienced is still within the permitted condition. The purpose of this study is to determine the amount of prestressing loss in a concrete girder. The method used in the study is a quantitative method, namely calculating from the data obtained. The data source for this final project comes from the company PT Adhi Karya Persero Tbk. Short-term prestressing loss consists of elastic shortening of the concrete, friction along the tendon and anchor slip. Long-term prestressing loss consists of creep in the concrete, shrinkage in the concrete and tendon relaxation. The results of the study obtained an initial stress of 1433.121 MPa and a planned prestressing loss of 30%. Short-term prestressing loss due to friction along the tendon is 30.806 MPa. Due to anchor slip of 29.250 MPa, due to shortening of concrete elasticity of 70.207 MPa. The percentage of short-term prestressing force loss is 9.098%. Long-term prestressing force loss due to creep in concrete that experiences prestressing force loss of 162.596 MPa. Due to shrinkage in concrete of 30.179 MPa, due to tendon relaxation of 82.640 MPa, the percentage of long-term prestressing force loss is 19.218%. The total prestressing force loss value is 407.678 MPa or 28.307% of the initial stress. This percentage is still within safe limits because it is below the planned prestressing force loss percentage value.

Keywords: prestressed concrete, girder, loss of prestress, tendon.

1. PENDAHULUAN

Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulonprogo masih dalam proses pembangunan. Pembangunan jalan tol ini terbagi dalam 3 seksi dan melintasi dua provinsi yaitu Provinsi Jawa Tengah dan Provinsi D.I Yogyakarta. Dalam pelaksanaan proyek ini terdapat rintangan berupa kondisi geografis di mana banyak melewati sungai sehingga perlu dibangun jembatan untuk melewatinya. Pembangunan jembatan dalam proyek ini menggunakan beton prategang pada struktur *girder* nya. Beton merupakan suatu material yang kuat terhadap gaya tekan tetapi lemah dalam gaya tarik. Kabel baja (*strand*) perlu ditambahkan sebagai meterial yang dapat membantu menambah kuat gaya tarik. Jalinan kawat ini dibuat dalam kondisi prategang dengan cara ditarik (*stressing*) menggunakan alat *jacking strand*.

Beton yang diberi gaya prategang akan mengalami kehilangan gaya pratengang. Kehilangan gaya prategang dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung berapa besar kehilangan gaya yang terjadi pada beton prategang tersebut. Perhitungan ini penting dilakukan agar dapat diketahui apakah struktur jembatan beton prategang masih dalam batas aman yang telah diperhitungkan. Hasil kehilangan prategang yang masih dalam batas aman dapat memberikan rasa aman dan menunjukkan bahwa jembatan tersebut siap dilewati, namun apabila kehilangan gaya prategang telah melewati batas aman maka perlu dilakukan perlakuan tambahan agar dapat menambah nilai gaya prategang pada jembatan.

Perhitungan pembebanan mengacu pada SNI 1725:2016 tentang Pembebanan pada Jembatan. Nawy, E. G. (2001). *Beton Prategang JI. 3*. Erlangga diperlukan untuk mengetahui rumus perhitungan kehilangan gaya prategang. Tumpu, M., & Rangan, P. R. (2020). *Struktur Beton Prategang Teori dan Prinsip Desain* diperlukan sebagai bacaan memperdalam teori. Jenis *girder* yang dipakai adalah jenis PC I *girder*. Pada jembatan beton prategang *girder* berfungsi menyalurkan beban berupa beban sendiri, beban mati, beban lalu lintas kendaraan, gaya rem, beban angin, beban gempa yang semuanya telah ditur dalam SNI 1725:2016, sehingga *girder* adalah struktuir yang penting pada jembatan. Ulandari, P., dkk (2021) melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Kehilangan Gaya Prategang pada Jembatan *Fly Over* Metode *Stressing* Satu Arah dan Dua Arah”. Penelitian ini dilakukan pada Pembangunan *Fly Over* Bukittinggi di Jalan *By Pass* Pasar Aur Kuning Bukittinggi, Sumatra Barat. *Stessing* adalah proses penarikan kabel baja pada tendon yang bertujuan untuk memberi gaya tarik pada *girder* sehingga menjadi beton prategang. *Stressing* dapat dilakukan dengan menarik kabel baja dari salah satu sisi (satu arah) dan menarik dari kedua sisi (dua arah). Kehilangan gaya prategang adalah berkurangnya gaya prategang yang bekerja pada baja prategang (*tendon*). Dilakukan perhitungan kehilangan gaya prategang yang terjadi akibat *stressing* satu arah dan dua arah. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui bagaimana pengaruh metode *stressing* pada proyek pembangunan *fly over*

terhadap kehilangan gaya prategang. Berdasarkan data yang diperoleh, didapatkan hasil analisa kehilangan gaya prategang akibat *stressing* satu arah sebesar 29,696% dan metode *stressing* dua arah yaitu sebesar 28,764%. Telah dilakukan tegangan awal yang lebih besar pada saat *stressing* untuk mencegah kehilangan prategang karena gesekan pada tendon dan slip angkur. Nilai kehilangan gaya prategang diakibatkan *stressing* satu arah yaitu 17,778% dan metode *stressing* dua arah yaitu 17,994%. Kontrol keamanan struktur telah memenuhi syarat keamanan struktur dengan tegangan dan lendutan kurang dari tegangan dan lendutan yang diizinkan.

2. METODE PENELITIAN

Penulisan tugas akhir ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan pengolahan data yang telah didapatkan untuk memecahkan suatu persoalan. Sumber data untuk pengerjaan tugas akhir ini berasal dari pihak perusahaan PT Adhi Karya Persero Tbk., dan telah mendapat persetujuan untuk digunakan dalam pengerjaan tugas akhir. Refrensi dalam pengerjaan tugas akhir didapat dari peneliti terdahulu dan jurnal - jurnal yang bersumber dari internet. Setelah didapat data maka langkah selanjutnya yaitu menghitung kehilangan gaya prategang *girder* pada Jembatan Lusah Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulonprogo. Hasil dari penelitian ini adalah nilai momen, gaya geser, nilai gaya prategang, nilai kehilangan gaya prategang dan kehilangan gaya prategang total, di mana dengan hasil tersebut dapat diketahui apakah kehilangan gaya prategang total masih dalam batas aman atau melebihi batas aman yang telah diperhitungkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Jembatan

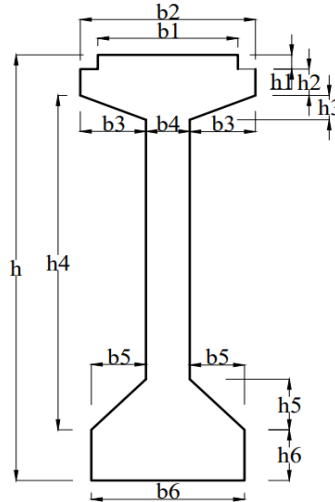
Jembatan Lusah di Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulonprogo direncanakan dengan beton prategang menggunakan metode pascatarik dengan bentuk penampang I *girder*. Untuk data spesifikasi *girder* yang digunakan sebagai berikut.

| | |
|-------------------------------------|-----------------|
| Panjang total <i>girder</i> | : 40,80 m |
| Panjang bersih <i>girder</i> | : 40 m |
| Tebal pelat lantai jembatan | : 0,25 m |
| Tebal diafragma | : 0,20 m |
| Tebal lapisan aspal | : 0,05 m |
| Tinggi genangan air hujan | : 0,05 m |
| Jarak antar balok prategang | : 2,10 m |
| Mutu beton PCI | : K-600 |
| Kuat tekan beton, f_c | : 49,80 MPa |
| Modulus elastis PCI, E_{CPCI} | : 33167,484 MPa |
| Mutu beton pelat lantai | : K-350 |
| Kuat tekan beton, f_c | : 29,05 MPa |
| Modulus elastis beton, E_{Cbeton} | : 25332,084 MPa |

- Berat isi beton PCI, w_c : 25 kN/m³
- Berat isi beton pelat, w_c' : 24 kN/m³
- Berat isi beton diafragma, w_c' : 24 kN/m³
- Berat isi aspal, $w_{asphalt}$: 22 kN/m³
- Berat isi air, w_{water} : 9,80 kN/m³

3.2 Dimensi Balok PCI Girder

Penampang balok prategang pada saat transfer gaya prategang harus tanpa pelat lantai. Detail balok prategang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Penampang Balok Prategang

Tegangan izin beton saat transfer:

Tegangan tekan $f_{ci} = 23,91 \text{ MPa}$

Tegangan tarik $f_{ti} = 1,58 \text{ MPa}$

Tegangan izin saat batas layan:

Tegangan tekan $f_c = 22,41 \text{ MPa}$

Tegangan tarik $f_t = 4,38 \text{ MPa}$

Tabel 1. Dimensi Balok Prategang

| Kode | Lebar (m) | Kode | Tinggi (m) |
|------|-----------|------|------------|
| b1 | 0,640 | h1 | 0,070 |
| b2 | 0,800 | h2 | 0,130 |
| b3 | 0,300 | h3 | 0,120 |
| b4 | 0,200 | h4 | 1,650 |
| b5 | 0,250 | h5 | 0,250 |
| b6 | 0,700 | h6 | 0,250 |
| | | h | 2,100 |

Sumber: sumberdata (2025)

3.3 Pembebanan Balok PCI Girder

Hasil pembebanan penampang dapat dilihat pada Tabel 2. berikut.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Pembebanan Balok Prategang

| No | Jenis beban | Q(kN/m) | V (kN) | M(kNm) |
|----|--------------------------|---------|--------|--------|
| 1 | Beban mati sendiri (MS) | 35,187 | | |
| 2 | Beban mati tambahan (MA) | 4,339 | | |
| 3 | Beban lajur “D” (TD) | 16,538 | 402,78 | |
| 4 | Gaya rem (TB) | | | 80,318 |
| 5 | Beban angin (EW) | 3,003 | | |
| 6 | Beban gempa (EQ) | 3,6364 | | |

Sumber: sumberdata (2025)

3.4 Letak Tendon, Eksentrisitas dan Gaya Prategang

Posisi tendon pada tengah bentang sebagai berikut.

Ditetapkan jarak alas balok ke as tendon terbawah, $a = 0,110 \text{ m}$

Jarak titik berat tendon terhadap alas balok, $z_o = 0,143 \text{ m}$

Eksentrisitas tendon, $es = y_b - z_o = 1,012 - 0,143 = 0,869 \text{ m}$

Jarak antar as tendon diambil, $y_d = 0,130 \text{ m}$

Diameter selubung tendon, $d_t = 0,10 \text{ m}$

Jarak vertikal antar selubung tendon, $y_d - d_t = 30 \text{ mm (OK, } y_d - d_t \geq 25 \text{ mm)}$

Posisi Tendon di Tumpuan

Tabel 3. Jumlah Tendon dan Strand

| nomer tendon | jumlah tendon | strd/tendon |
|--------------|---------------|-------------|
| n1 | 1 | 19 |
| n2 | 1 | 19 |
| n3 | 1 | 19 |
| n4 | 1 | 19 |
| Σ | 4 | 76 |

Sumber: sumberdata (2025)

Ditetapkan jarak alas balok ke as tendon terbawah, $a' = 0,289 \text{ m}$

Tabel 4. Momen Statis Tendon Terhadap Pusat Tendon Terbawah

| n_i | $y_{d'}$ | $n_i * y_{d'}$ |
|----------------------------|----------|----------------|
| 19 | 3 | 57 |
| 19 | 2 | 38 |
| 19 | 1 | 19 |
| 19 | 0 | 0 |
| $\Sigma n_i y_{d'} y_{d'}$ | | 114 |

Sumber: sumberdata (2025)

Letak titik berat penampang balok terhadap alas, $y_b = 1,012 \text{ m}$

$$\Sigma n_i y_{d'} y_{d'} = n_s y_e$$

$$\frac{y_e}{y_{d'}} = \frac{\Sigma n_i y_{d'} y_{d'}}{n_s}$$

$$= \frac{114}{76}$$

$$= 1,50$$

Jarak titik berat tendon terhadap as tendon terbawah,

$$y_e = y_b - a' = 1,012 - 0,289 = 0,723 \text{ m}$$

Jarak antar as tendon diambil,

$$y_d' = y_e / \frac{y_e}{y_d'}$$

$$= 0,723 / 1,50$$

$$= 0,482 \text{ m}$$

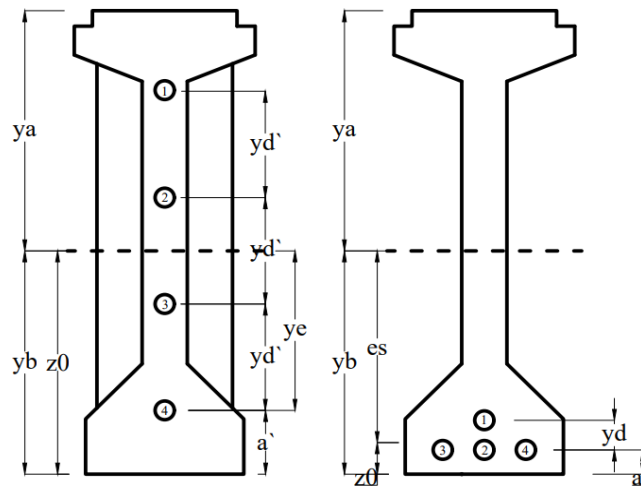
Jarak titik berat tendon terhadap alas balok,

$$z_0 = a' + y_e = y_b = 1,012 \text{ m}$$

Tabel 5. Letak As Tendon Posisi Tumpuan dan Tengah Bentang

| Nomor tendon | Posisi tendon tumpuan | z_i (m) | Nomor tendon | Posisi tendon di tengah bentang | z_i (m) | $f_i = z_i - z_i$ |
|--------------|-----------------------|-----------|--------------|---------------------------------|-----------|-------------------|
| 1 | $z_1 = a' + 3y_d'$ | 1,735 | 1 | $z_1 = a + y_d$ | 0,24 | 1,495 |
| 2 | $z_2 = a' + 2y_d'$ | 1,253 | 2 | $z_2 = a$ | 0,11 | 1,143 |
| 3 | $z_3 = a' + y_d'$ | 0,771 | 3 | $z_3 = a$ | 0,11 | 0,661 |
| 4 | $z_4 = a'$ | 0,289 | 4 | $z_4 = a$ | 0,11 | 0,179 |

Sumber: sumberdata (2025)



Gambar 2. Posisi Tendon di Tumpuan dan Tengah Bentang

3.5 Kehilangan Gaya Prategang

a. Gesekan tendon/Fraksi (F)

Eksentrisitas tendon, $y = e_s = 0,869 \text{ m}$

Tegangan baja saat jacking, $f_1 = f_{pj} = 1433,121 \text{ MPa}$

Panjang lengkung tendon, $x = L = 40 \text{ m}$

Sudut tendon,
$$\alpha = \frac{8y}{x} = \frac{8 \times 0,869}{40} = 0,1738 \text{ rad}$$

Koefisien wobble, $K = 0,003$

Koefisien kelengkungan, $(\mu) = 0,2$

Kehilangan tegangan akibat gesekan tendon (fraksi) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut,

$$\begin{aligned} \Delta f_f &= f_1 (1 - e^{(\mu \alpha + KL)}) \\ &= 1433,121 \times (1 - 0,869^{(0,2 \times 0,1738 + 0,003 \times 40)}) \\ &= 30,806 \text{ MPa} \end{aligned}$$

b. Kehilangan akibat selip angkur (A)

Slip angkur rata-rata, $\Delta A = 6 \text{ mm} = 0,006 \text{ m}$

Modulus elastisitas baja prategang, $E_{st} = 195000 \text{ MPa}$

Kehilangan tegangan akibat slip angkur,

$$\begin{aligned} \Delta f_A &= \frac{\Delta A}{L} \times E_{st} \\ &= \frac{0,006}{40} \times 195000 \\ &= 29,250 \text{ MPa} \end{aligned}$$

c. Perpendekan elastis beton (ES)

Luas penampang PCI, $A = 0,753 \text{ m}^2$

Eksentrisitas tendon, $e = 0,869 \text{ m}$

Momen inersia PCI, $I = 0,414 \text{ m}^4$

Kuat tekan beton prategang, $f_c' = 49,80 \text{ MPa}$

Modulus elastisitas beton prategang saat transfer,

$E_{ci} = 26533,987 \text{ MPa}$

Jari – jari girasi, $r^2 = \frac{I}{A}$

$$\begin{aligned} &= \frac{0,414}{0,753} \\ &= 0,550 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Modulus elastisitas baja prategang, $E_{st} = 195000 \text{ MPa}$

Momen akibat beban mati, $M_0 = MMS = 7037,40 \text{ kNm}$

Rasio modulus antara baja prategang dengan PCI girder,

$$\begin{aligned} n &= \frac{E_s}{E_{ci}} \\ &= \frac{195000}{26533,987} \\ &= 7,349 \end{aligned}$$

Tegangan pada girder,

$$\begin{aligned}
 f_{cs} &= -(P/A)(1 + e^2/r^2) + Moel \\
 &= -(10750,1240,753) \times (1 + 0,869^2/0,550) + 7037,40 \times 0,8690,414 \\
 &= 19106,426 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Kehilangan tegangan elastisitas beton pretension,

$$\begin{aligned}
 \Delta f_{es} &= n f_{cs} \\
 &= 7,349 \times 19106,426
 \end{aligned}$$

$$= 140413,124 \text{ kN/m}^2$$

Kehilangan tegangan elastisitas beton posttension,

$$\begin{aligned}
 \Delta f_{es} &= \sum_{j=1}^n (\Delta f_{es})_j \\
 &= \frac{1}{2} \times 140413,124 \\
 &= 70206,562 \text{ kN/m}^2 \\
 &= 70,207 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

d. Rangkak pada beton (CR)

KCR = 1,6 untuk komponen struktur pascatarik

Modulus elastisitas beton prategang, $E_{ci} = 33167,484 \text{ MPa}$

Momen inersia PCI, $I = 0,414 \text{ m}^4$

Eksentrisitas tendon balok komposit, $e_s = 0,869 \text{ m}$

Momen akibat beban mati tambahan, $MSD = MMA = 867,80 \text{ kNm}$

Rasio modulus antara baja prategang dengan PCI girder,

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{E_s}{E_c} \\
 &= \frac{195000}{33167,484} = 5,879
 \end{aligned}$$

Tegangan pada beton di titik berat tendon akibat beban mati tambahan,

$$f_{csd} = \frac{MSDes}{l} = \frac{867,80 \times 0,869}{0,414} = 1821,541 \text{ kN/m}^2$$

Kehilangan tegangan akibat rangkai pada beton,

$$\Delta f_{cr} = n K_{CR} (f_{cs} - f_{csd}) = 5,879 \times 1,6 \times (19106,426 - 1821,541) = 162595,509 \text{ kN/m}^2 = 162,595 \text{ MPa}$$

e. Susut pada beton (SH)

$t = 14$ hari

$E_{st} = 195000 \text{ MPa}$

Regangan susut unlimit, $(\epsilon_{SH})_u = 780 \times 10^{-6}$

Tabel 6. Nilai Ksh Metode Posttension

| Time from end of moist curing to application of prestress (days) | 1 | 3 | 5 | 7 | 10 | 20 | 30 | 60 |
|--|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| Ksh | 0,92 | 0,85 | 0,8 | 0,77 | 0,73 | 0,64 | 0,58 | 0,45 |

Sumber: American Concrete Institute

Konstanta waktu setelah curing (14 hari),

$K_{sh} = 0,694$ (interpolasi)

Regangan susut dengan perawatan basah,

$$(\epsilon_{SH})_t = \frac{t}{35 + t} (\epsilon_{SH})_u = \frac{14}{35 + 14} \times 0,00078 = 0,000223$$

Kehilangan gaya prategang akibat susut pada beton,

$$\Delta f_{sh} = K_{sh} \times (\epsilon_{SH})_t \times E_{st} = 0,694 \times 0,000223 \times 195000 = 30,179 \text{ Mpa}$$

f. Relaksasi tendon (R)

| | | |
|--------------------------------------|----------|-------------------------|
| Waktu penerapan beban mati tambahan, | t_1 | = 30 hari |
| Umur rencana jembatan, | t_2 | = 50 tahun (18250 hari) |
| Tegangan akibat <i>jacking</i> , | f_{PT} | = 1302,858 kN |
| Tegangan leleh <i>strand</i> , | f_{py} | = 1675 MPa |
| Kehilangan tegangan, | | |

$$\begin{aligned} \Delta f_r &= \frac{f_{PT} \left(\frac{\log(t_2) - \log(t_1)}{10} \right)^{f_{PT} / f_{py} - 0,55}}{10} \\ &= \frac{1302,858 \left(\frac{\log(18250) - \log(30)}{10} \right)^{1302,858 / 1675 - 0,55}}{10} \\ &= 82,640 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Tegangan baja prategang setelah transfer,

$$\begin{aligned} f_{Peff} &= f_{pj} - (\Delta f_f + \Delta f_A + \Delta f_{es} + \Delta f_{cr} + \Delta f_{sh} + \Delta f_r) \\ &= 1433,121 - (30,806 + 29,250 + 70,207 + 162,596 + 30,179 + 82,640) \\ &= 1302,858 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kehilangan gaya prategang jangka pendek,

$$\begin{aligned} \Delta f_i &= \frac{\sum \Delta f_i + \Delta f_A + \Delta f_{es}}{f_{pj}} \times 100\% \\ &= \frac{30,806 + 29,250 + 70,207}{1433,121} \times 100\% \\ &= \frac{130,263}{1433,121} \times 100\% \\ &= 9,089\% \end{aligned}$$

Kehilangan gaya prategang jangka panjang,

$$\begin{aligned} \Delta f_{td} &= \frac{\sum \Delta f_{cr} + \Delta f_{sh} + \Delta f_r}{f_{pj}} \times 100\% \\ &= \frac{162,596 + 30,179 + 82,640}{1433,121} \times 100\% \\ &= \frac{275,415}{1433,121} \times 100\% \\ &= 19,218\% \end{aligned}$$

Kehilangan gaya prategang total,

$$\begin{aligned}\Delta f_p &= \frac{\sum \Delta f_f + \Delta f_A + \Delta f_{es} + \Delta f_{cr} + \Delta f_{sh} + \Delta f_r}{f_{pj}} \times 100\% \\ &= \frac{30,806 + 29,250 + 70.207 + 162,596 + 30,179 + 82,640}{1433,121} \times 100\% \\ &= \frac{405,678}{1433,121} \times 100\% \\ &= 28,307\%\end{aligned}$$

Hasil perhitungan kehilangan gaya prategang dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Rekapitulasi Kehilangan Gaya Prategang

| No | Level Tegangan | Tegangan Baja (Mpa) | Persentase (%) |
|----|--------------------------------|---------------------|----------------|
| | Gaya Prategang Awal | 1433,121 | 100 |
| 1 | Gesekan Tendon/Fraksi (F) | 30,806 | 2,150 |
| 2 | Slip Angkur (A) | 29,250 | 2,041 |
| 3 | Perpendekan Elastis Beton (ES) | 70,207 | 4,899 |
| | | 1302,858 | 90,911 |
| 4 | Rangkak pada Beton (CR) | 162,596 | 11,346 |
| 5 | Susut pada Beton (SH) | 30,179 | 2,106 |
| 6 | Relaksasi Tendon (R) | 82,640 | 5,766 |
| | Tegangan Akhir | 1027,443 | 71,693 |

Sumber: sumberdata, (2025)

PEMBAHASAN

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan didapatkan nilai pembebanan pada jembatan akibat beban mati sendiri 35,187 kN/m, dengan gaya geser 703,740 kN dan momen 7037,40 kNm. Pembebanan akibat beban mati tambahan 4,339 kN/m, gaya geser 86,780 kN dan momen 867,80 kNm. Pembebanan pada beban hidup terdiri dari beban lajur "D" 16,538 kN/m, dengan gaya geser 402,780 kN dan momen 4748,10 kNm. Gaya rem memiliki gaya geser 4,016 kN dan momen 80,318 kNm. Pembebanan selanjutnya adalah akibat aksi lingkungan yang terdiri dari beban angin yang memiliki beban 3,003 kN/m, gaya geser 60,069 kN dan momen 600,686 kNm. Terakhir ada beban gempa 3,636 kN/m, dengan gaya geser 72,728 kN dan momen 727,278 kNm.

Tegangan yang terjadi akibat *jacking* 1433,121 MPa. Nilai persentase kehilangan tegangan direncanakan 30% maka tegangan efektif rencana 1003,184 MPa. Metode pemberian gaya prategang adalah pascatarik dengan komponen kehilangan gaya prategang terdiri dari gesekan tendon/fraksi (F), slip ankur (A), perpendekan elastis beton (ES), rangkakan pada beton (CR), susut pada beton (SH) dan relaksasi tendon (R). Nilai kehilangan gaya prategang akibat gesekan tendon/fraksi 30,806 MPa. Akibat selip ankur 29,25 MPa dan akibat perpendekan elastis beton 70,207 MPa. Kehilangan gaya prategang akibat rangkakan pada beton 162,596 MPa. Akibat susut pada beton 30,179 MPa dan akibat relaksasi tendon 82,640 MPa. Komponen kehilangan gaya prategang jangka pendek terdiri dari gesekan sepanjang tendon/fraksi, slip ankur dan

perpendekan elastis beton yang memiliki nilai 130,263 MPa dan memiliki persentase 9,089%. Kehilangan gaya prategang jangka panjang terdiri dari rangkakan pada beton, susut pada beton dan relaksasi tendon yang memiliki nilai kehilangan gaya prategang sebesar 275,415 MPa atau sebesar 19,218%.

Kehilangan gaya prategang total terjadi 405,678 MPa dan memiliki persentase 28,307%. Tegangan efektif yang terjadi 1027,443 MPa yang nilainya lebih besar dari tegangan efektif rencana, sehingga dapat dinyatakan kehilangan gaya prategang yang terjadi masih dalam batas aman karena persentase kehilangan gaya prategang lebih

kecil dari pada persentase kehilangan gaya prategang rencana, $28,307\% < 30\%$. Faktor yang dapat memengaruhi hasil dari perhitungan kehilangan gaya prategang antara lain panjang bentang jembatan, metode pemberian gaya prategang, jenis strands yang digunakan dan umur rencana dari jembatan tersebut.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan kehilangan gaya prategang jangka pendek terdiri dari gesekan sepanjang tendon/fraksi 30,806 MPa. Kehilangan gaya prategang akibat selip angkur 29,250 MPa dan akibat perpendekan elastis beton 70,207 MPa. Tegangan pada saat awal *jacking* didapat nilai 1433,121 MPa. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan persentase kehilangan gaya prategang jangka pendek yang terjadi sebesar 9,098% atau kehilangan tegangan sebesar 130,263 MPa.
2. Kehilangan gaya prategang jangka panjang yang terjadi memiliki persentase 19,218% atau memiliki nilai kehilangan tegangan sebesar 275,415 MPa. Kehilangan gaya prategang jangka panjang ini terdiri dari rangkai pada beton 162,596 MPa, akibat susut pada beton 30,179 MPa dan akibat relaksasi tendon 82,640 MPa.
3. Besar persentase kehilangan gaya prategang didapatkan sebesar 28,307%. Nilai ini lebih kecil dari kehilangan gaya prategang rencana yaitu sebesar 30% atau memiliki tegangan efektif rencana 1003,484 MPa. Besar persentase ini menunjukkan bahwa kehilangan gaya prategang yang terjadi lebih kecil dibandingkan kehilangan gaya prategang yang direncanakan, $28,307\% < 30\%$. Tegangan efektif setelah menghitung kehilangan gaya prategang total didapat 1027,443 MPa dan lebih besar dari tegangan efektif yang telah direncanakan 1003,184 MPa. Merujuk pada kesimpulan tersebut maka struktur beton prategang Jembatan Lusah dapat dikatakan aman terhadap kehilangan gaya prategang, karena nilai kehilangan gaya prategang total yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan kehilangan prategang rencana. Oleh karena itu, Jembatan Lusah dapat dikatakan aman terhadap kehilangan gaya prategang.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Apriyanto, D., & Siswoyo, S. (2021). *Perencanaan Girder Jembatan Beton Prategang Jl. Raya Sememi Benowo Surabaya Section 0-152*. *axial: jurnal rekayasa dan manajemen konstruksi*, 9(1), 035-040.
- Batubara, S., & Simatupang, L. (2018). *Perencanaan Jembatan Beton Prategang Dengan Bentang 24 Meter Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI)*. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil*, 1(2), 45-61.
- Concrete, A. (1946, June). American Concrete Institute. In *AMERICAN CONCRETE INSTITUTE* (p. 601).
- Hidayati, N., Hariyadi, H., & Sahlinda, R. (2024). *Analisa Desain Beton Prategang Tipe I-Girder Pada Jembatan Samota*. *Jurnal Ilmiah MITSU (Media Informasi Teknik Sipil Universitas Wiraraja)*, 12(2), 123-136.
- Iqbaliah, N., Roestaman, R., & Walujodjati, E. (2021). *Analisis Nilai Kapasitas Beton Prategang Tipe-I Jembatan Cimanuk Maktal*. *Jurnal Konstruksi*, 19(1), 11-21.

- Lin, T. Y., & Burns, N. H. (2000). *Desain Struktur Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Luthfi, A., & Pandjaitan, L. W. (2024). *Pemilihan Alternatif Trase Jalan Tol Pluit-Bandara dengan Sistem Rekayasa Nilai*. *Jurnal Praktik Keinsinyuran*, 1(02), 207-216.
- Manalip, H., & Handono, B. D. (2018). *Perencanaan Balok Girder Profil I pada Jembatan Prestressed dengan Variasi Bentang*. *Jurnal Sipil Statik*, 6(2), 67-74.
- Nawy, E. G. (2001). *Beton Prategang Jilid 3*. Erlangga.
- Nurhidayatullah, E. F., & Kurniyawan, T. (2023). *Analisis Perbandingan Struktur Jembatan Tipe I-Girder Dengan U-Girder Beton Prategang: (Studi Kasus: Jembatan Mojorejo Kecamatan Nglipar Kabupaten Gunungkidul)*. *RENOVASI: Rekayasa Dan Inovasi Teknik Sipil*, 8(1).
- Nusantoro, A., Widyananto, E., Alami, N., & Prabuningrat, P. D. I. (2022). *Perencanaan Ulang Struktur Atas Jembatan di Desa Hargorojo dengan Menggunakan PCI Girder*. *Surya Beton: Jurnal Ilmu Teknik Sipil*, 6(1), 1-8.
- P. P. R. I., & AIRLINES, P. M. N. (2005). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2005. Tentang Jalan Tol*.
- S. N. I (2013). *Perencanaan jembatan terhadap beban gempa*. *Badan Standarisasi Nasional*.
- S. N. I (2013). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. *Sni*, 2847, 2013.
- S. N. I, & B. S. N. (2016). *Pembebanan untuk jembatan*. *SNI*, 1725, 2016.
- Sri Frapanti, S. T., & Fahrizal Zulkarnain, S. T. (2021). *Dasar-Dasar Desain dan Analisa Beton Prategang*. umsu press.
- Tumpu, M., & Rangan, P. R. (2020). *Struktur Beton Prategang Teori dan Prinsip Desain*.
- Ulandari, P., Suhendra, S., & Zulfiati, R. (2021). *Analisis Perbandingan Kehilangan Gaya Prategang pada Jembatan Fly Over Metode Stressing Satu Arah dan Dua Arah*. *Jurnal Talenta Sipil*, 4(2), 200-209.
- Yamin, I., Zuraida, S., & Ilham, I. (2020). *Analisis Perbandingan Kehilangan Prategang Akibat Variasi Letak Tendon PC I Girder Jembatan Beton Prategang*. *JOURNAL OF APPLIED SCIENCE (JAPPS)*, 2(2), 034-042.