

ANALISIS KESERAGAMAN CAMBER I-GIRDER PADA PROYEK JALAN LUAR LINGKAR BARAT (JLLB) KOTA SURABAYA

Guruh Arief Putra¹, Made Dharma Astawa², Wahyu Kartini³

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jatim

²Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jatim

³Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jatim

E-mail: gueroehTGB@gmail.com

ABSTRACT

This research object is a flyover of the Outer West Ring Road (OWRR) Surabaya, with a 50.8m span which will be constructed using precast I-Girder (PCI-Girder). The research concern is applying different prestress design that came from the girder responses into each of inspected objects. The inspected object which are exterior and interior girders will be designed with variation member properties, until we get similar calculated camber. The research will be controlled with range design given by T.Y.Lin and the girder stress governed by SNI 2847:2019. The result of response girder analysis among two object inspected differ about 248,59 kNm. The result of strand analysis for each object are 107 pcs, and 106 pcs. The tendon layout of interior girder getting modified till 75mm. With the specification provided the result of inspected camber calculation are 177,304mm (upward), and 178,459mm (upward) which differ about 1,1545mm. From those we can conclude that camber is similar.

Keywords: *i-girder, prestress, post-tension, camber similarity*

ABSTRAK

Objek penelitian ini adalah konstruksi jembatan layang pada proyek Jalan Luar Lingkar Barat (JLLB) kota Surabaya, menggunakan elemen prategang I-Girder Post-tension (PCI) segmental dengan bentang 50,8m. Penelitian ini berupaya melakukan desain prategang sesuai respons girder akibat beban servis pada dua objek tinjau. Objek berikut adalah girder eksterior dan interior, akan coba didesain sedemikian rupa hingga tidak terjadi perbedaan camber akibat desain prategang berbeda. Kontrol rentang desain diberikan oleh TY.Lin dengan kontrol tegangan diberikan oleh SNI 2847:2019. Hasil analisis gaya dalam struktur objek tinjau terpaut 248,59 kNm. Analisis berikut menghasilkan desain prategang dengan jumlah strand masing masing 107 strand dan 106 strand. Modifikasi layout tendon dilakukan dengan menurunkan level tendon hingga 75mm untuk girder interior. Dengan spesifikasi berikut menghasilkan desain camber masing masing 177,304mm (keatas) dan 178,459mm (keatas). Atau terpaut 1,1545mm sehingga dinyatakan seragam.

Kata Kunci: *i-girder, prestress (prategang), post-tension, keseragaman camber*

1. PENDAHULUAN

Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) Surabaya merupakan suatu proyek percepatan pembangunan kota Surabaya dibidang infrastruktur. Proyek tersebut direncanakan akan menghubungkan ruas-ruas jalan sisi barat kota Surabaya hingga Pelabuhan Teluk Lamong. Jalur ini akan melibatkan beberapa konstruksi jembatan dan jembatan layang (*flyover*). Dengan fungsional berikut, span untuk jembatan dan flyover proyek JLLB Surabaya adalah 20, 30, 40, dan 50 meter, balok yang digunakan didesain khusus menggunakan prestressed I-girder.

Dalam desain span jembatan umumnya terdiri atas beberapa girder. Untuk menentukannya engineer membagi panjang span secara bukat dan menyisakan kantilever. Kantilever dengan bermacam elemen diatasnya dapat menyebabkan beban dengan eksentrisitas terhadap girder. Ashiquzzaman et al., (2016) berpendapat bahwa, beban eksentrisitas ini akan menimbulkan rotasi dan stress yang tidak terduga pada balok girder eksterior jembatan.

Menyebabkan respons girder eksterior menjadi berbeda dengan respons interior.

Memperkuat pendapat diatas, Pada penelitiannya Mulyati & Nasution, M. P (2013) meuturkan, bahwa kendaraan dengan kecepatan berbeda dan beban yang sama ketika memasuki struktur secara bersamaan akan menimbulkan frekuensi beban luar menjadi acak, sehingga responstruktur menjadi tidak beraturan.

Gaya prategang yang diberikan pada girder akan menimbulkan defleksi keatas (camber). Gaya prategang didesain menggunakan respons girder berbeda. Sehingga dalam penerapannya secara tidak langsung akan terjadi variasi camber dan variasi level lantai kendaraan yang dapat menyebabkan penipisan pelat dan pengikisan kapasitas.

Selanjutnya dengan mengangkat isu ragam respons girder, perbedaan chamber dan masalah yang distimbulkan olehnya, kami mengusulkan penyeragaman camber dengan memodifikasi properti girder. Dua variabel yang akan kami coba variasikan

yaitu porsi prategang dan layout serat baja. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan keseragaman camber agar tidak terjadi perbedaan level slab lantai kendaraan dengan tetap memenuhi kapasitas girder yang beragam.

I Girder umum digunakan untuk menangani jembatan bentang panjang dan bentang menengah. Jembatan panjang didefinisikan sebagai jembatan dengan bentang yang lebih dari 125 meter sedangkan jembatan bentang menengah didefinisikan sebagai jembatan dengan bentang diantara 40 hingga 125 meter. Rubiatin Zuli, et al (2015).

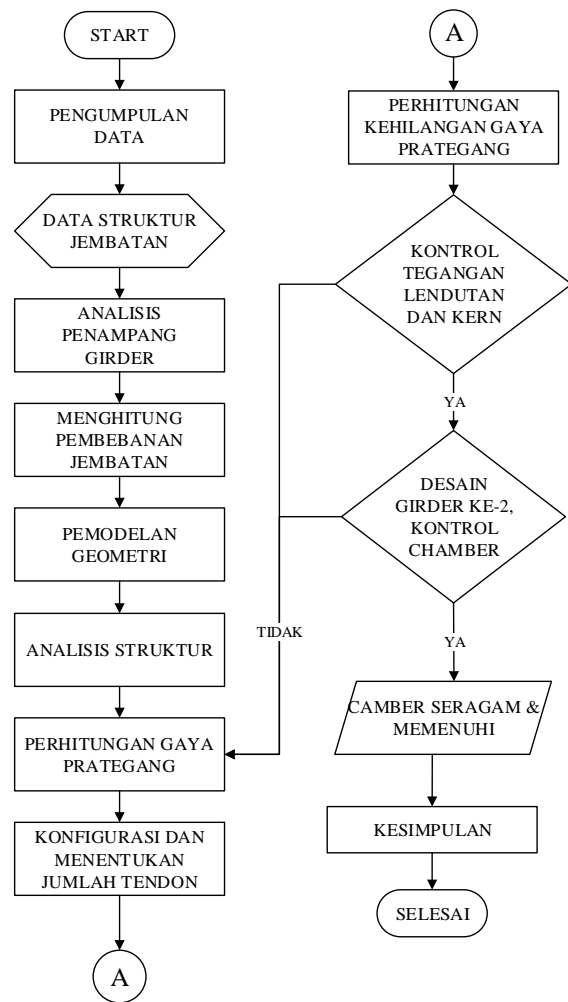
Ashiquzzaman et al., (2016) didalam penelitiannya berpendapat bahwa, beban eksentrisitas ini akan menimbulkan rotasi dan stress yang tidak terduga pada balok girder eksterior jembatan. Ashiquzzaman juga berpendapat bahwa efek ketidakkonsistenan diafragma pada girder eksterior selama konstruksi dek overhang. Dalam tulisannya ini mereka melakukan penelitian pada jembatan dengan balok steel I-Girder dan ketidak teraturan diafragma. Tinjauan dilakukan selama beban konstruksi bekerja pada area dek overhang (kantilever). Mereka berpendapat bahwa, dengan menganggap girder sebagai balok komposit, konstruksi dek kantilever pada jembatan dapat menyebabkan beban eksentrisitas yang tidak seimbang.

Sedangkan menurut Hraib et al.,(2019) Evaluasi rotasi pada girder eksterior selama konstruksi. Menyimpulkan bahwa, properti torsi girder, lebar kantilever dan spasi diafragma menjadi faktor utama yang menentukan terjadinya rotasi pada girder eksterior. Hal ini menyebabkan respon masing-masing girder menjadi beragam. Penerapannya pada girder prategang memungkinkan gaya prategang menjadi berbeda beda untuk masing masing respon.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam menganalisa keseragaman camber I-Girder pada proyek Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) kota Surabaya ini adalah dengan menghitung secara terbalik rumus tegangan pada balok prategang untuk mendapatkan jumlah strand dan desain prategang yang akan digunakan. Kemudian properti desain tersebut digunakan untuk menghitung camber akibat prategang.

Runtun tahapan penelitian ini mengacu Handout Direktorat Jembatan Direktorat Jendral Bina Marga (2017) dan dapat dilihat pada diagram alir berikut



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Pengumpulan Data

Berikut adalah data yang kami himpun dari proyek JLLB Surabaya:

- Properti material yang digunakan, mutu beton dan mutu baja,
- Gambar Detail Engineering Design (DED),
- Data umum struktur jembatan.

2.2 Analisis Penampang Girder

Analisis penampang girder dilakukan dengan maksud mendapatkan properti penampang girder. Analisis dilakukan dengan melakukan perhitungan dasar-dasar dari mekanikal bahan. Output dari tahapan ini adalah mendapatkan harga-harga berikut:

- Luas area penampang balok (A_c),
- Letak garis netral central of gravity (Y_a, Y_b),
- Inersia penampang (I_c),
- Jari jari kelembaman (r),
- Tahanan momen (S_x)

2.3 Menghitung Pembebanan Jembatan

Beban-beban yang bekerja pada elemen girder dalam penelitian ini akan mengacu pada peraturan SNI 1725:2016 tentang pembebanan untuk jembatan.

2.4 Permodelan Geometri Menggunakan Software

Dalam penelitian ini penulis menggunakan software bantu untuk memodelkan struktur secara tiga dimensi. Kemudian geometri jembatan dengan bentang 50 m akan dipermodelkan dalam satu bentang jembatan, ini mengingat fokus penelitian ini adalah girder dan jembatan juga menggunakan struktur jembatan yang tidak menerus.

2.5 Analisis Struktur

Analisis struktur yang dimaksud adalah proses runing software untuk mendapatkan hasil analisis gaya dalam. Output tahapan ini adalah pemisahan hasil gaya dalam berdasarkan dua tahapan, yaitu: tahapan pemberian prategang dan tahapan layan.

2.6 Perhitungan Gaya Prategang

Untuk menghitung gaya prategang digunakan turunan persamaan berikut:

$$-\frac{F}{A_g} - \frac{F \cdot e}{S_x} \pm \frac{M_u}{S_x} = 0 \quad (1)$$

$$F \left(-\frac{1}{A_g} - \frac{e}{S_x} \right) \pm \frac{M_u}{S_x} = 0 \quad (2)$$

$$F = \frac{M_u}{S_x} / \left(-\frac{1}{A_g} - \frac{e}{S_x} \right) \quad (3)$$

Jika nilai kehilangan prategang (*lost-prestress*) diasumsikan sebesar 20% maka prategang total:

$$F_{Jack} = \frac{F}{80\%} \quad (4)$$

2.7 Konfigurasi dan Perhitungan Jumlah Tendon

SNI 2847 mengatur untuk kapasitas ketika jacking dibatasi maksimum 80% fpu. Jika diasumsikan persentase prategang yang digunakan adalah 75% dari kekuatan tersedia, maka jumlah strand dapat dihitung menurut persamaan berikut:

$$n_{strand} = \frac{F_{Jacking}}{75\% \times A_p \times f_{pu}} \quad (5)$$

Kemudian dengan menggunakan brosur angkur maka dapat ditentukan jumlah tendon dari total jumlah strand.

Selanjutnya untuk menentukan layout tendon digunakan pendekatan persamaan parabola tiga variabel, sebagai berikut:

$$Z = Ax^2 + Bx + C \quad (6)$$

Dengan masing masing variabel A, B, dan C sebagai berikut:

$$A = \frac{(Z_{tump} - Z_{lap})}{(0.5 \times anchor_length)^2} \times 10^3 \quad (7)$$

$$B = A \times anchor_length \times 10^{-3} \quad (8)$$

$$C = Koef_tambahan \quad (9)$$

2.8 Perhitungan Kehilangan Gaya Prategang

Perhitungan gaya prategang dihitung mengacu pada buku Edward G Nawy (2000) Beton Prategang, meliputi:

- Kehilangan akibat friksi
- Kehilangan akibat elastisitas
- Kehilangan akibat set-angkur
- Kehilangan akibat rangkai (*creep*)
- Kehilangan akibat susut (*Shrinkage*)
- Kehilangan akibat relaksasi baja

2.9 Kontrol Lintasan Aman Inti Tendon

Lintasan aman inti tendon digunakan sebagai kontrol dan sekaligus range desain. Range didesain mengacu pada persamaan yang diberikan oleh T.Y.Lin sebagai berikut:

$$k_i = \frac{I_c}{A_c \times Y_i'} \quad (10)$$

$$a = \frac{M}{P_e} \quad (11)$$

Range berikut di ambil dari C.g.c, kemudian dijadikan sebagai kontrol terhadap C.g.s.

2.10 Kontrol Tegangan dan Lentutan

Batasan tegangan pada girder diatur oleh SNI 2847:2019. Dengan mengaplikasikan prategang penuh maka batas tegangan tahapan servis pada serat bawah adalah 0 MPa.

Perhitungan camber mengacu pada persamaan yang diberikan oleh Tadros, et.all (2011) sebagai berikut:

$$\Delta = \frac{[e_{edg} + \frac{5}{6}(e_{mid} - e_{edg})] \times P_{eff} \times L_{anch}^2}{8 \times E_{ci} \times I_{x.beam}} \quad (12)$$

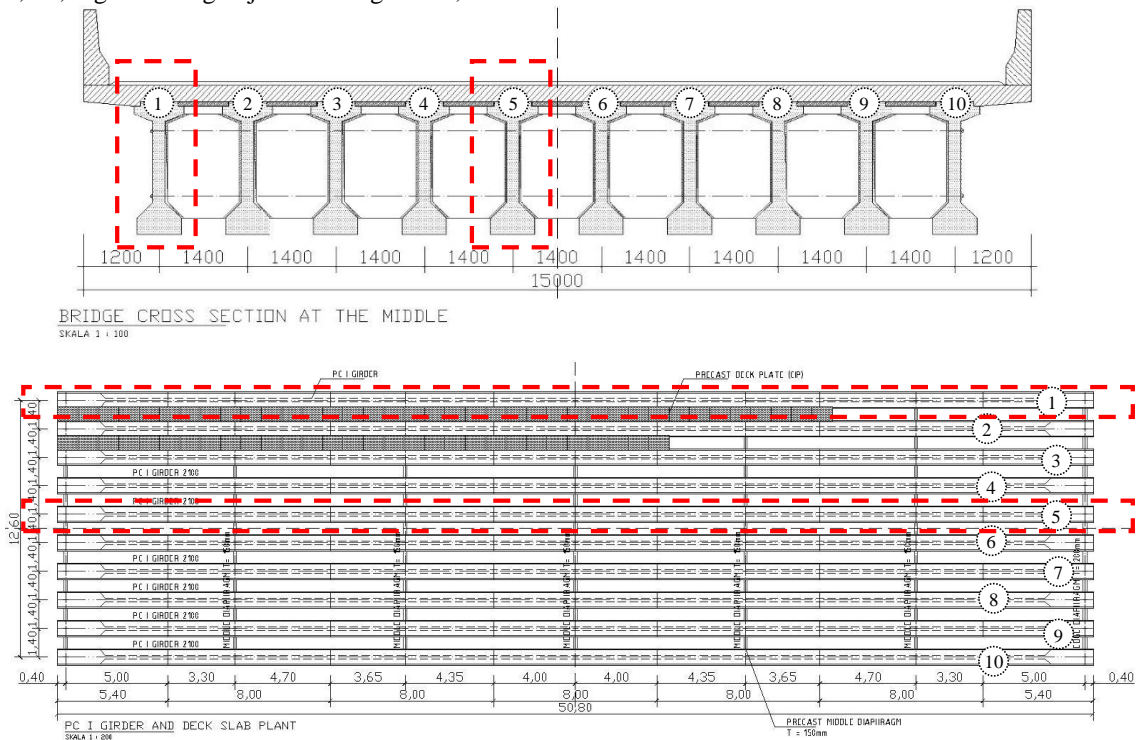
Persamaan berikut merupakan turunan dari persamaan T.Y.Lin tentang lentutan akibat gaya prategang untuk profil tendon parabola dengan eksentrisitas.

Sedangkan untuk batasan lentutan akibat beban hidup diatur oleh AASHTO sebesar L/800.

3. PEMBAHASAN

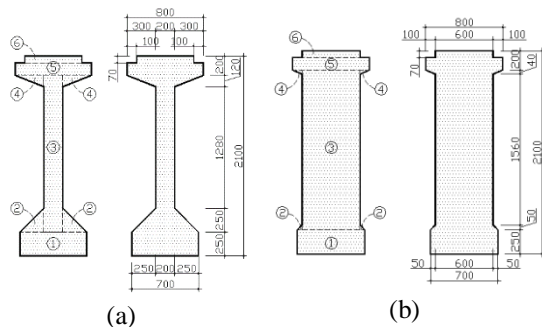
Objek penelitian ini adalah jembatan dengan span 50,8m, 8 girder dengan jarak antar girder 1,4m.

sedangkan elemen yang ditinjau dalam penelitian ini adalah girder ekterior dan girder interior.



Gambar 2. Objek Penelitian, (1) Girder Ekterior, (5) Girder Interior

Girder ekterior ditunjukkan oleh tanda nomor 1 dan girder interior ditunjukkan oleh gambar nomor 5. Kedua girder akan di desain menggunakan tinggi penampang yang sama untuk menghindari perbedaan elevasi yang terlalu ekstrim (lihat Gambar 3). Menggunakan properti berikut, dengan mutu girder $f_c'50$ dan mutu slab $f_c'40$ didapatkan hasil analisis penampang Tabel 1.



Gambar 3. Penampang Girder Ekterior, Interior. (A) Penampang Lapangan, (B) Penampang Tumpuan

Karena desain jembatan tanpa trotoar, area servis lantai kendaraan dianggap sama dengan lebar

jembatan. Kemudian untuk jembatan dengan lebar 15m, SNI 1726:2013 menyarankan untuk banyak lajur rencana digunakan 5 lajur. Desain ini akan berimbang pada respon girder rencana, karena beban servis akan diterapkan di sepanjang lebar rencana.

Tabel 1. Rekap Analisis Penampang (mm)

Penampang Non-komposit			
No	Properti	Lapangan	Tumpuan
1	Area, A	749500	1317500
2	Inersia, I	410870326130	510706874865
3	C_{gc}, Y_a	1091,984	1048,441
4	C_{gc}, Y_b	1008,017	1051,559
5	Modulus elastis, S_a	376260547,3	391886747,1
6	Modulus elastis, S_b	407602796,5	390725122,1
Penampang Komposit			
1	Area, A	1062550	1630550
2	Inersia, I	860636600603	739543830654
3	C_{gc}, Y_a	823,1522	733,4345
4	C_{gc}, Y_b	1366,565497	1276,847766

5	Modulus elastis, S_a	1008329752	1045537587
6	Modulus elastis, S_b	541169693,2	674032271,8

Tabel 2. Rekap Gaya Dalam Menentukan Beban Servis Tinjauan Tengah Bentang

Objek Tinjau	Momen	Geser
Girder Eksterior	15748,5644	60,291
Girder Interior	15499,9698	62,721

Dari hasil analisis menggunakan software bantu didapatkan hasil gaya dalam Tabel 2. Dimana hasil antar kedua objek tinjau terpaut 25 Ton m. Tabel 3 menggunakan formulasi 3 dan 4 menghitung tegangan jacking secara tertabel. Dilanjutkan dengan menghitung jumlah strand perlu Tabel 4.

Tabel 3. Perhitungan Tegangan Jacking

Objek	$\frac{M_u}{S_x}$	$-\frac{1}{A_g} \pm \frac{e}{S_x}$	$\frac{(2)}{(3)}$	$F_{jack} = \frac{(4)}{80\%}$
	N	$\times 10^{-6}$	kN	kN
l	2	3	4	5
Eksterior	29,1	-3,297	-	-11033,4
			8826,7	
Interior	28,6	-3,297	-	-10859,8
			8687,4	

Tabel 4. Perhitungan Jumlah Strand

Objek	$75\% \times A_p \times f_{pu}$	n_{strand}	Tendon
	N	pcs	-
Ekterior	103348,575	107	5@19+1@12
Interior	103348,575	106	5@19+1@11

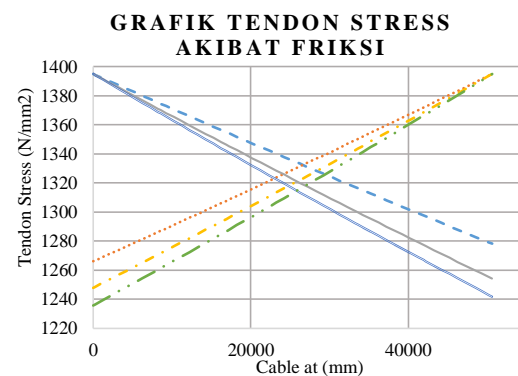
Menghitung konfigurasi layout tendon, objek interior dimodifikasi dengan menurunkan level tendon hingga 75mm (Lihat

Tabel 5. Hasil Perhitungan Tiga Variabel Girder Eksterior

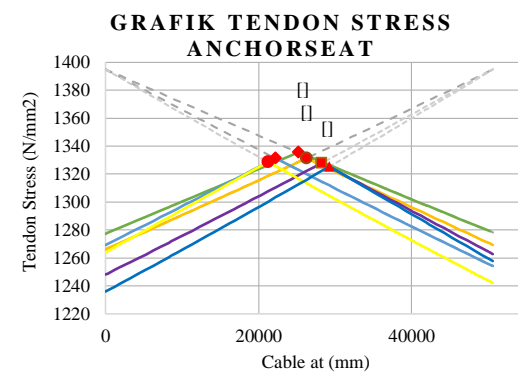
No Kabel	Jml. Strand	Z kabel pada penampang		Konstanta Parabolik			Anchor length
		Tumpuan	Lapangan	A	B	C	
6	12	1800	535	0,0020	-0,1002	1,8	50500
5	19	1500	390	0,0017	-0,08792	1,5	50500
4	19	1200	245	0,0015	-0,07564	1,2	50500
3	19	900	100	0,0013	-0,06337	0,9	50500
2	19	600	100	0,0008	-0,0396	0,6	50500
1	19	300	100	0,000314	-0,01584	0,3	50500

Tabel 6 tendon no 6) dari yang awalnya 535mm menjadi 460mm. Kemudian menggunakan syarat jarak spasi bersih antar tendon oleh VSL, tendon no 5 dan 4 juga disesuaikan.

Desain pemberian prategang dibuat berselang-seling angkur hidup dan mati untuk menghindari kehilangan prategang yang terlalu tinggi. Dengan desain berikut didapatkan hasil tegangan akibat friksi Gambar 4, kemudian akibat set-angkur Gambar 5. Sedangkan rekap hasil kehilangan prategang pada Tabel 7 dengan porsi kehilangan prategang sebesar 16%.



Gambar 4. Plot Perhitungan Tegangan Akibat Friksi Girder Menentukan



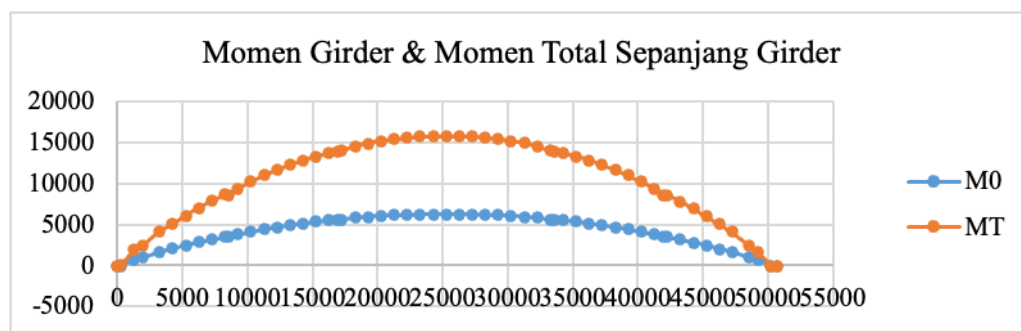
Gambar 5. Plot Hasil Perhitungan Tegangan Setelah Anchor-seat Girder Menentukan

Tabel 6. Hasil Perhitungan Tiga Variabel Girder Interior

No Kabel	Jml. Strand	Z kabel pada penampang		Konstanta Parabolik			Anchor length
		Tumpuan	Lapangan	A	B	C	
6	11	1800	460	0,0021	-0,106	1,8	50500
5	19	1500	360	0,0018	-0,090	1,5	50500
4	19	1200	260	0,0015	-0,074	1,2	50500
3	19	900	100	0,0013	-0,0634	0,9	50500
2	19	600	100	0,0008	-0,0396	0,6	50500
1	19	300	100	0,0003	-0,0158	0,3	50500

Tabel 7. Akumulasi Lost-Prestress Girder Menentukan, Tinjauan x = 0 mm

Jangka Pendek		Jangka Panjang				Total Kehilangan Prategang	
Friksi	Anchor Seat	ES	CR	SH	RE		
N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	%
1323,00	1260,07	1190,10	1169,66	1147,80	1117,82	205,18	16%



Gambar 6. Grafik Momen Girder & Momen Total Sepanjang Girder

Tabel 8. Momen Tinjauan x = 25400 mm

State	Momen (kNm)
Momen girder, M ₀	7635,3586
Momen total, M _T	15748,5644

Berikutnya menghitung lintasan aman inti tendon, Tabel 8 menunjukkan momen yang diperlukan untuk menghitung lintasan inti tendon sedangkan momen sepanjang girder ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 6. Dengan tegangan ketika instal/jacking, $f_i = 1395 \text{ N/mm}^2$ dan tegangan rata-rata akibat set-angkur, $f_e = 1330,251 \text{ N/mm}^2$ menggunakan spesifikasi pada Tabel 1 dan jumlah strand yang ada maka gaya untuk masing masing state:

$$P_i = n \times f_i \times A_{sp} = 107 \times 1395 \times 98,78 = 14744396,7 \text{ N}$$

$$P_e = n \times f_e \times A_{sp} = 107 \times 1330,251 \times 98,78 = 14060034,75 \text{ N}$$

Dengan hasil diatas menghitung bastasan kern menggunakan formulasi 10 dan 11, sebagai berikut:

$$k_a = \frac{I_c}{A_c \times Y_b'} = \frac{739543830654}{1062549,517 \times 1366,565} = 509,312 \text{ mm}$$

$$k_b = \frac{I_c}{A_c \times Y_a'} = \frac{739543830654}{1062549,517 \times 983,434} = 707,733 \text{ mm}$$

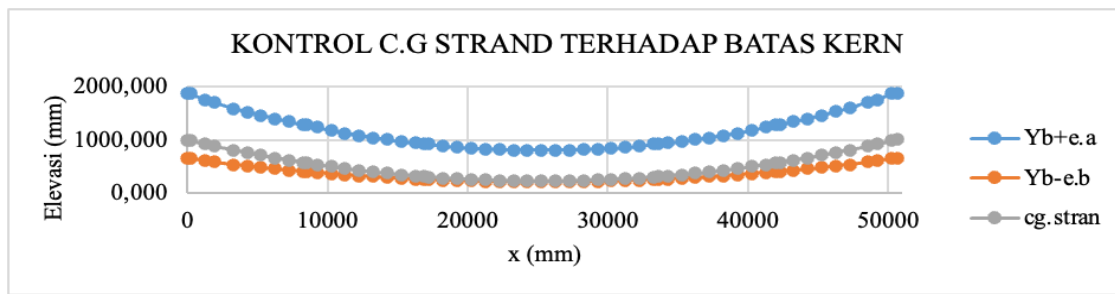
$$a_{\min} = \frac{M_0}{P_e} = \frac{7635,359 \times 10^6}{14060034,75} = 543,054 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = \frac{M_T}{P_i} = \frac{15748,56 \times 10^6}{14744396,7} = 1068,105 \text{ mm}$$

$$e_a = k_a - a_{\max} = 509,312 - 1068,105 = -558,793 \text{ mm}$$

$$e_b = k_b + a_{\min} = 707,733 + 543,054 = 1250,79 \text{ mm}$$

Perhitungan berikut kemudian diiterasi sepanjang bentang dan diplot sesuai garis netral girder. Sehingga didapatkan hasil grafik kern sebagai berikut:



Gambar 7. Plot C.G Strand Terhadap Batas Kern Oleh T.Y. Lin & H. Burns

Dapat dilihat pada Gambar 7, hasil plot C.G strand berada diantara batas kern. Artinya, layout tendon yang digunakan memungkinkan dan tidak akan menghasilkan tegangan kritis sepanjang girder. Hal ini akan dijadikan hipotesa awal sebelum kedepannya dibuktikan dengan hasil perhitungan tegangan.

Menggunakan properti layout tandon yang telah diuji, selanjutnya dengan formulasi 12 perhitungan camber dapat dihitung dengan runtut berikut:

mengitung gaya prategang efektif, P_{eff}

$$P_{eff} = n \times A_{sp} \times Tegangan_{eff}$$

$$= 12 \times 98,78 \times 1265,172 \times 10^{-3}$$

$$= 1499,744 \text{ kN}$$

eksetrisitas ujung

$$e_{edg} = Y_b - pos_{edge}$$

$$= 1008,02 - 1800$$

$$= -791,98$$

eksetrisitas tengah

$$e_{edg} = Y_b - pos_{edge}$$

$$= 1008,02 - 535$$

$$= 473,02$$

menghitung *chamber* akibat prategang

$$\Delta e = [e_{edg} + \frac{5}{6}(e_{mid} - e_{edg})]$$

$$= [(-791,98) + \frac{5}{6}(473,02 - (-791,98))]$$

$$= 262,337$$

$$\delta_{pst} = \frac{[\Delta e] \times P_{eff} \times L_{anch}^2}{8 \times E_{ci} \times I_{x,beam}}$$

$$= \frac{262,337 \times 1499,744 \times 10^3 \times 5050^2}{8 \times 38006,99 \times 410870326130}$$

$$= 8,026875 \text{ mm (} \uparrow \text{) keatas}$$

Perhitungan berikut diterapkan pada masing-masing tendon untuk kedua girder yang ditinjau. Sehingga secara tertabel perhitungan dapat dilihat pada

Tabel 9 dan

Tabel 10. Hingga didapati harga total camber untuk masing-masing girder berturut turut eksterior, interior = 177,304 mm dan 178,459 mm. Atau terpaat 1,1545mm sehingga dinyatakan seragam.

Tabel 9. Perhitungan Camber Jangka Pendek Balok Eksterior

No.	n	Profil(mm)		Tegangan efektif	Peff (kN)	Eksentrisitas (mm)		δ_{pst} mm
		Ujung	Tengah			Ujung	Tengah	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	12	1800	535	1265,172	1499,744	-791,98	473,02	8,027
5	19	1500	390	1261,391	2367,499	-491,98	618,02	20,928
4	19	1200	245	1260,928	2366,630	-191,98	763,02	29,173
3	19	900	100	1258,066	2361,259	108,02	908,02	37,346
2	19	600	100	1258,264	2361,630	408,02	908,02	39,758
1	19	300	100	1255,550	2356,536	708,02	908,02	42,077
Total Camber (ke atas)								177,304

Tabel 10. Perhitungan Camber Jangka Pendek Balok Interior

No.	n	Profil(mm)		Tegangan efektif	Peff (kN)	Eksentrisitas (mm)		δ_{pst} mm
		Ujung	Tengah			Ujung	Tengah	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	12	1800	460	1265,483	1375,049	-791,98	543,02	8,997
5	19	1500	360	1261,703	2367,989	-491,98	643,02	21,939
4	19	1200	260	1261,240	2367,120	-191,98	743,02	28,374
3	19	900	100	1227,296	2303,413	108,02	908,02	36,427
2	19	600	100	1226,910	2302,690	408,02	908,02	38,766
1	19	300	100	1223,592	2296,463	708,02	908,02	41,005
Total Camber								178,459

Jika $A_e = 749500 \text{ mm}^2$, $\gamma_b = 25 \text{ kN/m}^3$, panjang $L = 50800 \text{ mm}$, selanjutnya camber akhir dapat dihitung berikut:

$$w_c = A_c \times \gamma_b = 749500 \times 10^{-6} \times 25 = 18,7375 \text{ kN/m}$$

$$\partial_g = \frac{5w_c \times L^4}{384E_{ci} \times I_{x.beam}} = \frac{5 \times 18,7375 \times 50800^4}{384 \times 38006,99 \times 410870326130} = 104,048788 \text{ mm } (\downarrow) \text{ kebawah}$$

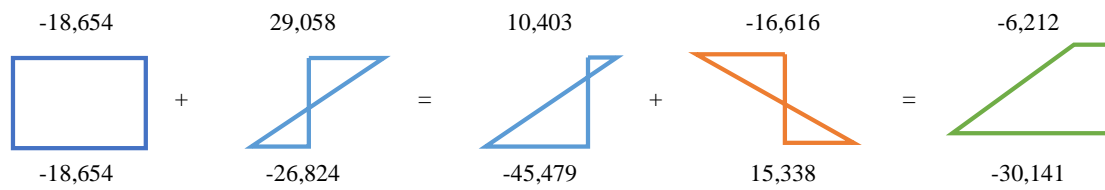
Harga *camber* akhir balok girder eksterior

$$= \partial_g + \sum \partial_{pst} = 104,049 - 177,304 = -73,256 \text{ mm } (\uparrow) \text{ keatas}$$

Sedangkan hasil rekap tegangan pada girder dapat dilihat pada Tabel 11 hingga Tabel 13. Dari hasil berikut tidak didapati harga tegangan tarik pada serat bawah girder, sehingga pengaplikasian gaya prategang dianggap aman.

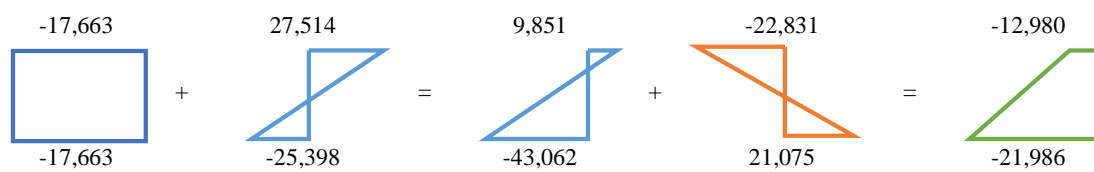
Tabel 11. Rekapitulasi Tegangan Sesaat Setelah Pemberian Prategang

P_e'/A_{beam}	$P_e'*e/W_a$	$P_e'*e/W_b$	Post tension Stress		Beam Self Weight		Beam Stress	
			σ atas	σ bawah	σ atas	σ bawah	σ atas	σ bawah
N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
-18,654	29,058	-26,824	10,403	-45,479	-16,616	15,338	-6,212	-30,141



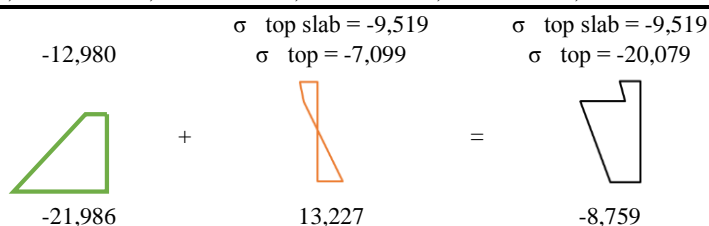
Tabel 12. Rekapitulasi Tegangan Ketika Tahap Ereksi

P_e/A_{beam}	P_e*e/W_a	P_e*e/W_b	Post tention Stress		Non.comp DL		Beam Stress	
			σ atas	σ bawah	σ atas	σ bawah	σ atas	σ bawah
N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
-17,663	27,514	-25,398	9,851	-43,062	-22,831	21,075	-12,980	-21,986



Tabel 13. Rekapitulasi Tegangan Ketika Tahap Servis

Beam Stress		DL.comp+LL + EW + EQ				Service	
σ atas	σ bawah	σ slab	σ atas	σ bawah	σ slab	σ atas	σ bawah
N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
-12,980	-21,986	-9,519	-7,099	13,227	-9,518	-20,079	-8,759



4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis keseragaman camber I-girder pada proyek Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) Kota Surabaya, maka kami mengambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Elemen girder superstruktur didesain dengan tinggi 2100 mm, tebal badan 200 mm, lebar flange 700 mm pada kaki dan 800 mm pada bagian atas. Hasil analisa gaya dalam beban layan untuk masing-masing objek girder secara berturut-turut girder eksterior, girder interior adalah momen = 15748,56 kNm, geser = 60,291 kN, dan momen = 15499,97 kNm, geser = 62,721 kN. Atau terpaut 248,59 kNm (25 Ton.m) untuk momen.
2. Desain layout yang berbeda diterapkan pada objek girder interior yaitu tendon no 6. Layout tendon diturunkan sebesar 75mm dari yang semula 535mm menjadi 460mm. Menggunakan desain layout tendon terkait, pemeriksaan tegangan untuk girder yang menentukan (eksterior) dengan tinjauan di tengah bentang menghasilkan tegangan sesaat pemberian prategang mengalami kritis pada serat bawah.
3. Hasil analisa stressing untuk masing-masing objek menghasilkan jumlah strand yang berbeda. Untuk girder eksterior membutuhkan total 107 strand, 5 tendon 19 strand dan 1 tendon 12 strand. Sedangkan untuk girder interior membutuhkan total 106 strand, 5 tendon 19 strand, dan 1 tendon 11 strand. Hasil analisa camber untuk masing-masing objek memiliki selisih yang tidak signifikan. Untuk girder eksterior didapatkan camber = 177,304mm (keatas) dan untuk girder interior didapatkan camber = 178,459mm (keatas). Dengan hasil berikut, penerapan variasi level tendon dengan proporsi prategang terkait dianggap berhasil memberikan keseragaman camber.

PUSTAKA

Ashiquzzaman, M. et al. (2016) 'Effect of Inconsistent Diaphragms on Exterior Girder Rotation During Overhang Deck Construction', Structures. Elsevier B.V., 8, pp. 25–34. doi: 10.1016/j.istruc.2016.08.002.

Badan Standar Nasional Indonesia (2019) Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan Sebagai Revisi Dari Standar Nasional Indonesia. SNI 2847:2019, Sni 2847:2019.

Badan Standardisasi Nasional Indonesia (2016) SNI 1725:2016 Pembebanan untuk jembatan.

Direktorat Jembatan; Direktorat Jendral Bina Marga (2017) 'Perencanaan Jembatan'. Nspkjembatan.Pu.Go.Id. Available at:

http://nspkjembatan.pu.go.id/public/uploads/elearning/1556525088perencanaan_jembatan.pdf.

Hraib, F. et al. (2019) 'Evaluation of bridge exterior girder rotation during construction',

Engineering Structures. Elsevier, 187(May 2018), pp. 149–160. doi: 10.1016/j.engstruct.2019.02.058.

Lin, T. Y. and BURNS, H. (1980) Design of Prestressed Concrete Structures (3rd Edition).

Mulyati, M. and Nasution, P. (2013) 'Analisa Efek Dinamik Akibat Kendaraan Bermotor Pada Jembatan Prestress By Pas Jati Mudik Kota PARIAMAN', Jurnal Momentum ISSN 1693-752X, 13(2).

Nawy, E. G. and Suryoatmono, B. (2000) Beton Prategang. 3rd edn. Jakarta: Erlangga.

Qomaruddin, M. and Putri, Z. R. ; T. H. M. ; W. L. (2015) 'Analisa kerusakan jembatan bongpes desa gerdu kabupaten jepara 2', 6(2), pp. 77–81.

SNI 03 - 2847 - 2013 (2013) 'Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung'.

Tadros, M. K., Fawzy, F. and Hanna, K. E. (2011) 'Precast, prestressed girder camber variability', PCI Journal, 56(1), pp. 135–154.

doi: 10.15554/pcij.01012011.135.154.

Tanner, J. A. (1978) 'Calculating shear friction using an effective coefficient of friction', pp. 2–8.

WIKA BETON (2019) Technical Calculation Proyek Jembatan Lingkar Luar Barat - Surabaya, Technical Calculation 19128L.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN