

PERENCANAAN BALOK GIRDER PROFIL I PADA JEMBATAN PRESTRESSED DENGAN VARIASI BENTANG

Armin

H. Manalip, Banu Dwi Handono

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: armin_ar7@yahoo.com

ABSTRAK

Kemampuan sebuah jembatan beton prategang dalam memikul beban terutama pada struktur atas sangat dipengaruhi oleh kekuatan girderinya. Girder profil I merupakan bentuk yang paling banyak digunakan untuk pekerjaan balok jembatan. Direncanakan sebuah jembatan prestressed dengan metode post tension yang menggunakan girder profil I sebagai struktur utamanya. Kabel prestress yang digunakan adalah jenis strands Uncoated 7 wire super strands ASTM 416 Grade 270 Low Relaxation. Balok prategang ditinjau sebagai fully prestressed. Perencanaan dilakukan dengan dua model perencanaan, model perencanaan yang pertama adalah memvariasikan bentang jembatan, dimensi girder profil I, serta jumlah tendon yang digunakan. Sedangkan model perencanaan yang kedua adalah dimensi girder profil I dipertahankan dan penggunaan tendonnya dioptimalkan (hanya digunakan 2 tendon untuk masing-masing bentang jembatan). Girder profil I prestressed untuk bentang jembatan 20 m adalah $b = 0.47$ m dan $h = 0.95$ m, dengan $P_t = 3745$ kN, $n_t = 2$ tendon serta $n_s = 30$ strands, dimensi girder profil I prestressed untuk bentang jembatan 30 m adalah $b = 0.60$ m dan $h = 1.36$ m dengan $P_t = 6026$ kN, $n_t = 3$ tendon serta $n_s = 48$ strands. Jika dimensi girder profil I dipertahankan dan penggunaan tendonnya dioptimalkan (hanya digunakan 2 tendon saja), maka diperoleh $P_t = 6150$ kN, dan $n_s = 46$ strands, dimensi girder profil I prestressed untuk bentang jembatan 40 m adalah $b = 0.80$ m dan $h = 1.74$ m dengan $P_t = 9415$ kN, $n_t = 4$ tendon serta $n_s = 72$ strands. Jika dimensi girder profil I dipertahankan dan penggunaan tendonnya dioptimalkan (hanya digunakan 2 tendon saja), maka diperoleh $P_t = 9500$ kN, dan $n_s = 70$ strands.

Kata kunci : Jembatan, Beton Prategang, Girder Profil I, Post Tension, Fully Prestressed, Variasi Bentang.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kemampuan sebuah jembatan beton prategang dalam memikul beban terutama pada struktur atas sangat dipengaruhi oleh kekuatan girderinya. Girder profil I merupakan bentuk yang paling banyak digunakan untuk pekerjaan balok jembatan. Girder Profil I berbentuk penampang I dengan penampang bagian tengah lebih langsing dari bagian pinggirnya. Girder profil I memiliki penampang yang kecil dibandingkan jenis girder lainnya, sehingga biasanya dari hasil analisa merupakan penampang yang ekonomis. Selain itu trend penggunaan balok beton prategang dengan bentuk I dipilih karena dianggap mudah dalam proses pembuatan, lebih efisien, dan mudah pelaksanaannya di lapangan.

Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan pada bagian latar belakang, maka dapat diambil suatu rumusan yang akan digunakan

sebagai acuan. Adapun rumusan masalah tersebut adalah “bagaimana merencanakan balok girder profil I pada jembatan *prestressed*”.

Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan dimensi penampang balok girder profil I *prestressed* yang optimal sesuai perubahan panjang balok untuk masing-masing bentang jembatan.

Batasan Masalah

Rumusan masalah penelitian ini dibatasi pada:

1. Perencanaan jembatan, hanya dilakukan pada girder beton prategangnya saja.
2. Panjang jembatan divariasikan dengan bentang 20 meter, 30 meter, dan 40 meter.
3. Lebar jembatan konstan untuk semua variasi bentang jembatan.
4. Jumlah girder profil I konstan untuk semua variasi bentang jembatan.
5. Perencanaan dilakukan dengan 2 cara, yaitu :

- a. Variasi Bentang jembatan, tinggi I girder, dan Jumlah tendon yang digunakan.
- b. Dimensi girder profil I dipertahankan, sedangkan tendon yang digunakan dioptimalkan (hanya digunakan 2 tendon untuk semua variasi bentang jembatan).
6. Sistem prategang yang digunakan adalah pascatarik (*post-tension*).
7. Prategang ditinjau sebagai *fully prestressed* (prategang penuh).
8. Tendon bersifat *bonded* (Saluran kabel diisi dengan material *grouting*)
9. Tendon prategang yang digunakan dalam perencanaan adalah jenis *Strand Uncoated 7 Wire Super Strand ASTM A-416, Grade 270* standar VSL.
10. Perhitungan pembebanan mengacu pada SNI-T-02-2005, tentang “Standar Pembebanan Untuk Jembatan.

- Beban mati tambahan
- Beban Lajur "D"



Gambar 1. PC I Girder
(Sumber : Selvia Rahma Rizkia, 2017)

Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh adalah dapat mengetahui cara serta konsep perencanaan balok girder profil I pada sebuah jembatan *prestressed* dan dapat dijadikan sebagai referensi/acuan untuk perencananan balok girder profil I pada jembatan *prestressed*.

LANDASAN TEORI

Jembatan

Jembatan adalah suatu bangunan struktural yang digunakan untuk melewati orang atau kendaraan di atas dua daerah/kawasan atau ruang terpisah oleh sungai, lembah, jurang atau hambatan fisik lainnya.

PC I Girder

PC I girder merupakan girder jembatan yang memiliki bentuk penampang I dengan penampang bagian tengah lebih langsing daripada bagian pinggir. PC I girder merupakan girder dengan penampang yang kecil dibanding dengan jenis girder lainnya dan memiliki berat sendiri yang relatif lebih ringan per unitnya, oleh sebab itu biasanya dari hasil analisis PC I girder adalah penampang yang ekonomis. Contoh penampang PC I girder dapat dilihat pada Gambar 1.

Pembebanan Pada Jembatan

Beban-beban yang umum diperhitungkan dalam desain struktur girder adalah sebagai berikut :

- Berat sendiri

Beton Prategang

Beton prategang atau beton pratekan merupakan beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja.

Metode Pemberian Gaya Prategang

Pada dasarnya ada dua macam metode pemberian gaya prategang pada beton, yaitu :

- Metode Pratarik (*Pre-Tension Method*).
Pada metode ini baja prategang diberi gaya prategang dulu sebelum beton dicor, oleh karena itu disebut *pretension method*.
- Metode Pascatarik (*Post-Tension Method*).
Pada metode ini, beton dicor lebih dahulu, dimana sebelumnya telah disiapkan saluran kabel atau tendon yang disebut *duct*.

Kehilangan Gaya Prategang

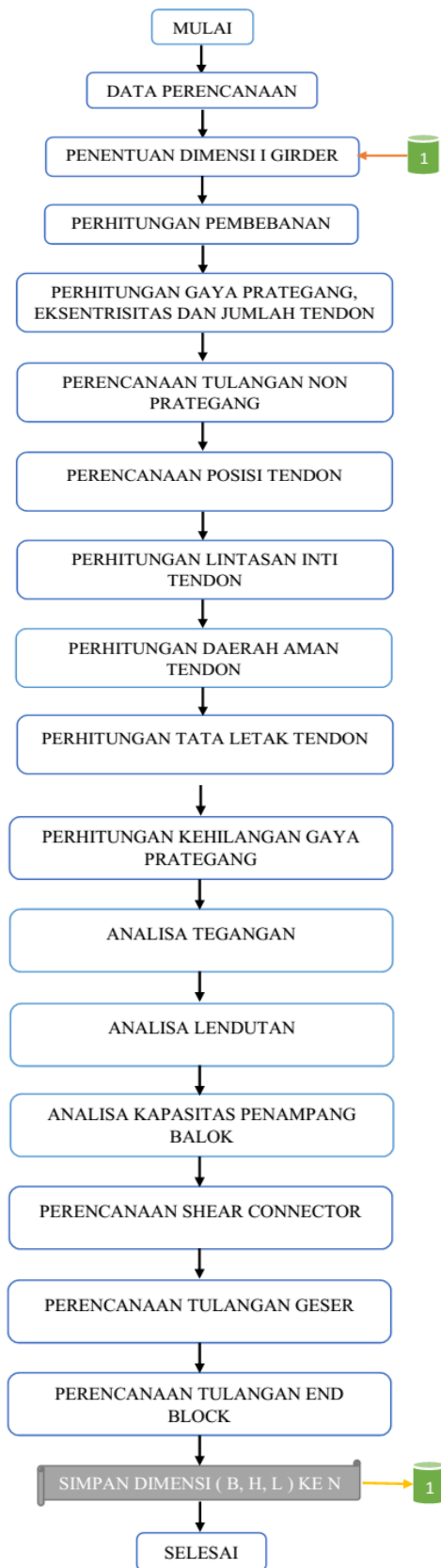
Kehilangan gaya prategang adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon pada tahap-tahap pembebanan. Kehilangan gaya prategang secara umum dibagi menjadi 2 yaitu kehilangan gaya prategang dalam jangka pendek dan kehilangan tegangan akibat pengaruh waktu.

- Kehilangan gaya prategang jangka pendek terdiri dari : Kehilangan akibat gesekan kabel (Δf_{PK}), *slip* pengangkutan (Δf_a), dan perpendekan elastis beton (Δf_{ES}).
- Kehilangan gaya prategang akibat pengaruh waktu terdiri dari : Kehilangan akibat rangkai (Δf_{CR}), susut (Δf_{SH}), dan relaksasi baja prategang (Δf_{CE}).

METODE PENELITIAN

Pembahasan utama dalam penelitian ini adalah perencanaan balok girder profil I pada

jembatan *prestressed*. Adapun langkah-langkah penelitian disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Data Perencanaan

Data yang digunakan dalam perencanaan adalah sama untuk semua bentang jembatan. Adapun data perencanaan yang dimaksud meliputi :

Data Jembatan

Tebal lantai jembatan	$h_o = 0.20$ m
Tebal lapisan aspal+overlay	$h_a = 0.10$ m
Tebal genangan air hujan	$h_h = 0.05$ m
Jarak antar balok prategang	$s = 1.80$ m
Lebar jalur lalu lintas	$b_1 = 7.00$ m
Lebar trotoir	$b_2 = 1.00$ m
Lebar total jembatan	$b = 9.00$ m
Jumlah balok prategang	
selebar b_1 n balok	$= 5.0$ bh

Spesifikasi Bahan

Spesific Grafity (w_c)

Beton prategang	$= 25.5$ kN/m ³
Beton bertulang	$= 25.0$ kN/m ³
Aspal	$= 22.0$ kN/m ³
Air hujan	$= 9.81$ kN/m

Beton

Kuat tekan beton prestressed (f'_c)= 45 MPa

Modulus elastic beton prestressed,

$$\begin{aligned}
 E_c &= 0.043 * W_c^{1.5} * \sqrt{f'_c} \text{ balok} \\
 &= 0.043 * 2.550^{1.5} * \sqrt{45} \\
 &= 37144 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Kuat tekan beton plat lantai (f'_c)= 35 MPa

Modulus elastik beton plat lantai,

$$\begin{aligned}
 E_c &= 0.043 * W_c^{1.5} * \sqrt{f'_c} \text{ plat} \\
 &= 0.043 * 2.500^{1.5} * \sqrt{35} \\
 &= 31799 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Baja prategang

Data *strands cable* - standar VSL

Jenis *strands Uncoated 7 wire super strands ASTM 416 Grade 270*.

Tegangan leleh *strands* $f_{py} = 1580$ MPa

Kuat tarik *strands* $f_{pu} = 1860$ MPa

Diameter nominal *strands* $= 12.7$ mm

Luas tampang nominal satu *strands*

$$A_{st} = 98.7 \text{ mm}^2$$

Beban putus minimal satu *strands*

$$P_{bs} = 183.58 \text{ kN}$$

Modulus elastisitas *strands*

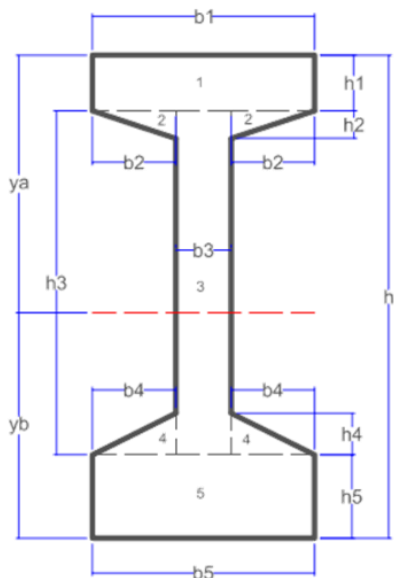
$$E_s = 192500 \text{ MPa}$$

Baja tulangan non prategang

Untuk BJTD > 12 mm $f_y = 320$ MPa

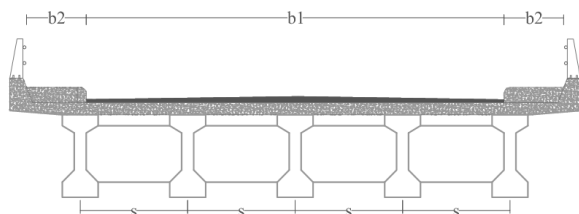
Untuk BJTP ≤ 12 mm $f_y = 240$ MPa

Penampang girder profil I desain dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 3. Penampang I Girder Desain

Tipikal penampang melintang jembatan rencana dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tipikal Penampang Melintang Jembatan

Penentuan Dimensi I Girder

Penentuan dimensi I Girder mengacu pada pendekatan yang diberikan oleh T.Y. Lin dan Ned H. Burns (2000), dimana tinggi penampang untuk girder tipe I (h) adalah $L/20 - L/28$. Sedangkan untuk lebar (b) dari balok I girder prestressed ditentukan sendiri samapai diperoleh dimensi girder profil I prestressed yang optimal untuk masing – masing bentang jembatan.

Perhitungan Gaya Prategang, Eksentrisitas dan Jumlah Tendon

- Gaya prategang awal (P_i) ditentukan dengan mengambil nilai terkecil diantara dua persamaan berikut ini:

$$P_i/A + P_i * e_s / W_a - M_{balok} / W_a = 0 \quad (1)$$

$$P_i/A + P_i * e_s / W_b - M_{balok} / W_b = -0.6 f'_{ci} \quad (2)$$

- Gaya prategang pada saat jacking (P_j) dihitung dengan rumus :

$$P_j = P_o * P_{bs} * n_s \quad (3)$$

- Eksentrisitas tendon (e_s) dihitung dengan rumus:

$$e_s = y_b - z_o \quad (4)$$

- Jumlah tendon (n_t) dihitung dengan rumus:

$$n_t = P_j / 0.85 * P_{b1} \quad (5)$$

- Jumlah strands (n_s) dihitung dengan rumus:

$$n_s = P_j / 0.85 * P_{bs} \quad (6)$$

Perencanaan Tulangan Non Prategang

Perencanaan tulangan non prategang dimaksudkan untuk mengantisipasi kegagalan mendadak premature berupa rupture pada tulangan akibat dari kecilnya persentase tulangan yang digunakan dalam desain.

Perencanaan Posisi Tendon

Perencanaan posisi tendon dimaksudkan untuk mengatur tata letak masing-masing tendon agar tetap pada lintasan yang aman berdasarkan eksentrisitas yang diasumsikan diawal.

Perhitungan Lintasan Inti Tendon

Lintasan inti tendon direncanakan berbentuk parabola, untuk itu dalam perhitungan digunakan persamaan yang diberikan oleh T.Y. Lin dan Ned H. Burns (2000), sebagai berikut :

$$Y_i = (4 * f_i * X_i * (L - X_i)) / L^2 \quad (7)$$

Perhitungan Daerah Aman Tendon

Tujuan dari perhitungan daerah aman tendon adalah untuk mengetahui daerah batas dimana tendon dapat diletakkan agar tidak terjadi tegangan tarik pada serat terjauh penampang balok baik pada saat transfer maupun pada saat masa layan.

Perhitungan Tata Letak Tendon

Perhitungan tata letak tendon dimaksudkan untuk mengetahui letak masing - masing tendon pada penampang balok prestressed disepanjang bentang jembatan.

Analisa Tegangan

Analisa tegangan diperlukan untuk memastikan tegangan yang terjadi pada penampang balok prestressed sebelum beban rencana bekerja maupun setelah beban rencana bekerja tidak melebihi tegangan yang diijinkan baik tarik maupun tekan.

Analisa Lendutan

Analisa lendutan perlu dilakukan untuk memastikan lendutan yang terjadi pada komponen struktur tidak melebihi lendutan yang diijinkan baik sebelum maupun setelah beban rencana bekerja pada komponen struktur.

Analisa Kapasitas Penampang

Analisa kapasitas penampang dilakukan untuk mengetahui kekuatan batas penampang rencana yang didesain untuk kemudian dikontrol terhadap momen *ultimate* yang terjadi akibat pembebanan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

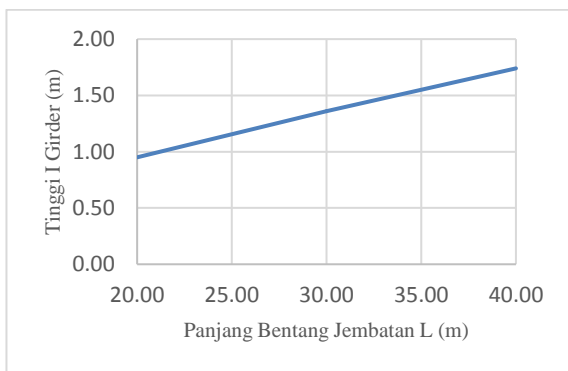
Penentuan Dimensi I Girder

Dimensi girder profil I prestressed desain, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Dimensi Girder Profil I *Prestressed* Desain

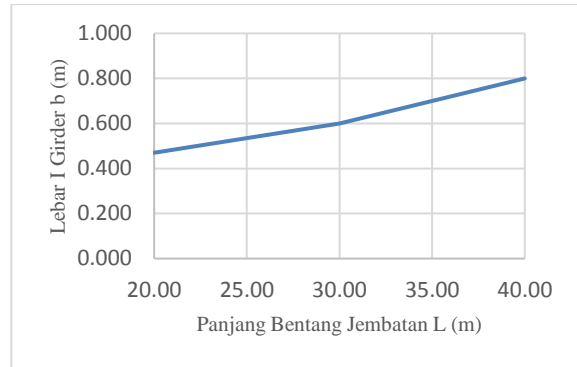
L	Dimensi Girder Profil I	
	b	h
m	m	m
20	0.47	0.95
30	0.60	1.36
40	0.80	1.74

Grafik di bawah ini menunjukkan hubungan antara tinggi I girder *prestressed* dan panjang bentang jembatan.



Gambar 5. Grafik Hubungan Tinggi Balok Girder (h) dan Panjang Bentang Jembatan (L)

Grafik hubungan antara lebar I girder *prestressed* dan panjang bentang jembatan, dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan Lebar Balok Girder (b) dan Panjang Bentang Jembatan (L)

Perhitungan Gaya Prategang, Eksentrisitas dan Jumlah Tendon

Hasil perhitungan gaya prategang, eksentrisitas dan jumlah tendon diberikan pada Tabel 2 dan Tabel 3 di bawah ini.

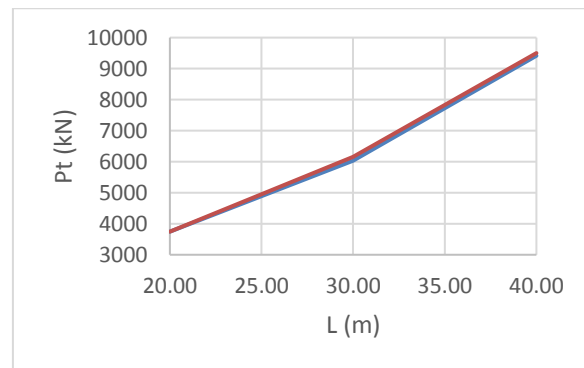
Tabel 2. Gaya Prategang, Eksentrisitas dan Jumlah Tendon untuk Perencanaan 1

L	P _j	P _t	e _s	n _t	n _s
m	kN	kN	m	tdn	strands
20	4161	3745	0.30	2	30
30	7089	6026	0.51	3	48
40	11076	9415	0.67	4	72

Tabel 3. Gaya Prategang, Eksentrisitas dan Jumlah Tendon untuk Perencanaan 2

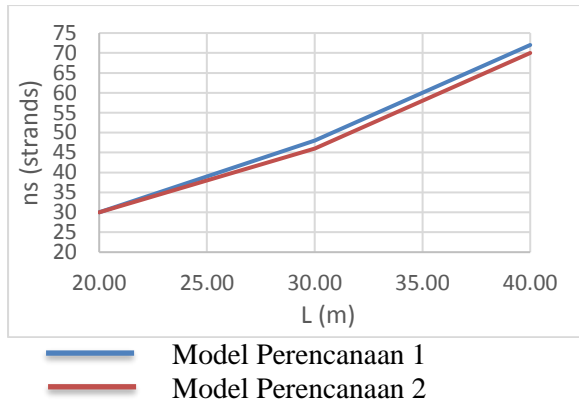
L	P _j	P _t	e _s	n _t	n _s
m	kN	kN	m	tdn	strands
20	4161	3745	0.30	2	30
30	6833	6150	0.49	2	46
40	10556	9500	0.64	2	66

Grafik di bawah ini menunjukkan hubungan antara gaya prategang awal (P_t) dan panjang bentang jembatan (L).



Gambar 7. Grafik Hubungan antara P_t dan L

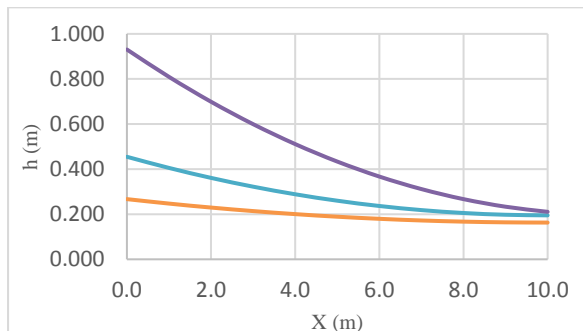
Grafik hubungan antara gaya prategang awal (P_i) dan panjang bentang jembatan (L) diberikan pada Gambar 8.



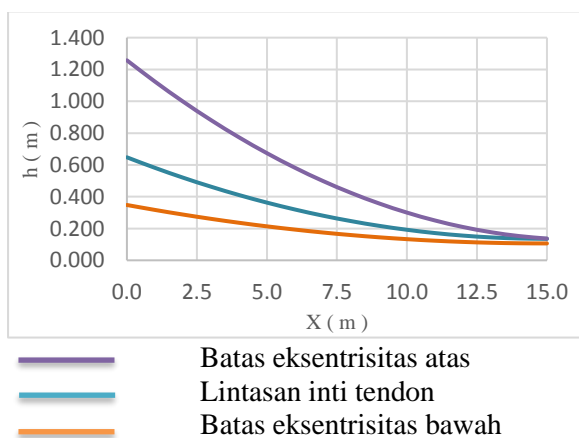
Gambar 8. Grafik Hubungan antara Ns dan L

Perhitungan Lintasan Inti Tendon dan Daerah Aman Tendon

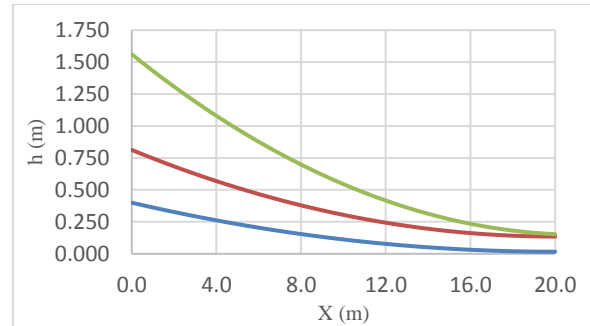
Hasil perhitungan lintasan inti tendon dan daerah aman tendon diberikan dalam bentuk grafik sebagai berikut :



Gambar 9. Grafik Lintasan Inti Tendon dan Daerah Aman Tendon untuk L = 20 m



Gambar 10. Grafik Lintasan Inti Tendon dan Daerah Aman Tendon untuk L = 30 m



Gambar 11. Grafik Lintasan Inti Tendon dan Daerah Aman Tendon untuk L = 40 m

Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

Hasil perhitungan kehilangan gaya prategang diberikan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Kehilangan Gaya Prategang untuk Perencanaan 1

Jenis Kehilangan	Bentang Jembatan (L)		
	20 m	30 m	40 m
Δf_{Px} (kPa)	76718	108585	135723
Δf_a (kPa)	24063	16042	12031
Δf_{ES} (kPa)	44665	117180	193214
Δf_{CR} (kPa)	90380	93587	100650
Δf_{SH} (kPa)	20889	20221	19975
Δf_{CE} (kPa)	17545	17002	17957
% Total	19.5	24.9	30.8
P_{eff} (kN)	3349	5324	7668

Tabel 5. Kehilangan Gaya Prategang untuk Perencanaan 2

Jenis Kehilangan	Bentang Jembatan (L)		
	20 m	30 m	40 m
Δf_{Px} (kPa)	76718	107727	1311199
Δf_a (kPa)	24063	16042	12031
Δf_{ES} (kPa)	44665	48028	50412
Δf_{CR} (kPa)	90380	93566	97076
Δf_{SH} (kPa)	20889	20221	19975
Δf_{CE} (kPa)	17545	25675	26886
% Total	19.5	20.7	22.1
P_{eff} (kN)	3349	5420	8223

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dimensi girder profil I prestressed untuk lebar jembatan 9 m dan bentang 20 m adalah $b = 0.47$ m dan $h = 0.95$ m, dengan gaya prategang

- awal sebesar 3745 kN, tendon yang digunakan 2 tendon, serta strands yang digunakan 30 strands.
2. Dimensi girder profil I prestressed untuk lebar jembatan 9 m dan bentang 30 m adalah $b = 0.60$ m dan $h = 1.36$ m, dengan gaya prategang awal sebesar 6026 kN, tendon yang digunakan 3 tendon, serta strands yang digunakan 48 strands. Jika dimensi girder profil I dipertahankan dan penggunaan tendonnya dioptimalkan (hanya digunakan 2 tendon saja), maka diperoleh gaya prategang awal sebesar 6150 kN dan strands yang digunakan 46 strands.
 3. Dimensi girder profil I prestressed untuk lebar jembatan 9 m dan bentang 40 m adalah $b = 0.80$ m dan $h = 1.74$ m, dengan gaya prategang awal sebesar 9415 kN, tendon yang digunakan 4 tendon, serta strands yang digunakan 72 strands. Jika dimensi girder profil I dipertahankan dan penggunaan tendonnya dioptimalkan (hanya digunakan 2 tendon saja), maka diperoleh gaya prategang awal sebesar 9500 kN dan strands yang digunakan 70 strands.
 4. Dimensi penampang girder profil I prestressed yang diperoleh dari perencanaan ini berlaku untuk lebar jembatan 9 m serta bentang 20 m, 30 m dan 40 m, dengan prategang ditinjau sebagai *fully prestressed*.
 5. Gaya prategang awal (P_t) yang digunakan, hanya berlaku untuk tipe serta dimensi girder profil I *prestressed* yang sama seperti yang ada dalam perencanaan ini.
 6. Grafik hubungan antara tinggi girder profil I *prestressed* dan panjang bentang jembatan untuk bentang 20 m sampai 40 m cenderung linear.

Saran

1. Dimensi penampang girder profil I *prestressed* yang diperoleh dari perencanaan ini berlaku untuk lebar jembatan 9 m serta bentang 20 m, 30 m dan 40 m dengan tidak mengizinkan adanya tegangan tarik baik pada saat transfer maupun pada saat masa layan. Untuk itu diharapkan kepada perencana selanjutnya untuk merencanakan dimensi girder profil I *prestressed* untuk lebar serta bentang jembatan yang sama atau lebar serta bentang jembatan yang lainnya dengan mengizinkan adanya tegangan tarik pada saat transfer maupun pada saat masa layan.
2. Diharapkan kepada para perencana berikutnya untuk menggunakan *software* dengan ketelitian yang lebih tinggi dalam perhitungan untuk lebih menjamin tingkat keamanan struktur.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM – 416

Dini Fitria Annur dan Johannes Tarigan. 2013. *Perencanaan Precast Concrete I Girder pada Jembatan Prestressed Post-tension dengan Bantuan Program Microsoft Office Excel (Skripsi)*. Medan: Universitas Sumatera Utara.

Lin, T.Y. dan Burns, N.H. 2000. *Desain Struktur Beton Prategang*. Jakarta : Erlangga.

Selvia Rahma Rizkia. 2017. *Analisis Perbandingan Kehilangan Prategang Akibat Metode Stressing Satu Arah Dan Dua Arah Pada Jembatan Beton Prategang (Skripsi)*. Lampung : Universitas Lampung.

SNI T-02-2005. *Perencanaan Pembebanan untuk Jembatan* . Jakarta : Badan Standardisasi Nasional Indonesia.

SNI T-12-2004. *Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional Indonesia.

Soetoyo. *Konstruksi Beton Pratekan*. <http://ardi.staff.gunadarma.ac.id>, 08 Maret 2017.

Tabel VSL

Halaman ini sengaja dikosongkan