

Perencanaan Ulang Pada Jembatan *Flyover* Aloha Sidoarjo Dengan Menggunakan *Concrete Segmental Box Girder* Di STA 0+420 – STA 0+450

Mada Ardika¹⁾, Muhammad Imaduddin²⁾

¹⁾S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya,
Surabaya, Indonesia

Email: mada.20078@mhs.unesa.ac.id

²⁾S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya,
Surabaya, Indonesia

Email: muhammadimaduddin@unesa.ac.id

Received: 2025-07-23; Accepted: 2025-09-01; Published: 2025-09-30

Abstract

This study discusses the redesign of the Aloha Flyover Bridge in Sidoarjo, particularly in the STA 0+420 – STA 0+450 segment, by replacing the initial steel box girder structure with a concrete segmental box girder. The design change was driven by the need to improve structural efficiency, load-bearing capacity, durability, and long-term maintenance, especially in areas with high traffic intensity. The redesign process involves numerical analysis using SAP2000 software, supported by manual calculations in accordance with Indonesian National Standards (SNI) and prestressed concrete theory. The structural analysis includes cross-sectional geometry design, load distribution due to dead and live loads, prestressing force planning, stress and deflection control, and estimation of prestress losses due to tendon relaxation, friction, shrinkage, and formwork effects. The results demonstrate that the single-cellular concrete segmental box girder offers safe and efficient structural performance in terms of material usage, stiffness, and constructability. Moreover, the segmental system allows for staged construction, making it suitable for constrained environments such as national roads or densely built-up urban areas. This research not only provides a technical solution for the specific case study but also contributes to the development of more sustainable, adaptive, and efficient bridge design methodologies. It is expected that the findings of this study will serve as a practical reference for civil engineers, designers, and contractors in planning and constructing modern bridge infrastructure that responds effectively to contemporary demands.

Keywords: Bridge, Flyover, Prestressed Concrete, Redesign, Segmental Box Girder

Abstrak

Penelitian ini membahas perencanaan ulang Jembatan Flyover Aloha Sidoarjo pada segmen STA 0+420 – STA 0+450 dengan mengganti struktur awal berupa *steel box girder* menjadi *concrete segmental box girder*. Perubahan desain ini didasarkan pada pertimbangan untuk meningkatkan efisiensi struktural, kapasitas daya dukung, durabilitas, serta kemudahan perawatan jangka panjang, khususnya di wilayah dengan intensitas lalu lintas tinggi. Perencanaan ulang dilakukan menggunakan analisis numerik dengan perangkat lunak SAP2000 dan didukung oleh perhitungan manual sesuai dengan pedoman SNI dan literatur beton prategang. Proses analisis meliputi desain geometri penampang, distribusi gaya akibat pembebanan mati dan hidup, perencanaan gaya prategang, kontrol tegangan dan lendutan, hingga estimasi kehilangan gaya prategang akibat relaksasi tendon, gesekan, dan efek penyusutan serta perangkaan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa struktur *concrete segmental box girder* tipe *single cellular* mampu memberikan kinerja struktural yang aman dan efisien, baik dari segi material, kekakuan, maupun kemudahan metode pelaksanaan di lapangan. Sistem segmental juga memungkinkan pelaksanaan konstruksi bertahap, cocok untuk lingkungan terbatas seperti jalan nasional atau perkotaan padat. Penelitian ini tidak hanya memberikan solusi teknis terhadap kasus studi spesifik, tetapi juga berkontribusi dalam pengembangan metode perencanaan struktur jembatan yang lebih berkelanjutan, adaptif, dan efisien. Diharapkan, hasil studi ini dapat menjadi referensi praktis bagi para insinyur sipil, perencana, dan kontraktor dalam merancang dan membangun infrastruktur jembatan modern yang responsif terhadap tuntutan zaman.

Kata Kunci: Beton Prategang, Flyover, Jembatan, Perencanaan Ulang, Segmental Box Girder

PEDOMAN UMUM

Peningkatan urbanisasi dan pertumbuhan populasi di perkotaan menuntut pengembangan infrastruktur transportasi efisien dan berkelanjutan (Qian, 2024). Sebelum adanya peningkatan fasilitas infrastruktur biasanya kota tersebut memiliki banyak permasalahan dan dialami selama beberapa tahun terakhir (Aditya, Douglass, dan Bhattacharya, 2017). Sidoarjo merupakan salah satu kabupaten memiliki kepadatan penduduk dan peningkatan

urbanisasi cukup tinggi (Resantie dan Santoso, 2020). Kepadatan penduduk menjadi salah satu permasalahan bagi Sidoarjo contohnya seperti kemacetan (Mushawir, Widhiarto, dan Saves, 2024). Imbas dari kemacetan membuat beberapa jalan di Sidoarjo selalu terhambat. Permasalahan tersebut menyebabkan Pemerintah Sidoarjo untuk segera membangun fasilitas dalam mengurai kemacetan. Jembatan *flyover* menjadi solusi utama untuk mengatasi kemacetan lalu lintas dan mempercepat mobilitas

di daerah perkotaan. Oleh karena itu, Pemerintah Sidoarjo segera membangun *flyover* di salah satu titik kemacetan yaitu bundaran aloha (Lilu, 2019).

Pembangunan jembatan *flyover* aloha Sidoarjo sudah dibangun menggunakan *steel box girder*. Namun *steel box girder* memiliki kelemahan yaitu memerlukan pemeliharaan dan inspeksi berkelanjutan untuk memastikan keselamatan dan integritas strukturalnya dalam jangka panjang (Kambu, dkk., 2020). Jembatan harus mempertimbangkan hal seperti beberapa langkah diperlukan untuk memudahkan pemeriksaan dan pemeliharaan sebagai penggantian komponen (Kementerian PUPR, 2015). *Concrete segmental box girder* menawarkan keunggulan dalam efisiensi konstruksi dan daya tahan struktural dengan pemeriksaan dan pemeliharaan yang minim dibandingkan dengan *steel box girder* (Zhu, dkk., 2022). Sehingga perencanaan ulang *concrete segmental box girder* bertujuan sebagai alternatif metode dalam pembangunan pada jembatan *flyover* aloha Sidoarjo.

Menurut Cahya Witriyatna, Dwi Agus Purnomo, dkk bahwa hasil identifikasi untuk gelagar I yang dibentuk dari plat baja memiliki tegangan sedikit lebih besar namun lendutan sedikit lebih kecil daripada gelagar *box girder* beton dan dari segi pemanfaatan material jembatan gelagar *box girder* beton akan lebih hemat dibandingkan jembatan gelagar I yang dibentuk dari plat baja (Cahya Witriyatna, dkk., 2023). Kesimpulan dari penelitian tersebut adalah dalam pengembangan aspek kekuatan dan pemanfaatan material maka jembatan dengan gelagar *box girder* lebih efisien dibandingkan jembatan dengan gelagar I yang dibentuk dari plat baja. Menurut Hakas Prayuda, Taufiq Ilham Maulana, dkk bahwa nilai kehilangan prategang dari penampang *I-girder* memiliki nilai sebesar 35,91% sedangkan pada penampang *box girder* memiliki nilai 13,59% dan untuk nilai lendutan minimum pada kondisi awal dan setelah kehilangan gaya prategang pada penampang *I-girder* memiliki nilai -36 mm sedangkan pada penampang *box girder* memiliki nilai -38,1 mm (Prayuda, dkk., 2021). Hasil analisis tegangan dan lendutan dapat disimpulkan bahwa penampang *I-girder* memiliki kehilangan gaya prategang lebih besar daripada *box girder* tetapi penampang *I-girder* memiliki nilai lendutan tipis dibawah *box girder* (Deru, Siswoyo, dan Huda, 2021) (Adibaskoro dan Suarjana, 2019).

Penulis melakukan perencanaan ulang pada jembatan *flyover* aloha Sidoarjo dengan menggunakan *concrete segmental box girder* di STA 0+420 – STA 0+450 karena *concrete box girder* memiliki kelebihan kekuatan struktural tinggi dan dapat menahan lendutan. *Concrete box girder* memiliki kelebihan dari segi pemanfaatan material yang lebih efisien, memiliki nilai estetika menambah keindahan struktur desain, dan memiliki kemudahan dalam pemeriksaan atau pemeliharaan dibandingkan *steel box girder* (Penadés-Plà, dkk., 2017). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan pedoman desain lebih baik dan praktek konstruksi aman dalam rangka mendukung pembangunan infrastruktur perkotaan berkelanjutan (Siswanto, dkk. 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan ulang penampang jembatan *Flyover* Aloha Sidoarjo pada

segmen STA 0+420 - STA 0+450 dengan menggunakan metode *concrete segmental box girder*. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk memperoleh desain profil *girder* yang sesuai dengan ketentuan teknis dan mampu menahan beban kerja jembatan secara efektif, serta untuk menghitung kehilangan gaya prategang dan menentukan gaya prategang efektif yang dibutuhkan agar struktur tetap aman dan berfungsi optimal dalam kondisi layan.

TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu sarana transportasi penting bagi kehidupan manusia merupakan jembatan (Lilu, 2019). Pembangunan jembatan berfungsi sebagai alat penghubung berbagai lokasi dan memungkinkan beberapa benda bergerak seperti jalan yang terhalang oleh rintangan atau faktor lainnya (Lilu, 2019).

Girder adalah sebuah komponen jembatan berupa balok berfungsi sebagai penerima beban struktur atas jembatan kemudian diteruskan ke bagian struktur bawah jembatan (Nurhidayatullah & Kurniyawan, 2023). Komponen ini biasanya terbuat dari baja, beton bertulang, atau bahan konstruksi lainnya yang memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban yang diterimanya.

Concrete segmental box girder adalah suatu jenis elemen struktural yang digunakan dalam konstruksi jembatan dimana bentuknya menyerupai kotak (*box*) berongga dan terdiri dari segmen-segmen beton balok terpisah yang dipasang bersama untuk membentuk struktur utuh (Yuslinda, 2021). Setiap segmen memiliki dimensi dan bentuk yang seragam, dan mereka dihubungkan satu sama lain dengan menggunakan teknik pengikatan khusus, seperti sistem *grouting* atau pasak.

Beton prategang adalah kondisi beton dimana tegangan tariknya dihilangkan atau dikurangi dengan memberikan gaya tekan permanen dan baja prategang yang digunakan untuk keperluan ini ditarik sebelum beton mengeras (pratarik) atau setelah beton mengeras (pascatarik) (Batubara & Simatupang, 2018). Penegangan beton prategang dapat dilakukan dengan beberapa metode, tergantung pada jenis prategang (pra-tarik atau pasca-tarik) dan aplikasi konstruksi tertentu.

Kehilangan gaya prategang (*prestress loss*) merupakan aspek krusial yang harus diperhitungkan secara cermat dalam perencanaan struktur beton prategang, karena berpengaruh langsung terhadap efektivitas sistem prategang dan kinerja jangka panjang struktur. Secara umum, kehilangan gaya prategang diklasifikasikan menjadi dua kelompok utama, yaitu kehilangan awal dan kehilangan sekunder atau jangka panjang. Kehilangan awal meliputi kehilangan akibat gesekan (*friction loss*) antara tendon dengan saluran saat proses penarikan, perpendekan elastis beton (*elastic shortening*), serta kehilangan akibat pergeseran alat penjangkaran (*anchorage slip*). Sementara itu, kehilangan jangka panjang disebabkan oleh relaksasi kawat atau kabel prategang (*relaxation of prestressing steel*), susut beton (*shrinkage*), dan rangkai beton (*creep*) (Lin & Burns, 2000). Besarnya kehilangan ini sangat bergantung pada metode prategang yang digunakan (pratarik atau pascatarik), karakteristik material, kondisi lingkungan, serta kualitas pelaksanaan di lapangan. Oleh karena itu, estimasi kehilangan gaya prategang yang akurat sangat penting untuk memastikan bahwa tegangan

prategang efektif yang ditransfer ke struktur tetap berada dalam batas aman dan sesuai dengan asumsi perencanaan.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian perencanaan ulang dimana merencanakan ulang sebuah girder yang sebelumnya telah didesain steel box girder menjadi concrete segmental box girder dan mengetahui efektif atau tidak penampang desain box girder terhadap beberapa kontrol struktur jembatan.

Data sekunder penelitian ini menggunakan data perencanaan diperoleh dari Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur Bali selaku owner dari proyek pembangunan flyover aloha. Data jembatan flyover aloha direncanakan dengan panjang 32,5 m, lebar jembatan 9 m, dan jari-jari lengkung 92 m. Sistem jembatan paska-tarik satu arah menjadi salah satu rencana dalam penelitian ini.

Data material ini menggunakan beton prategang dengan kuat tekan 55 MPa. Data baja menggunakan tipe strand Uncoated 7 wires superstrand low-relaxation ASTM A-416 grade 270 dengan diameter 15,2 mm. Data tersebut berdasarkan VSL Strand Post-Tensioning Systems (VSL Strand Post-Tensioning Systems, 2015).

Perhitungan gaya prategang awal dilakukan dengan menggunakan metode diagram magnel. Analisa menggunakan diagram magnel sesuai dengan ketentuan 5 persamaan: (Lambang, Marwanto, dan Hadisaputro, 2021)

Persamaan 1

$$\frac{1}{F_0} \geq \frac{\alpha t \cdot e - 1}{A \cdot F_{ti} + \alpha t \cdot M_0}$$
 (1)

Persamaan 2

$$\frac{1}{F_0} \geq \frac{\alpha b \cdot e - 1}{-A \cdot F_{ci} + \alpha b \cdot M_0}$$
 (2)

Persamaan 3

$$\frac{1}{F_0} \geq \frac{R(\alpha b \cdot e - 1)}{-A \cdot F_t + \alpha b \cdot M_{total}}$$
 (3)

Persamaan 4

$$\frac{1}{F_0} \geq \frac{R(\alpha t \cdot e - 1)}{A \cdot F_{cd} + \alpha t \cdot M_0}$$
 (4)

Persamaan 5

$$\frac{1}{F_0} \geq \frac{R(\alpha t \cdot e - 1)}{A \cdot F_{ctotal} + \alpha t \cdot M_{total}}$$
 (5)

Keterangan:

- F₀ = Gaya prategang awal
- α t = Nilai alpha t
- α b = Nilai alpha b
- e = Eksentrisitas
- A = Luas penampang
- M₀ = Momen beban mati sendiri dan tambahan
- M_{total} = Momen beban total

Gaya prategang mengalami kehilangan selama umur struktur akibat beberapa faktor seperti elastis beton, gesekan, slip, rangkai, susut, dan relaksasi baja (Nurhidayatullah dan Kurniyawan, 2023). Oleh karena itu, perhitungan kehilangan gaya prategang diperlukan untuk memastikan kinerja struktur tetap sesuai dengan ketentuan desain (Kim, dkk., 2022). Berikut disajikan beberapa rumus dalam mencari kehilangan gaya prategang:

$$ES = Kex \times Es \times \frac{F_{cir}}{Ec}$$
 (6)

$$\frac{(F_A - F_B)}{F_B} = -K \cdot L - \mu \cdot \alpha$$
 (7)

$$ANC = \Delta f_s = \frac{\Delta \alpha E_s}{L}$$
 (8)

$$CR = Kcr \frac{Es}{Ec} (f_{cir} - f_{cds})$$
 (9)

$$SH = 8,2 \times 10^{-6} K_{sh} E_s \left(1 - 0,06 \frac{V}{S}\right) (100 - RH)$$
 (10)

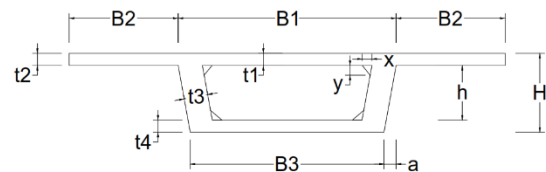
$$RE = [K_{re} -](SH + CR + ES)C$$
 (11)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini merupakan penelitian perencanaan ulang dimana merencanakan ulang sebuah girder yang sebelumnya telah didesain steel box girder menjadi concrete segmental box girder dan mengetahui efektif atau tidak penampang desain box girder terhadap beberapa kontrol struktur jembatan.

Perencanaan desain penampang box girder terdapat beberapa peraturan sebagai berikut (Karramal, 2016):

- Lebar jembatan dan jarak web
Lebar jembatan (B) < 12 m, maka digunakan box single cellular.
- Tebal web box girder
Jika terdapat tendon diangkurkan pada web, maka menggunakan tebal minimum 500 mm
- Ketebalan minimum sayap atas
Untuk bentang antar web (4 – 7,5 m), maka menggunakan tebal minimum 250 mm
- Ketebalan minimum sayap bawah
Jika terdapat tendon diletakkan pada sayap, maka menggunakan tebal 200 – 250 mm
- Rasio tinggi terhadap bentang
Rasio perbandingan harus 1/15 < h/L < 1/30 dengan nilai optimum sebesar 1/18 – 1/20



Gambar 1. Desain Box Girder Lapangan

Sumber: Gambar Pribadi (2025)

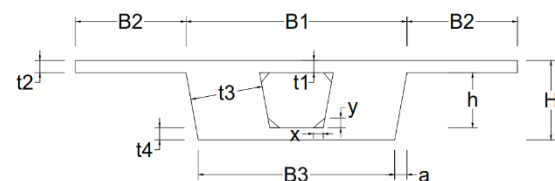
Berikut rekapitulasi hasil dimensi preliminary design penampang girder daerah lapangan:

Tabel 1. Dimensi Desain Box Girder Lapangan

Bagian	Simbol	Dimensi (m)
Slab atas bagian tengah	B1	4,50
	t1	0,25
Slab bagian tepi	B2	2,25
	t2	0,25
Tinggi box girder	H	1,625
Dinding tepi (web)	t3	0,50
Slab bawah	B3	4,00
	t4	0,25
Penebalan pertemuan slab & dinding	x	0,20
	y	0,20

Sumber: Perhitungan Pribadi (2025)

Hasil desain penampang girder daerah tumpuan yang telah melalui tahap preliminary design ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2. Desain Box Girder Tumpuan

Sumber: Gambar Pribadi (2025)

Berikut rekapitulasi hasil dimensi preliminary design penampang girder daerah tumpuan:

Tabel 2. Dimensi Desain Box Girder Tumpuan

Bagian	Simbol	Dimensi (m)
Slab atas bagian tengah	B1	4,50
	t1	0,25
Slab bagian tepi	B2	2,25
	t2	0,25
Tinggi box girder	H	1,625
Dinding tepi (web)	t3	1,50
Slab bawah	B3	4,00
	t4	0,25
Penebalan pertemuan slab & dinding	x	0,20
	y	0,20

Sumber: Perhitungan Pribadi (2025)

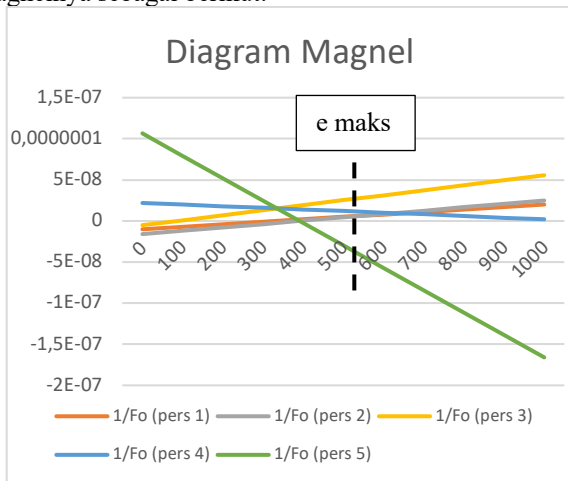
Hasil perhitungan persamaan dari diagram magnel disajikan dalam bentuk tabel dengan eksentrisitas dari 0 sampai 1000 mm sebagai berikut:

Tabel 3. Gaya Prategang Minimum Setiap Persamaan

e (mm)	1/F ₀ (pers 1)	1/F ₀ (pers 2)	1/F ₀ (pers 3)	1/F ₀ (pers 4)	1/F ₀ (pers 5)
0	-1,0104 x10 ⁻⁸	-5,8629 x10 ⁻⁹	1,0885 x10 ⁻⁸	2,6958 x10 ⁻⁸	8,471 x10 ⁻⁸
100	-7,0889 x10 ⁻⁹	-4,7941 x10 ⁻⁹	1,2869 x10 ⁻⁸	1,8913 x10 ⁻⁸	5,9431 x10 ⁻⁸
200	-4,0737 x10 ⁻⁹	-3,7254 x10 ⁻⁹	1,4853 x10 ⁻⁸	1,0868 x10 ⁻⁸	3,4153 x10 ⁻⁸
300	-1,0585 x10 ⁻⁹	-2,6567 x10 ⁻⁹	1,6837 x10 ⁻⁸	2,8240 x10 ⁻⁹	8,8740 x10 ⁻⁹
400	1,9568 x10 ⁻⁹	-1,5880 x10 ⁻⁹	1,8821 x10 ⁻⁸	-5,2206 x10 ⁻⁹	-1,6405 x10 ⁻⁹
500	4,9720 x10 ⁻⁹	-5,1927 x10 ⁻¹⁰	2,0805 x10 ⁻⁸	-1,3265 x10 ⁻⁸	-4,1684 x10 ⁻⁸
600	7,9872 x10 ⁻⁹	5,4945 x10 ⁻¹⁰	2,2790 x10 ⁻⁸	-2,1310 x10 ⁻⁸	-6,6962 x10 ⁻⁸
700	1,1002 x10 ⁻⁸	1,6182 x10 ⁻⁹	2,4774 x10 ⁻⁸	-2,9354 x10 ⁻⁸	-9,2241 x10 ⁻⁸
800	1,4018 x10 ⁻⁸	2,6869 x10 ⁻⁹	2,6758 x10 ⁻⁸	-3,7399 x10 ⁻⁸	-1,1752 x10 ⁻⁷
900	1,7033 x10 ⁻⁸	3,7556 x10 ⁻⁹	2,8742 x10 ⁻⁸	-4,5443 x10 ⁻⁸	-1,4280 x10 ⁻⁷
1000	2,0048 x10 ⁻⁸	4,8243 x10 ⁻⁹	3,0726 x10 ⁻⁸	-5,4388 x10 ⁻⁸	-1,6808 x10 ⁻⁷

Sumber: Perhitungan Pribadi (2025)

Dari tabel tersebut bisa digambarkan diagram magnelnya sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram Magnel

Sumber: Gambar Pribadi (2025)

Dari Gambar 3 didapatkan garis yang terluar berpotongan langsung dengan persamaan 3. Berikut perhitungan prategang awal dengan dipakai persamaan 3 dengan e maks = 53,62 cm.

Persamaan 3

$$\frac{1}{F_0} \geq \frac{0,75 \cdot (0,0018228607 \cdot 536,21 + 1)}{-4517500 \cdot 3,71 + 0,0018228607 \cdot 46989570200}$$

$$\frac{1}{F_0} \geq 2,1524 \times 10^{-8} \quad 1/N$$

$$F_0 = 46460027,67 \quad N$$

$$F_0 \approx 46460,0277 \quad kN$$

Berikut rekapitulasi hasil kehilangan gaya prategang yang didapat pada proses tegangan tendon box girder:

Tabel 4. Persentase Kehilangan Gaya Prategang

Kehilangan Gaya Prategang	MPa	Persentase Kehilangan
Kehilangan Prategang Secara Langsung		
Perpendekan elastis beton (ES)	63,616	4,622%
Gesekan sepanjang tendon (Psi)	66,870	4,858%
Slip pada ankur (ANC)	36,000	2,616%
Total	166,485	12,096%
Kehilangan Prategang Akibat Waktu		
Rangkas beton (CR)	79,223	5,756%
Susut beton (SH)	14,368	1,044%
Relaksasi baja (RE)	27,276	1,982%
Total	120,867	8,781%
Total Kehilangan Prategang (Pt)	287,352	20,877%

Sumber: Perhitungan Pribadi (2025)

Berdasarkan Tabel 10 dapat disimpulkan bahwa persentase kehilangan gaya prategang yaitu sebesar:

$$\begin{aligned} losses\ final &= \left(\frac{f_{pt}}{f_{pu}} \right) \times 100\% \\ &= \left(\frac{287,352}{1860} \right) \times 100\% \\ &= 15,45\% < 20\% \end{aligned}$$

Gaya prategang efektif dihitung berdasarkan selisih antara gaya awal dan total kehilangan yang telah dianalisis sebelumnya. Berikut perhitungan dalam mencari gaya prategang efektif:

$$\begin{aligned} A_{ps\ total} &= Luas\ Tendon \times n \\ &= 5180 \times 8 \\ &= 41440,00\ mm^2 \\ F_{eff} &= F_0 - (Pt \times A_{ps}) \\ &= 61733760 - (287,35 \times 41440,00) \\ &= 49825877,11\ N \\ &= 49825,88\ kN \end{aligned}$$

KESIMPULAN

Perencanaan ulang Jembatan Flyover Aloha Sidoarjo pada segmen STA 0+420 hingga STA 0+450 dengan menggunakan profil concrete segmental box girder menghasilkan desain dengan tinggi girder sebesar 1,625 meter. Panjang girder dirancang berbeda, yakni 3,4 meter di sisi kiri dan 3,1 meter di sisi kanan. Lebar total girder adalah 9 meter, yang terdiri atas lebar jalur kendaraan 8 meter dan dua sisi pembatas jalan masing-masing selebar 0,5 meter. Ketebalan slab atas dan slab bawah masing-masing adalah 0,25 meter, sedangkan ketebalan web dirancang 0,5 meter di bagian tengah bentang dan 1,5 meter di area tumpuan.

Penurunan gaya prategang pada struktur concrete segmental box girder diperoleh dari akumulasi kehilangan jangka pendek dan jangka panjang. Komponen kehilangan tersebut mencakup perpendekan elastis beton sebesar 63,62 MPa, gesekan pada tendon sebesar 66,87 MPa, slip pada ankur sebesar 36,00 MPa, akibat rangkask beton sebesar

79,22 MPa, susut beton sebesar 14,37 MPa, serta relaksasi baja sebesar 27,28 MPa. Total kehilangan gaya prategang diperkirakan sebesar 287,35 MPa dengan persentase 15,45%. Setelah memperhitungkan semua kehilangan tersebut, gaya prategang efektif tersisa pada penampang adalah sebesar 49825,88 kN. Nilai ini cukup untuk memberikan gaya tekan internal yang dibutuhkan untuk menjaga kinerja struktur dalam kondisi layan. Dengan demikian, penggunaan *concrete segmental box girder* dalam perencanaan ulang ini terbukti sebagai solusi yang layak dan efektif.

Dengan demikian, penggunaan *concrete segmental box girder* dalam perencanaan ulang ini terbukti sebagai solusi yang layak dan efektif. Selain menawarkan efisiensi struktural dan kemudahan dalam pelaksanaan konstruksi bertahap, sistem ini juga mampu mengakomodasi kebutuhan teknis dan geometrik lokasi proyek. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan segmental prategang merupakan alternatif yang adaptif dan aplikatif untuk pembangunan infrastruktur jembatan modern, khususnya pada wilayah padat dan terbatas ruang gerakanya seperti di kawasan Flyover Aloha Sidoarjo.

DAFTAR PUSTAKA

- Adibaskoro, T., & Suarjana, M. (2019). Prestressed concrete i-girder optimization via genetic algorithm. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 51(2), 170–183. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2019.51.2.2>
- Aditya, A. K., Douglass, D. A., & Bhattacharya, M. (2017). Urban Infrastructure Development Works in India: Delay and Difficulties in Implementation with Reference to a Water Supply Project. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 98(3), 349–354. <https://doi.org/10.1007/s40030-017-0214-2>
- Batubara, S., & Simatupang, L. (2018). Perencanaan Jembatan Beton Prategang Dengan Bentang 24 Meter Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI). *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 1(2), 45–61. <https://doi.org/10.54367/jrkms.v1i2.280>
- Cahya Witriyatna, Dwi Agus Purnomo, Agung Barokah Waseso, & Mira Marindaa. (2023). Analisis Perhitungan Modul Jembatan Gelagar I Dan Gelagar Box Baja Sebagai Fungsi Jembatan Jalan Raya. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, 12(2), 115–126. <https://doi.org/10.29122/mipi.v12i2.3107>
- Deru, A., Siswoyo, S., & Huda, M. (2021). Analisis Perbandingan Kehilangan Prategang Metode Stressing Satu Arah Dan Dua Arah Jembatan Beton Prategang Pada Proyek Jembatan Benowo Surabaya. *Axial : Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 8(3), 159. <https://doi.org/10.30742/axial.v8i3.1414>
- Kambu, F. S., Tjakra, J., & Walangian, D. R. O. (2020). Metode Pelaksanaan Konstruksi Baja Proyek Pembangunan Kantor Distribusi Office Center Airmadidi Minahasa Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 8(5), 3–6.
- Karramal, M. F. (2016). Perencanaan box girder prategang struktur atas fly over simpang air hitam samarinda. *Institut Teknologi Nasional Malang*. <https://core.ac.uk/download/pdf/198115612.pdf>
- Kim, S. H., Park, S. Y., Kim, S. T., & Jeon, S. J. (2022). Analysis of Short-Term Prestress Losses in Post-tensioned Structures Using Smart Strands. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 16(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40069-021-00488-3>
- Lambang, D. B., Marwanto, & Hadisaputro, I. (2021). Perencanaan Ulang Gedung Rektorat Institut Teknologi Nasional Yogyakarta Menggunakan Sistem Balok Prestress. *Equilib*, 02(01), 43–54.
- Lilu, D. F. (2019). Alternatif Perencanaan Struktur Atas Jembatan Rangka Baja Tipe Camel Back Truss Dengan Menggunakan Metode LRFD Di Weutu Kota Atambua, Kab. Belu. Provinsi NTT. *E-Journal Perencanaan Jembatan Rangka Baja*, 3(02), 17–24.
- Lin, T. Y., & Burns, N. H. (2000). *Desain Struktur Beton Prategang* (Edisi 3). Aksara, Binarupa.
- Mushawir, D., Widhiarto, H., & Saves, F. (2024). Analysis of Traffic Congestion on the Jati-Cemeng Kalang Highway Section, Sidoarjo Regency Analisis Kemacetan Arus Lalu Lintas Di Ruas Jalan Raya Jati-Cemeng Kalang Kabupaten Sidoarjo. *Journal of Science Research and Development*, 6(1), 471–477. <https://idm.or.id/JSCR/inde>
- Nurhidayatullah, E. F., & Kurniyawan, T. (2023). Analisis Perbandingan Struktur Jembatan Tipe I Girder Dengan U-Girder Beton Prategang Studi Kasus : Jembatan Mojorejo Kecamatan Nglipar Kabupaten Gunungkidul. *Jurnal Rekayasa Dan Inovasi Teknik Sipil (Renovasi)*, 8(1), 6–14.
- Penadés-Plà, V., Martí, J. V., García-Segura, T., & Yepes, V. (2017). Life-cycle assessment: A comparison between two optimal post-tensioned concrete box-girder road bridges. *Sustainability (Switzerland)*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/su9101864>
- Prayuda, H., Maulana, I., Hidayat, A., & Anggraini, K. (2021). Pengaruh Modifikasi Penampang pada I-Girder dan Box Girder. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 27(1), 97–106.
- Qian, L. H. (2024). An empirical study on the relationship between urbanization, transportation infrastructure, industrialization and environmental degradation in China, India and Indonesia. *Environment, Development and Sustainability*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s10668-024-05773-1>
- Rakyat, K. P. U. dan P. (2015). *Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan jembatan*.
- Resantie, L., & Santoso, E. B. (2020). Identifikasi Pola Perkembangan Wilayah di Kabupaten Sidoarjo Tahun 2009-2020. *JURNAL TEKNIK ITS Vol. 10, No. 2, (2020) ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print)*, 10(2).
- Siswanto, A. B., Afif Salim, M., Purwantini, & Nurwidiyanti, A. (2022). Analisis Perbandingan Pekerjaan Erection Girder Beam dengan Metode Launcher dan Crawler Crane Proyek Kawasan Industri Terpadu Batang. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(2), 23–36. <https://doi.org/10.56444/jts.v15i2.217>
- VSL Strand Post-Tensioning Systems. (2015). *VSL Strand Post-Tensioning Systems*. 41.
- Yuslinda, Y. (2021). Analisis Plastik Jembatan Box Girder Dengan Penampang Single Box. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 11(1), 29.

<https://doi.org/10.29103/tj.v1i1.349>

Zhu, Y., Meng, D., Zhang, Y., Hussein, H. H., & He, S. (2022). Long-term performance of a continuous box-girder bridge constructed using precast segments with wet ultra-high-performance concrete (UHPC) joints. *Case Studies in Construction Materials*, 17(June), e01285. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01285>