

# ANALISA STRUKTUR BOX GIRDER JALAN LAYANG KERETA API KUALANAMU

Kamaluddin lubis, Muhammad Ridwan  
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik  
Universitas Medan Area  
Email : kamaluddinlubis@staff.uma.ac.id

*Abstrak — Perkembangan beton prategang semakin berkembang pesat seiring meluasnya teknologi konstruksi. Penggunaan beton prategang sangat mendukung pembangunan infrastruktur Indonesia, khususnya Jalan Layang Kereta Api Kualanamu di kota Medan yang menggunakan Box Girder dengan tinggi penampang 2400 mm sebagai komponen strukturalnya. Studi kasus beton prategang box girder Jalan Layang Kereta Api Kualanamu dengan bentang 40 meter menjelaskan keefektifitasan penampang girdernya yang memiliki tendon – tendon internal yang diisi kabel baja strand dia. 12,7 mm berjumlah 60 buah. Selanjutnya menganalisa persentase kehilangan gaya prategang yang terjadi pada tendonnya akibat perpendekan elastis, gesekan pada tendon, rangkai, susut pada beton dan sebagainya. Sebagai tambahan diperkenalkan langkah – langkah proses produksi beton prategang box girder mulai dari penulangan sampai pengecoran di pabrik beton pracetak.*

*Kata kunci: Beton prategang, box girder, kehilangan gaya prategang.*

*Abstract — The development of prestressed concrete is growing rapidly as the widespread construction technology. The use of prestressed concrete supports infrastructure development in Indonesia, especially Kualanamu Railway overpass in the city of Medan that use Box Girder with sectional height 2400 mm as a structural component. The case study of prestressed concrete box girder Railway flyover with spans of 40 meters Kualanamu explain sectional effectiveness girders where are internal tendons filled in strand steel cables. 12.7 mm totaling 60 pieces. Further analyzing the percentage loss of prestressing force that occurs in the tendon due to the shortening of the elastic, friction on the tendon, creep, shrinkage of the concrete and so on. Additionally introduced step by step production process prestressed concrete box girder ranging from reinforcement to casting in the precast concrete plant.*

*Keywords: Prestressed concrete, box girder, loss of prestressed.*

## I. PENDAHULUAN

Sebagai bagian dari rencana pembangunan “Indonesia-sentris” yang tidak lagi terkonsentrasi di Pulau Jawa, pemerintah pun mulai gencar membangun infrastruktur perkeretaapian di Pulau Sumatera. Salah satunya pembangunan jalan layang kereta api sepanjang  $\pm 8$  km yang merupakan bagian dari rencana membangun jalur Stasiun Medan-Stasiun Bandara Kualanamu dengan total panjang 27 km. Struktur girder memanjang dari jalan layang tersebut adalah jenis beton prategang box girder dengan bentang 40 m dan lebar 10,3 m. Yang dalam konstruksinya girder – girder tersebut dicetak secara segmental di pabrik precast.

Tujuan pemberian gaya prategang adalah untuk menimbulkan tegangan awal dan lendutan awal (chamber) yang berlawanan dengan tegangan – tegangan yang ditimbulkan oleh beban – beban kerja. Dengan demikian konstruksi dapat memikul beban yang lebih besar lagi tanpa harus merubah mutu betonnya. Seluruh

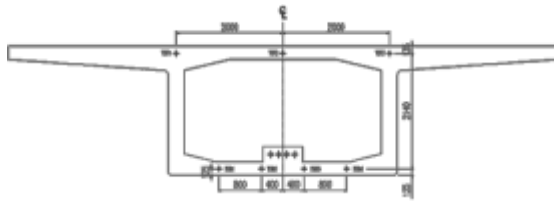
penampang beton menjadi efektif, akibat baja yang diberi gaya prategang dan diangkurkan ke beton. Sedangkan pada beton bertulang hanya sebagian dari penampang yang berada di atas garis netral yang bermanfaat.

Tujuan penelitian dari penulisan ini yaitu untuk mengetahui gaya – gaya yang bekerja akibat pelaksanaan jalan layang kereta api Kualanamu – Medan, Sumatera Utara. Selanjutnya melakukan analisa penampang yang dapat menahan lenturan akibat gaya – gaya yang bekerja di atasnya, sehingga diketahui besar persentase kehilangan gaya prategang (loss of prestress) pada bentang jalan layang tersebut. Balok pratekan yang dianalisa pada studi kasus ini adalah segmen balok yang digunakan pada jalan layang kereta api Kualanamu – Medan, Sumatera Utara. Dari Track kereta api sepanjang  $\pm 8$  km, bentang yang ditinjau hanya bagian Pier 39 – Pier 40 sepanjang 40 m. Keluaran penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan mengenai jembatan yang menggunakan struktur balok beton prategang dengan perhitungan yang

umum digunakan dalam mendesain struktur balok prategang.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Girder jalan layang Stasiun Medan-Stasiun Bandara Kualanamu berupa gelagar PC Box Girder dengan bentang 40 m dibagi dalam 15 (lima belas) segmen yang selanjutnya akan dihubungkan antar segmennya dengan proses stressing (pemberian gaya prategang), yang dapat dilihat pada gambar. 1.



Gambar 1. Potongan Melintang Balok Box Girder

Gelagar jalan layang tersebut terbuat dari bahan beton dengan mutu  $500 \text{ kg/cm}^2$  yang dikompositkan terhadap ballast dan bantalan jalan rel beton dengan  $350 \text{ kg/cm}^2$ .

### Gaya Prategang

Pada langkah perhitungan besar gaya dongkrak (jacking force) ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan. Adapun hal-hal tersebut adalah :

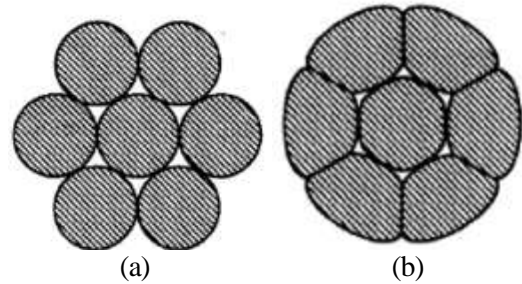
### Disain Material

#### 1. Beton

Menurut ACI, beton yang boleh mengalami prategang adalah beton yang telah berumur 28 hari dengan kuat tekan beton telah mencapai 30 sampai 40 MPa.

#### 2. Baja

Baja yang digunakan sebagai tulangan prategang merupakan jenis uncoated stress relieve seven wire strand low relaxation. Baja strand merupakan jenis yang paling banyak digunakan untuk penegangan post-tension. Strand yang digunakan pada proyek ini sesuai spesifikasi ASTM A416., seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Strand prategang 7 kawat (a) standard dan (b) yang dipadatkan

### Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan gaya prategang dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain (T.YLin, 1988):

- Perpendekan elastis beton (*ES*)
- Gesekan di sepanjang tendon (*W*)
- Slip anchorage
- Rangak pada baja (*CR*)
- Susut pada beton (*SH*)
- Relaksasi pada baja

### Precast Segmental Box Girder

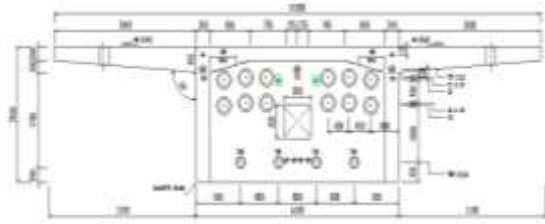
Berbeda dengan sistem konstruksi monolit, sebuah jembatan segmental *box girder* terdiri dari elemen-elemenpracetak yang diprategang bersama-samaoleh tendon eksternal (Prof. Dr.-Ing. G. Rombach, 2002).

### Elemen Struktural Jembatan Segmental Box Girder

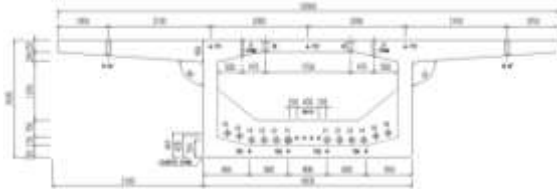
Jembatan segmental seharusnya dibangunseperti sturktur bentang tunggal untuk menghin dariadanya sambungan kabel *post-tension*. Sehubungan dengan adanya eksternal *post-tension* maka diperlukan tiga macam segmen yang berbeda,diantaranya (Prof. Dr.-Ing. G. Rombach, 2002):

- Expansion Joint Segment* : Bagian ini terletak tepat diatas abutment.
- Deviator segment* : Bagian ini dibutuhkan untuk pengaturan deviasi tendon.
- Standard segment* : Dimensi standard box girder yang digunakan.

**Expansion Joint Segment**



**Deviator segment**



**Standard segment**

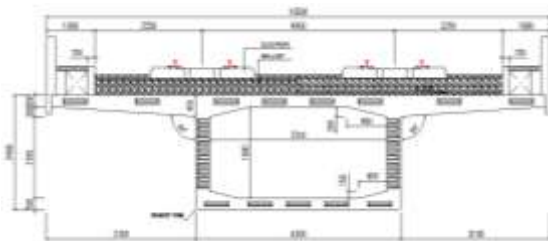


Gambar 3. Tipe Precast Box Girder Jalan Layang Kereta Api Kualanamu

**III. METODE PENELITIAN**

**Data Perencanaan**

Adapun data – data perencanaan struktur atas box girder dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Potongan Melintang Segmen Box Girder P39 – P40

- Fungsi jalan : Rel kereta double track
- Tipe jembatan: Precast segmental box girder dengan menggunakan struktur beton pratekan tipe single box.
- Panjang jembatan : 39.90 m,Pier 39 – Pier 40 terdiri dari 1 bentang
- Lebar jembatan : 10,5 m
- Lebar jalur lalu lintas (B): 8.5 m

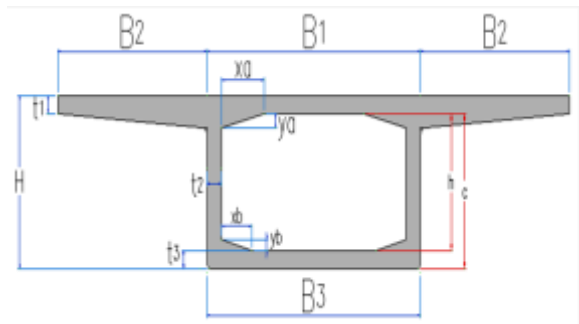
- Jumlah Rel : 4 bh, 2 lajur 2arah.
- Jumlah bantalan dalam 1 span : 134 bh
- Tebal ballast : 42,3 cm

**Data Bahan**

- Kuat tekan beton prategang ( $f_c'$ ) :40 Mpa
- Kuat tekan beton untuk struktur sekunder ( $f_c'$ ) : 28 Mpa
- Mutu baja yang digunakan untuk penulangan box girder adalah baja mutu ( $f_y$ ) = 400 Mpa.
- Mutu baja yang digunakan untuk penulangan struktur sekunder adalah baja mutu ( $f_y$ ) = 240 Mpa.
- Jenis strands : Uncoated 7 wire super strand ASTM A-416 grade 270
- Tegangan leleh strand ( $f_{py}$ ) = 1580000 kPa
- Diameter nominal strand (dia.) = 0.0127 m
- Diameter selubung tendon = 65 mm
- Beban putus satu tendon ( $P_{b1}$ ) = 3746.4 kN
- Diameter tulangan (dia.) : 13 mm

**Analisa Penampang**

Adapun dimensi penampang,dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Dimensi Penampang Box Girder

Tabel 1. Penempatan Tebal Pelat Pada Penampang Segmen Box Girder

Slab atas bag. Tengah.	B <sub>1</sub> =	4.30m
	t <sub>1</sub> =	0.25m
Slab atas bag. Tepi.	B <sub>2</sub> =	3.00m
	t <sub>1</sub> =	0.25m
Tinggi box girder.	H =	2.40m
Dinding tengah.	t <sub>2</sub> =	0.30m
Slab bawah.	B <sub>1</sub> =	4.30m
	t <sub>1</sub> =	0.25m

Penebalan pada pertemuan slab dan dinding		
x <sub>a</sub> =	0.85	m
y <sub>a</sub> =	0.20	m
x <sub>b</sub> =	0.60	m
y <sub>b</sub> =	0.15	m

Lebar total box,

$B_{tot} = B_1 + 2*B_2 =$	10.30	m
$h = H - t_1 - t_3 =$	1.90	m
$c = h + t_3 =$	2.15	m

Tabel 2. Momen Inersia Penampang Segmen Box Girder

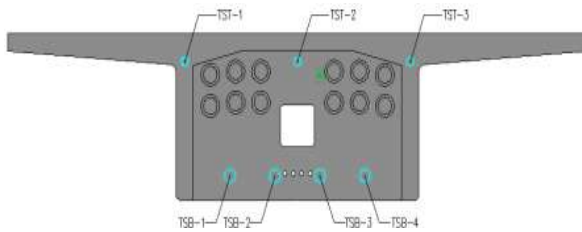
NO	DIMENSI		Shape factor	Jumlah Tangkang	Luas Tangkang A m <sup>2</sup>	Jarak dari sumbu y m	Statu Momen A*y m <sup>3</sup>	Inersia Momen A*y <sup>2</sup> m <sup>4</sup>	Inersia Momen I <sub>x</sub> m <sup>4</sup>
	Lelah (m)	Tebal (m)							
1	4.3	0.25	1	1	1.075	2.28	2.446	5.58	0.0058
2	3	0.25	1	2	1.5	2.28	3.413	7.76	0.00781
3	3	0.2	0.5	2	0.8	2.08	1.25	2.8	0.00133
4	0.85	0.2	0.5	2	0.17	2.08	0.354	0.74	0.00058
5	0.3	1.9	1	2	1.34	1.2	1.588	1.64	0.34295
6	0.8	0.15	0.5	2	0.09	0.3	0.027	0.07	0.00011
7	4.3	0.25	1	1	1.075	0.13	0.134	0.43	0.0058
					1.85		8.992	18.34	0.36

IV. ANALISA HASIL

Gaya Prestress, Eksentrisitas, Dan Jumlah Tendon

Kondisi Awal (Saat Transfer)

Gaya prategang awal  $P_t = 8741.02$  kN



INTERNAL TENDON			
PELAT ATAS :		PELAT BAWAH :	
NO. CABLE	NO. PC STRAND DIA. 12,7mm	NO. CABLE	NO. PC STRAND DIA. 12,7mm
TST-1	4	TSB-1	12
TST-2	4	TSB-2	12
TST-3	4	TSB-3	12
total	12	TSB-4	12
		total	48

Gambar 6. Penempatan Tendon Box Girder

Beban Putus Strand Total  $P_{bs1} = 145.68$  kN, Besar Ultimate Tensile Strenght (UTS)=68.17 %

Kondisi Akhir (Saat Service)

Gaya prestress akhir setelah kehilangan tegangan (loss of prestress) sebesar 30% :  $P_{eff} = 5948.35$  kN

Besar Ultimate Tensile Strenght (UTS)= 123.77%

Posisi Tendon

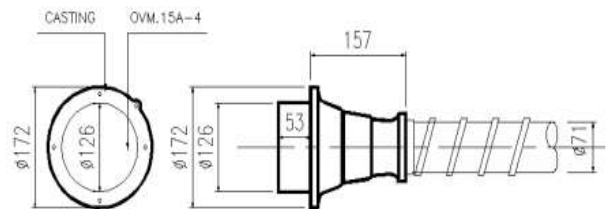
Tabel 3. Eksentrisitas Masing – Masing Tendon

Baris Tendon	Posisi Tendon di Tangkang x = 0.00 m	z <sub>i</sub> (m)	Baris Tendon	Posisi Tendon di Tengah Bentang x = 20.00 m	z <sub>i</sub> (m)	Baris Tendon	e <sub>i</sub> = z <sub>1</sub> - z <sub>2</sub> (m)
1	z <sub>1</sub> = a' + y <sub>i</sub>	2.000	1	z <sub>1</sub> = a' + y <sub>i</sub>	2.265	1	-0.265
2	z <sub>2</sub> = a'	0.355	2	z <sub>2</sub> = a'	0.125	2	0.230

Sudut Angkur

Tabel 4. Sudut Angkur Tendon Internal

NO TENDON	Jumlah Strand Dia 12,7 mm	DIAMETER BULUNG (mm)	Eksentrisitas	z <sub>i</sub> (m)	d <sub>1</sub> /d <sub>2</sub>	SUDUT ANGIKUR
1	12	65	e <sub>1</sub>	-0.265	-0.02657	a <sub>1</sub> = -0.03 rad = -1.3°
2	48	65	e <sub>2</sub>	0.23	0.02306	a <sub>2</sub> = 0.02 rad = 1.3°

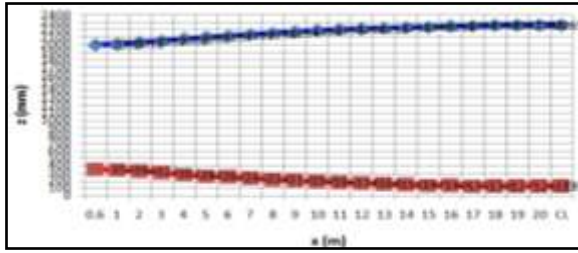


Gambar 7. Detail Casting Internal Tendon

Tata Letak Dan Trace Kabel

Tabel 5. Koordinat Internal Tendon

Jarak X (m)	Posisi baris tendon	
	z <sub>1</sub> (mm)	z <sub>2</sub> (mm)
0.6	2000	355
1	2011	346
2	2037	323
3	2062	301
4	2085	281
5	2107	262
6	2127	245
7	2146	228
8	2164	213
9	2180	199
10	2195	186
11	2208	174
12	2213	164
13	2231	151
14	2240	147
15	2239	140
16	2254	135
17	2259	130
18	2262	127
19	2264	126
20	2265	125
CL	2265	125



Gambar 8. Trace Masing – Masing Tendon

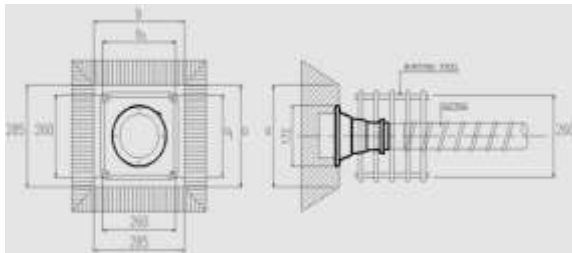
**Kehilangan Tegangan (Loss Of Prestress)**

Tabel 6. Loss Of Prestress

Gaya	(kN)	% UTS	Loss of prestress
$P_1$	8497.6	54.51%	Anchorage friction
$P_1$	8015.44	71.32%	Relaxation of tendon
$P_{eff}$	7397.73	123.77%	
Loss of prestress =			12.94%

Kehilangan gaya prestress total yang diperoleh sebesar 12.94 % < 30 % cukup dekat dengan estimasi awal (kehilangan gaya prestress akhir).

**Perencanaan Jumlah Bursting Steel Internal Tendon**



Gambar 9. Detail Bursting Steel Internal Tendon TST

**Penulangan Pada Segmen Box Girder**

**Plat Dinding Tepi**

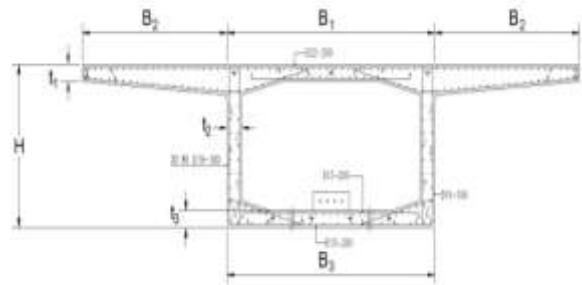
Tebal plat dinding ( $t_2$ ) = 300 mm  
 Digunakan tulangan diameter (D) = 19 mm  
 Jarak tulangan yang diperlukan (s) = 100 mm

**Plat Bawah**

Tebal plat dinding ( $t_3$ ) = 250 mm  
 Digunakan tulangan diameter (D) = 13 mm  
 Jarak tulangan yang diperlukan (s) = 200 mm

**Plat Atas**

Tebal plat dinding ( $t_1$ ) = 250 mm  
 Digunakan tulangan diameter (D) = 22 mm  
 Jarak tulangan yang diperlukan (s) = 200 mm



Gambar 10 Penulangan Segmen Box Girder

**V. KESIMPULAN DAN SARAN**

**Kesimpulan**

Setelah dilakukan analisa baik secara teknis maupun non teknis ada beberapa kesimpulan yang diperoleh, antara lain :

1. Analisis mengenai perilaku dilakukan dengan mempertimbangkan ketidak-elastisan material dan beban batas (ultimate) yang bekerja.
2. Apabila gaya prategang bekerja tidak pada pusat penampang, tetapi eksentrisitas, maka ada tambahan tegangan akibat eksentrisitas tersebut.
3. Di dalam suatu sistem struktur beton prategang selalu terdapat kehilangan gaya prategang baik akibat sistem penegangan maupun akibat waktu. Kehilangan gaya prestress yang terjadi sebesar 12,94 %.
4. Letak dan bentuk bursting steel tendon internal harus menyesuaikan besarnya gaya tarik yang terjadi pada zona pengankuran dengan menggunakan diameter besi D13 jarak 50 mm.

**Saran**

Dari kesimpulan diatas penulis menyarankan beberapa hal, antara lain :

1. Untuk analisis awal, terutama dalam menentukan dimensi penampang dan level dari prategang jumlahkan tegangan yang terjadi pada daerah – daerah kritis.
2. Pengaturan posisi penegangan pada penampang akan memberikan keuntungan lebih.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Wijaya Karya Beton, PT. 2015. "Dokumentasi Produksi dan Shop Drawing Box Precast Pembangunan Jalan KA Layang Antara Medan – Araskabu – Kualanamu". Binjai
- Ilham, Noer M. 2008. "Perhitungan Box Girder Beton Prestress Gejayan Fly Over Yogyakarta".
- Lin, T.Y., dan Ned H.Burns. 1988. Desain Struktur Beton Prategang. Edisi ke 3. Jilid 1. Diterjemahkan oleh : Daniel Indrawan M.C.E. Erlangga, Jakarta.
- Rombach, Prof. Dr.-Ing. G. 2002. "*Precast segmental box girder bridges with external prestressing: Design and Construction*".
- Budiadi, Andri2008.: Desain Praktis Beton Prategang. Andi, Yogyakarta.
- Nawy, Edward G. 2001. Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar. Edisi ke 3. Jilid 1. Diterjemahkan oleh : Bambang Suryoatmo. Erlangga, Jakarta