Analisa Struktur Box Girder Jalan Layang Kereta Api Kualanamu

Structure Analysis of Girder Box Overpass Kualanamu Railway

Muhammad Ridwan*, Irwan & Subur Panjaitan

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Amir Hamzah, Indonesia

*Corresponding Email: E-mail : ridwanadry@gmail.com

Abstrak

Pembangunan jalan layang kereta api sepanjang ± 8 km yang merupakan bagian dari rencana membangun jalur Stasiun Medan-Stasiun Bandara Kualanamu dengan total panjang 27 km merupakan bagian dari rencana pembangunan "Indonesia-sentris" yang tidak lagi terkonsentrasi di Pulau Jawa. 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 dibagi dalam 15 (lima belas) segmen yang selanjutnya akan dihubungkan antar segmennya dengan proses *stressing* (pemberian gaya prategang). Studi ini menjelaskan keefektifan penampang girdernya yang memiliki tendon-tendon internal yang diisi kabel baja *strand* diameter 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. Semua data yang diperoleh di lapangan, berasal di PT. Wijaya Karya Beton Tbk dan analisa beban dengan metode SNI T-12 2004. Sebagai tambahan diperkenalkan langkah-langkah proses produksi beton prategang *box girder*, mulai dari penulangan sampai pengecoran di pabrik beton pracetak. Kehilangan gaya prategang yang terjadi sebesar 12,94 %.

Kata kunci : Beton Prategang, *Box Girder*, Kehilangan Gaya Prategang

Abstract

The ± 8 km railway overpass construction which is part of the plan to build the Medan-Kualanamu Airport Station with a total length of 27 km is part of Indonesia-centric development plan which is no longer concentrated in Java. The use of prestressed concrete supports infrastructure development in Indonesia, especially Kualanamu Railway overpass in Medan that use *box girder* with sectional height 2400 mm as a structural component. The case study of prestressed concrete *box girder* of Kualanamu Railway with 40 meters span is divided into 15 (fifteen) segments which will then be linked between its segments by the *stressing* process (giving prestressing style). This study explains the effectiveness of girder cross section which has internal tendons filled with 12.7 mm diameter strand steel cable totaling 60 pieces. Then, this study is analyzing the loss percentage 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. By taking the data obtained from the field (PT Wijaya Karya Beton Tbk), load analysis by the method of SNI T-12 2004. Additionally introduced the steps on production process of *box girder* prestressed concrete, ranging from the reinforcements to casting in the precast concrete plant. Loss of prestressing force occurred at 12.94%.

Keywords : Prestressed Concrete, *Box Girder*, Loss of Prestressed

How to Cite: Ridwan, M, Irwan & Panjaitan S. (2018). Analisa Struktur Box Girder Jalan Layang Kereta Api Kualanamu, *JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building and Transportation)*. 1 (2): 63-69.

PENDAHULUAN

Sebagai bagian dari rencana pembangunan “Indonesia-sentris” yang tidak lagi terkonsentrasi di Pulau Jawa, pemerintahpun mulai gencar membangun infrastruktur perkeretaapian di Pulau Sumatera. Salah satunya pembangunan jalan layang kereta api sepanjang ± 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 ± 8 km, bentang yang ditinjau hanya bagian *Pier 39–Pier 40* sepanjang 40 m.

Penganalisaan tidak termasuk desain *abutment* dan karakteristik pondasi yang digunakan, harga satuan dari bahan dan material yang digunakan, dan durasi pekerjaan dalam pelaksanaan konstruksinya dilapangan. Penganalisaan tulangan hanya untuk mengetahui persentase rasio tulangan sengkang segmen *box girder* tipe standar.

METODE PENELITIAN

Dengan mengambil data-data yang diperoleh dari lapangan (PT. Wijaya Karya Beton Tbk), analisa beban dengan metode SNI T-12 2004. 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).

Gambar 1. Potongan melintang balok *box girder*

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

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

1. Desain 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. Desain 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.

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

3. Kehilangan Gaya Prategang

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

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

4. Precast Segmental Box Girder

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

5. Elemen Struktural Jembatan Segmental Box Girder

Jembatan segmental seharusnya dibangun seperti struktur bentang tunggal untuk menghindari adanya sambungan kabel *post-tension*. Sehubungan dengan adanya eksternal *post-tension* maka

diperlukan tiga macam segmen yang berbeda, diantaranya (Rombach, 2002):

a. *Expansion Joint Segment*: Bagian ini terletak tepat diatas *abutment*.

b. *Deviator segment*: Bagian ini dibutuhkan untuk pengaturan deviasi tendon.

c. *Standard segment*: Dimensi standard *box girder* yang digunakan.

Gambar 3: Tipe *Precast Box Girder* Jalan Layang Kereta Api Kualanamu

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Perencanaan

Gambar 4. Potongan Melintang Segmen Box Girder P39-P40

1. Fungsi jalan: Rel kereta double track
2. Tipe jembatan: Precast segmental box girder dengan menggunakan strukur beton pratekan tipe single box.
3. Panjang jembatan: 39.90 m, Pier 39–Pier 40 terdiri dari 1 bentang
4. Lebar jembatan: 10,5 m
5. Lebar jalur lalu lintas (B): 8.5 m
6. Jumlah Rel: 4 buah, 2 lajur 2 arah
7. Jumlah bantalan dalam 1 span: 134 bh
8. Tebal ballast: 42,3 cm

Data Bahan

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

Analisa Penampang

Gambar 5. Dimensi Penampang Box Girder

Tabel 1. Penempatan Tebal Pelat pada Penampang Segmen Box Girder

Slab atas bag. Tengah.	$B_1 =$	4.30m
	$t_1 =$	0.25m
Slab atas bag. Tepi.	$B_2 =$	3.00m
	$t_1 =$	0.25m
Tinggi box girder.	$H =$	2.40m
Dinding tengah.	$t_2 =$	0.30m
Slab bawah.	$B_1 =$	4.30m
	$t_3 =$	0.25m

Tabel 2. Tebal Pelat sumbu koordinat pada Penampang Segmen Box Girder

Penebalan pada pertemuan slab dan dinding		
$x_a =$	0.85	m
$y_a =$	0.20	m
$x_b =$	0.60	m
$y_b =$	0.15	m

Tabel 3. Lebar Total Box

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

Tabel 4. Momen Inersia Penampang Segmen Box Girder

NO	DIMENSI		Shape factor	Jumlah Tampang	Luas Tampang A m ²	Jarak thd alas y m	Statik Momen A * y m ³	Inersia Momen A * y ² m ⁴	Inersia Momen I _o m ⁴
	Lebar (m)	Tebal (m)							
1	4.3	0.25	1	1	1.075	2.28	2.446	5.56	0.0056
2	3	0.25	1	2	1.5	2.28	3.413	7.76	0.00781
3	3	0.2	0.5	2	0.6	2.08	1.25	2.6	0.00133
4	0.85	0.2	0.5	2	0.17	2.08	0.354	0.74	0.00038
5	0.3	1.9	1	2	1.14	1.2	1.368	1.64	0.34295
6	0.6	0.15	0.5	2	0.09	0.3	0.027	0.01	0.00011
7	4.3	0.25	1	1	1.075	0.13	0.134	0.02	0.0056
					5.65		8.992	18.34	0.36

Gaya Prestress, Eksentrisitas, dan Jumlah Tendon

1. Kondisi Awal (Saat Transfer)

Gaya prategang awal, $P_t = 8741.02$ kN

Beban Putus Strand Total $P_{bs1} = 145.68$ kN

Besar Ultimate Tensile Strength (UTS) = 68.17 %

Gambar 5. Posisi tendon internal

Tabel 5. Jumlah tendon internal

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

2. Kondisi Akhir (Saat Service)

Gaya prestress akhir setelah kehilangan tegangan (*loss of prestress*) sebesar 30% :

$P_{eff} = 5948.35$ kN

Besar Ultimate Tensile Strength (UTS) = 123.77%

3. Posisi Tendon

Tabel 6. Eksentrisitas masing-masing tendon

Baris Tendon	Posisi Tendon di Tumpuan $x = 0.00$ m	z_i (m)	Baris Tendon	Posisi Tendon di Tengah Bentang $x = 20.00$ m	z_i (m)	Baris Tendon	$f_i = z_i - z_i$ (m)
1	$z_1' = a' + y_d'$	2.000	1	$z_1 = a + y_d$	2.265	1	-0.265
2	$z_2' = a'$	0.355	2	$z_2 = a$	0.125	2	0.230

4. Sudut Angkur

Tabel 7. Sudut angkur tendon internal

NO TENDON	Jumlah Strand Dia. 12,7 mm	DIAMETER SELUBUNG (mm)	Eksentrisitas	f_i (m)	d_y/d_x	SUDUT ANGKUR
1	12	65	f_1	-0.265	-0.02657	$a_1 = -0.03$ rad = -1.5°
2	48	65	f_2	0.23	0.02306	$a_2 = 0.02$ rad = 1.3°

Gambar 6. Detail casting internal tendon

5. Kehilangan tegangan (*Loss of prestress*)

Tabel 8. Loss of Presstress

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

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

6. Tata Letak Dan *Trace* Kabel

Tabel 9. Koordinat internal tendon

Jarak X (m)	Posisi baris tendon	
	z_1 (mm)	z_2 (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 7. *Trace* masing – masing tendon

Penulangan *Box Girder*

1. Perencanaan jumlah *bursting steel* internal tendon

Gambar 8. Detail *bursting steel* internal tendon tst

2. Penulangan Pada Segmen Box Girder

a) Plat Dinding Tepi

Tebal plat dinding (t_2) = 300 mm

Diameter tulangan (D) = 19 mm

Jarak tulangan yang diperlukan (s) = 100 mm

b) Plat Bawah

Tebal plat dinding (t_3) = 250 mm

Diameter tulangan (D) = 13 mm

Jarak tulangan yang diperlukan (s) = 200 mm

c) Plat Atas

Tebal plat dinding (t_1) = 250 mm

Diameter tulangan (D) = 22 mm

Jarak tulangan yang diperlukan (s) = 200 mm

Gambar 9. Penulangan Segmen Box Girder

SIMPULAN

Analisis mengenai perilaku dilakukan dengan mempertimbangkan ketidak-elastisan material dan beban batas (ultimate) yang bekerja. Apabila gaya prategang bekerja tidak pada pusat penampang, tetapi eksentrisitas, maka ada tambahan tegangan akibat eksentrisitas tersebut. 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 %. Letak dan bentuk *bursting steel* tendon internal harus menyesuaikan besarnya gaya tarik yang terjadi pada zona pengangkuran dengan menggunakan diameter besi D13 jarak 50 mm.

DAFTAR PUSTAKA

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