

Analisis Perbandingan Kehilangan Gaya Prategang pada Jembatan Fly Over Metode Stressing Satu Arah dan Dua Arah

Permita Ulandari, Suhendra*, Ria Zulfiati

Program Studi Teknik Sipil Universitas Batanghari Jambi

*Correspondence email: suhendra_domas@yahoo.com

Abstrak. *Stressing* adalah proses penarikan kabel tendon yang ada di dalam girder untuk menjadikan girder sebagai beton pretegang. *Stressing* satu arah yaitu sistem *stressing* kabel strand dengan hanya menarik salah satu ujung kabel strand saja. Sedangkan *stressing* dua arah yaitu dengan menarik kedua ujung kabel. Kehilangan gaya prategang yakni berkurangnya gaya-gaya prategang yang bekerja pada suatu baja / kabel prategang (*tendon*) di setiap tahap-tahapan pembebanan. Sehingga harus diperhitungkan berapa total kehilangan prategang yang terjadi diakibatkan oleh *stressing* satu arah dan dua arah. Tujuan penelitian ini antara lain untuk mengetahui bagaimana pengaruh metode *stressing* pada saat pelaksanaan pekerjaan jembatan fly over terhadap kehilangan gaya prategang dan mengetahui bagaimana kehilangan gaya prategang akibat pengaruh metode *stressing* pada jenis girder yaitu PC I girder. Metode *stressing* pada proyek pembangunan fly over Bukittinggi berpengaruh pada kehilangan gaya prategang khususnya pada kehilangan prategang karena gesekan tendon dan relaksasi pada baja. Berdasarkan data yang diperoleh, di dapatkan hasil analisa kehilangan gaya prategang diakibatkan oleh *stressing* satu arah yaitu 29,696% dan metode *stressing* dua arah yaitu 28,764%. Namun telah dilakukan tegangan awal yang lebih besar pada saat *stressing* untuk mengatasi kehilangan prategang karena gesekan pada tendon dan slip ankur. Maka nilai kehilangan gaya prategang yang diakibatkan oleh metode *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 yang terjadi kurang dari tegangan dan lendutan yang diizinkan.

Kata Kunci: Kehilangan Prategang, Metode Stressing, Jembatan Fly Over.

PENDAHULUAN

Beton yaitu sebuah bahan kuat tekan tinggi, akan tetapi kuat tarik yang rendah. Sementara baja yakni material yang memiliki kuat tarik yang sangat tinggi. Sehingga dengan menggabungkan beton dan baja sebagai bahan struktur maka tegangan tekan dipikul oleh beton sementara tegangan tarik dipikul oleh baja. Saat ini mulai dikenal jembatan yang menggunakan beton prategang pada strukturnya. Penggunaan system beton prategang untuk struktur jembatan biasanya diterapkan pada jembatan bentang menengah, bentang panjang dan jembatan layang (*fly over*). Jembatan layang yaitu sebuah model jembatan yang melintas di atas jalan. Jalan layang yaitu jalan yang dibangun tidak sebidang melayang yang bertujuan untuk menghindari daerah/kawasan yang selalu menghadapi permasalahan kemacetan lalu lintas, melewati persilangan kereta api untuk meningkatkan keselamatan lalu lintas dan efisiensi. Jalan layang adalah perlengkapan jalan bebas hambatan untuk mengatasi hambatan karena konflik di persimpangan, melalui kawasan kumuh yang sukar ataupun melalui kawasan daerah rawa-rawa. (Ramadhan, 2015)

Proses pemberian tegangan bisa dilakukan sebelum beton dicetak (pratarik) atau sesudah beton dicetak (pascatarik). Pemberian tegangan pada beton prategang pasca tarik bisa dilakukan melalui dua metode antara lain *stressing* satu arah dan dua arah. *Stressing* yaitu proses penarikan kabel tendon yang ada di dalam girder yang bertujuan untuk menjadikan girder sebagai beton pretegang. *Stressing* satu arah yaitu sistem *stressing* kabel strand dengan hanya menarik salah satu ujung kabel strand saja. Sedangkan *stressing* dua arah yaitu sistem penarikan kabel strand dengan menarik kedua ujung kabel. Pemberian tegangan dengan menggunakan kedua metode *stressing* mengakibatkan kehilangan gaya prategang yang berbeda pada beton. Kehilangan gaya prategang yaitu berkurangnya gaya prategang yang bekerja pada baja / kabel prategang (*tendon*) pada tahap-tahap pembebanan. Sehingga harus diperhitungkan berapa total kehilangan prategang yang terjadi diakibatkan oleh *stressing* satu arah dan dua arah.

Adapun tujuan penelitian ini antara lain untuk mengetahui bagaimana pengaruh metode *stressing* pada saat pelaksanaan pekerjaan jembatan fly over terhadap kehilangan gaya prategang dan mengetahui bagaimana kehilangan gaya prategang akibat pengaruh metode *stressing* pada jenis girder yaitu PC I girder.

Jembatan

Jembatan yaitu suatu konstruksi sarana transportasi jalan untuk menghubungkan satu tempat ke tempat lainnya yang terputus akibat suatu rintangan tanpa harus menutup atau menimbun rintangan tersebut seperti lembah, sungai, drainase, jalan kereta api, jurang, jalan kendaraan, dan sebagainya. Konstruksi jembatan fly over antara lain terdiri dari struktur bangunan bawah, struktur bangunan atas dan bangunan pelengkap. Struktur bangunan bawah antara lain pondasi, pilar dan *abutment*. Sedangkan struktur bangunan atas antara lain pelat lantai, tiang sandaran, girder, trotoar, kerb, beton, aspal. Serta bangunan pelengkap antara lain wing wall, pelat injak, lampu jalan dan lainnya.

Beton Prategang

Beton yaitu suatu material yang memiliki kuat tekan tinggi tetapi kuat tarik yang rendah. Sementara baja yaitu material yang memiliki kuat tarik yang sangat tinggi sehingga dengan kombinasi kedua material tersebut maka akan tercipta material yang dapat menahan tekan dan tarik yang biasa dikenal sebagai beton bertulang. Pada system beton bertulang, beton hanya memikul tegangan tekan sedangkan baja memikul tegangan tarik. Sehingga pada beton bertulang, penampang beton tidak efektif 100% difungsikan. Hal ini dikarenakan bagian tertarik beton tidak diperhitungkan sebagai pemikul tegangan. Untuk mengatasi beberapa permasalahan tersebut, beton diberi tegangan awal sebelum beban-beban bekerja sehingga seluruh penampang beton dalam keadaan tertekan seluruhnya. Inilah yang disebut dengan beton prategang (*Prestressed Concrete*).

Perhitungan Struktur Beton Prategang.

Gaya prategang

Tegangan yang diakibatkan oleh gaya prategang yaitu $= -\frac{P}{A} \pm \frac{P}{W}$

Tegangan yang diakibatkan oleh beban sendiri maupun beban dari luar $= \pm \frac{M}{W}$

Dengan demikian besar tegangan maksimum pada serat penampang (Andri Budiadi, 2008) dapat dihitung dengan rumus :

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

dimana :

- σ = Tegangan (MPa = N/mm²)
- P = Gaya prategang awal (kN)
- e = Eksentrisitas penampang (mm)
- M = Momen akibat beban sendiri maupun beban lain (Nmm)
- W = Momen tahanan (mm³)

Tegangan Izin pada Beton Prategang (SNI 2847:2013)

Tegangan beton sesaat sesudah penyaluran gaya prategang (sebelum terjadinya kehilangan prategang sebagai fungsi waktu) tidak boleh melampaui nilai berikut :

- a. Tegangan izin serat tekan = 0,6 x fci'
- b. Tegangan izin serat tarik = 0,8 x \sqrt{fci}

Tegangan izin pada keadaan servis terjadi pada tahap beban kerja setelah memperhitungkan kehilangan prategang tidak boleh melampaui nilai berikut :

- a. Tegangan izin serat tekan = 0,45 x fc'
- b. Tegangan izin serat tarik = 1,59 x \sqrt{fc}

Kontrol Lendutan

Lendutan ke bawah akibat beban merata bisa ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\delta = \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times E_c \times I} \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

- δ = Lendutan yang terjadi (mm)
- q = Beban merata (t/m)
- L = Panjang balok girder (m)
- Ec = Modulus elastisitas beton (kg/cm²)
- I = Momen inersia penampang girder (cm⁴)

Kehilangan Gaya Prategang Akibat Stressing Satu Arah dan Dua Arah Pada Sistem Prategang Post Tensioning

Untuk sistem *post tensioning*, apabila tendon lebih dari satu dan tendon-tendon tersebut dilakukan penarikan secara berurutan, maka gaya-gaya prategang terjadi secara bertahap yang bekerja di beton, beton akan bertambah

pendek jika setiap kabel diikatkan padanya dan kehilangan gaya prategang berbeda-beda di setiap tendon. Besarnya perpendekan elastis beton dapat dihitung menggunakan persamaan (T.Y Lin, 1996):

$$f'_{pES} = \frac{n \times P_t}{A} \quad \text{adapun} \quad n = \frac{E_p}{E_c} \dots\dots\dots (3)$$

dimana,

- n = Rasio modular
- E_p = Modulus elastisitas baja prategang
- E_c = Modulus elastisitas beton
- P_t = Gaya prategang awal
- A = Luas penampang beton

Kehilangan Prategang karena Gesekan Tendon

Untuk menentukan kehilangan prategang akibat gesekan tendon (Edward G. Nawy, 2001) dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$f'_{pF} = f_p \times (\mu\alpha + KL) \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

- f' p_F = kehilangan prategang total karena gesekan pada tendon
- f_p = Tegangan tarik (MPa)
- α = Sudut kelengkungan pada tendon (rad)
- K = Koefisien gesek panjang (*wobble*)
- L = Panjang bentang (m)

Untuk menghitung kehilangan gaya prategang total akibat *stressing* kedua-dua ujungnya karena pengaruh lengkungan maupun panjang kabel dapat ditentukan dengan persamaan (T.Y Lin, 1996) sebagai berikut :

$$\frac{F_2 - F_1}{F_1} = -KL - \mu\alpha \dots\dots\dots (5)$$

dimana :

- F₁ = Besarnya gaya prategang di titik 1
- F₂ = Besarnya gaya prategang di titik 2
- K = Koefisien gesek panjang (*wobble*)
- L = Panjang bentang (m)
- μ = Koefisien kelengkungan
- α = Sudut kelengkungan pada tendon (rad)

Menurut SNI 02-2847-2002 kehilangan tegangan yang diakibatkan oleh *friksi* (gesekan) pada sebuah tendon dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$f'_{p} = f_p \times e^{(KL + \mu\alpha)} \dots\dots\dots (6)$$

dimana :

- f' p_F = kehilangan gaya prategang total karena gesekan pada tendon
- f_p = Tegangan tarik (MPa)
- e = 2,7183
- K = Koefisien gesek panjang (*wobble*)
- L = Panjang bentang (m)
- μ = Koefisien kelengkungan
- α = Sudut kelengkungan pada tendon (rad)

Kehilangan Prategang karena Slip Angkur

Untuk menentukan kehilangan gaya prategang yang diakibatkan oleh *slip* angkur (Andri Budiadi, 2008) dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut :

$$f'_{pA} = \Delta L = \frac{f_p}{E_p} L \dots \dots \dots (7)$$

dimana :

- f'_{pA} = kehilangan prategang total karena slip ankur
- f_p = Tegangan tarik (MPa)
- E_p = Modulus elastisitas tendon (MPa)
- L = Panjang tendon (mm)

Pada saat *stressing* dua arah kehilangan gaya prategang terjadi diakibatkan adanya blk-blok pada ankur pada saat gaya pendongkrak ditransfer ke anker. Cara mudah untuk mengatasi kehilangan prategang ini adalah dengan memberikan kelebihan tegangan. Pada umumnya besarnya kehilangan karena dudukan ankur bervariasi antara ¼ in dan 3/8 in (9,53 mm) dan dapat dihitung sebagai berikut :

$$f'_{pA} = \frac{\Delta A}{L} E_p \dots \dots \dots (8)$$

dimana :

- f'_{pA} = kehilangan prategang total karena slip ankur
- ΔA = Besarnya nilai gelincir ankur
- L = Panjang tendon (mm)
- E_p = Modulus elastisitas tendon (MPa)

Kehilangan Prategang karena Rangkak pada Beton

Besarnya kehilangan prategang akibat rangkak pada beton (Edward G. Nawy, 2001) dapat dihitung menggunakan rumus :

$$f'_{pCR} = n K_{CR} (f_{CS} - f_{CSD}) \dots \dots \dots (9)$$

$$f_{CS} = K_{CR} \times f_{CP} - f_g \qquad f_{CSD} = \frac{M_{MA} \times e}{I_x}$$

dimana :

- f'_{pCR} = kehilangan prategang total karena rangkak pada beton
- n = rasio modular
- K_{CR} = Koefisien rangkak, 2 (pratarik) dan 1,6 (pascatarik)
- f_{CS} = Tegangan di beton pada level pusat berat baja segera setelah transfer
- f_{CSD} = Tegangan di beton pada level pusat berat baja akibat semua beban mati tambahan yang bekerja setelah prategang diberikan.
- f_{CP} = Tegangan di beton pada pusat tendon
- M_{MA} = Momen yang ditimbulkan dari beban mati

Kehilangan Prategang karena Susut pada Beton

Kehilangan prategang akibat susut pada beton (T.Y Lin, 1996) dapat dihitung dengan rumus :

$$\epsilon_{sh} = 8,2 \times 10^{-6} \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) \times (100 - RH)$$

$$f'_{p_{sh}} = K_{sh} \times \epsilon_{sh} \times E_p \dots \dots \dots (10)$$

dimana :

- $f'_{p_{sh}}$ = kehilangan prategang total karena susut pada beton
- ϵ = Regangan susut dalam beton
- V = Volume beton
- S = Luas permukaan beton
- RH = Kelembaban relatif udara
- K = Koefisien susut yang tergantung waktu

E_p = Modulus elastisitas tendon

Kehilangan Prategang karena Relaksasi Baja

Kehilangan prategang yang diakibatkan oleh relaksasi pada baja (Andri Budiadi, 2008) dapat ditentukan dengan persamaan :

$$f'_{PRE} = [K_{RE} - J(f'_{PSH} + f'_{PCR} + f'_{PES})]C \dots\dots\dots (11)$$

dimana :

- f'_{PRE} = kehilangan prategang total karena relaksasi pada baja
- K_{RE} = Koefisien relaksasi
- J = Faktor waktu
- f'_{PSH} = kehilangan tegangan karena susut pada beton
- f'_{PCR} = kehilangan tegangan karena rangkai pada beton
- f'_{PES} = kehilangan prategang total karena perpendekan elastisitas beton
- C = Faktor relaksasi

METODE

Jenis Data

Data primer

Data primer yaitu data yang diperoleh langsung dari subyek penelitian dengan menggunakan alat pengukuran atau alat pengambilan data langsung pada subjek sebagai sumber informasi yang dicari. Data primer tersebut berupa foto dokumentasi

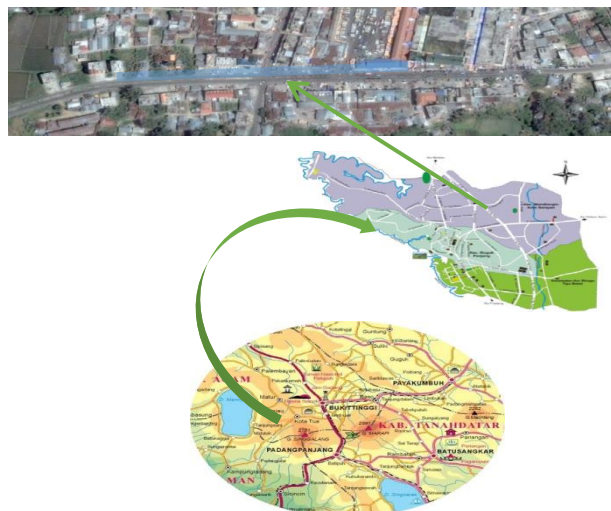
Data Sekunder

Data sekunder yaitu data yang diperoleh lewat pihak lain, tidak langsung diperoleh oleh peneliti dari subjek penelitiannya. Dalam penelitian ini data yang diperlukan adalah data yang berhubungan dengan permasalahan penelitian. Data sekunder tersebut berupa *shop drawing*.

Tempat Penelitian

Nama Proyek : Pembangunan *Fly Over* Bukittinggi.

Lokasi Proyek : Jalan By Pass Pasar Aur Kuning Bukit Tinggi, Sumatera Barat



Sumber : Google Earth, 2020

Gambar 1 Lokasi Proyek

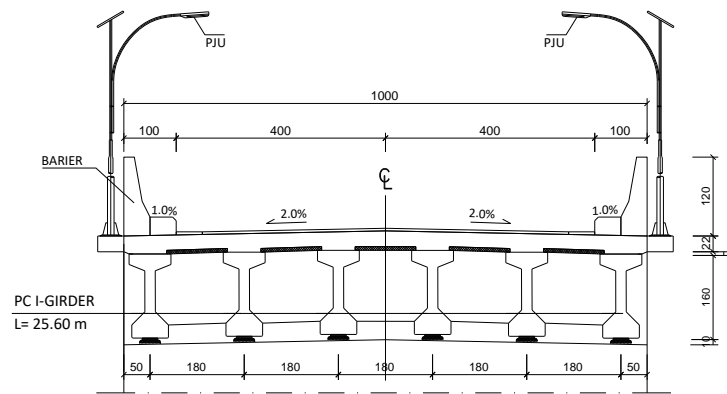
Adapun jenis-jenis data dalam penelitian ini adalah :

1. Data Struktur Desain Jembatan
 - a. Bentang jembatan = 25,6 m
 - b. Lebar jembatan = 10 m
 - c. Jumlah jalur = 2 jalur

- d. Lebar jalur = 4 m
 - e. Lebar trotoar dan pagar tepi = 2 m
 - f. Tebal plat lantai jembatan = 0,22 m
 - g. Tebal aspal = 0,05 m
 - h. Tinggi genangan air hujan = 0,03 m
2. Dimensi Girder
- a. Jenis girder = PC I girder
 - b. Jarak balok = 180 cm
 - c. Kuat tekan beton = 500 kg/cm²

Model Jembatan

Dalam penelitian ini jembatan yang digunakan yaitu jembatan beton prategang pasca tarik dengan girder PC I girder. Dengan panjang bentang 25,6 meter dan lebar jembatan 10 meter.



Sumber : Shop Drawing, 2014
Gambar 2 Potongan Melintang Jembatan

Prosedur Penelitian

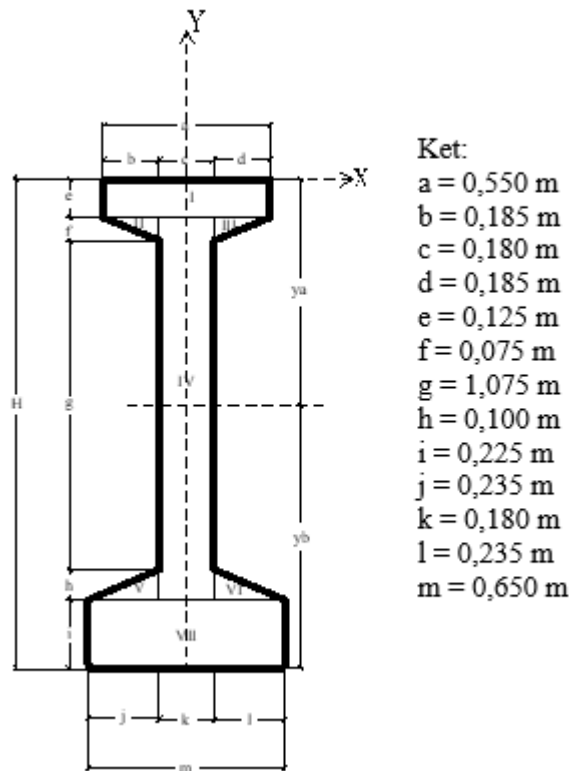
Adapun langkah-langkah dalam penelitian yang akan dilakukan antara lain :

1. Menentukan data struktur jembatan dan profil girder
2. Mengolah data yang telah ditentukan yang akan digunakan pada perhitungan, seperti :
 - a. Menghitung analisis penampang girder
 - b. Menghitung pembebanan jembatan
3. Melakukan analisis struktur girder beton prategang pada masing-masing girder antara lain :
 - a. Menentukan gaya prategang
 - b. Menentukan jumlah lintasan tendon
 - c. Menghitung kehilangan gaya prategang yang diakibatkan oleh metode stressing yaitu satu arah dan dua arah
 - d. Menghitung control lendutan dan tegangan
4. Menyimpulkan bagaimana perbedaan kehilangan gaya prategang yang diakibatkan oleh metode stressing yaitu satu arah dan dua arah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Analisis Penampang

Untuk melakukan analisis PC I Girder dilakukan pembagian penampang seperti terlihat pada Gambar dibawah ini.



Sumber : Data Olahan, 2020
Gambar 3 Pembagian Penampang PC I Girder

Tabel 1. Perhitungan Luas dan Titik Berat PC I Girder

| Bagian | Luas (A _i) | Jarak Titik Berat Bagian ke Acuan | Luas x Jarak Titik Berat |
|--------|---|-----------------------------------|--------------------------|
| | (m ²) | (m) | (m ³) |
| I | A _I = a x e = 0,55 x 0,125 = 0,0688 | 0,0625 | 0,0043 |
| II | A _{II} = ½ x b x f = ½ x 0,185 x 0,075 = 0,0069 | 0,15 | 0,0010 |
| III | A _{III} = ½ x d x f = ½ x 0,185 x 0,075 = 0,0069 | 0,15 | 0,0010 |
| IV | A _{IV} = (f+g+h) x c = (0,075 + 1,075 + 0,1) x 0,18 = 0,2241 | 0,7375 | 0,1653 |
| V | A _V = ½ x h x j = ½ x 0,1 x 0,235 = 0,0118 | 1,3083 | 0,0154 |
| VI | A _{VI} = ½ x h x m = ½ x 0,1 x 0,235 = 0,0118 | 1,3083 | 0,0154 |
| VII | A _{VII} = i x n = 0,225 x 0,65 = 0,1463 | 1,4875 | 0,2084 |
| Total | 0,4765 | | 0,4199 |

Sumber : Data Olahan, 2020

$$Y_a = \frac{Y}{A} = \frac{0,4199 \text{ m}^3}{0,4765 \text{ m}^2} = 0,8814 \text{ m}$$

$$Y_b = H - Y_a = 1,6000 - 0,8814 = 0,7186 \text{ m}$$

Tabel 2. Analisis Penampang

| Bagian | Luas | X | Y | AX ² | AY ² | Ix ₀ | Iy ₀ | Ix | Iy |
|--------|--------|---|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------|--------|
| I | 0,0688 | 0 | 0,0625 | 0 | 0,0003 | 0,0001 | 0,0017 | 0,0004 | 0,0017 |
| II | 0,0069 | 0 | 0,1500 | 0 | 0,0002 | 0,00001 | 0,00004 | 0,0002 | 0,0000 |
| III | 0,0069 | 0 | 0,1500 | 0 | 0,0002 | 0,00001 | 0,00004 | 0,0002 | 0,0000 |
| IV | 0,2241 | 0 | 0,7375 | 0 | 0,1219 | 0,0289 | 0,0006 | 0,1508 | 0,0006 |
| V | 0,0118 | 0 | 1,3083 | 0 | 0,0201 | 0,00002 | 0,0001 | 0,0201 | 0,0001 |
| VI | 0,0118 | 0 | 1,3083 | 0 | 0,0201 | 0,00002 | 0,0001 | 0,0201 | 0,0001 |
| VII | 0,1463 | 0 | 1,4875 | 0 | 0,3236 | 0,0006 | 0,0051 | 0,3242 | 0,0051 |
| Jumlah | | | | | | | | 0,5160 | 0,0078 |

Sumber : Data Olahan, 2020

$$W_a = \frac{I_x}{Y_a} = \frac{0,5160 \text{ m}^4}{0,8814 \text{ m}} = 0,59 \text{ m}^3$$

$$W_b = \frac{I_x}{Y_b} = \frac{0,5160 \text{ m}^4}{0,7186 \text{ m}} = 0,718 \text{ m}^3$$

Pembebanan Jembatan.

Tabel 3. Resume Momen dan Gaya Geser

| No | Jenis Beban | Kode Beban | Q (T/m) | P (Ton) | Q (Tm) |
|--------|---------------|------------|---------|---------|---------|
| 1 | Berat Sendiri | MS | 2,4130 | | |
| 2 | Beban Mati | MA | 0,2509 | | |
| 3 | Beban Lajur D | TD | 1,6200 | 12,348 | |
| 4 | Gaya Rem | TB | | | 10,7777 |
| 5 | Beban Angin | EW | 14,6000 | | |
| 6 | Beban Gempa | EQ | 0,3596 | | |
| Jumlah | | | 19,2435 | 12,348 | 10,7777 |

Sumber : Data Olahan, 2020

Gaya Prategang dan Jumlah Tendon

Berdasarkan Shop Drawing Strand yang digunakan pada PC I girder adalah Strand Ø12.7 mm.

Standard = JIS-3536 atau ASTM A-416

Tegangan tarik (fp) = 1.870 Mpa

Tegangan leleh strand (fy) = 80% x fp
= 0.80 x 1870
= 1.496 MPa

Jacking Force = 80% dari UTS

Mutu Beton saat service = K- 500 Kg/cm² = fc' = 40 Mpa

Mutu Beton saat stressing = 80 % x 40 Mpa = 32 MPa

Tegangan tekan beton (fci') = 85% x fc' = 0,85 x 500 = 425 Kg/cm²

Tegangan izin pada saat initial

Tegangan tekan = 0,60 x fci' = 0,60 x 425 = 255 Kg/cm²

Tegangan tarik = 0,80 x $\sqrt{fci'}$ = 0,80 x $\sqrt{425}$ = 16,49 Kg/cm²

Tegangan izin pada saat service

Tegangan tekan = 0,45 x fc' = 0,60 x 500 = 225 Kg/cm²

Tegangan tarik = 1,59 x $\sqrt{fc'}$ = 1,59 x $\sqrt{500}$ = 35,55 Kg/cm²

Eksentrisitas tendon

e_s = Y_b - z₀ = 0,7186 - 0,295 = 0,4236 m = 42,3643 cm

Tegangan di serat atas

$$\sigma_{top} = \frac{Pt}{A} - \frac{Pt \times e_s}{W_a} + \frac{M_{MS1}}{W_a}$$

$$Pt = \frac{16,4924 \times 585.906,7305 + 9.758.208}{42,3643 - 585.906,7305 / 4.764,75}$$

= 241.137,911 kg = 241,1379 ton

Tegangan di serat bawah

$$\sigma_{bot} = \frac{Pt}{A} + \frac{Pt \times e_s}{W_b} - \frac{M_{MS1}}{W_b}$$

$$Pt = \frac{255 \times 718.023,163 + 9.758.208}{718.023,163 / 4764,75 - 42,3643}$$

= 1.780.237,9679 kg = 1.780,238 ton

Kesimpulan, diambil nilai Pt yang terkecil = 241,138 ton.

Beban putus satu tendon (P_{bi}) = 156,10 kN = 15,610 ton.

Kehilangan Gaya Prategang.

Tabel 4. Persentase Kehilangan Gaya Prategang

| | Satu Arah (%) | Dua Arah (%) |
|--|---------------|--------------|
| Perpendekan elastis dan lenturan balok | 1,631 | 1,915 |
| Gesekan Tendon | 10,900 | 10,733 |
| Slip Angkur | 1,018 | 0,037 |
| Rangkak Beton | 4,330 | 4,330 |
| Susut Beton | 1,525 | 1,525 |
| Relaksasi Baja | 10,292 | 10,224 |
| Kehilangan Total | 29,696 | 28,764 |

Sumber : Data Olahan, 2020

Namun telah dilakukan tegangan yang lebih besar untuk mengatasi kehilangan prategang karena gesekan pada tendon dan slip angkur. Maka total kehilangan gaya prategang akibat *stressing* satu arah dan *stressing* dua arah dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Total Persentase Kehilangan Gaya Prategang

| | Satu Arah (%) | Dua Arah (%) |
|--|---------------|--------------|
| Perpendekan elastis dan lenturan balok | 1,631 | 1,915 |
| Rangkak Beton | 4,330 | 4,330 |
| Susut Beton | 1,525 | 1,525 |
| Relaksasi Baja | 10,292 | 10,224 |
| Kehilangan Total | 17,778 | 17,994 |

Sumber : Data Olahan, 2020

Analisa Tegangan

1. Tegangan pada saat initial

Tegangan atas :

$$\sigma_{top} = \frac{Pt}{A} - \frac{M_{MS}}{Wa} = \frac{241,1379}{0,4765} - \frac{197,6770}{0,59} = 158,4452 \text{ ton/m}^2 = 15,8445 \text{ kg/cm}^2$$

Tegangan bawah :

$$\sigma_{bot} = \frac{Pt}{A} + \frac{M_{MS}}{Wb} = \frac{241,1379}{0,4765} + \frac{197,6770}{0,7180} = 781,3945 \text{ ton/m}^2 = 78,1395 \text{ kg/cm}^2$$

2. Tegangan pada saat service

Tegangan atas :

$$\sigma_{top} = \frac{Pt}{A} + \frac{M_{MA}}{Wc} = \frac{241,1379}{0,4765} + \frac{20,56}{0,44} = 552,7492 \text{ ton/m}^2$$

Tegangan bawah :

$$\sigma_{bot} = \frac{Pt}{A} - \frac{M_{MA}}{Wb} = \frac{241,1379}{0,4765} - \frac{20,56}{0,7180} = 347,4595 \text{ ton/m}^2 = 34,7460 \text{ kg/cm}^2$$

Kontrol Tegangan

1. Kontrol Tegangan pada saat initial

Tegangan atas (σ_{top}) = 15,8445 kg/cm² ≤ Tegangan Ijin = 16,49 kg/cm² (OK)

Tegangan bawah (σ_{bot}) = 78,139 kg/cm² ≤ Tegangan Ijin = 255 kg/cm² (OK)

2. Kontrol Tegangan pada saat service

Tegangan atas (σ_{top}) = 55,2749 kg/cm² ≤ Tegangan Ijin = 225 kg/cm² (OK)

Tegangan bawah (σ_{bot}) = 34,75 kg/cm² ≤ Tegangan Ijin = 35,55 kg/cm² (OK)

Analisa Lendutan

$$\delta = \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times E_c \times I} = \frac{5 \times 1,1912 \times 25,6^4}{384 \times 3.031.148,25 \times 0,5160} = 0,004259 \text{ m}$$

Kontrol lendutan = L/800 = 25,6 / 800 = 0,032 m

= 0,004259 m ≤ 0,032 m (OK)

SIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat dirangkum dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Metode *stressing* pada proyek pembangunan *fly over* Bukittinggi metode *post tensioning* berpengaruh pada kehilangan gaya prategang khususnya pada kehilangan prategang karena gesekan tendon dan relaksasi pada baja.
2. Berdasarkan data yang diperoleh dari proyek pembangunan *fly over* Bukittinggi di dapatkan hasil analisa kehilangan gaya prategang yang diakibatkan oleh metode *stressing* satu arah yaitu 29,696% dan metode *stressing* dua arah yaitu 28,764%.
3. Namun telah dilakukan tegangan awal yang lebih besar pada saat *stressing* untuk mengatasi kehilangan prategang karena gesekan pada tendon dan slip ankur. Maka nilai kehilangan gaya prategang yang diakibatkan oleh metode *stressing* satu arah yaitu 17,778% dan metode *stressing* dua arah yaitu 17,994%.
4. Kontrol keamanan struktur telah memenuhi syarat keamanan struktur dengan tegangan dan lendutan yang terjadi kurang dari tegangan dan lendutan yang diizinkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiadi, Andri. 2008. *Desain Praktis Beton Prategang*. Yogyakarta: Andi
- Darmawan, M. Sigit. 2008. Perhitungan Kehilangan Pratekan Total dengan Memakai Teori Kemungkinan. *Jurnal for Strata Degree*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nawy, Edward G. 2001. *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar. Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Erlangga
- Ned, T.Y Lin dan H. Burns. 1996. *Desain Struktur Beton Prategang Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Erlangga
- Ramadhan. 2015. *Devinisi Jalan Fly Over*. Tersedia : <http://DevinisiJalanFlyOver.html>
- Rizkia, Selvia Rahma. 2017. Analisis Perbandingan Kehilangan Prategang Akibat Metode Stressing Satu Arah dan Dua Arah Pada Jembatan Beton Prategang. *Jurnal for Strata Degree*. Lampung: Universitas Lampung.
- SNI 1725:2016. 2016. *Pembebanan Untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2833:2016. 2016. *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2847:2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (Beta Version)*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional
- SNI T-12-2004. 2004. *Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional