

PERENCANAAN ULANG STRUKTUR ATAS PADA FLYOVER TELUK LAMONG MENGGUNAKAN I-GIRDER

Dwinanda Reza Savero^{1*}, Wahiddin², Suselo Utoyo³

Mahasiswa Program Studi D4 Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³

Email*: rezaasavero@gmail.com, ² wahiddin@polinema.ac.id, ³ suselo.utoyo@polinema.ac.id

ABSTRAK

Upaya pergerakan pemerintah dalam bidang infrastruktur memerlukan dukungan referensi yang terkait. Salah satu bentuk dari referensi dapat berupa analisis penggunaan I-girder beton prategang pada *Flyover* Teluk Lamong dengan tujuan mengetahui dimensi elemen struktur atas yang digunakan, sistem tendon, dan besar tegangan, gaya geser, lendutan, momen. Didapatkan hasil dari analisis ini berupa, digunakan girder tipe PC I H-170, dimensi dari plat lantai 1.85 x 1.00 x 0.20, tiang sandaran 0.16 x 0.20 x 1.00 dan menggunakan pipa baja galvanis Ø 76.3 mm BJ-37. Tendon sebanyak 6 buah, isi 7 strand per tendon, diameter 15.2 mm milik OVM. Dengan tegangan terbesar senilai (-478.1630439) kPa, gaya geser terbesar senilai 1045.532 kN, lendutan terbesar senilai 0.03753583 m, dan momen ultimit terbesar senilai 8800.235061 kNm.

Kata kunci : Perencanaan Ulang, *Flyover*, Struktur Atas, I-Girder

ABSTRACT

Efforts to move the government in the infrastructure sector require related reference support. One form of reference can be an analysis of the use of prestressed concrete I-girder on the Teluk Lamong Flyover with the aim of knowing the dimensions of the upper structure elements used, the tendon system, and the amount of stress, shear force, deflection, moment. The results obtained from this analysis are in the form of girder type PC I H-170, the dimensions of the floor plate 1.85 x 1.00 x 0.20, 0.16 x 0.20 x 1.00 back pile and using galvanized steel pipe Ø 76.3 mm BJ-37. 6 tendons, filled with 7 strands per tendon, 15.2 mm in diameter belongs to OVM. With the largest stress of (-478.1630439) kPa, the largest shear force of 1045.532 kN, the largest deflection of 0.03753583 m, and the greatest moment of ultimate value of 8800.235061 kNm.

Keywords : Redesign, *Flyover*, Upper Structure, I-Girder

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pada masa ini, Indonesia sedang dalam upaya memajukan negerinya terutama di bidang infrastruktur. Dalam menjalankan upayanya ini tentunya memerlukan dukungan referensi sebagai pertimbangan bagi pemerintah. Pada beberapa proyek konstruksi seperti pembangunan gedung, jalan tol, bendungan, dan sebagainya, merupakan objek penelitian yang dapat menghasilkan referensi. Khususnya pada proyek jembatan yang mana pada bagian struktur atas memiliki komponen penting seperti girder yang memikul beban yang bekerja di atasnya. Dengan begitu coba diambil objek *Flyover* Teluk Lamong yang sedang dalam

pembangunan. Pada proyek ini nantinya akan direncanakan ulang dengan menerapkan girder prategang profil I dimana menurut kutipan Manalip & Handono (2018) disebutkan bahwa girder jenis ini cenderung memiliki luas penampang lebih kecil, berat sendiri lebih ringan, dan ekonomis. Dengan begitu, penelitian ini nantinya dapat dijadikan sebagai referensi baru maupun komparasi dengan referensi yang sudah ada sebelumnya.

Rumusan Masalah

Dari uraian permasalahan seperti yang tercantum pada latar belakang, maka didapatkan rumusan permasalahan yaitu “Bagaimana besar dimensi tiap elemen struktur atas,

sistem tendon, dan analisis tegangan, gaya geser, lenduan, momen ultimit ?”.

Tujuan

Penelitian ini ditujukan supaya mendapatkan besar dimensi tiap elemen struktur, sistem tendon, dan besar tegangan, gaya geser, lenduan, momen ultimit untuk penggunaan I-girder prategang yang disesuaikan pada bentang *Flyover* Teluk Lamong.

Batasan Masalah

Pembahasan penelitian ini dibatasi dengan beberapa faktor berikut.

1. Penerapan I-girder prategang dilakukan menggunakan bahan *precast concrete*.
2. Objek perencanaan adalah bentang P13-P14 dengan panjang 33 m.
3. Perencanaan tendon mengacu pada katalog OVM.
4. Analisis struktur secara 2 dimensi (2D).

2. METODE

Jembatan Beton Prategang

Struktur beton bertulang dengan penegangan itulah yang dinamakan beton prategang dimana merupakan kombinasi antara beton, baja dan kabel tendon (Wijaya, Suryanita & Djauhari 2016). Dilanjut, terdapat beberapa jenis dari penampang beton prategang menurut Hardwiyono, Soebandono & Hakim (2013) diantaranya adalah:

1. Penampang I (*PCI - Girder*)
2. Penampang U (*PCU - Girder*)
3. Penampang T (*T - Beams*)
4. Penampang kotak maupun trapesium (*Box Girder*)

Pembebanan

Pada setiap tahap pembebanan harus selalu diadakan pemeriksaan pada kondisi bagian yang tertekan maupun bagian yang tertarik untuk setiap penampang. Terdapat dua tahap pembebanan pada beton prategang yaitu tahap transfer dan tahap layan (*service*) (Hamsyah 2019).

1. Tahap Transfer

Pada metode pratarik ini, tahap transfer terjadi pada saat angker dilepas dan gaya prategang ditransfer ke beton. Sedangkan pada metode pascatarik, tahap transfer ini terjadi pada saat beton sudah cukup umur dan dilakukan penarikan kabel prategang.

2. Tahap Layan (*Service*)

Tahap ini bisa disebut juga tahap layan dari beton prategang karena merupakan tahap dimana beton prategang difungsikan sebagai komponen struktur atau mulai digunakan.

Penegangan

Ditinjau dari cara penarikan baja prategang, didapatkan dua jenis metode penegangan yang dapat digunakan (Hamsyah 2019), yaitu:

a. Pra-Tarik (*Pre-Tensioning*)

Pada metode pra-tarik atau *pre-tensioning* ini, baja prategang diberi gaya prategang terlebih dahulu terhadap pengangkeran independen sebelum dicor. Setelah beton mengering dan cukup umur kuat untuk menerima gaya prategang, tendon dipotong dan dilepas sehingga gaya prategang bisa dikirirkan ke beton.

b. Pasca-Tarik (*Post-Tensioning*)

Pada metode post-tensioning berikut ini, pemberian tegangan tekan akan dilakukan setelah beton dicetak. Setelah beton mencapai kekuatan yang direncanakan, tendon akan ditarik sesuai dengan perhitungan.

Ditinjau dari keadaan distribusi tegangan pada beton, sistem beton prategang dibagi atas 2 macam (Hidayat 2018), yaitu:

a. Full *Prestressing*

Suatu sistem yang dibuat sedemikian rupa, sehingga tegangan yang terjadi adalah tekan pada seluruh tampang. Secara teoritis sistem ini tidak memerlukan tulangan pasif.

b. Partial *Prestressing*

Dalam memikul beban, kabel baja prategang bekerja bersama dengan tulangan pasif dengan tujuan agar struktur berperilaku lebih daktail.

Penataan Tendon

Menurut Hamsyah (2019), lintasan tendon dapat dihitung melalui titik-titik pada koordinat persamaan parabolik dengan menggunakan Persamaan 1 sebagai berikut:

$$Y_i = \frac{4 \cdot f_i \cdot X_i \cdot (L - X_i)}{L^2} \quad (1)$$

Menurut Rizkia (2017), dalam menentukan sudut angkur pada balok prategang digunakan persamaan berikut:

$$\alpha = \text{ATAN} \left(\frac{dY}{dX} \right) \quad (2)$$

$$\frac{dY}{dX} = 4 \cdot f_i \cdot (L - 2 \cdot X_i) / L^2 \quad (3)$$

Dilanjutkan oleh Rizkia (2017), untuk menentukan tata letak dan trase tendon dapat digunakan persamaan berikut:

$$z_i = z_i' - \left[\left(\frac{4 \cdot f_i \cdot X_i}{L^2} \right) \cdot (L - X_i) \right] \quad (4)$$

Kehilangan Prategang

Menurut Ilham (2008), kehilangan prategang terbagi atas beberapa faktor berikut yang mempengaruhi.

1. Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Angkur

Kehilangan tegangan akibat gesekan angkur diperhitungkan sebesar 3% dari gaya prategang akibat jacking (P_j):

$$P_o = 97\% \cdot P_j \quad (5)$$

2. Kehilangan Tegangan Akibat Gesekan Kabel

Kehilangan tegangan akibat gesekan kabel (SNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton Pada Jembatan):

$$P_x = P_j \times e^{-\Sigma(\mu \cdot \alpha + K \cdot L_i)} \quad (6)$$

3. Kehilangan Tegangan Akibat Pemendekan Elastis

Kehilangan tegangan akibat pemendekan elastis (SNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton Pada Jembatan):

$$\sigma_{ES} = 0.5 \cdot \frac{E_s}{E_c \text{ balok}} \cdot f_{ci} \quad (7)$$

4. Kehilangan Tegangan Akibat Pengangkuran

Luas tampang tendon baja prategang

$$A_t = n_s \cdot A_{st} \quad (8)$$

Kemiringan diagram gaya

$$m = \tan \theta = (P_o - P_x) / L_i \quad (9)$$

Jarak pengaruh kritis slip angkur dari ujung

$$L_{max} = \sqrt{\frac{\Delta L \cdot E_s \cdot A_t}{m}} \quad (10)$$

Kehilangan gaya prategang akibat pemendekan elastis

$$\Delta P_e = \sigma_{ES} \cdot A_t \quad (11)$$

Kehilangan tegangan akibat angkur

$$\Delta P = 2 \cdot L_{max} \cdot \tan \theta \quad (12)$$

$$P'_{max} = P_o - \frac{\Delta P}{2} \quad (13)$$

$$P_{max} = P'_{max} - \Delta P_e \quad (14)$$

5. Kehilangan Tegangan Akibat Relaksasi Tendon

a. Pengaruh Susut

Kehilangan tegangan akibat susut beton (SNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton Pada Jembatan)

$$\sigma_{CS} = E_s \cdot \epsilon_{CS} \quad (15)$$

b. Pengaruh Rangkak

Kehilangan tegangan akibat rangkakan beton (SNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton Pada Jembatan)

$$\sigma_{CC} = E_s \cdot \epsilon_{CC} \quad (16)$$

Perhitungan Struktur

Ada beberapa hal yang perlu diketahui mengenai perhitungan struktur (Rizkia 2017) yang di antaranya:

1. Tegangan Pada Balok

Besar tegangan maksimum pada serat penampang dapat dihitung dengan rumus :

$$f = -\frac{P}{A} \pm \frac{P}{W} \pm \frac{M}{W} \quad (17)$$

2. Tulangan Geser

Untuk menentukan jarak tulangan geser yang digunakan persamaan dibawah (Ilham 2008).

Momen Statis

$$S_x = A \cdot y \quad (18)$$

Tegangan Geser

$$f_v = V_r \cdot \frac{S_x}{b \cdot I_x} \quad (19)$$

Jarak Tulangan

$$a_s = f \cdot \frac{A_s}{f_v \cdot b \cdot \tan \gamma} \quad (20)$$

3. Kontrol Lentutan

Lentutan akibat beban rencana untuk daya layan jembatan jalan raya tidak melampaui 1/250 bentang. Menurut Ilham (2008), besar lentutan dapat diketahui daripersamaan berikut.

$$\delta = \frac{5 \cdot Q \cdot L^4}{384 \cdot E_c \cdot I} \quad (21)$$

4. Momen Ultimit

Berdasarkan Ilham (2008), nilai momen ultimit tidak boleh melebihi nilai kapasitas momen ultimit, $M_u < M_r$. Untuk menentukan besar kapasitas momen ultimit, digunakan persamaan berikut.

Kapasitas momen ultimit

$$M_r = \Sigma M_n \cdot \Phi \quad (22)$$

Momen ultimit

$$M_u = K \cdot M \quad (23)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan katalog milik WIKA Beton, untuk dimensi girder rencana yang akan dipasangkan pada panjang bentang 33 meter maka dipilih penggunaan girder tipe PC I H-170. Dimensi struktur plat 1.85 x 1.00 x 0.20, tiang sandaran 0.16 x 0.20 x 1.00 dan menggunakan pipa baja galvanis Ø 76.3 mm BJ-37.

Sementara untuk baja prategang yang direncanakan berdasarkan katalog *OVIM Prestressing System*, digunakan jenis strand 15 mm (0.6") ASTM A416 Grade 270. Sehingga untuk tata letak dan lintasan tendon dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Posisi Tendon

Jarak X (m)	Trase z0 (m)	Posisi Tiap Kabel					
		z1 (m)	z2 (m)	z3 (m)	z4 (m)	z5 (m)	z6 (m)
0	0.8389	0.3500	0.5456	0.7412	0.9367	1.1323	1.3279
5	0.4782	0.2214	0.3164	0.4115	0.5836	0.6786	0.7736
10	0.2464	0.1388	0.1691	0.1995	0.3566	0.3869	0.4173
15	0.1433	0.1021	0.1037	0.1053	0.2557	0.2573	0.2589
16.5	0.1375	0.1000	0.1000	0.1000	0.2500	0.2500	0.2500

Sumber: Hasil Analisis

Dari perhitungan masing masing faktor yang mempengaruhi kehilangan tegangan, maka dapat ditampilkan kehilangan gaya prategang dalam bentuk **Tabel 2** berikut.

Tabel 2 Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan Gaya Prategang		kN
P _j	akibat jacking	8724.118
P _o	akibat gesekan angkur	8462.395
P _x	akibat gesekan kabel	5452.787
P _i	akibat relaksasi tendon	7484.013
P _{eff}	gaya efektif	6780.06

Sumber: Hasil Analisis

Untuk besar analisis tegangan, lendutan, gaya geser, dan momen ultimit yang bekerja pada jembatan didapatkan dari perhitungan sebesar berikut.

Tabel 3 Gaya Geser

Gaya Geser	Sendiri	Mati Tamb.	Lajur "D"	Rem	Angin	Gempa
	MS	MA	TD	TB	EW	EQ
V	625.650	82.112	319.218	1.919	16.632	126.800

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 4 Tegangan

Tegangan	Berat Sendiri	Mati Tambahan	Susut Rangkak	Prategang	Lajur "D"	Rem	Temperatur	Angin	Gempa
	MS	MA	SR	PR	TD	TB	ET	EW	EQ
f _{ac}	-8596.49	-1128.23	-21.4686	4259.679	-5168.99	-105.517	-859.112	-228.525	-1742.24
f _{ac}	-6382.88	-837.709	30.24332	1393.269	-3837.97	-78.3462	-859.112	-169.68	-1293.61
f _{bc}	12432.74	1631.712	469.7949	-22971.2	7475.693	152.6047	-859.112	330.5065	2519.735

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 5 Lendutan

Lendutan	Berat Sendiri	Mati Tambahan	Susut Rangkak	Prategang	Lajur "D"	Rem	Temperatur	Angin	Gempa
	MS	MA	SR	PR	TD	TB	ET	EW	EQ
δ	0.0422	0.0055	-0.0086	-0.0389	0.0239	0.0003	0.0045	0.0011	0.0085

Sumber: Hasil Analisis

Tabel 6 Momen Ultimit

Momen Ultimit	Berat Sendiri	Mati Tambahan	Susut Rangkak	Prategang	Lajur "D"	Rem	Temperatur	Angin	Gempa
	MS	MA	SR	PR	TD	TB	ET	EW	EQ
M _u	6193.94	1354.85	288.02	-6683.81	5586.53	114.04	900.56	171.52	1046.10

Sumber: Hasil Analisis

4. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan sebelumnya, diambil beberapa kesimpulan yang berupa sebagai berikut.

Untuk dimensi yang digunakan pada setiap elemen adalah girder tipe PC I H-170, dimensi penampang dari plat lantai 1.85 x 1.00 x 0.20, tiang sandaran 0.16 x 0.20 x 1.00 dan menggunakan pipa baja galvanis Ø 76.3 mm BJ-37.

Untuk sistem penegangan digunakan tendon sebanyak 6 buah, isi 7 strand per tendon, diameter 15.2 mm milik OVM.

Untuk analisis struktur pada tegangan terbesar senilai (-478.1630439) kPa, gaya geser terbesar senilai 1045.532 kN, lendutan terbesar senilai 0.03753583 m, dan momen ultimit terbesar senilai 8800.235061 kNm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Hamsyah, “Perencanaan Ulang Struktur Atas Menggunakan Box Girder Pada Ruas Jembatan Srigonco – Pantai Balekambang Kecamatan Bantur Kabupaten Malang”, Universitas Muhammadiyah Malang, 2019.
- [2] A. Wijaya, R. Suryanita and R. Djauhari, “Prediksi Respons Struktur Jembatan Beton Prategang Berdasarkan Spektrum Gempa Indonesia Dengan Metode Jaringan Saraf Tiruan”, *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, vol. 3, no. 1, pp. 1-15, 2016.
- [3] Badan Standardisasi Nasional, “SNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan”, Bandung, 2004.
- [4] S. Hardiwiyono, B. Soebandono, and L. Hakim, “Perancangan Ulang Struktur Atas Jembatan Gajah Wong Yogyakarta Dengan Menggunakan Box Girder”, *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, vol. 16, no. 1, pp. 10-20, 2013.
- [5] S.R. Rizkia, “Analisis Perbandingan Kehilangan Prategang Akibat Metode Stressing Satu Arah dan Dua Arah Pada Jembatan Beton Prategang”, Universitas Lampung Bandar Lampung, 2017.
- [6] M.N. Ilham, “Perhitungan Balok Prategang (PCI-Girder) Jembatan Srandakan Kulon Progo D.I. Yogyakarta”, Yogyakarta, 2008.
- [7] Y. Hidayat, “Perencanaan Fly Over Jalan Jendral Sudirman Kabupaten Ciamis”, Universitas Siliwangi Tasikmalaya, 2018.