

ANALISIS GIRDER PRATEGANG TERHADAP BEBAN PELAKSANAAN ANTARA METODE KONVENSIONAL DAN INOVATIF

¹Taufiq Rochman, ²Sudarmanto, ³Fifil Umam

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang

¹taufiqrochman@gmail.com, ²sudarmanto@polinema.ac.id, ³rafifilumam7@gmail.com,

Abstract

Implementation method plays a vital role in the world of construction because it is related directly to the project scheduling. To apply the construction method, both safety factor and effectiveness of work must be identified. The purpose of the analysis is to determine the behavior of the girder of a bridge implemented using innovative methods and to determine the safety factor during the implementation.

The required data were the height of girder is 2.1m and width 0.7m. Referred to SNI 1725 Loading for bridges, and controlling structures referred to SNI T-12-2004 (Concrete Structure Planning for Bridges). The analysis began by determining the geometry dimensions of the girder, STAADPro software was used for modelling and Microsoft was for analyzing.

The results of the analysis show that innovative method is safe to implement, the stresses that occur do not exceed the allowable stress; the safety factor shows all numbers more than 1, indicating if innovative method is safe.

Keywords: Innovative modeling, Launching girder, Safe implementation, Safety factor

Pendahuluan

Pada perkembangan zaman ini penggunaan beton prategang pada bangunan konstruksi sipil pada masa sekarang menjadi hal yang lazim. Konstruksi dengan menggunakan beton prategang memungkinkan suatu struktur dengan ukuran penampang yang lebih kecil namun memiliki kapasitas memikul beban yang lebih besar dengan bentang yang lebih panjang. Dengan ukuran penampang yang lebih kecil, anggaran pembangunan konstruksi bangunan lebih ekonomis.

K. Kesavan dkk (2005) meneliti untuk menilai keamanan dan servis struktur beton prategang yang mengalami tekanan, perlu untuk memperkirakan tingkat prategang yang ada dalam struktur / komponen. Maka dari itu perlu diperhatikan untuk tingkat tekanan dan pembebanannya.

Dengan alasan yang disebutkan di atas penggunaan struktur beton prategang banyak digunakan untuk konstruksi jembatan bentang panjang. Apabila bentang balok dari beton bertulang melebihi 70 sampai 90 ft (23 m sampai 30 m), maka beban mati balok tersebut menjadi sangat berlebihan yang menghasilkan komponen struktur yang lebih berat sehingga menimbulkan

retak dan defleksi jangka panjang yang lebih besar.

Pada metode konvensional ada kontraktor mengeluhkan dengan lamanya pekerjaan atau kecilnya tingkat produktifitas pada saat launching girder, yaitu dengan menggunakan 2 service crane lalu menyiapkan girder untuk dibawa dengan launching gantry.

Pada penelitian ini peneliti juga akan memberikan metode baru dengan cara meletakkan girder yang akan di launching diatas girder yang sudah terpasang, sehingga akan meningkatkan tingkat produktifitas launcher girder dengan mengurangi waktu yang dibutuhkan servis crane untuk memindahkan girder seperti metode yang lama.

Kajian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keamanan pada saat pelaksanaan pemasangan girder prategang dan kontrol struktur girder beton prategang. Kontrol struktur beton prategang membahas perencanaan dimensi girder, rencana tendon prategang, kehilangan sebagian prategang, kontrol lendutan, kontrol tegangan, dan cek kapasitas tahanan lentur. Dilihat permasalahan tersebut maka tujuan pembahasan ini meliputi:

Analisis Keamanan Girder Prategang Terhadap Beban Pelaksanaan Antara Metode Konvensional dan Inovatif

1. Bagaimana perilaku girder dan launcher pada saat erection girder pada metode konvensional?
2. Bagaimana pembebanan yang sesuai pada saat pelaksanaan menggunakan metode inovatif?
3. Bagaimana pemodelan metode yang diajukan penulis menggunakan STAADPro?

Beton Prategang

Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal.

Struktur beton prategang atau pratekan didefinisikan sebagai suatu sistem struktur beton khusus dengan cara memberikan tegangan awal tertentu pada komponen sebelum digunakan untuk mendukung beban luar sesuai dengan yang diinginkan. Tujuan memberikan tegangan awal atau prategang adalah untuk menimbulkan tegangan awal tekan beton pada lokasi dimana nantinya akan timbul tekanan tarik pada waktu komponen mendukung beban sedemikian rupa sehingga diharapkan sewaktu beban seluruhnya bekerja tegangan tarik total berkurang atau bahkan lenyap sama sekali (Dipohusodo, 1994).

Beton prategang adalah beton bertulang yang diberi tegangan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja (SNI T-12-2004)

Tegangan Maksimum

SNI T-12-2004 memberikan batasan tegangan ijin maksimum beton dan baja prategang yang dibagi menjadi 2 kondisi, yaitu pada kondisi segera setelah transfer gaya prategang dan kondisi batas layan.

Tegangan di beton segera setelah transfer prategang (sebelum terjadinya kehilangan prategang yang bergantung pada waktu) tidak boleh melebihi nilai berikut:

- a. Tegangan tekan di serat terluar $0,60 f_{ci}$
- b. Tegangan tarik di serat terluar di ujung balok yang ditumpu sederhana $0,5 \sqrt{f_{ci}}$

Tegangan di beton pada kondisi beban kerja (sesudah semua kehilangan prategang) tidak boleh melebihi nilai berikut:

- a. Tegangan tekan di serat terluar $0,45 f_c'$
- b. Tegangan tarik di serat terluar $0,5 \sqrt{f_c'}$

Tegangan tarik baja prategang pada kondisi transfer gaya prategang tidak boleh melebihi nilai berikut:

- a. Akibat gaya penjangkaran tendon, sebesar $0,94 f_{py}$ tetapi tidak lebih besar dari $0,85 f_{pu}$ atau nilai maksimum yang direkomendasikan oleh fabrikator pembuat tendon prategang atau jangkar.

- b. Sesaat setelah transfer gaya prategang, boleh diambil sebesar $0,82 f_{py}$, tetapi tidak lebih besar dari $0,74 f_{pu}$.

Tegangan tarik baja prategang pada kondisi batas layan tidak boleh melampaui nilai berikut:

- a. Tendon pasca tarik, pada daerah jangkar dan sambungan, sesaat setelah penjangkaran tendon, sebesar $0,70 f_{pu}$.

- b. Untuk kondisi layan, sebesar $0,60 f_{pu}$.

Kehilangan Prategang

Kehilangan gaya prategang itu adalah berkurangnya gaya yang bekerja pada tendon pada tahap-tahap pembebanan. Secara umum kehilangan gaya prategang dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Immediate Elastic Losses (Kehilangan Prategang dalam Jangka Pendek)

Ini adalah kehilangan gaya prategang langsung atau segera setelah beton diberi gaya prategang. Kehilangan gaya prategang secara langsung ini disebabkan oleh:

- a. Perpendekan Elastic Beton (Elastic shortening)

- b. Kehilangan akibat friksi atau geseran sepanjang kelengkungan dari tendon, ini terjadi pada beton prategang dengan sistem post tension.

- c. Kehilangan pada sistem ankur, antara lain akibat slip di ankur Y Lin (1993)

2. Time dependent Losses

Ini adalah kehilangan gaya prategang akibat dari pengaruh waktu, yang mana hal ini disebabkan oleh:

- a. Rangkak (creep) pada beton.

- b. Susut pada beton.

- c. Relaksasi baja prategang.

Karena banyaknya faktor yang saling terkait, perhitungan kehilangan gaya prategang (losses) secara eksak sangat sulit untuk dilaksanakan, sehingga banyak dilakukan me-toda pendekatan, misalnya metoda lump-sum (AASHTO), PCI method dan ASCE-ACI methods Sutoyo (2006).

Launcher Girder

Launcher adalah salah satu dampak positif dari kemajuan teknologi dibidang konstruksi jembatan. Dalam metode konstruksi ini, struktur atas jembatan (span pertama) dirangkai terlebih dahulu pada salah satu sisi abutmen jembatan kemudian didorong dari abutmen ke pierhead

Analisis Keamanan Girder Prategang Terhadap Beban Pelaksanaan Antara Metode Konvensional dan Inovatif

pertama. Kemudian pada bagian span kedua dirangkai kembali hingga selesai kemudian didorong kembali hingga span pertama bertumpu pada pier head kedua dan span kedua bertumpu pada pier head yang pertama. Launcher Girder bukan metode erection yang paling murah dalam pembangunan jembatan karena Launcher Girder membutuhkan banyak analisis, keahlian dan alat khusus dalam melaksanakannya. Namun Launcher Girder menjadi metode yang mungkin atau harus digunakan jika akses pelaksanaannya sulit atau tidak boleh merusak lingkungan bila menggunakan metode konvensional. Ketika dilakukan dalam pembangunan jembatan, Launcher Girder memberikan beberapa keuntungan baik bagi owner maupun kontraktor.

Temporary Bridge

Temporary Bridge merupakan jembatan sementara yang dibangun untuk membantu dalam pengerjaan suatu proyek, dimana mobilisasi dalam pengerjaan suatu proyek tersebut harus melintasi sungai, ataupun sebagai akses jalan. Dalam erection method menggunakan Temporary Bridge, dibutuhkan alat bantu dalam pelaksanaannya karena temporary bridge hanya sebagai akses untuk memudahkan dalam pelaksanaan erection. Alat – alat bantu yang di pergunakan dalam pekerjaan erection pada metode Temporary Bridge adalah Crawler Crane dan Truck Boogie.

Safety Factor

Dalam rekayasa, faktor keselamatan (FoS), juga dikenal sebagai (dan digunakan secara bergantian dengan) faktor keselamatan (SF), menyatakan seberapa kuat suatu sistem daripada yang dibutuhkan untuk beban yang dimaksudkan. Faktor keselamatan sering dihitung menggunakan analisis terperinci karena pengujian komprehensif tidak praktis pada banyak proyek, seperti jembatan dan bangunan, tetapi kemampuan struktur untuk mengangkut beban harus ditentukan dengan akurasi yang wajar.

Ada dua definisi untuk faktor keselamatan (FoS):

1. Rasio kekuatan absolut struktur (kapabilitas struktural) terhadap beban aktual yang diterapkan ini adalah ukuran keandalan desain tertentu. Ini nilai yang dihitung, dan kadang-kadang disebut, demi kejelasan, sebagai faktor keselamatan yang disadari.

2. Nilai yang disyaratkan konstan, diberlakukan oleh hukum, standar, spesifikasi,

kontrak atau kebiasaan, yang harus dipenuhi atau dilampaui oleh suatu struktur. Ini dapat disebut sebagai faktor desain, faktor desain keselamatan atau faktor keselamatan yang diperlukan.

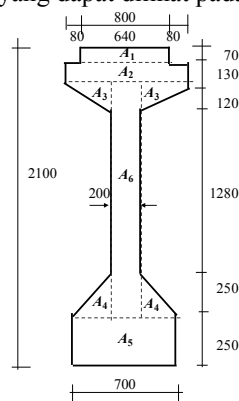
Dalam buku Roark's Formulas for Stress and Strain menerangkan bahwa faktor keselamatan yang direalisasikan harus lebih besar dari faktor desain keselamatan yang disyaratkan. Namun, antara berbagai industri dan penggunaan kelompok engineer tidak konsisten dan membingungkan.

Batas keamanan sebagai ukuran kemampuan structural definisi batas keamanan ini biasa dilihat dalam buku Mechanical Design and Analysis pada dasarnya mengatakan bahwa jika bagian tersebut dimuat ke beban maksimum yang seharusnya dilihat dalam layanan, berapa banyak lagi beban yang sama kekuatan itu bisa bertahan sebelum gagal. Akibatnya, ini adalah ukuran kemampuan berlebih. Jika margin 0, bagian tidak akan mengambil beban tambahan sebelum gagal, jika negatif bagian akan gagal sebelum mencapai beban desainnya dalam pelayanan. Jika marginnya 1, ia dapat menahan satu beban tambahan dengan gaya yang sama dengan beban maksimum yang dirancang untuk didukung (yaitu dua kali beban desain). Untuk Menghitung *margin of safety* digunakan **Persamaan 1**.

$$\text{Margin of Safety} = \frac{\text{Failure Load}}{\text{Design Load} \times \text{Design Safety Factor}} - 1 \quad (1)$$

Profil Girder

Girder yang digunakan pada penelitian ini mempunyai tinggi 2,1 meter dan lebar 0.7 meter yang dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Penampang G

Spesifikasi Girder

Adapun untuk spesifikasi girder yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Spesifikasi girder

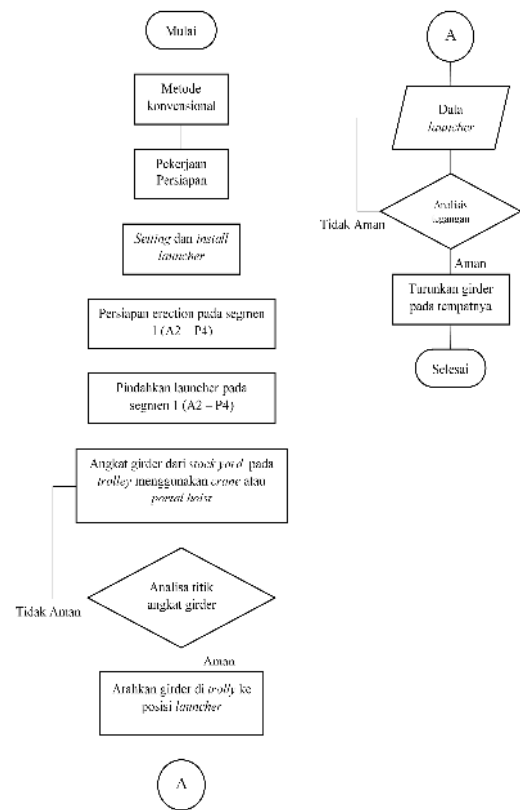
Analisis Keamanan Girder Prategang Terhadap Beban Pelaksanaan Antara Metode Konvensional dan Inovatif

No	Data	Spesifikasi
Mutu Baja		
1	Tegangan leleh baja (f_y)	390 MPa
2	Tegangan ultimit (f_u)	450 MPa
3	Modulus elastisitas (E_s)	200.000 MPa
Mutu Beton		
		K - 500
1	Kuat tekan beton (f'_c)	42,3 MPa
2	Modulus elastisitas beton (E_c)	$4700\sqrt{f'_c} = 30,568$ MPa
Berat Jenis		
1	Berat jenis baja (W_s)	78,5 kN/m ³
2	Berat jenis beton (W_c)	24 kN/m ³
Strand		
1	PC Strand (\emptyset)	12,7 mm
2	UTS	18700 kgf
3	Jumlah Strand	4
	Kabel 1	12 Ø12,7 mm
	Kabel 2	12 Ø12,7 mm
	Kabel 3	12 Ø12,7 mm
	Kabel 4	12 Ø12,7 mm
4	Gaya prestress efektif	112 kN/Strand

Bagan Alir

Metode Konvensional

Metode konvensional yang dimaksud dalam penulisan ini adalah metode pelaksanaan pemasangan PCI girder dengan menggunakan launcher atau beam launcher, yang dibantu dengan menggunakan servis crane untuk menyiapkan girder yang akan di launcher. Bagan alir dapat dilihat pada **Gambar 2**.



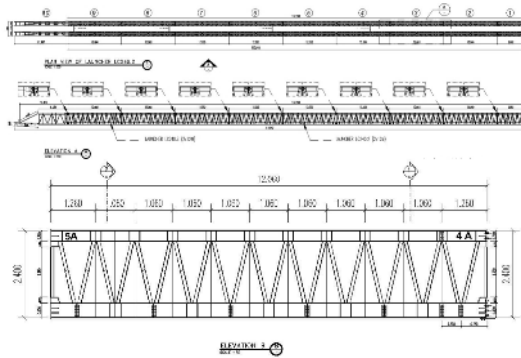
Gambar 2. Bagan alir metode konvensional

Metode Inovatif

Metode inovatif merupakan metode yang diajukan penulis yang dimaksud agar mempermudah dalam pelaksanaan erection. Skema metode inovatif adalah meletakkan stock girder yang akan di launching ditumpuk dengan girder yang lain, cara ini bertujuan agar launcher tidak terlalu jauh dalam menjangkau girder, sehingga mempercepat proses erection.

Keamanan dalam metode ini perlu dihitung karena berat girder yang akan dibahas adalah 75 ton dan beban tersebut secara stack berada diatas girder dalam waktu yang lama karena menunggu proses erection. Berbeda dengan beban kendaraan yang melintas girder dengan cepat. Skema metode inovatif dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Analisis Keamanan Girder Prategang Terhadap Beban Pelaksanaan Antara Metode Konvensional dan Inovatif

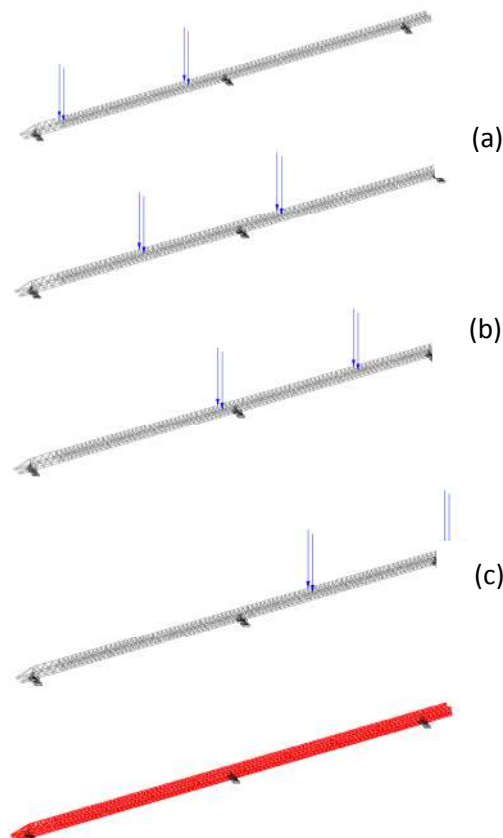


Gambar 9. Launching Gantry

Material launcher adalah sebagai berikut:

- Standard : ASTM
- Designation : A242 Grade 46
- Fy : 317 MPa
- Fu : 462 MPa

Adapun untuk pemodelan gantry juga dikerjakan menggunakan STAADPro dengan pembebanan 4 kondisi sesuai dengan berjalannya girder yang diangkat dengan gantry ada pada **Gambar 10**.



Gambar 11. Berturut – turut pembebanan kondisi a-d dan e adalah berat sendiri gantry

Ringkasan pemodelan pengangkatan girder di rangkum pada **Tabel 3**.

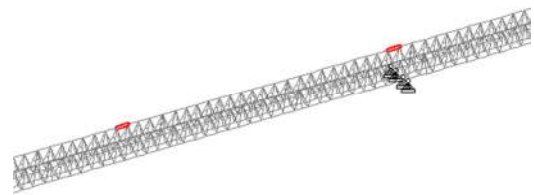
Tabel 3. Rangkuman lendutan pada gantry

	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4	Maksimum
Lendutan (mm)	169	167	142	121	208
Tegangan (Mpa)	152	158	180	137	211
	OK	OK	OK	OK	OK

Dari tabel diatas didapatkan lendutan maksimum 208 mm diambil dari SNI – 03 – 1729 – 2002 yaitu $\frac{L}{240}$ sedangkan tegangan maksimum diambil dari $\frac{2}{3} F_y$ yaitu sebesar 211 MPa.

Tegangan Launcher

Pada pemodelan launcher terjadi beban aksial sebesar 197 ton (tekan) dan tarik sebesar 197 ton yang ada pada batang dapat dilihat pada **Gambar 12**.



Gambar 12. Batang yang menerima tegangan terbesar

Batang yang menerima beban tekan dan Tarik tersebut adalah H beam 300.300.10.15, karenanya akan dianalisis pada hitungan dibawah ini:

a. Batang tekan

$$\begin{aligned} \text{Beban terfaktor } P_u &= 219,789 \text{ kg} \\ &= 2,197,890 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang } A_g &= 2 \cdot 15 \cdot 300 + 10 \cdot 270 \\ &= 11,700 \end{aligned}$$

mm²

$$\begin{aligned} P_n &= \phi \cdot A_g \cdot \frac{F_y}{\omega} \\ &= 0.85 \cdot 11,700 \cdot \frac{317}{1} \end{aligned}$$

$$= 3,152,565 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi syaratnya, } P_n > P_u &= \\ 3,152,565 > 2,197,890 &\rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

$$\text{Safety factor } \frac{P_n}{P_u} = \frac{3,152,565}{2,197,890}$$

$$\text{Safety factor} = 1.4$$

b. Batang Tarik

$$\begin{aligned} \text{Beban terfaktor } P_u &= 197,773 \text{ kg} \\ &= 1,977,730 \text{ N} \end{aligned}$$

Analisis Keamanan Girder Prategang Terhadap Beban Pelaksanaan Antara Metode Konvensional dan Inovatif

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang } A_g &= 2 \cdot 15 \cdot 300 + 10 \cdot 270 \\ &= 11,700 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{n1} &= \phi \cdot A_g \cdot F_y \\ &= 0.9 \cdot 11,700 \cdot 317 \\ &= 3,338,010 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi syaratnya, } P_{n1} &> P_u \\ 3,338,010 &> 1,977,730 \rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

$$\text{Safety factor } \frac{P_n}{P_u} = \frac{3,338,010}{1,977,730}$$

$$\text{Safety factor} = 1.6$$

$$\begin{aligned} P_{n2} &= \phi \cdot A_e \cdot F_y \\ &= 0.9 \cdot 9,945 \cdot 317 \\ &= 3,445,942.5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi syaratnya, } P_{n2} &> P_u \\ 3,445,942.5 &> 1,977,730 \rightarrow \end{aligned}$$

OK

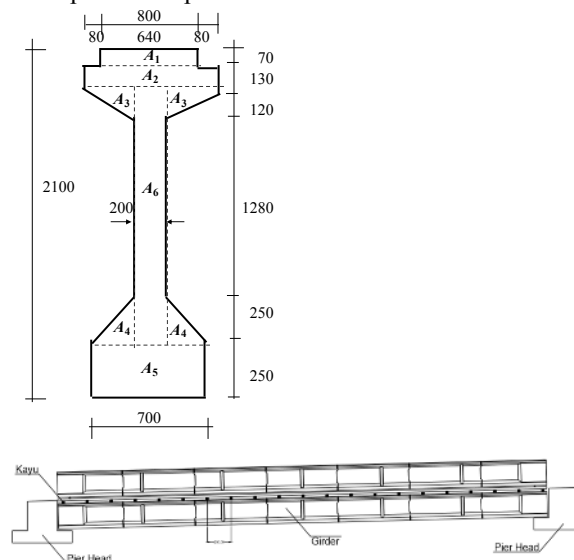
$$\text{Safety factor } \frac{P_n}{P_u} = \frac{3,445,942.5}{1,977,730}$$

$$\text{Safety factor} = 1.7$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa rangka batang atau launcher aman digunakan pada saat erection girder, menimbang semua safety factor lebih dari 1 serta lendutan yang nilainya dibawah lendutan ijin. Perhitungan dan pemodelan menunjukkan hasil yang sama – sama aman dan tidak ada tegangan ataupun lendutan yang melebihi batas ijin.

Analisis Girder yang menjadi Tumpuan

Girder yang menjadi tumpuan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Girder untuk tumpuan girder

Pembebanan

Pembebanan girder dengan metode inovatif akan ditabelkan sesuai dengan Tabel 4.

Tabel 4. Pembebanan girder

No.	Beban	Faktor beban (γ)	Mmax (momen) N.m	Smax (geser) N	$\gamma \cdot M_{max}$ (momen) N.m	$\gamma \cdot S_{max}$ (geser) N
1	Beban mati struktur		(MS)			
	Girder	1.2	3,793,849	370,132	4,552,619	444,157
	GL	1.6	3,793,849	370,132	6,070,091	592,204
	TL	1.6	265,566	25,909	424,906	41,454
	TOTAL		7,853,222		11,047,616	1,077,816

Statis Momen

Statis momen didapatkan dari penampang girder yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Statis momen girder

No	A (mm ²)	Y (mm)	A . Y (mm ³)	I _{x0}	A . Y ² _N	I _x Total
1	32,000	35	1,568,000	18,293,333	49,679,317,064	49,697,610,397
2	120,000	135	14,040,000	146,466,667	94,463,555,673	94,610,022,339
3	36,000	240	8,640,000	28,800,000	25,625,572,680	25,654,372,680
4	62,500	1,767	110,416,667	217,013,889	29,153,132,951	29,370,146,840
5	175,000	1,975	345,625,000	911,458,333	139,024,266,647	139,935,724,980
6	330,000	1,025	338,250,000	74,868,750,000	1,136,888,827	76,005,638,827
Total	752,300		818,539,667	Inersia Penampang (mm ⁴)		413,988,026,354

Tendon

Tendon yang direncanakan pada girder dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Rencana Tendon

Tendon	Jumlah strand	Profile Tumpuan	Tengah	A _{sp} (mm ²)	f _{pu} (Mpa)
1	18	1700	340	98.7	1860
2	18	1250	220	98.7	1860
3	18	850	100	98.7	1860
4	12	550	100	98.7	1860
5	12	250	100	98.7	1860
Total	78	1000	183		

Posisi Tendon

Posisi tendon didapatkan melalui pengolahan data yang ditabelkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Posisi Tendon

Analisis Keamanan Girder Prategang Terhadap Beban Pelaksanaan Antara Metode Konvensional dan Inovatif

Tendon	1	2	3	4	5	cgs	cgc
A	0.002	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000
B	-0.099	-0.075	-0.055	-0.033	-0.011	-0.060	0.000
C	1.700	1.250	0.850	0.550	0.250	1.000	0.000
0.15	1.685	1.239	0.842	0.545	0.248	0.991	1.012
1	1.602	1.176	0.796	0.518	0.239	0.941	1.012
2	1.508	1.105	0.744	0.487	0.229	0.885	1.012
3	1.418	1.036	0.694	0.457	0.219	0.831	1.012
4	1.331	0.971	0.647	0.428	0.209	0.779	1.012
5	1.248	0.908	0.601	0.401	0.200	0.729	1.012
6	1.169	0.848	0.557	0.374	0.191	0.681	1.012
7	1.093	0.790	0.515	0.349	0.183	0.635	1.012
8	1.021	0.736	0.475	0.325	0.175	0.592	1.012
9	0.952	0.684	0.438	0.303	0.168	0.551	1.012
"x" jarak dari tumpuan girder (m)	10	0.887	0.634	0.402	0.281	0.160	0.512
	11	0.826	0.588	0.368	0.261	0.154	0.475
	12	0.768	0.544	0.336	0.242	0.147	0.440
	13	0.714	0.504	0.306	0.224	0.141	0.408
	14	0.664	0.465	0.279	0.207	0.136	0.378
	15	0.617	0.430	0.253	0.192	0.131	0.350
	16	0.574	0.397	0.229	0.177	0.126	0.324
	17	0.535	0.368	0.207	0.164	0.121	0.300
	18	0.499	0.340	0.188	0.153	0.118	0.279
	19	0.467	0.316	0.170	0.142	0.114	0.259
	20	0.438	0.294	0.154	0.132	0.111	0.242
	21	0.413	0.276	0.140	0.124	0.108	0.227
	22	0.392	0.259	0.129	0.117	0.106	0.214
	23	0.374	0.246	0.119	0.111	0.104	0.204
	24	0.360	0.235	0.111	0.107	0.102	0.195
	25	0.350	0.228	0.106	0.103	0.101	0.189
	26	0.343	0.223	0.102	0.101	0.100	0.185
	27	0.340	0.220	0.100	0.100	0.100	0.183
	28	0.340	0.220	0.100	0.100	0.100	0.183

Kehilangan Prategang

1. Akibat prategang pada saat transfer (balok saja).

$$\Delta_{pi} = -\frac{P_i \cdot L^2}{8 \cdot E \cdot I} \cdot \left[e_e + \frac{5}{6} (e_c) \right]$$

$$= -83 \text{ mm (ke atas)}$$

2. Akibat berat sendiri

$$\Delta_q = \frac{5 \cdot q_{girder} \cdot L^4}{384 \cdot E_c \cdot I_c}$$

$$= 38 \text{ mm (ke bawah)}$$

3. Akibat GL

$$\Delta_q = \frac{5 \cdot q_{GL} \cdot L^4}{384 \cdot E_c \cdot I_c}$$

$$= 38 \text{ mm (ke bawah)}$$

4. Akibat TL

$$\Delta_q = \frac{5 \cdot q_{TL} \cdot L^4}{384 \cdot E_c \cdot I_c}$$

$$= 3 \text{ mm (ke bawah)}$$

Dari perhitungan kehilangan prategang disederhanakan menggunakan **Tabel 8**.

Tabel 8. Kehilangan Prategang

Beban yang bekerja	Beban q (N/mm)	Long time cambers and deflection				
		Release (1)	multipliers	Erection (2)	multipliers	Service (3)
1. Akibat gaya prategang		-89	1.80 x (1)	-160	2.20 x (1)	-196
2. Akibat berat girder sendiri	18055	41	1.85 x (1)	75	2.40 x (1)	97
		-49		-85		-99
3. Akibat beban GL	18.06			41	3.00 x (2)	122
				-45		23
4. Akibat TL	1.26			3	2.30 x (2)	7
				-42		30
						30

Total lendutan akhir adalah = 30 mm

Batasan lendutan izin L/800 = 51 mm

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa total lendutan akibat beban pelaksanaan adalah 30 mm angka tersebut berada dibawah lendutan ijin yaitu 51 mm, dapat dikatakan lendutan yang terjadi ini adalah aman.

Kontrol Tegangan Girder

1. Tegangan pada saat transfer

Kontrol tegangan pada kondisi transfer meliputi tegangan yang terjadi pada penampang tumpuan dan tengah bentang. Beban yang bekerja pada kondisi ini adalah gaya prategang dan berat sendiri girder. Gaya prategang yang digunakan pada kondisi beban kerja adalah gaya prategang *initial* (P_i), yaitu gaya prategang sesaat setelah dilakukan pendongkrakan dan belum mengalami kehilangan sebagian prategang.

a. Penampang tumpuan

$$ft = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{e_c \cdot c_t}{c} \right)$$

$$= -13.01 \text{ MPa (tekan)}$$

$$-13.01 < -36.72 \text{ OK}$$

$$fb = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 + \frac{e_c \cdot c_b}{c} \right)$$

$$= -13.62 \text{ MPa (tekan)}$$

$$-13.62 < -36.72 \text{ OK}$$

b. Penampang tengah bentang

$$ft = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 - \frac{e_c \cdot c_t}{c} \right)$$

$$= -1.46 \text{ MPa (tekan)}$$

$$-1.46 < -36.72 \text{ OK}$$

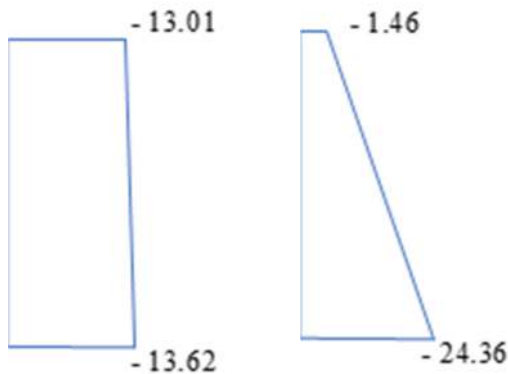
$$fb = -\frac{P_i}{A_c} \left(1 + \frac{e_c \cdot c_b}{c} \right)$$

$$= -24.36 \text{ MPa (tekan)}$$

$$-24.36 < -36.72 \text{ OK}$$

Gambar tegangan girder dapat dilihat pada **Gambar 14**.

Analisis Keamanan Girder Prategang Terhadap Beban Pelaksanaan Antara Metode Konvensional dan Inovatif



Gambar 14. Kiri tegangan pada tumpuan, kanan tegangan pada tengah bentang

b. Tegangan pada kondisi pelaksanaan

Kontrol tegangan pada kondisi pelaksanaan meliputi tegangan yang terjadi pada penampang tengah bentang. Beban yang bekerja pada kondisi ini adalah beban gaya prategang, berat sendiri girder dan beban girder yang ditumpuk beserta tracknya. Dapat dilihat pada **Gambar 15.**

Penampang tengah bentang:

$$\begin{aligned}
 f_t &= -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{e_c \cdot c_t}{r^2}\right) - \frac{M_T}{S_{ct}} < f_r \\
 f_b &= -\frac{P_e}{A_c} \left(1 + \frac{e_c \cdot c_b}{r^2}\right) + \frac{M_T}{S_{cb}} \\
 f_t &= -\frac{P_e}{A_c} \left(1 - \frac{e_c \cdot c_t}{r^2}\right) < f_r \\
 &= -13.83 \text{ MPa } \left(\frac{M_{(vekan)}}{S_{ct}} + M_{MSS} \right) \\
 -13.83 &< -27.54 \quad \text{OK} \\
 f_b &= -\frac{P_e}{A_c} \left(1 + \frac{e_c \cdot c_b}{r^2}\right) \\
 &= -7.71 \text{ MPa } \left(\frac{M_{(vekan)}}{S_{cb}} + M_{MSS} \right) \\
 -7.71 &< -27.54 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$



Gambar 15. Tegangan pada tengah bentang

Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada kajian penelitian ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Metode konvensional adalah metode pelaksanaan *erection* dengan penataan stok secara horizontal, menurut analisis *launcher* yang digunakan adalah aman dan memenuhi syarat.
2. Pengangkatan girder yaitu 1.5 meter dari ujung untuk menjaga dari kegagalan *erection*.
3. Metode inovatif yaitu penataan girder secara vertikal, hasil dari analisis menunjukkan bahwa semua tegangan tidak melebihi tegangan ijin beton.
4. Tegangan – tegangan pada *launcher* dan girder aman dan tidak melebihi tegangan ijin.
5. Metode inovatif lebih ringkas daripada metode konvensional, karena *launcher* tidak perlu kembali pada posisi semula.

Saran

Berdasarkan dari kesimpulan kajian penelitian ini, maka dapat diberikan saran kepada kontraktor, pemilik proyek, dan konsultan. Adapun saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Bagi kontraktor:
 - a. Pembuatan metode pelaksanaan ereksi girder prategang perlu dianalisis apapun yang terjadi agar terhidar dari kegagalan pada proses ereksi.
 - b. Menempatkan stock girder seperti pada pembahasan ini adalah aman dan dapat mempercepat proses ereksi
 - c. Mematuhi tata cara perlakuan produk girder prategang yang telah direkomendasikan oleh industri pembuat girder.
2. Bagi pemilik proyek dan konsultan:
 - a. Inovasi dalam pelaksanaan agar ereksi dapat dilakukan dengan cepat dan aman
 - b. Memeriksa rencana pekerjaan ereksi girder yang diajukan kontraktor apakah sudah benar dan aman.
 - c. Menghemat biaya dengan penggunaan alat yang lebih efisien.

Daftar Rujukan

Dipohusodo, Istimawan. (1994). *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia Pustaka. Jakarta.
 L.J. Murdock, K.M. Brook, (1999), *Bahan dan praktek beton*, Jakarta: Erlangga.
 Lin, T. Y., Burns, N. H. (1981). *Design of Prestressed Concrete Structures*. John Wiley & Sons. New York.
 Nawy, E. G. (2001). *Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar Jilid 1 Edisi Ketiga*. Erlangga. Jakarta.

Analisis Keamanan Girder Prategang Terhadap Beban Pelaksanaan Antara Metode Konvensional dan Inovatif

- Nawy, E. G. (2010). *Prestressed Concrete A Fundamental Approach Fifth Edition Update ACI, AASHTO, IBC, 2009 Codes Version*. Prentice Hall. USA.
- SNI T-12-2004. Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta. Jakarta