

ANALISIS JEMBATAN PRATEGANG BOX GIRDER DENGAN *INCREMENTAL LAUNCHING METHOD*

Michelle¹ dan FX Supartono²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Michelle.325160055@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
fxsupartono@gmail.com

Masuk: 13-01-2020, revisi: 13-05-2020, diterima untuk diterbitkan: 13-05-2020

ABSTRACT

The purpose of this research is to gain a broader understanding in analysing bridges that are built in stages. With Incremental Launching Method, bridges are casted in segments behind one of the abutments and launched over piers. Therefore, this method has little effect on surroundings and much efficient for constructions of highways or railroad lines. This method uses 40 meter long nose made of steel and is connected to the front part of the bridge to reduce the cantilever moment that occurs. The structure of the bridge is modelled in Midas Civil. 31 centric pre-stressing tendons are used during launching, whereas 20 tendons are placed in the top flanges and 11 tendons are placed in the bottom flanges. 2 pre-stressing tendons are placed in each web, to be tensioned after the bridge has reached its final position. The results from analysis using Midas Civil stated that the tendons used are sufficient to withstand the stresses due to dead load and live load.

Keywords: Incremental Launching Method; Box Girder; Midas Civil

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh pemahaman yang lebih luas dalam menganalisis jembatan yang dibangun secara bertahap. Dengan *Incremental Launching Method* (ILM), jembatan dicor per segmen di belakang salah satu abutmen dan diluncurkan diatas tiang setelah beton mencapai kekuatannya. Oleh karena itu, metode ini memiliki efek yang sedikit pada lingkungan dan sangat efisien untuk pembangunan jalan raya atau jalur kereta api. Metode ini menggunakan *nose* sepanjang 40 meter yang terbuat dari baja dan disambungkan pada bagian depan jembatan untuk mengurangi momen kantilever yang terjadi. Model struktur jembatan dibuat dalam program Midas Civil menggunakan wizard ILM. 31 *tendon centric prestressing* digunakan selama peluncuran, 20 ditempatkan di flens atas *box girder* dan 11 ditempatkan di bawah. 2 *tendon* ditempatkan di masing-masing *web* yang akan ditarik setelah jembatan berada di posisi akhir. Hasil dari analisis menggunakan Midas Civil menunjukkan bahwa *tendon* yang digunakan cukup untuk menahan tegangan akibat beban mati dan beban hidup.

Kata kunci: *Incremental Launching Method; Box Girder; Midas Civil*

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan salah satu prasarana transportasi yang penting dalam sistem transportasi darat, suatu struktur konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus oleh adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai saluran irigasi dan pembuang. Jembatan mampu mempersingkat jarak tempuh sehingga sangat baik untuk menekan biaya dan waktu transportasi. Seiring dengan makin berkembangnya teknologi angkutan jalan raya maka konstruksi jembatan harus direncanakan sesuai dengan tuntutan transportasi baik dari segi kenyamanan, keamanan, maupun keindahan. Oleh karena itu proses perencanaannya harus diperhitungkan dengan sebaik mungkin. Pada umumnya perhitungan jembatan terbagi atas dua bagian yaitu bagian atas jembatan dan bagian bawah jembatan. Bagian atas jembatan akan memikul langsung beban – beban lalu lintas diatasnya sedangkan bagian bawah jembatan memikul beban diatasnya dan meneruskan beban – beban tersebut ke lapisan tanah keras.

Konstruksi jembatan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode, diantaranya adalah dengan metode *balanced cantilever*, *incremental launching method* (ILM) dan metode *span by span*. Ketiga metode tersebut tentunya berbeda

satu dengan lainnya, dimulai dari peralatan yang digunakan, urutan pekerjaan dan respons struktur yang terjadi selama pelaksanaan dan kondisi akhir. Masing-masing metode memiliki keunggulan dan kelemahan yang harus menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan metode pelaksanaan struktur jembatan pada suatu pekerjaan proyek.

Salah satu metode pelaksanaan konstruksi jembatan yang dibahas adalah ILM. Metode ILM sangat efektif untuk membangun jembatan dengan panjang mencapai 150 m, dengan panjang tiap bentang antara 30 m sampai 60 m (Erik dan Erik 2005). Jembatan dengan struktur atas *box girder* (Marchetti 1983) dapat dibangun dengan metode tersebut. Pembangunan jembatan dengan metode ILM dilakukan di darat sehingga proses konstruksi lebih mudah dikerjakan, lebih aman bagi pekerja, dan lebih aman dari cuaca buruk, serta hanya membutuhkan ruang yang sedikit selama proses konstruksi. Selain itu, konstruksi dengan metode ini tidak membutuhkan *scaffolding* sehingga dapat mengurangi biaya konstruksi. Metode ILM sangat efektif bagi proyek konstruksi jembatan yang dilakukan pada lembah yang sangat dalam, tebing yang tinggi, serta jembatan yang memiliki desain pilar yang tinggi. Keadaan alam tersebut tentu sangat menyulitkan apabila metode konstruksi yang dipakai adalah *Free Cantilever Method* dan *Moving Scaffolding System* karena kedua metode ini harus menyiapkan bahan dan alat konstruksi dari dasar pilar. Di Indonesia, metode ILM dipakai pada konstruksi Jembatan Layang Sudirman dan Jembatan KS Tubun yang dibangun oleh PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk. Metode ini juga dipakai selama konstruksi salah satu jembatan tertinggi di dunia, yaitu jembatan *Millau (Le Viaduct de Millau)* di Prancis yang diresmikan pada 14 Desember 2004.

Penelitian ini menganalisis struktur jembatan pada daerah dimana lembah sangat dalam. Oleh karena itu, diambil metode konstruksi ILM untuk pembangunan jembatan. Pada jurnal ini, ruang lingkup permasalahan adalah dimana jembatan yang dianalisis adalah jembatan dengan *box girder* prategang dengan metode konstruksi *Incremental Launching Method*, analisis dilakukan pada masa layan, analisis dilakukan hanya pada bagian struktur atas jembatan., dan pembebanan jembatan menggunakan Standar SNI 1725 tahun 2016 dengan permodelan pada program Midas Civil. Rumusan yang di bahas dalam jurnal ini adalah bagaimana design *box girder*? Bagaimana metode pelaksanaan *incremental launching method*? dan berapa jumlah dan konfigurasi *tendon* yang digunakan?. Dengan tujuan untuk mendapat pemahaman yang lebih luas mengenai metode *incremental launching*, lalu melakukan permodelan jembatan pada Midas Civil dan melakukan analisis tegangan pada jembatan.

Jembatan prategang *box girder*

Berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga dalam Manual Pemeliharaan Jembatan *Box Girder* Beton (2011) jembatan *box girder* adalah sebuah jembatan dimana struktur atas jembatan terdiri dari balok-balok penopang utama yang berbentuk kotak berongga. Bentuk penampang dari *box girder* umumnya adalah persegi atau *trapezium* dan dapat direncanakan terdiri atas 1 sel atau banyak sel. Salah satu kelebihan penggunaan profil *box girder* adalah ketahanan torsi yang lebih baik yang dapat digunakan untuk jembatan dengan bentang dan panjang yang besar.

Cara pelaksanaan jembatan *box girder*

Pada bangunan atas untuk jembatan beton, ada tiga alternatif metode pelaksanaannya yang umum seperti:

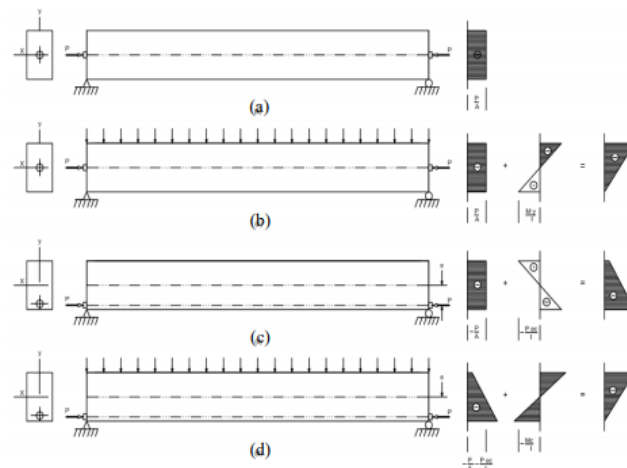
1. Metode Perancah
Pada metode ini, beton dapat dicor di tempat atau pracetak diatas landasan yang didukung oleh sistem perancah. Jadi sistem perancah ini sebagai dasar pembentukan *box girder*. Setelah selesai dicor dan beton terbentuk, sistem perancah ini akan dibongkar.
2. Metode Peluncuran
Metode ini biasanya digunakan pada konstruksi jembatan bangunan atas. Pada sistem ini balok jembatan dicor di salah satu sisi jembatan atau pada kedua sisi jembatan, kemudian diluncurkan hingga mencapai sisi lain jembatan. Sesuai dengan literatur yang dibaca, pada umumnya sistem ini memerlukan *launching nose* pada bagian depan balok untuk mengurangi momen yang terjadi saat kantilever. *Launching nose* ini bisa terbuat dari beton maupun baja, namun pada umumnya digunakan baja. Sistem ini disebut sebagai *system incremental launching*. Sistem ini merupakan metode yang aman dan efisien karena pengaruh yang sangat kecil terhadap lingkungan.
3. Metode Kantilever
Pada metode ini, balok jembatan dicor atau dipasang per segmen sebagai kantilever di kedua sisi agar saling mengimbangi. Metode konstruksi *balanced cantilever* sangat umum dan telah banyak digunakan di dalam maupun luar negeri, salah satu contoh yang menerapkan metode ini adalah pembangunan Jalan Layang Pasupati di Bandung.

Jembatan beton prategang

Jembatan beton prategang atau yang dikenal dengan *prestressed concrete bridge* merupakan salah satu jenis jembatan dengan material konstruksi beton prategang atau beton yang berisi kabel baja dengan tujuan untuk memberikan tegangan berupa tegangan tekan tambahan terhadap beton agar dapat mengurangi lendutan akibat beban

kerja. Pemberian gaya prategang pada beton melalui *tendon* atau kabel baja akan memberikan tegangan tekan pada penampang. Pemberian gaya prategang pada beton terdiri dari dua cara, yaitu pra tarik dan pasca tarik. Pada penelitian ini digunakan cara pasca tarik dalam pemberian gaya prategang.

Gaya prategang $-P/A$ mengurangi tegangan lentur tarik $M.c/I$ di serat bawah sebesar yang dikehendaki hingga tegangan tarik hilang sama sekali atau hingga tegangan tarik masih diijinkan sesuai dengan peraturan. Untuk menghindari pembatasan ini, perlu ditambah tegangan tarik di serat atas dengan cara meletakkan *tendon* prategang secara eksentris di bawah garis netral. Jika *tendon* diletakkan dengan besar eksentrisitas e dari pusat berat beton, maka akan timbul momen $(P.e)$ seperti yang terlihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Distribusi tegangan serat beton (G. Nawy, 2001)

Material yang digunakan untuk sistem ini adalah material beton dan sistem kabel. Sistem kabel terdiri dari kabel (*wire, strand, bar*), selongsong dan ankur (ankur hidup, ankur mati). Baja yang digunakan sebagai tulangan prategang merupakan jenis *uncoated stress relieve seven wire strand low relaxation*. *Strand* baja merupakan jenis yang paling banyak digunakan untuk penegangan *post-tension*. *Seven wire strand* terdiri dari 7 (tujuh) untai kawat, dengan posisi kawat 1 (satu) untai ditengah dan 6 (enam) sisanya mengelilingi satu kawat pusat. *Grouting* dibutuhkan sebagai bahan pengisi selubung baja prategang (*tendon*) untuk metode pasca tarik. Bahan *grouting* berupa pasta semen.

2. METODE PENELITIAN

Data umum jembatan

- Jenis Jembatan : Struktur Beton Prategang
- Panjang Jembatan : 300 m
- Span : 60 m
- Segmen : 60 m
- Lebar Lantai Kendaraan : 2 x 3,5 m
- Lebar Bahu Jalan : 1 m
- Gelagar Utama : *Box Girder*
- Launching *Nose* : 40 m
- Jenis Konstruksi : Beton Prategang Sistem *Post-Tensioning*
- Mutu Beton : 50 MPa
- Berat Jenis : 25 kN/m³

Preliminary box girder

- Tinggi *Box Girder* : 3 m
- Ketebalan *Top Flange* : 225 mm
- Ketebalan *Bottom Flange* : 225 mm
- Ketebalan *Web* : 250 mm

Strand

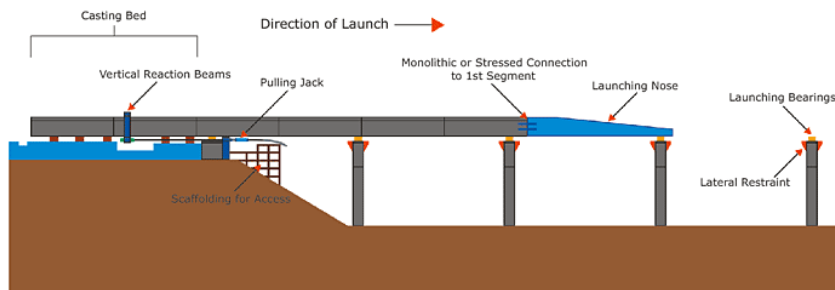
- Jenis *Strands* : VSL 7 wire super strands ASTM A-416
- Diameter (d) : 12,7 mm
- Luas 1 *strand* (A_p) : 98,7 mm²
- Tegangan leleh (fpy) : 1676 MPa
- Tegangan putus (fpu) : 1860 MPa
- Modulus Elastisitas (E_s) : 195000 MPa

Incremental launching method

Incremental Launching Method (ILM) merupakan metode konstruksi yang dipakai dalam pembangunan jembatan atau jalan layang, yang diciptakan oleh Prof. Leonhardt dan rekannya Willi Baur pada tahun 1960. Metode ini dipakai dalam pembangunan jalan layang atau jembatan dengan struktur beton pratekan yang berlokasi pada kondisi diatas jurang dalam, jalan raya padat lalu lintas kendaraan, rel kereta api atau sungai dengan air yang dalam.

Metode ini terdiri dari pengerjaan superstruktur yang dikerjakan segmen demi segmen pada *casting yard* yang terletak di belakang salah satu sisi jembatan. Setiap segmen beton dicor bersambung dengan segmen sebelumnya yang sudah dikerjakan. Kemudian secara keseluruhan superstruktur diluncurkan ke depan sejauh panjang segmen tersebut. Prosedur ini dilakukan secara berulang hingga jembatan berada pada posisi akhir. Pada metode ini adanya penggunaan *launching nose* yang berfungsi untuk mengurangi momen kantilever (Rosignoli 1998). Panjang nose yang disambungkan ke ujung segmen pertama umumnya berkisar sekitar 60% dari bentang terpanjang dan terbuat dari struktur baja.

Prinsip kerja dasarnya adalah menggunakan *vertical jack* untuk mengangkat struktur secara bersamaan di beberapa titik, dan *horizontal jack* untuk mendorong struktur maju ke depan untuk mencapai tujuan, kemudian *vertical jack* dilepaskan dan seluruh struktur diletakan pada alas balok sementara untuk menyelesaikan proses *launching* seperti yagn terlihat pada Gambar 2. Prosedur mengangkat, meluncurkan, turun dan menarik kemudian diulangi untuk menyelesaikan seluruh proses peluncuran jembatan. Permukaan pilar dikondisikan memiliki tahanan geser yang kecil. Hal ini untuk memudahkan proses mendorong rangkaian segmen lantai jembatan. Dapat menggunakan suatu alat khusus dengan permukaan teflon.



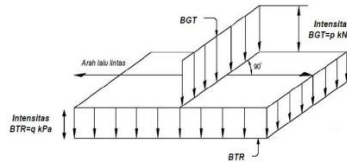
Gambar 2. Metode *incremental launching* (Sumber: VSL)

Pembebanan pada jembatan

Karena keterbatasan waktu, pembebanan yang digunakan pada penelitian ini hanya pembebanan akibat beban mati dan beban hidup. Pada penelitian ini, beban rencana diperhitungkan berdasarkan Peraturan Standar Pembebanan Untuk Jembatan (SNI 1725 2016) :

1. Berat Sendiri
Berat sendiri jembatan merupakan berat elemen struktural ditambah dengan elemen non struktural yang dipikul dan bersifat tetap.
2. Beban Mati Tambahan
Beban mati tambahan merupakan beban seluruh material yang terdiri dari elemen non struktural yang merekat secara permanen dan dianggap satu kesatuan yang utuh dalam jembatan.
 - Pelapisan ulang permukaan aspal dianggap sebesar 50 mm dan γ aspal = 22 kN/m³
 - Sarana umum seperti pipa air dan lampu jalan
 - Genangan air hujan = 9,8 kN/m³
3. Beban Lajur D
Beban lajur terdiri dari beban terbagi rata atau (BTR) dan beban garis (BGT). Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan (Gambar 3).

- Beban terbagi rata (BTR) mempunyai q (kPa) yang besarnya tergantung pada panjang bentang total jembatan L yang dibebani yang dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :
 $L \leq 30 \text{ m} \rightarrow q = 9,0 \text{ kPa}$
 $L \geq 30 \text{ m} \rightarrow q = 9,0 \cdot (0,5 + 15/L) \text{ kPa}$
- Dalam perencanaan ini BGT ditempatkan ditengah bentang untuk mendapatkan momen terbesar. BGT mempunyai intensitas, $p = 49,0 \text{ kN/m}$ (Sumber: SNI 1725:2016, Pasal 8.3).



Gambar 3. Beban lajur "D" (SNI 1725:2016)

Hasil penelitian dijelaskan secara lengkap sesuai dengan metode yang digunakan. Pembahasan mendalam dilakukan berdasarkan data hasil survei, pengujian, atau metode pengambilan data lainnya. Pembahasan harus mengaitkan konten dengan teori yang telah dikemukakan sebelumnya. Dalam hal data hasil yang ditampilkan banyak, Hasil dan Pembahasan/Analisis dapat dicantumkan pada bagian yang berbeda.

3. ANALISIS STRUKTUR JEMBATAN DAN HASIL

Perhitungan beton

- Kuat tekan beton prategang : 50 MPa
- Kuat tekan beton saat transfer : 40 MPa
- Modulus Elastisitas Beton : 33234,01872 MPa
- Tegangan ijin tekan (transfer) : $0,6 \cdot f'_{ci}$: 24 MPa
- Tegangan ijin tarik (transfer) : $0,5 \cdot \sqrt{f'_{ci}}$: 3,1624 MPa
- Tegangan ijin tekan (*service*) : $0,45 \cdot f'_c$: 22,5 MPa
- Tegangan ijin tarik (*service*) : $0,5 \cdot \sqrt{f'_c}$: 3,5355 MPa

Analisa pembebanan

1. Akibat Berat Sendiri

$$\begin{aligned} \text{Berat box girder} &= A \cdot b_j \\ &= 4,689859 \text{ m}^2 \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \\ &= 117,2465 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

2. Akibat Beban Mati Tambahan

$$\begin{aligned} \text{Berat aspal} &= b \cdot h \cdot b_j \\ &= 7 \text{ m} \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 22 \text{ kN/m}^3 = 7,7 \text{ kN/m} \\ \text{Berat air hujan} &= b \cdot h \cdot b_j \\ &= 7 \text{ m} \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 9,8 \text{ kN/m}^3 = 3,43 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

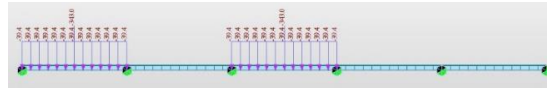
$$\text{Berat utilitas dan lampu} = 0,1 \text{ kN/m}$$

3. Akibat Beban Lajur D kosong isi terlihat pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 10.



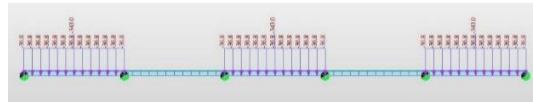
Gambar 4. Beban hidup kondisi 1

- $L = 60 \text{ m} > 30 \text{ m}$
 $q = 9(0,5 + 15/L) \text{ kPa}$
 $= 9(0,5 + 15/60)$
 $= 6,75 \text{ kPa} \cdot 7 \text{ m}$
 $= 47,25 \text{ kN/m}$
 $P = 49 \text{ kN/m} \cdot 7 \text{ m} \cdot 1,4$
 $= 480,2 \text{ kN}$



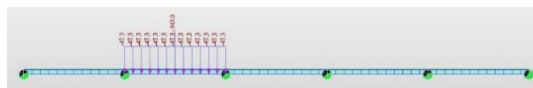
Gambar 5. Beban hidup kondisi 2

- $L = 120 \text{ m} > 30 \text{ m}$
 $q = 9(0,5+15/L)\text{kPa}$
 $= 9(0,5+15/120)$
 $= 5,625 \text{ kPa} \cdot 7\text{m}$
 $= 39,375 \text{ kN/m}$
 $P = 49 \text{ kN/m} \cdot 7\text{m} \cdot 1,4$
 $= 480,2 \text{ kN}$



Gambar 6. Beban hidup kondisi 3

- $L = 180 \text{ m} > 30 \text{ m}$
 $q = 9(0,5+15/L)\text{kPa}$
 $= 9(0,5+15/180)$
 $= 5,25 \text{ kPa} \cdot 7\text{m}$
 $= 36,75 \text{ kN/m}$
 $P = 49 \text{ kN/m} \cdot 7\text{m} \cdot 1,4$
 $= 480,2 \text{ kN}$



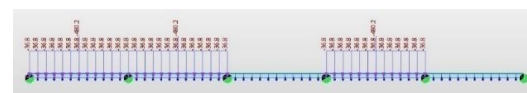
Gambar 7. Beban hidup kondisi 4

- $L = 60 \text{ m} > 30 \text{ m}$
 $q = 9(0,5+15/L)\text{kPa}$
 $= 9(0,5+15/60)$
 $= 6,75 \text{ kPa} \cdot 7\text{m}$
 $= 47,25 \text{ kN/m}$
 $P = 49 \text{ kN/m} \cdot 7\text{m} \cdot 1,4$
 $= 480,2 \text{ kN}$



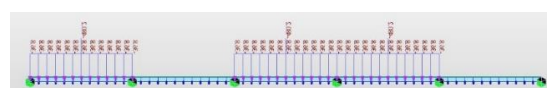
Gambar 8. Beban hidup kondisi 5

- $L = 120 \text{ m} > 30 \text{ m}$
 $q = 9(0,5+15/L)\text{kPa}$
 $= 9(0,5+15/120)$
 $= 5,625 \text{ kPa} \cdot 7\text{m}$
 $= 39,375 \text{ kN/m}$
 $P = 49 \text{ kN/m} \cdot 7\text{m} \cdot 1,4$
 $= 480,2 \text{ kN}$



Gambar 9. Beban hidup kondisi 6

- $L = 180 \text{ m} > 30 \text{ m}$
 $q = 9(0,5+15/L)\text{kPa}$
 $= 9(0,5+15/180)$
 $= 5,25 \text{ kPa} \cdot 7\text{m}$
 $= 36,75 \text{ kN/m}$
 $P = 49 \text{ kN/m} \cdot 7\text{m} \cdot 1,4$
 $= 480,2 \text{ kN}$



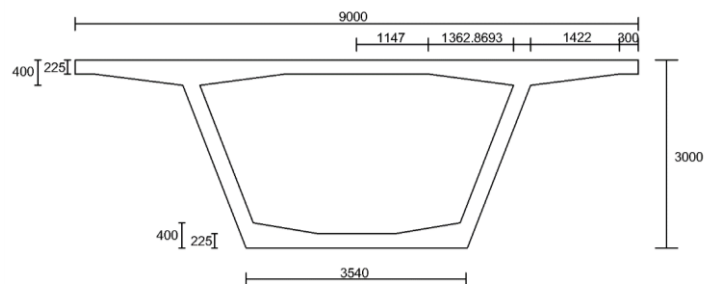
Gambar 10. Beban hidup kondisi 7

- $L = 180 \text{ m} > 30 \text{ m}$
 $q = 9(0,5+15/L)\text{kPa}$
 $= 9(0,5+15/180)$
 $= 5,25 \text{ kPa} \cdot 7\text{m}$
 $= 36,75 \text{ kN/m}$
 $P = 49 \text{ kN/m} \cdot 7\text{m} \cdot 1,4$
 $= 480,2 \text{ kN}$

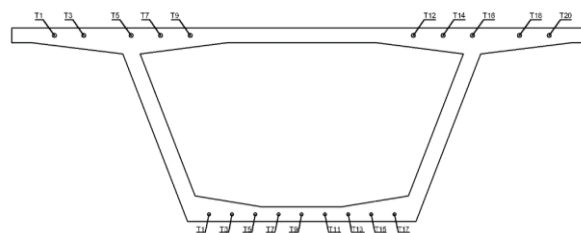
Dimensi box girder dan penempatan tendon

Sistem prategang dibagi menjadi tahap pertama dimana *tendon* diaktifkan secara progresif pada setiap segmen selama tahap konstruksi dan tahap kedua (final) dilakukan setelah selesainya peluncuran struktur jembatan (Rosignoli 1999). Pada tahap pertama, *tendon* diaktifkan setelah pengecoran masing-masing segmen sebanyak 20 *tendon* di bagian atas dan 11 *tendon* di bagian bawah yang terbuat dari 12 strands pada masing-masing *tendon*. *Tendon* tersebut berjalan lurus sepanjang *top* dan *bottom slab*. *Tendon* ditarik pada salah satu ujung dan dihubungkan dengan *tendon* sebelumnya dengan menggunakan *coupler*. Penarikan *tendon* dilakukan dalam 2 siklus, dimana 10 *tendon* dan 6 *tendon* pertama ditarik terlebih dahulu pada segment pertama, sisanya ditarik pada tahap konstruksi selanjutnya melalui segmen pertama dan kedua.

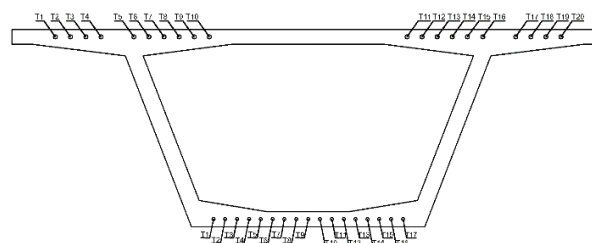
Pada tahap kedua, *tendon* dengan profil melengkung ditempatkan pada bagian *web* dan ditarik pada kedua sisi. Untuk bentang yang tipikal, disediakan 4 *tendon* terdiri dari 27 strands seperti terlihat pada Gambar 11 sampai dengan Gambar 14.



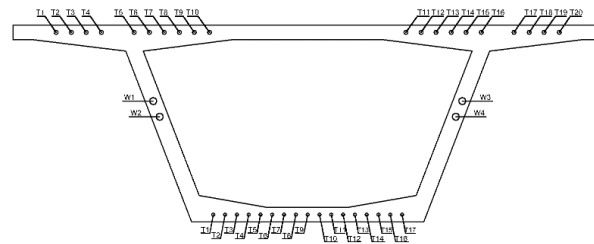
Gambar 11. Dimensi box girder



Gambar 12. Penempatan tendon tahap peluncuran



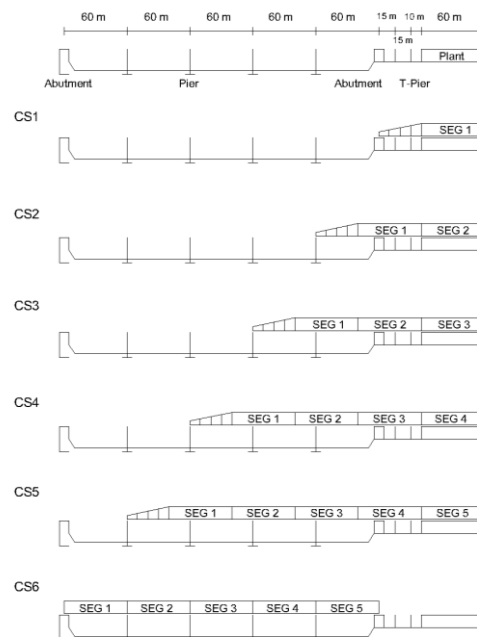
Gambar 13. Penempatan tendon tahap peluncuran



Gambar 14. Penempatan *tendon* pasca tahap konstruksi

Launching direction

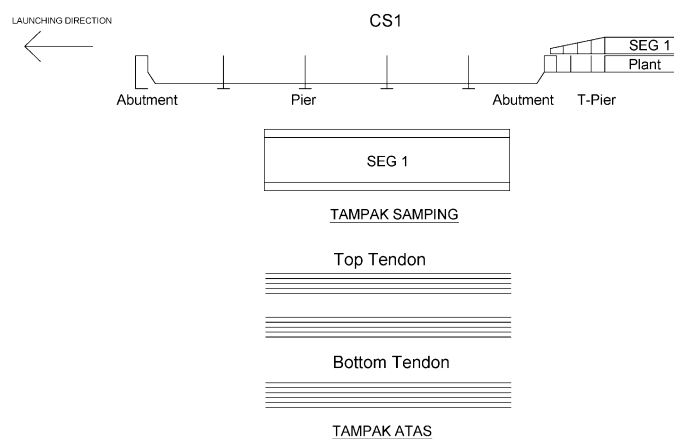
Pada tahap pertama dilakukan pemasangan *launching nose*, pengecoran dan penarikan *tendon* untuk segmen pertama. Lalu segmen tersebut didorong sepanjang 60 meter kedepan. Dilanjutkan dengan pembuatan segmen kedua di *casting bed* lalu didorong kedepan sepanjang 60 meter. Proses ini diulang sampai segmen terakhir, lalu *launching nose* dan *casting bed* dibongkar pada *construction stage* ke-6 (Gambar 15).



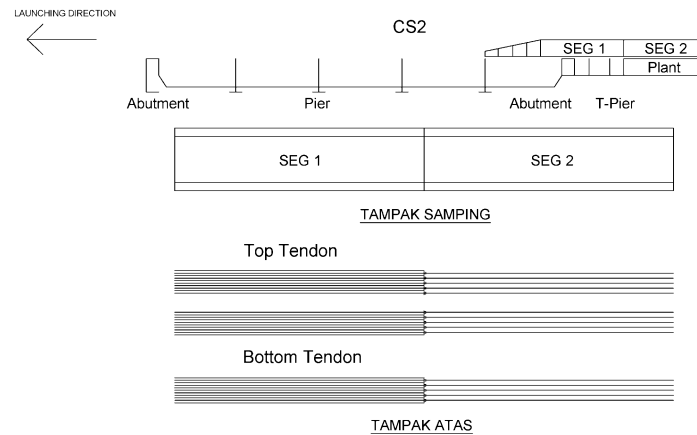
Gambar 15. Tahap peluncuran

Tendon

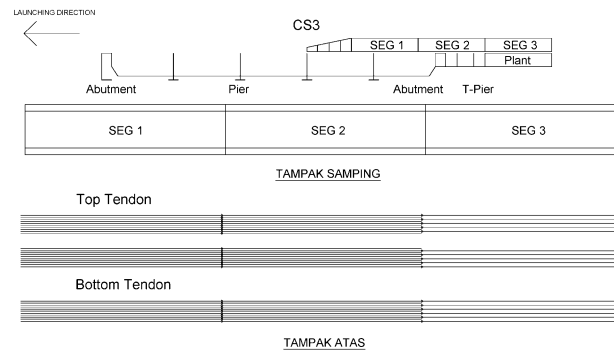
Gambar 16 sampai dengan Gambar 20 menunjukkan jumlah dan penempatan *tendon* yang ditarik setiap tahapnya.



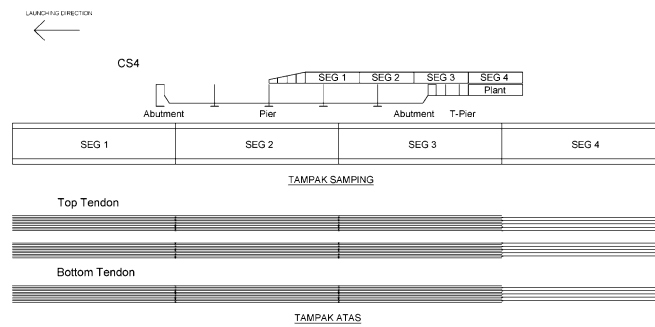
Gambar 16. Tahap pertama



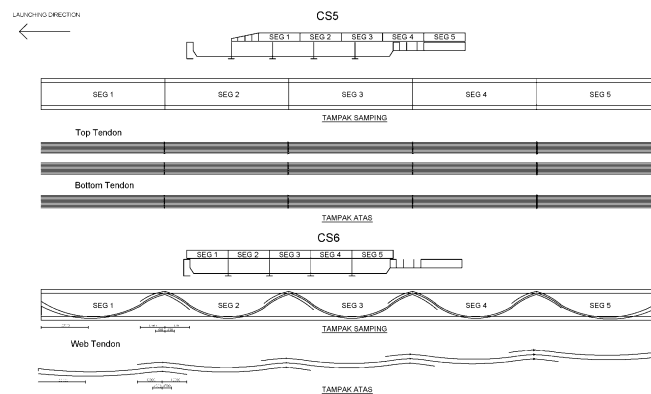
Gambar 17. Tahap kedua



Gambar 18. Tahap ketiga



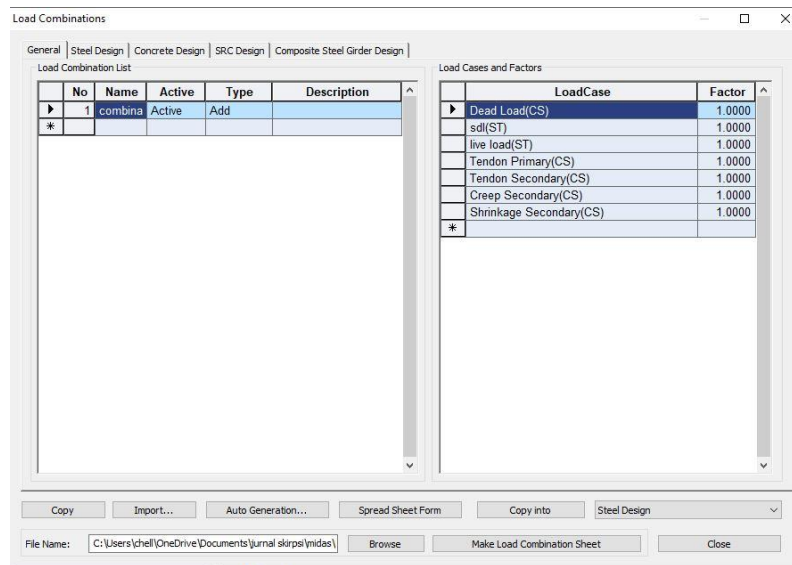
Gambar 19. Tahap keempat



Gambar 20. Tahap kelima

Load combination

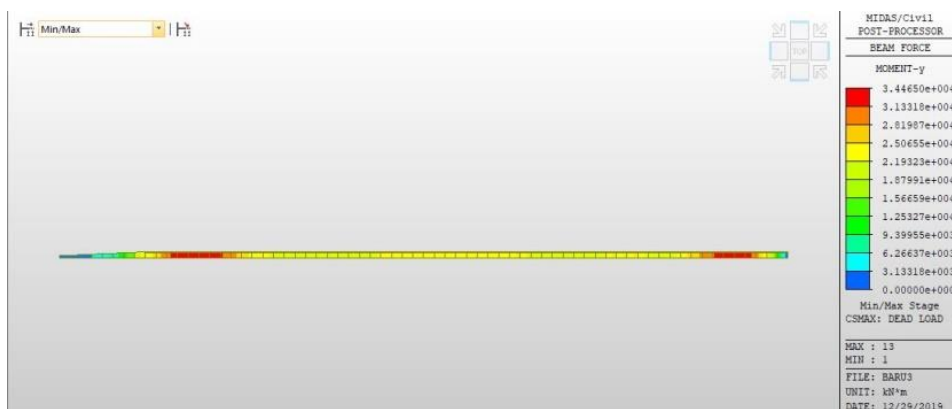
Faktor beban yang digunakan adalah pada batas servis sesuai dengan standar SNI 1725:2016 untuk pengecekan tegangan yang terjadi pada serat beton (Gambar 21).



Gambar 21. Kombinasi beban pada batas servis

Hasil momen selama konstruksi

Pada setiap tahap konstruksi, setiap segmen akan mengalami momen positif dan negatif. Gambar 22 dan Gambar 23 merangkum momen maksimum dan minimum yang dialami setiap elemen saat konstruksi berlangsung.



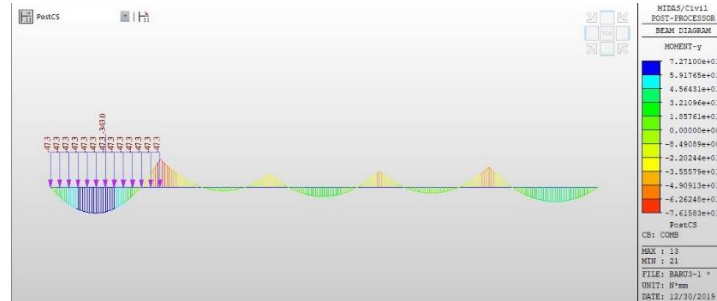
Gambar 22. Momen maksimum akibat *dead load* saat konstruksi



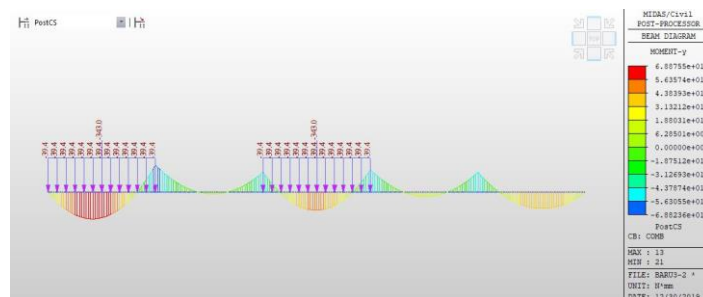
Gambar 23. Momen minimum akibat *dead load* saat konstruksi

Hasil momen pasca tahap konstruksi

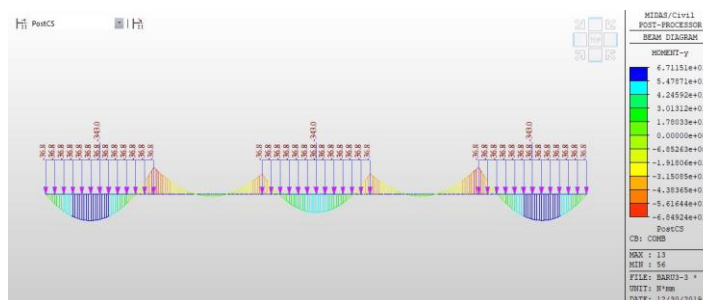
Tahap akhir konstruksi yang dimaksud adalah saat struktur jembatan telah mencapai posisi akhir dan *nose* telah dinonaktifkan. Berikut lampiran gambar momen (Gambar 24 sampai Gambar 30) akibat kombinasi dari berat sendiri, beban mati tambahan dan beban hidup kondisi satu sampai kondisi lima.



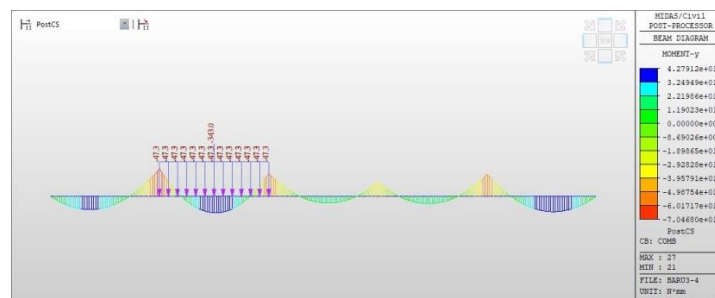
Gambar 24. Momen kombinasi dengan *live load 1*



Gambar 25. Momen kombinasi dengan *live load 2*



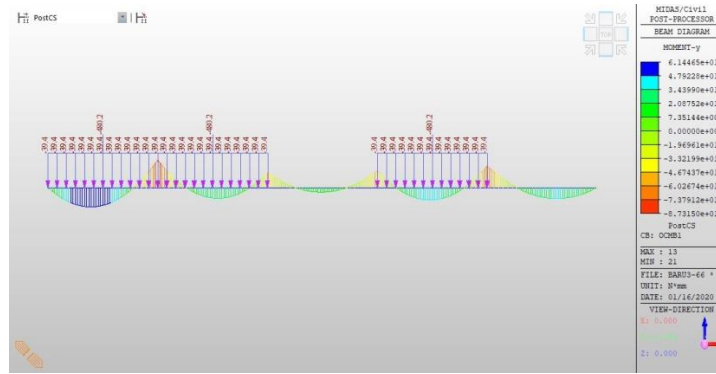
Gambar 26. Momen kombinasi dengan *live load 3*



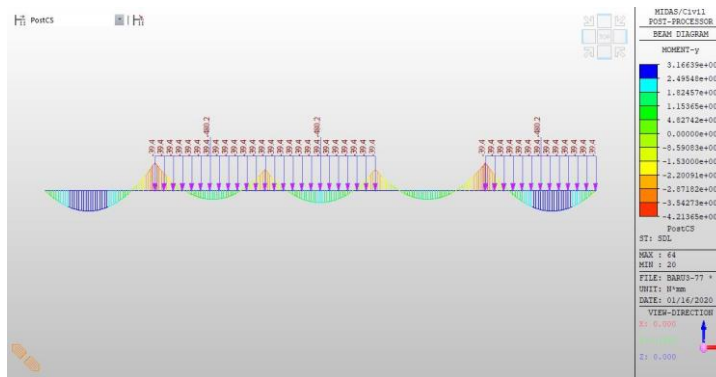
Gambar 27. Momen kombinasi dengan *live load 4*



Gambar 28. Momen kombinasi dengan *live load* 5



Gambar 29. Momen kombinasi dengan *live load* 6



Gambar 30. Momen kombinasi dengan *live load* 7

Hasil tegangan pada *box girder*

Rangkuman tegangan maksimum pada serat atas dan bawah selama tahap konstruksi dan setelah konstruksi dapat dilihat pada tabel 1. Tanda (-) menunjukan tegangan tekan dan tanda (+) menunjukan tegangan tarik pada serat beton.

Tabel 1. Rangkuman tegangan

	Top Max (MPa)	Top Min (MPa)	Bottom Max (MPa)	Bottom Min (MPa)
CS1	1,885	-5,576	-3,895	-17,5003
CS2	0,559	-14,2221	0,2189	-21,0682
CS3	0,445	-13,143	-0,957	-22,203
CS4	-0,1725	-13,4381	-0,2149	-20,981
CS5	-1,662	-14,857	-0,1911	-21,3525
CS6	-8,2859	-14,0212	-6,0333	-18,6703
POST CS	-4,22019	-15,4339	1,6808	-21,5964

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan literatur yang dibaca, dapat disimpulkan bahwa metode *incremental launching* menjamin tidak ada gangguan pada lingkungan sekitar dan efisien untuk pembangunan jembatan diatas jurang yang dalam karena tidak membutuhkan perancah.
2. Konsep dari *incremental launching method* adalah memastikan bahwa tegangan pada serat beton tidak melawati tegangan ijin saat tahap konstruksi dan setelah jembatan mencapai posisi akhir.
3. Pada saat konstruksi, tegangan tarik maksimum terjadi pada bagian atas flens sebesar 1,885 MPa dan tegangan tekan maksimum terjadi pada bagian atas flens sebesar -14,2221 MPa.
4. Pada saat konstruksi, tegangan tarik maksimum terjadi pada bagian bawah flens sebesar 0,2189 MPa dan tegangan tekan maksimum terjadi pada bagian bawah flens sebesar -22,203 MPa.
5. Pada pasca tahap konstruksi, tidak terjadi tegangan tarik pada bagian atas flens dan tegangan tekan maksimum terjadi pada bagian atas flens sebesar -15,4339 MPa.
6. Pada pasca tahap konstruksi, tegangan tarik maksimum terjadi pada bagian bawah flens sebesar 1,6808 MPa dan tegangan tekan maksimum terjadi pada bagian bawah flens sebesar -21,5964 MPa.
7. Sesuai dengan hasil analisis, semua tegangan pada jembatan saat tahap konstruksi maupun pasca konstruksi masuk ke batas tegangan ijin yang aman.
8. Momen negatif terbesar di *support* saat *launching* terjadi pada kantilever terpanjang.

Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat mengurangi jumlah *tendon* pada *bottom slab* karena tegangan tekan yang terjadi terlalu besar.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan *box girder* yang lebih tinggi supaya *span to depth ratio* nya kecil, *tendon* yang diperlukan saat tahap konstruksi lebih sedikit dan kekakuan yang lebih besar.
3. Untuk span yang besar, dapat digunakan *temporary pier* untuk mengurangi tegangan yang terjadi supaya *tendon* yang digunakan saat tahap konstruksi lebih sedikit.

DAFTAR PUSTAKA

- Erik K, Erik L. "Conceptual Design of Prestressed Concrete Bridges Produced with Incremental Launching Method." 2005. Disertasi, Chalmers University of Technology.
- Marchetti M E. "Specific design problems related to bridges built using the incremental launching method. Research and Computer Department." 1983.
- Rosignoli M. "Prestressing Schemes for Incrementally Launched Bridges." **Journal of Bridge Engineering**. 1999.
- Rosignoli M. "Launched Bridges". **ASCE**. 1998.
- Edward G N. *Prestressed Concrete A Fundamental Approach* Fifth Edition. 2001.

