

ANALISA METODE KONSTRUKSI SPAN BY SPAN PADA PEMBANGUNAN JALAN LAYANG

(Studi Kasus Proyek Pembangunan Jalan Tol Bogor Outer Ring Road)

Sri Mutia Ningrum¹⁾, Budiono²⁾, Wiratna Tri Nugraha³⁾

ABSTRAK

Metode Konstruksi Span by Span pada Proyek Bogor Outer Ring Road ini adalah yang pertama di Indonesia. Metode span by span adalah metode konstruksi yang menggunakan segmental girder yang berbentuk box. *Erection box girder* yang dilakukan pada metode ini yaitu dengan menggabungkan segment box girder yang ditopang oleh *Lifting Gantry Crane*. *Box girder* tersebut termasuk dalam beton prategang. Pada metode ini dilakukan stressing pada strand yang memiliki jumlah 19 strand pada tendon eksternal dan memiliki 7 strand pada tendon TST dan TSB. Pemberian tegangan pada setiap strand ini didapat nilai dari perencanaan sebesar 470 Bar yang sebanding dengan gaya prategang sebesar 16600,4 N. Pada saat pemberian gaya prategang terhadap strand didapatkan nilai elongasi sebesar 2,41 % dilapangan dan 0,0235% diperhitungan teori, yang masih di antara ijin elongasi yang terjadi yaitu $-7\% < e < +7\%$. Tegangan prategang yang terjadi pada saat peralihan gaya prategang terhadap box girder yang memiliki mutu 50 Mpa yaitu atas $- 7,5455 \text{ kg/mm}^2$ dan pada serat bawah $- 4,1241 \text{ kg/mm}^2$, setelah kehilangan gaya prategang tegangan yang terjadi yaitu $- 7,9291 \text{ kg/mm}^2$ pada serat atas dan $- 8,8402 \text{ kg/mm}^2$ pada serat bawah.

Kata Kunci : Span by Span, *box girder*, *stressing*

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seperti yang diketahui sekarang negara kita sedang giat giatnya melaksanakan pembangunan sarana prasarana dan infrastruktur seperti gedung-gedung bertingkat tinggi, perumahan, pembangunan industri, jalan dan lain sebagainya karena perkembangan dan pertumbuhan kebutuhan manusia di masa sekarang yang kebanyakan menggunakan beton bertulang sebagai material utamanya. Sejalan dengan perkembangan jaman teknologi dalam membangun sebuah konstruksi semakin berkembang dan menimbulkan metode-metode baru dalam melaksanakan pembangunan konstruksi. Metode konstruksi adalah suatu rangkaian kegiatan pelaksanaan konstruksi yang mengikuti rencana kerja dan syarat-syarat teknis yang telah dirancang dengan pengetahuan dan standar yang telah diuji cobakan. Selanjutnya, penerapan metode pelaksanaan yang tidak terlepas dari penggunaan teknologi sebagai pendukung untuk mempercepat proses pembuatan suatu bangunan agar dapat berjalan sebagai mestinya sesuai rencana.

Salah satu permasalahan yang dihadapi Kota Bogor dan Kabupaten Bogor adalah masalah lalu lintas. Permasalahan lalu lintas di Kota Bogor terutama saat ini adalah kemacetan lalu lintas di beberapa simpul rawan macet yang diakibatkan oleh tundaan arus lalu lintas. Beberapa penyebabnya antara lain :

1. Pasar, kegiatan bisnis, perdagangan dan jasa, pedagang kaki lima memenuhi sebagian jalan.

2. Banyaknya perlintasan kereta api (waktu perlintasan setiap 9 menit).
3. Jumlah angkutan kota yang terlalu banyak.
4. Banyaknya jumlah pekerja di Jakarta tetapi bertempat tinggal di Kota Bogor yang menggunakan kendaraan pribadi.

Menurut Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) Kota Bogor, solusi dari permasalahan lalu lintas yang diharapkan antara lain :

1. Pembangunan *fly over* terutama pada daerah perlintasan kereta api di pusat kota merupakan konsekuensi yang harus ditempuh, meskipun dengan biaya yang relatif mahal, sehingga perlu investor.
2. Pembangunan jalan-jalan tembus dan pepadu serasian jaringan jalan antar wilayah.
3. Pembangunan Rencana Induk Transportasi dengan memprioritaskan moda transportasi massal.

Saat ini jalan penghubung utama antara Kota Bogor dan Jakarta adalah Jalan Tol Jagorawi, sehingga diperlukan suatu jalan akses yang lebih singkat dibandingkan jaringan jalan lain untuk masuk ke jalan tol tersebut. Diharapkan akses baru tersebut dapat memberikan tingkat pelayanan yang lebih baik bagi masyarakat Bogor untuk dapat masuk ke Jagorawi maupun untuk perjalanan di dalam Kota Bogor dan Kabupaten Bogor.

Pelaksanaan pembangunan jalan layang haruslah menggunakan metoda konstruksi yang tepat agar dalam pelaksanaan tidak menimbulkan kegagalan konstruksi yang berakibat pada kerugian biaya yang besar.

Dengan menerapkan metoda konstruksi yang baik dan benar maka waktu pelaksanaan pekerjaan jalan layang dapat lebih cepat dan biayanya pun dapat lebih hemat.

1.2. Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini untuk menganalisis metode konstruksi span by span pada pembangunan jalan layang Bogor Outer Ring Road dengan tujuan untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada konstruksi juga dapat menjadi bahan referensi pembelajaran tentang metoda span by span pada konstruksi jalan layang.

1.3. Tinjauan Pustaka

A. Jalan Layang

Jalan layang (*flyover*) adalah jalan yang berfungsi menghindari kontra langsung antara sesama kendaraan dibangun tidak sebidang dapat dikatakan di atas permukaan jalan/melayang pada daerah/kawasan yang selalu menghadapi permasalahan kemacetan lalu lintas yang sangat parah karena terlalu besar volume kendaraan dibandingkan ruas jalan yang ada secara langsung ada persamaan mendasar antara Jembatan dengan Jalan layang (*flyover*) karena posisinya sama-sama melayang yang merupakan bangunan struktur bertujuan menghubungkan dua daratan/permukaan jalan yang terpisah satu dengan yang lainnya.

- Fungsi dan Manfaat Jalan Layang
 - a. Jalan layang/ *Flyover* dibangun untuk mengatasi kemacetan besar suatu daerah/kawasan yang tidak dapat diatasi dengan penggunaan lampu merah sebagai pengaturannya.
 - b. Dapat meningkatkan efisiensi lalu lintas dan mengurangi resiko kecelakaan pada kawasan yang melewati persilangan kereta api.
 - c. Jalan layang merupakan struktur bangunan perlengkapan jalan yang bebas hambatan dari konflik dipersimpangan ataupun melalui kawasan kumuh dan kawasan rawa-rawa.

Jalan layang terbagi menjadi dua bagian struktur yaitu struktur bagian bawah dan struktur bagian atas.

- Beton Prategang

Beton prategang adalah jenis beton dimana tulangan bajanya ditarik/ditegangkan terhadap betonnya. Penarikan ini menghasilkan sistem kesetimbangan pada tegangan dalam (tarik pada baja dan tekan pada beton) yang akan meningkatkan kemampuan beton menahan beban luar. Karena beton cukup kuat dan

daktail terhadap tekanan dan sebaliknya lemah serta rapuh terhadap tarikan maka kemampuan menahan beban luar dapat ditingkatkan dengan pemberian pratekanan (*Collins & Mitchell, 1991*).

- Konsep Dasar Prategang

Perbedaan utama antara beton bertulang dan beton prategang pada kenyataannya adalah beton bertulang mengkombinasikan beton dan tulangan baja dengan cara menyatukan dan membiarkan keduanya bekerja bersama-sama sesuai dengan keinginannya, sedangkan beton prategang mengkombinasikan beton berkekuatan tinggi dan baja mutu tinggi dengan cara-cara “aktif”. Hal ini dicapai dengan cara menarik baja tersebut dan menahannya ke beton, jadi membuat beton dalam keadaan tertekan. Kombinasi aktif ini menghasilkan perilaku yang lebih baik dari kedua bahan tersebut. Baja adalah bahan yang liat dan dibuat untuk bekerja dengan kekuatan tarik yang tinggi oleh prategang. Beton adalah bahan yang getas dan kemampuannya menahan tarikan diperbaiki dengan memberikan tekanan, sementara kemampuannya menahan tekanan tidak dikurangi. Jadi beton prategang merupakan kombinasi yang ideal dari dua buah bahan modern berkekuatan tinggi.

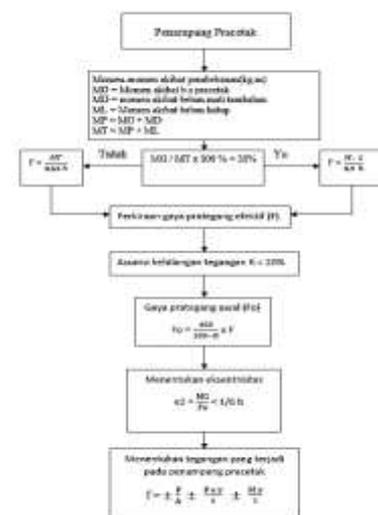
Gaya prategang yang disalurkan harus memenuhi kontrol batas pada saat kritis. Persamaan berikut menjelaskan hubungan antara momen total dengan gaya prategang (T.Y.Lin)

$$F = T = \frac{MT}{0,065h}$$

Dimana:

MT = Momen total

h = tinggi balok



Gambar 1. Diagram alir menentukan tegangan pada beton prategang

- **Pembebanan pada Beton Prategang**
Menurut standar pembebanan untuk jembatan jalan raya (RSNI T-02-2005) : Beban Mati (*Dead Load*), Beban Hidup (*Live Load*), Beban Kejut.
 - **Metoda Pemberian Gaya Prategang**
Pada dasarnya ada dua metode pada pemberian gaya prategang pada beton, yaitu pratarik (*pre-tention method*) dan pasca tarik (*post-tention method*).
 - **Kawat Prategang**
Baja (tendon) yang dipakai untuk beton prategang dalam prakteknya ada tiga macam, yaitu : Kawat tunggal (*wire*), Kawat untaian (*strand*), dan Kawat batangan (*bar*)
- 1) **Elongasi Pada Strand**
Luasan yang digunakan untuk diameter strand yang dipakai dapat diketahui dari tabel 1.

Tabel 1. Jenis Tulangan Prategang

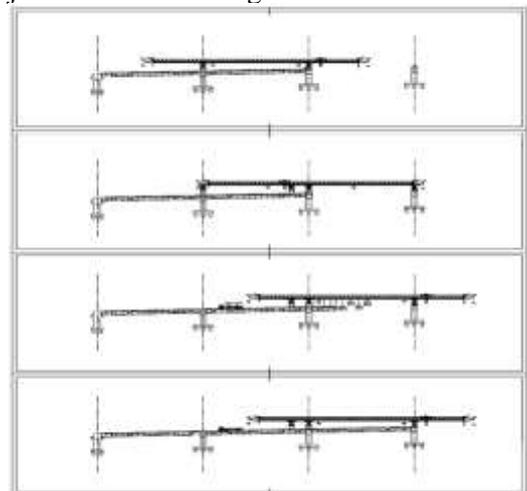
Jenis Material	Nominal	Luas	Gaya Putus	Tegangan Tarik
	Diameter		Minimum	Minimum, tpa
	Min	mm ²	kN	Mpa
Kawat (Wire)	5	19,6	30,4	1550
	5	19,6	33,3	1700
	7	38,5	63,3	1700
7-Wire Strand Super Grade	9,3	34,7	102	1880
	12,7	100	184	1840
	15,2	143	258	1750
7-Wire Strand Regular Grade	12,7	87,3	165	1750
Bar	23	415	450	1080
	26	330	570	1080
	29	660	710	1080
	32	804	870	1080
	38	1140	1230	1080

Sumber : Perencanaan struktur beton pracetak untuk jembatan, Direktorat Jendral Bina Marga.

- **Balok Gelagar Prategang**
Sama halnya dengan gelagar beton bertulang, tipe gelagar prategang ini memiliki dua metode konstruksi dalam pembuatannya, yaitu metode konvensional dan pracetak. Gelagar atau girder adalah sebuah balok diantara dua penyangga dapat berupa pier ataupun abutment pada suatu jembatan atau *flyover*.
- a. **PCI-I Girder**
Precast Concrete I girder (PC-I Girder) adalah balok girder berupa beton prategang sistem post tensioning, dimana bentuk penampangnya adalah berupa penampang I. Post tensioning adalah pembuatan beton prategang setelah beton dicor.
- b. **Box Girder**
Box girder termasuk gelagar beton prategang yang memiliki bentuk kotak dan memiliki fungsi yang sama dengan gelagar yang lain. *Box girder* dibuat dalam bentuk segmen,

dapat bentuk pracetak atau dicetak ditempat dan bisa memiliki bagian yang bervariasi. Berdasarkan karakteristik ini, *box girder* sangat sesuai untuk rentang span yang panjang.

- **Metode Konstruksi Pemasangan *Box girder***
Metode konstruksi adalah suatu rangkaian kegiatan pelaksanaan konstruksi yang mengikuti prosedur dan telah dirancang sesuai dengan pengetahuan maupun standar yang telah diujicobakan.
- a. ***Incremental Launching***
Incremental Launching adalah salah satu dampak positif dari kemajuan teknologi di bidang konstruksi jembatan/jalan layang. Dalam metode konstruksi ini, struktur atas jembatan/jalan layang (span pertama) dirangkai terlebih dahulu pada salah satu sisi abutmen jembatan/jalan layang kemudian didorong ke pierhead pertama.
- b. ***Balanced Cantilever***
Balanced cantilever yaitu metode pemasangan balok jembatan yang dilakukan per segmen dan dilakukan langsung di atas atau di tumpuan balok. Sehingga pemberian prategang juga dilakukan di atas. Sistem ini disebut kantilever karena selama proses pemasangan balok atau girder jembatan berfungsi sebagai kantilever. Sistem ini dilakukan biasanya pada girder jembatan berpenampang besar seperti *box girder*.
- c. ***Span by Span***
Span by span adalah metode pelaksanaan jembatan *box girder* pracetak, dengan cara pemasangan *box girder* satu persatu yang dimulai dari pilar dan nantinya akan membentuk bentang hingga ke pilar berikutnya. Dimana satu bentang jembatan dikerjakan sampai selesai kemudian berlanjut ke bentang berikutnya. Proses berikut berulang sampai seluruh bentang jembatan tersambung.



Gambar 2. Ilustrasi *Span by Span*

II. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Pembangunan Jalan Tol Bogor *Outer Ring Road* Seksi II-B Ruas Kedung Halang – Kedung Badak terletak di wilayah Kota Bogor, Kecamatan Bogor Utara, Kelurahan Kedung Badak, Kedung Jaya, dan Cibadak. Dibangun diatas median Jalan Soleh Iskandar pada STA 5+236.

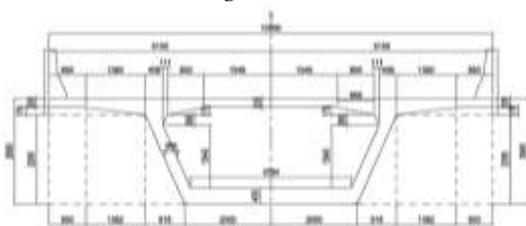


Gambar 3. Peta Lokasi Proyek Bogor Outer Ring Road

2.2. Metode Pengumpulan Data

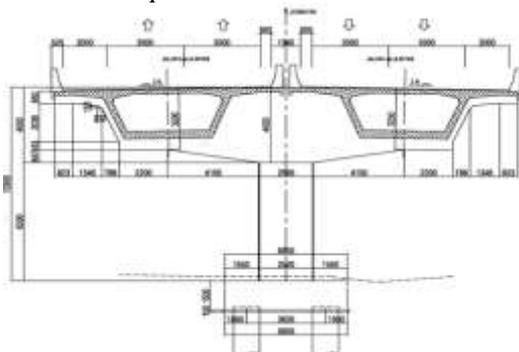
Data yang mendukung penyusunan penelitian ini didapatkan dari data primer dan sekunder. Data primer didapat dari hasil wawancara dan tinjauan langsung di lapangan. Data sekunder merupakan data yang diperoleh melalui pengumpulan data yang sudah ada hasil penelitian atau survey konsultan. Data sekunder didapat dari proyek pembangunan jalan layang Bogor Outer Ring Road. Adapun data yang dikumpulkan meliputi berikut:

1) Gambar teknik *box girder*



Gambar 4. Dimensi *Box girder*

2) Gambar teknik *pier head*



Gambar 5. Dimensi *Pier head*

- 3) Kurva S pelaksanaan proyek *Bogor Outer Ring Road*
- 4) Data Stressing pada tendon

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Data Umum

Proyek Jalan Layang Bogor Outer Ring Road ini memiliki panjang 50 m pada setiap bentang. Box girder yang digunakan pada proyek ini memiliki panjang dan lebar yang variatif. Dalam tulisan ini panjang yang akan dianalisa yaitu $L = 5,15$ m. Box girder yang digunakan pada proyek ini memiliki material beton mutu K-500. Girder jembatan menggunakan konstruksi beton prategang sistem penarikan pasca tarik pada beton girder precast segmental. Kabel strand yang digunakan memiliki diameter 12,7. Box girder yang digunakan memiliki berat sendiri sebesar ± 50 ton

3.2. Metode *Span by Span*

A. Pengangkatan *Box Girder* pracetak

Pengangkatan box girder pada saat erection box girder memerlukan waktu:

1 box = ± 30 menit

1 span (17 box) = $\pm 8,5$ jam

B. *Stressing Box Girder*

Pada pelaksanaan stressing diberikan tegangan untuk menarik kabel strand sesuai dengan perencanaan.

Diameter kabel strand (d) = 12,7 mm

Luas penampang strand (A) = 100 mm²

Panjang bentang jembatan (L) = 50 m = 50000 mm

Tegangan yang diberikan (σ) = 47 Mpa = 47 N/mm²

Modulus elastisitas (E) = 200 x 10³ N/mm²

Tegangan putus kabel (f_{pu}) = 1840 Mpa

Tegangan leleh kabel (f_{ps}) = 0,7 x f_{pu} = 0,7 x 1840 = 1288 mpa

Gaya yang terjadi

$$- \sigma = \frac{P}{A}$$

$$- P = \sigma \times A = 4700 \text{ N}$$

Elongasi

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{P \cdot L}{A \cdot E} \\ &= \frac{4700 \times 50000}{100 \times 200000} \\ &= 11,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perpanjangan yang terjadi pada strand

$$\begin{aligned} L' &= 50000 + 11,75 \\ &= 50011,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Persentasi elongasi yang terjadi

$$\begin{aligned} \epsilon (\%) &= \frac{L' - L}{L} \times 100 \% \\ &= \frac{50011,755 - 50000}{50000} \times 100 \% \end{aligned}$$

$$= 0,0235 \% < 7 \%$$

Elongasi yang terjadi memenuhi syarat karena tidak melebihi batas maksimum elongasi sebesar 7 %.

C. Gaya Prategang yang terjadi pada *box girder*

Data untuk menghitung gaya prategang

$$\text{Luas Penampang trapesium (A)} = \frac{h(a+b)}{2}$$

$$\text{Inersia segitiga (Ixs)} = \frac{1}{36} b h^3$$

$$\text{Inersia trapesium (Ixt)} = \frac{h^3 (a^2 + 4ab + b^2)}{36 (a+b)}$$

$$\text{Tinggi y} = \frac{h(2a+b)}{3(a+b)}$$

• Momen Inersia Bidang 1

$$\text{Luas penampang A1} = \frac{h(a+b)}{2} = \frac{1300(2000+5150)}{2}$$

$$= 4647500 \text{ mm}^2$$

$$\text{Inersia trapesium Ixt1} = \frac{h^3 (a^2 + 4ab + b^2)}{36 (a+b)}$$

$$= \frac{1300^3 (2000^2 + 4 \cdot 2000 \cdot 5150 + 5150^2)}{36 (2000+5150)}$$

$$= 6,12173 \times 10^{11}$$

• Momen Inersia Bidang 2

$$\text{Luas penampang A2} = \frac{h(a+b)}{2} = \frac{1087,5(1892+2510)}{2}$$

$$= 2393587,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Inersia trapesium Ixt2} = \frac{h^3 (a^2 + 4ab + b^2)}{36 (a+b)}$$

$$= \frac{1087,5^3 (1892^2 + 4 \cdot 1892 \cdot 2510 + 2510^2)}{36 (1892+2510)}$$

$$= 2,343491 \times 10^{11}$$

• Momen Inersia Bidang 3

$$\text{Luas penampang A3} = \frac{1}{2} \times 1272,50 \times 522,26$$

$$= 332289,57 \text{ mm}^2$$

$$\text{Inersia Segitiga Ixs} = \frac{1}{36} b h^3$$

$$= \frac{1}{12} \times 1272,50 \times 522,26^3$$

$$= 5035186758$$

• Momen Inersia Bidang Arsir

$$\text{Luas Penampang (A)} = A1 - A2 - (2 \cdot A3) = 4647500 - 2393587,5 - (2 \times 332289,57)$$

$$= 1589333,360 \text{ mm}^2$$

$$\text{Inersia Penampang (Ix)} = Ixt1 - Ixt2 - Ixs = (6,12173 \times 10^{11}) - (2,34349 \times 10^{11}) - (2 \times 5035186758)$$

$$= 3,67753 \times 10^{11}$$

$$\text{Tinggi y} = \frac{h(2a+b)}{3(a+b)} = \frac{1300(2 \cdot 2000+5150)}{3(2000+5150)}$$

$$= 554,545 \text{ mm}$$

$$\text{Maka didapat nilai :}$$

$$\begin{aligned} y_t &= y - 56,25 & y_b &= h - y - 100 \\ &= 498,295 \text{ mm} & &= 645,45 \text{ mm} \end{aligned}$$

• Pembebasan

1. Momen akibat berat sendiri box girder (MG)

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri box girder (qG)} &= 850 \text{ ton} / 50 \text{ m} \\ &= 17 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MG} = \text{Mmaks} &= 1/8 q L^2 = 1/8 \cdot 17 \cdot 50^2 \\ &= 5312,5 \text{ tm} \end{aligned}$$

2. Momen akibat beban mati tambahan (MD)

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri aspal} &= 0,05 \times 5,15 \times 2,2 \text{ t/m}^3 \\ &= 0,5665 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pembatas} &= 0,52 \times 1 \times 2,5 \text{ t/m}^3 \\ &= 1,30 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$qD = 1,8665 \text{ t/m}$$

$$\begin{aligned} \text{MD} = \text{Mmaks} &= 1/8 qD L^2 \\ &= 1/8 \times 1,8665 \times 50^2 = 583,281 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\text{Momen akibat beban mati (MP)} = \text{MG} + \text{MD}$$

$$= 5312,5 \text{ tm} + 583,281 \text{ tm}$$

$$= 5895,7813 \text{ tm}$$

3. Momen akibat beban hidup (ML)

Beban lajur "D"

Beban terbagi rata (BTR)

$$\begin{aligned} L \geq 30 \text{ m} : q_1 &= 9,0 (0,5 + 15/L) \text{ Kpa} \\ &= 9,0 (0,5 + 15/5000) \text{ Kpa} = 4,52 \text{ Kpa} = 0,452 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ML1} = \text{Mmaks} &= 1/8 q L^2 = 1/8 \times 0,452 \times 50^2 \\ &= 141,25 \text{ tm} \end{aligned}$$

Beban garis (BGR)

$$\begin{aligned} \text{Koefisien kejut (K)} &= 1 + \frac{20}{50+L} \\ &= 1 + \frac{20}{50+50} \\ &= 1,2 \end{aligned}$$

$$P = 12 \text{ ton} \times 1,2 = 14,4 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned} \text{ML2} &= 1/4 \times P \times L \\ &= 1/4 \times 14,4 \times 50 \\ &= 180 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ML} = \text{ML1} + \text{ML2} &= 141,25 + 180 = 230,25 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\text{Momen total (MT)} = \text{MP} + \text{ML}$$

$$= 5895,78 + 230,25 \text{ tm}$$

$$= 6126,03 \text{ tm}$$

• Perhitungan gaya prategang

1. Perkiraan gaya prategang efektif

$$(\text{MG/MT}) \times 100 \%$$

$$(5312,5/6126,03) \times 100 \% = 86,720 \% > 20 \%$$

Maka, diperkirakan gaya prategang efektif sebesar :

$$\begin{aligned} F &= \frac{\text{MT}}{0,65 \times h'} \\ &= \frac{6126,03}{0,65 \times 1,3} = 7249,7396 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Perkiraan \% kahilangan gaya prategang (R)} &= 20 \% \end{aligned}$$

$$\text{Gaya prategang awal (Fo)} = \frac{100}{100-R} \times F$$

$$= \frac{100}{100-20} \times 7249,7396$$

$$= 9623,237 \text{ ton}$$

2. Menentukan eksentrisitas (e)

$$e = \frac{MG}{F_o} = \frac{5312,5}{9623,237} = 0,5520 \text{ m} = 552 \text{ mm}$$

$$e = 552 \text{ mm}$$

3. tegangan yang terjadi pada beton setelah peralihan gaya prategang

Tegangan serat atas ft :

$$f_t = -\frac{F_o}{A} + \frac{F_o e y_t}{I} - \frac{MT y_t}{I}$$

$$= -\frac{9623237}{1589333,360} + \frac{9623237 \times 552 \times 498,295}{3,31993551 \times 10^{10}} - \frac{6305156300 \times 498,295}{3,31993551 \times 10^{10}}$$

$$= -6,0549 + 7,9729 - 9,4635$$

$$= -7,5455 \text{ kg/mm}^2$$

Tegangan serat bawah fb :

$$f_b = -\frac{F_o}{A} - \frac{F_o e y_b}{I} + \frac{MT y_b}{I}$$

$$= -\frac{9623237}{1589333,360} - \frac{9623237 \times 552 \times 645,45}{3,31993551 \times 10^{10}} + \frac{6305156300 \times 645,45}{3,31993551 \times 10^{10}}$$

$$= -6,0549 - 10,3275 + 12,2583$$

$$= -4,1241 \text{ kg/mm}^2$$

Setelah kehilangan gaya prategang

Tegangan serat atas ft :

$$f_t = -\frac{F}{A} + \frac{F e y_t}{I} - \frac{MT y_t}{I}$$

$$= -\frac{7698590}{1589333,360} + \frac{7698590 \times 552 \times 498,295}{3,31993551 \times 10^{10}} - \frac{6305156300 \times 498,295}{3,31993551 \times 10^{10}}$$

$$= -4,8439 + 6,3783 - 9,4635$$

$$= -7,9291 \text{ kg/mm}^2$$

Tegangan serat bawah fb :

$$f_b = -\frac{F}{A} - \frac{F e y_b}{I} + \frac{MT y_b}{I}$$

$$= -\frac{7698590}{1589333,360} - \frac{7698590 \times 552 \times 645,45}{3,31993551 \times 10^{10}} + \frac{6305156300 \times 645,45}{3,31993551 \times 10^{10}}$$

$$= -4,8439 + 8,2620 - 12,2583$$

$$= -8,8402 \text{ kg/mm}^2$$

3.3. Tinjauan Lapangan

A. Alat Berat

- *Lifting Gantry*

Lifting gantry adalah alat berat konstruksi jembatan, juga dikenal dengan beam launcher atau bridge girder launcher yang berfungsi untuk memasam girder pracetak dalam pembuatan konstruksi jalan layang dan konstruksi jembatan jalur kereta dengan ketinggian cepat. Lifting gantry dapat

menahan beban 17 box girder yang setiap box nya memiliki berat ± 50 ton dan berat sendiri sebesar 500 ton, maka lifting gantry dapat memikul beban sebesar ± 1350 ton.



Gambar 6. *Lifting gantry*

- *Shoring*

Shoring adalah besi tumpuan sementara untuk menahan konstruksi yang dalam keadaan tidak seimbang. Shoring digunakan untuk menahan pier head di sisi yang terdapat lifting gantry karena untuk menghindari runtuhnya pier head.



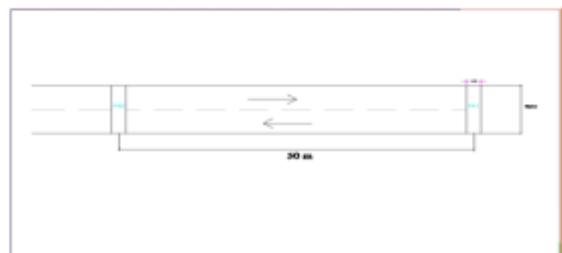
Gambar 7. *Shoring*

- *Forklift*

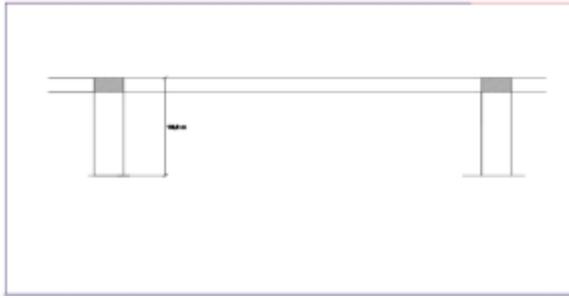
Forklift adalah suatu alat atau kendaraan yang menggunakan garpu dipasang pada mast untuk mengangkat, menurunkan dan memindahkan suatu benda dari suatu tempat ke tempat lain. Pada saat mengangkat atau memindahkan bekisting untuk *wet joint* menggunakan *forklift*.

B. Metode Konstruksi

Metode pelaksanaan span by span di Proyek Bogor Outer Ring Road memiliki lebar dan panjang :



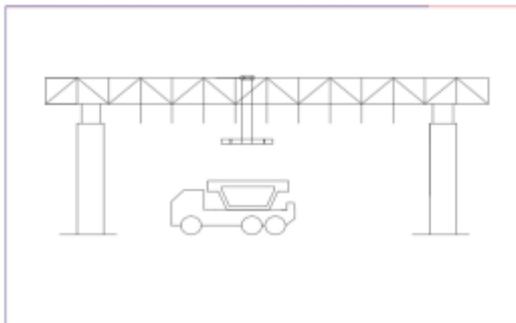
Gambar 8. *Tampak atas Jalan Layang*



Gambar 9. Tampak Samping Jalan Layang

- Pengiriman *Box girder*

Pengiriman *box girder* dari pabrik pembuatan *box girder* yang berada di Karawang menggunakan mobil yang bernama *laupad*. *Laupad* sendiri dapat menerima beban sebesar 50 ton. Mengiriman *box girder* dapat dilakukan pada siang hari atau pun malam hari, tergantung kondisi di proyek.

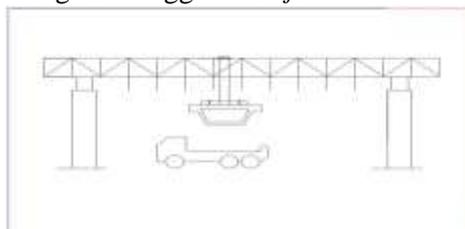


Gambar 10. Pengangkutan *Box girder* menggunakan Mobil *laupad*

- *Hanging box girder*

Hanging box girder adalah pengangkutan *box girder* yang menggunakan alat *lifting gantry* dengan metode *span by span*. Pada metode ini erection *box girder* dilakukan dengan mengangkat satu persatu *box girder*. Erection *box girder* ini dilakukan pada malam hari karena untuk menghindari kepadatan lalu lintas. Erection *box girder* ini dilakukan pada setiap span dan pada satu span terdapat 17 *box girder*. tahapan pengerjaan erection *box girder* :

- 1) Pada tahap pertama yaitu mobil *laupad* yang sudah siap membawa *box girder* di bawah alat *lifting gantry*, yang nantinya *box girder* tersebut akan diangkat menggunakan *ject*.



Gambar 11. Pengangkatan *box girder* menggunakan *ject lifting gantry*

- 2) Perlahan *ject* yang mengangkat *box girder* diarahkan secara manual menggunakan tali, karena *ject* yang mengangkat *box girder* tidak dapat berputar secara otomatis.



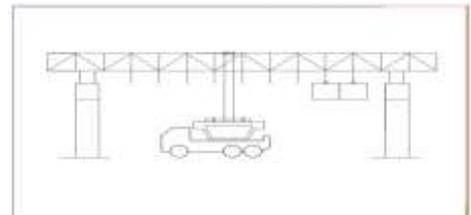
Gambar 12. Penempatan *Box girder*

- 3) Setelah *box girder* berada tepat pada posisi yang seharusnya maka *hanging beam* dipasang melalui selongsong yang berada di atas permukaan *box girder*.



Gambar 13. Pemasangan *Hanging Beam*

- 4) Pada saat *hanging beam* selesai di pasang maka *ject* pun dilepas dan beban *box girder* beralih ke *hanging beam* yang terpasang pada *lifting gantry*.



Gambar 14. *Box Girder* yang Menggantung pada *Hanging Beam*

- 5) Waktu yang dibutuhkan untuk *hanging box girder* :

1 <i>box girder</i>	= ± 30 menit
Span	= ± 8,5 jam

- *Joint Segment*

Joint segment adalah penggabungan setiap segment *box girder*, yang mana dilakukan survey terlebih dahulu untuk mengetahui posisi yang tepat untuk *box girder* yang akan dipasang.

- *Wet joint*

Wet joint adalah spasi yang ada antar *box girder* dengan *pier head*. Spasi ini berfungsi untuk ruang gerak *box girder* pada saat pengangkutan *box girder* sehingga tidak terjadi benturan antara *box girder*. Setelah *joint segment* selesai

dilakukan maka dilakukan pengecoran *wet joint*.

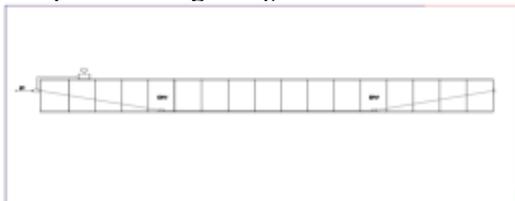
- *Stressing*

Stressing adalah proses penarikan atau pemberian tegangan pada kabel stran yang mana nantinya akan menanggung seluruh beban *box girder*. Tendon eksternal adalah tendon yang terletak di luar *box girder* dengan jumlah stran 19 buah, dan tendon internal adalah tendon yang berada di dalam *box girder* dengan stran 7 buah. Alat yang digunakan pada saat *stressing* adalah *jection* yang berfungsi untuk menarik stran yang nantinya didapatkan perpanjangan yang terjadi pada stran. Alat ukur tekanan menunjukkan gaya yang telah diberikan ke tendon sementara *elongasi* berfungsi sebagai *counter check*. *Elongasi* yang terjadi harus berada dalam interval yang diijinkan yaitu antara -7% sampai +7% (sesuai ACT 318 psl 18.18 dan SK SNI T-15.1991 psl. 3.1 1.1 8).

Apabila hasil *stressing* yang dilakukan tidak memenuhi toleransi yang disyaratkan, hal-hal yang harus dilakukan adalah:

- a. Jika hasil *elongasi* secara grafis masih lebih besar dan +7%, maka dilakukan *lift-off* atau memeriksa gaya yang bekerja pada angkur kemudian dibandingkan dengan gaya angkur hasil perhitungan. Jika masih belum memenuhi maka harus di *release* dan dilakukan penarikan ulang.
- b. Jika hasil *elongasi* secara grafis lebih kecil dari -7%, maka dilakukan penarikan tambahan sampai batas gaya *jacking force* yang disyaratkan.

Tahapan *stressing box girder* :



Gambar 15. *Stressing* Pada Tendon Eksternal

- 1) Pemasangan tendon dan stran dilakukan pada saat pembesian *wet joint* dikerjakan.
- 2) Setelah 17 jam *wet joint* dicor maka *stressing* pun siap untuk dikerjakan. PT bar luar dan *steel shoe* pun dilepas.



Gambar 16. PT bar dan *Steel Shoe* setelah dilepas

- 3) *Stressing* yang pertama dilakukan yaitu pada eksternal tendon
- 4) Selanjutnya dilakukan *stressing* pada internal tendon dengan urutan.



Gambar 17. Urutan Penarikan Tendon

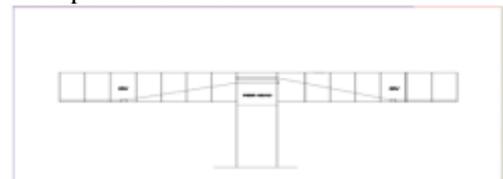
- 5) Setelah stran dimasukkan kedalam *jection* maka di mulai lah penarikan atau *stressing* pertama sebesar 50 bar untuk mengencangkan stran.
- 6) Selanjutnya diberikan tarikan sebesar 100 bar untuk menegangkan stran, pada setiap penarikan stran didapat perpanjangan stran yang dapat dilihat di bagian alat *jection*.
- 7) Dilakukan penarikan dengan system yang sama dan tagangan mencapai 470 bar pada setiap tendon.



Gambar 18. Pengukuran Tegangan *Stressing*

- *Realease*

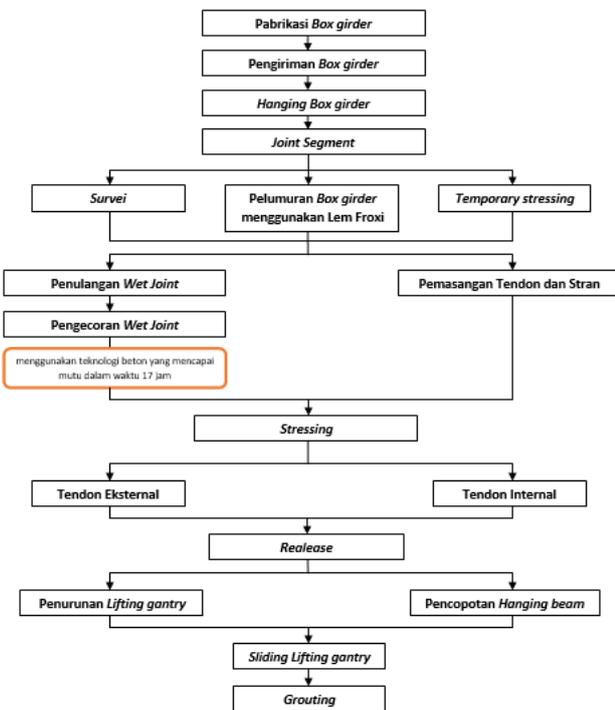
Realease adalah pelepasan *stressing temporary* sehingga beban yang tadinya dipikul oleh alat berat *lifting gantry* menjadi dipikul oleh stran sesungguhnya. Tahapan *realease* :



Gambar 19. Posisi Tendon pada Pier Head dan Box Girder

- *Grouting*

Grouting adalah proses memasukkan beton kedalam lubang tendon, yang berfungsi untuk melindungi stran agar tidak berkarat.



Gambar 20. Diagram Alir Erection Box girder

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

1. Keterbatasan lahan kerja pembangunan Proyek Jalan layang Bogor Outer Ring Road (BORR) merupakan salah satu kendala utama pekerjaan super struktur pada proyek ini, disamping lahan yang terbatas arus lalu lintas di sekitar proyek ini pun terbilang sangat padat. Dengan kendala tersebut, metoda kerja stressing box girder dengan cara post-tension dan metode kerja erection box girder span by span merupakan metode yang paling efisien yang telah disesuaikan dengan kondisi di lapangan.
2. Girder yang digunakan adalah segmental box girder yang mana dapat memudahkan pada saat pengiriman kelapangan proyek dikarenakan tingkat lalu lintas di proyek yang padat.
3. Perbandingan yang dilakukan pada hasil elongasi stressing pada C1A dilapangan sebesar 2,41% dan perhitungan berdasarkan teori sebesar 0,0235%, mendapatkan selisih sebesar 2,3865%. Keduanya memenuhi syarat elongasi yaitu $-7% < x < +7%$.
4. Gaya prategang yang diberikan pada saat stressing menimbulkan tegangan yang terjadi pada saat peralihan tegangan, yang memiliki nilai pada serat atas $- 7,5455 \text{ kg/mm}^2$ dan pada serat bawah $- 4,1241 \text{ kg/mm}^2$, setelah kehilangan gaya prategang tegangan yang terjadi yaitu $- 7,9291 \text{ kg/mm}^2$ pada serat atas dan $- 8,8402 \text{ kg/mm}^2$ pada serat bawah.

4.2. Saran

1. Mengingat kepadatan lalu lintas di sekitar proyek seharusnya erection box girder dilakukan pada saat malam hari karena untuk menghindari kemacetan lalu lintas di sekitar proyek.
2. Pada saat pelaksanaan pemasangan bekisting diharuskan ketelitian dan kehati-hatian yang lebih karena jika pemasangan bekisting sembarangan akan menimbulkan kecelakaan kerja yang berakibat kepada pekerja dan pengguna jalan.
3. Perlu dilakukan analisa lebih lanjut mengenai beton prategang PC Box Girder lebih detail sebagai bahan perbandingan.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES., DEA., Agus Setyo Muntohar, ST., *Jembatan*, Edisi 4, BETA Offset, Yogyakarta, 2007
- 2) Firmansyah, Herlambang, *Analisis Penampang Gelagar Beton Prategang Pracetak Tipe AASHTO Untuk Jembatan Jalan Raya*, Universitas Pakuan, Bogor, 2001.
- 3) <http://www.constructionfeeds.com/tutorial/elongation-of-steel-rod.html>
- 4) Jim J. Zhao, P.E., F. Asce, Dementrius E. Tonias, *Bridge Engineering Design, Rehabilitation, and Maintenance Of Modern Highway Bridge*, Edisi 3, The McGraw-Hill Companies, Inc., 2012
- 5) Masnul, Cut Retno, *Analisa Prestress (Post-Tension) Pada Precast Concrete Box Girder*, Universitas Sumatra Utara, Medan, 2009.
- 6) Pratama, Dwi Dian., Tri Joko Wahyu Adi, ST., MT.phD, *Analisa Perbandingan Metode Erection Girder Menggunakan launcher Girder dan Temporasy Bridge dari Segi Biaya dan Wakt Pada Jembatan Kali Surabaya*, 2013
- 7) Puspitasari, Nia Dwi, *Perencanaan Jembatan Palu IV Dengan Konstruksi Box Girder Segmental Metode Pratekan Statis Tertentu*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2011.
- 8) S. P. Bindra, *Principles and Practice Of Bridge Engineering*, Edisi 4, Dhanpat Rai & Sons, Delhi, 1982

PENULIS :

- 1) **Sri Mutia Ningrum, ST.** Alumni (2018) Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik – Universitas Pakuan. (E-mail :srimutia@gmail.com)
- 2) **Ir. Budiono, MT.** Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik – Universitas Pakuan.
- 3) **Wiratna Tri Nugraha, ST., MT.** Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik – Universitas Pakuan.