

REDESAIN JEMBATAN SAMOTA SUMBAWA MENGGUNAKAN *BOX GIRDER PRESTRESSED*

*Nurul Hidayati¹, Hariyadi², Adryan Fitrayudha¹, Maya Saridewi Pascanawaty¹, Yeyen Mega Diana³

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram, nurul.hidayati@ummat.ac.id

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, hariyadi@ts.ftunram.ac.id

³Mahasiswa Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram, yeyen.md@gmail.com

Diterima: 4-06-2023 | Disetujui: 10-07-2023

ABSTRAK

Jembatan Samota merupakan jembatan yang sudah dibangun di pulau Sumbawa dan akan di desain ulang dengan menggunakan penampang *box girder* prategang sebagai bentang utama jembatan. Desain rencana jembatan *box girder* akan dibagi menjadi 2 bentang yang masing-masing bentang terdiri dari 40 m dengan adanya pilar di tengah bentang, dengan total panjang jembatan yaitu 80 m dan lebar jembatan 8 m. Perencanaan jembatan dimulai dengan penjelasan mengenai latar belakang, pemilihan tipe *box girder*, perumusan, tujuan perencanaan, dan pembahasan. Peraturan yang digunakan dalam perencanaan ini adalah pembebanan untuk jembatan SNI 1725:2016, perencanaan terhadap beban gempa SNI 2833-2016, dan SNI 7833:2012, untuk analisa struktur menggunakan program Microsoft Excel dan penggambaran permodelan jembatan menggunakan aplikasi Autocad 2013. Cakupan penelitian ini meliputi kontrol kehilangan gaya prategang, kontrol tegangan yang terjadi, dan kontrol lendutan. Hasil dari redesain jembatan yaitu digunakan *box girder* dengan tinggi box 2,4 m dan lebar 10,3 m, terdiri slab atas dengan tebal slab atas bagian tengah 25 cm, slab atas bagian tepi 25 cm, tebal dinding tengah 30 cm dan slab bawah dengan tebal 25 cm. Digunakan 7 tendon dibagi 3 bagian atas penampang dan 4 bagian bawah penampang, setiap tendon terdiri dari 25 *strands*.

Kata kunci: redesain, jembatan samota, *box girder*, beton prategang.

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan suatu penghubung sungai, lembah, laut, saluran irigasi, dan lainnya. Jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk menghubungkan dua bagian jalan yang terputus. Pembangunan jembatan di berbagai daerah di Indonesia, hampir sebanding dengan banyaknya jembatan yang dibangun namun tidak mampu mencapai umur rencananya, dikarenakan beberapa faktor seperti kondisi dari struktur jembatan yang cepat mengalami kerusakan yang diakibatkan pertumbuhan volume dan arus lalu lintas yang pesat dan tidak sesuai rencana. Menurut Pusat Data dan Teknologi Informasi (Pusdatin), 2017 Indonesia memiliki 18.014 unit jembatan di tahun 2016, namun sebanyak 61,59% jembatan di Indonesia berada dalam kondisi baik. Adapun material penyusun jembatan banyak menggunakan jenis beton prategang. Dasar pemilihan material beton ada keuntungannya karena ketersediaan dan proses produksi yang mudah, serta bisa dicetak menjadi banyak bentuk. Penggunaan beton prategang sebagai konstruksi dengan bentang panjang dikarenakan pada sifat yang dimiliki pada beton itu sendiri dan kekuatan untuk menahan beban yang didukungnya. Beton dibandingkan dengan bahan lain memiliki beberapa kelebihan yaitu kuat tekan tinggi, tahan api dan termasuk bahan yang awet. Sifat beton yang tidak kuat terhadap tegangan tarik yang tinggi, maka diperkuat dengan baja yang memiliki kuat tarik tinggi.

Jembatan Samota adalah jembatan yang dibangun di atas Sungai Brang Biji yang merupakan jembatan pertama dengan struktur pelengkung di Pulau Sumbawa yang berfungsi selain sebagai infrastruktur penghubung Simpang Jalan Negara (SJN) Garuda dengan Tanjung Menangis, jembatan ini juga menjadi salah satu ikon kabupaten dan menjadi tempat baru wisata di Sumbawa. Jembatan Samota adalah akronim untuk tiga kawasan di Sumbawa, yaitu Teluk Saleh, Pulau Moyo, dan Gunung Tambora. Dimana tiga kawasan tersebut menjadi daerah eksotis Sumbawa.

Jembatan Samota merupakan jembatan yang dibangun pada tahun 2015 dan mulai beroperasi pada awal tahun 2018 yang memiliki panjang 80 m dan lebar 14 m. Jembatan ini terbuat dari struktur pelengkung sebagai penopang utama dari struktur jembatan. Pada penelitian ini, bangunan atas jembatan samota akan direncanakan ulang menggunakan beton prategang tipe box girder dengan panjang 80 m dan lebar 8 m. Tipe prategang ini dipilih karena dapat memikul beban lentur yang lebih besar, dan tahan terhadap gaya geser.

2. LANDASAN TEORI

Prinsip dasar prategang

Beton merupakan material yang kuat dalam menahan gaya tekan, namun lemah dalam menahan gaya tarik. Kemampuan menahan tarik beton bervariasi yaitu antara 8-14% dari kemampuan menahan tekan beton, hal ini menyebabkan terjadinya retak akibat lentur (*flexural crack*) pada saat awal pembebanan. Untuk meminimalisir terjadinya retak tersebut, gaya konsentris atau eksentris diberikan pada arah longitudinal elemen struktur. Gaya ini mencegah perkembangnya retak dengan cara mengeliminasi atau sangat mengurangi tegangan tarik dibagian tumpuan dan kondisi kritis pada kondisi beban kerja, sehingga dapat meningkatkan kapasitas lentur, geser dan torsional penampang tersebut.

Gaya prategang

Gaya prategang dipengaruhi oleh momen total yang terjadi. Gaya prategang yang disalurkan harus memenuhi kontrol batas pada saat kritis. Persamaan berikut menjelaskan hubungan antara momen total dengan gaya prategang (Lin, 2000) disajikan dengan persamaan 2.1.

$$F = T = \frac{M_T}{0,6h} \quad (2.1)$$

dimana,

M_T : Momen total
 H : Tinggi balok

Sistem Prategang

Pemberian gaya prategang pada beton akan memberikan tegangan tekan pada penampang. Tegangan ini akan menahan beban luar yang bekerja pada penampang, pemberian gaya prategang dapat dilakukan sebelum atau sesudah beton dicor. Pemberian gaya prategang yang dilakukan sebelum pengecoran disebut sistem pratarik (*pre-tension*), sedangkan pemberian gaya prategang yang dilakukan sesudah pengecoran disebut sistem pascatarik (*post-tension*).

1. Pra Tarik (*pre-tension method*)

Pada sistem pratarik, tendon pertama-tama ditarik dan diangkur pada abutmen tetap. Beban dicor pada cetakan yang sudah disediakan dengan melingkupi tendon yang sudah ditarik. Jika kekuatan beton sudah mencapai yang disyaratkan maka tendon dipotong atau angkurnya dilepas. Pada saat baja yang ditarik berusaha untuk berkontribusi maka beton akan tertekan.

2. Pasca Tarik (*post-tension method*)

Pada sistem pascatarik dengan cetakan yang sudah disediakan beton dicor disekeliling duct. Baja tendon berada didalam selongkong selama pengecoran, jika beton sudah mencapai kekuatan tertentu tendon ditarik. Tendon bisa ditarik di dua sisi dan diangkur secara bersamaan maka beton menjadi tertekan selama pengangkutan.

Kehilangan gaya prategang

Kehilangan gaya prategang dapat disebabkan oleh beberapa faktor sebagai berikut.

a. Pemendekan elastis beton (*ES*)

Pada sistem ini penarikan *post-tension* dengan jumlah kabel banyak, pemendekan elastis pada beton terjadi pada tendon yang pertama kali *stressing*, dan nilai minimum pada tendon yang terakhir kali *stressing*. Besarnya pemendekan elastis pada tendon dapat dihitung dengan menggunakan persamaan persamaan 2.2 berikut.

$$\Delta f_{pES} = \sum_{j=1}^n \Delta f_{pES} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan :

N : Jumlah tendon atau jumlah pasang tendon yang ditarik secara sekuensial
 J : Menunjukkan nomor operasi pendongkrakan

b. Slip angkur (*A*)

Besar kehilangan gaya prategang akibat slip ankur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3 sebagai berikut.

$$\Delta f_{pA} = \frac{\Delta A}{L} E_{ps} \quad (2.3)$$

dengan :

Δf_{pA} : Gaya prategang akibat slip

ΔA : Deformasi pengukuran

E_{ps} : Modulus elastis

L : Panjang tendon

c. Rangkak pada baja (CR)

Kehilangan rangkak terjadi hanya pada struktur yang dibebani secara terus menerus. Besarnya nilai kehilangan gaya prategang yang terjadi akibat rangkak dapat dihitung melalui persamaan (2.4) berikut.

$$C_{CR} = K_{cr} \times (E_s/E_c) \times (f_{cir} - f_{cds}) \quad (2.4)$$

dengan :

K_{cr} : 2.0 untuk komponen struktur praktik

1.6 untuk komponen struktur pasca tarik

f_{cir} : Tegangan dibeton pada level pusat berat baja segera setelah transfer

f_{cds} : Tegangan dibeton pada level pusat berat baja akibat semua beban mati tambahan yang bekerja setelah prategang diberikan

d. Susut pada beton (SH)

Nilai kehilangan gaya prategang yang hilang akibat susut pada beton dapat dihitung melalui persamaan 2.5 dan 2.6 berikut.

$$\Delta f_{Sh} = \epsilon_{SH,t} \times E_{ps} \quad (2.5)$$

dengan:

$$\epsilon_{SH,t} = \frac{t}{35+t} \epsilon_{SH,u} \quad (2.6)$$

$\epsilon_{SH,u}$: regangan susut ultimit (820.10-6mm/mm)

e. Relaksasi pada baja

Kehilangan gaya tendon akibat relaksasi dipengaruhi oleh tegangan izin baja strand. Seperti halnya dengan rangkak dan susut, tegangan pada baja menurun sejalan dengan waktu. Penurunannya menjadi semakin cepat jika ditambah lagi dengan pengaruh relaksi. Untuk mengetahui besarnya kehilangan gaya prategang akibat relaksi baja yang dipengaruhi oleh rangkak dan susut dapat digunakan persamaan 2.7 berikut.

$$\Delta f_{PR} = f'_{pi} \times \frac{\log t}{10} \times \left(\frac{f'_{pi}}{f'_{py}} - 0,55 \right) \quad (2.7)$$

f. Friksi (F)

Kehilangan prategang akibat friksi antara tendon dan selongsong sekitarnya dapat dihitung dengan persamaan 2.8 berikut.

$$\Delta f_{PF} = f'_{pi} \times (\mu \alpha + KL) \quad (2.8)$$

Dengan

Δf_{PF} : Kehilangan tegangan akibat kabel f'_{pi}

f'_{pi} : Tegangan awal tendon

μ : Koefisien kelengkungan

α : Perubahan sudut total dari profil layout kabel dalam radian dari titik jacking

K : Koefisien wobble

L : Panjang baja prategang diukur dari titik jacking

g. Prategang total

$$\Delta f_{PT} = \Delta f_{pA} + \Delta f_{pF} + \Delta f_{pES} + \Delta f_{pPR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pSH} \quad (2.9)$$

Dengan:

Δf_{PT} : Kehilangan prategang total

Δf_{pA} : Kehilangan prategang akibat slip ankur

Δf_{pF} : Kehilangan prategang akibat friksi/gesekan

Δf_{pES} : Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton

Δf_{pPR} : Kehilangan prategang akibat relaks tendon

Δf_{pCR} : Kehilangan prategang akibat rangkak pada beton

Δf_{pSH} : Kehilangan prategang akibat susut pada beton

Tegangan

Tegangan lentur terjadi pada balok sebagai aksi terhadap momen lentur eksternal pada satu titik balok tersebut. Penampang melintang balok yang mendapatkan aksi dari beban sehingga menyebabkan terjadinya deformasi dengan adanya serat balok yang memanjang dan memendek. Serat balok bagian atas mengalami perpendekan dan serat balok bagian bawah mengalami perpanjangan, serat yang mengalami perpanjangan maksimum dan perpendekan maksimum terjadi pada serat tepi penampang melintang. Dengan demikian serat yang tidak mengalami perpanjangan dan perpendekan yang sering disebut sebagai sumbu netral balok.

Lendutan

Menurut Nawy (2010) lendutan atau sering disebut defleksi, lendutan disebabkan karena bagian balok diberi beban. Lendutan bergantung pada beban (w) dan panjang bentang balok (L) dan berbanding terbalik dengan kekakuan balok. Kekakuan didasarkan pada jenis material yang digunakan yaitu modulus elastisitas (E) dan besaran penampang melintang yaitu momen inersia (I). Defleksi merupakan fungsi dari bentang panjang, perletakan, atau tumpuan, jenis pembebanan dan kekakuan lentur EL dari elemen. Persamaan umum defleksi maksimum menurut (Nawy, 2010) dapat dihitung dengan persamaan 2.10 berikut.

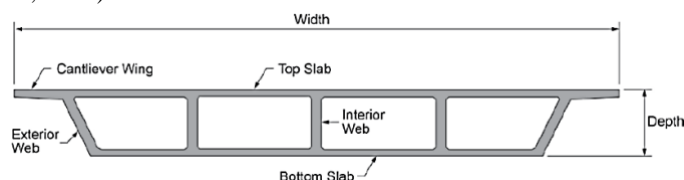
$$\Delta_{max} = K \frac{WI_n^3}{48EI_c} \quad (2.10)$$

dimana :

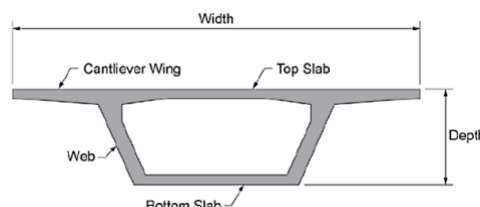
- W : Beban total pada bentang
- I_n : Panjang bentang bersih
- E : Modulus beton
- I_c : Momen inersia penampang
- K : Faktor derajat kekakuan tumpuan

Box girder

Jembatan gelagar kotak (*box girder*) tersusun dari gelagar longitudinal dengan slab di atas dan di bawah yang berbentuk rongga (*hollow*) atau gelagar kotak. Tipe gelagar ini digunakan untuk jembatan bentang – bentang panjang. Bentang sederhana sepanjang 40 ft (± 12 m) menggunakan tipe ini, tetapi biasanya bentang gelagar kotak lebih ekonomis antara 60-100 ft ($\pm 18 - 30$ m) dan biasanya didesain sebagai struktur menerus di atas pilar. Gelagar kotak beton prategang dalam desain biasanya lebih menguntungkan untuk bentang menerus dengan panjang bentang ± 300 ft (± 100 m). keutamaan gelagar kotak adalah pada tahanan terhadap beban torsi (Supriyadi dan Muntohar, 2007).



Gambar 1. Bentuk Penampang melintang single-cell box girder



Gambar 2. Bentuk Penampang melintang single-cell box girder

Box girder bridge adalah jembatan dengan struktur berupa *box* / kotak yang berlubang. Dibandingkan dengan balok I, *box girder* memiliki keunggulan yaitu:

1. Lebih kuat menahan torsi
2. Dimensi *box* yang lebih besar dibuat, karena dimensi sayap yang lebih lebar dapat menahan berat sendiri lebih besar
3. Semua permukaan dari penampang terlihat, sehingga memudahkan dalam pengecekan
4. Dapat digunakan untuk bentang yang panjang

5. Dimensi badan box dapat dikurangi sesuai dengan penampang yang biasa digunakan. Hal tersebut berdampak pada penghematan pada kebutuhan material beton dan struktur lebih efisien
6. Tidak memerlukan adanya balok melintang pada balok
7. Mengurangi berat struktur, akan menghasilkan penghemat pada biaya total.

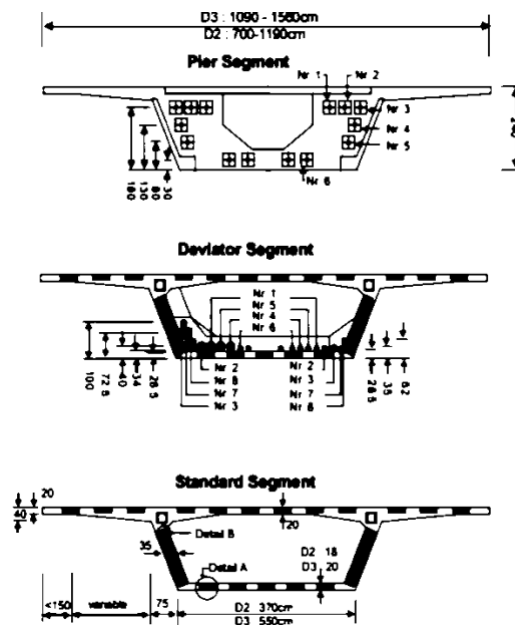
Precast segmental box girder

Precast segmental box girder adalah salah satu perkembangan penting dalam teknik jembatan yang tergolong baru dalam beberapa tahun terakhir. Berbeda dengan sistem konstruksi monolit, sebuah jembatan *segmental box girder* terdiri dari elemen-elemen pracetak yang diprtekan bersama-sama oleh tendon eksternal (Rombach, 2002).

a. Elemen struktur jembatan segmental *box girder*

Jembatan segmental seharusnya dibangun seperti struktual bentang tulangan untuk menghindari adanya sambungan kabel *post-tension*. Sehubungan dengan adanya eksternal *post-tension* maka diperlukan tiga macam segmen yang berbeda diantaranya (Rombach, 2002)

- o *Pier segment* : Bagian ini terletak tepat diatas abutmen
- o *Deviator segment* : Bagian ini dibutuhkan untuk pengaturan deviasi tendon
- o *Standard segment* : Dimensi standard box girder yang digunakan.



Gambar 3. Tipe segmen *box girder*

3. METODE PENELITIAN

Jembatan Samota ini merupakan jembatan yang berada di jalan bypass samota, Labuan Sumbawa, Labuan Badas, Kabupaten Sumbawa, Nusa Tenggara Barat.

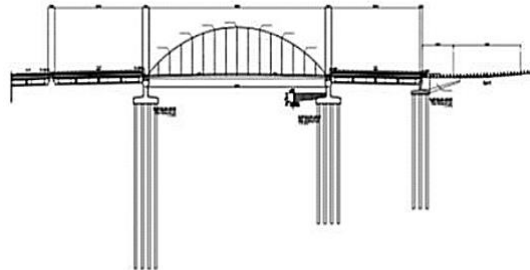
Data konstruksi jembatan

Data umum jembatan adalah sebagai berikut.

1. Bagian atas
 - Nama Jembatan : Jembatan Samota
 - Panjang Bentang : 80 m
 - Lebar Jembatan : 8 m
 - Tinggi Jembatan : 16 m
 - Material Struktur : Beton
 - Tipe Struktur : Jembatan Busur
 - Tipe Lintasan : Sungai
 - Kelas Jembatan : Kelas A
 - Jumlah Jalur/Lajur : 2 Jalur / 4 Lajur
 - Lebar trotoar : 1,15 m

- Tebal plat lantai : 25 cm
- 2. Bagian Bawah
- Pondasi : Pondasi Dalam
- Jenis : Bored Pile

Adapun gambar existing dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini.

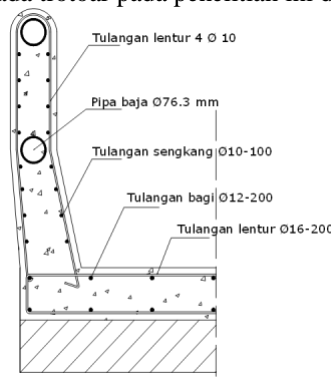


Gambar 4. Potongan jembatan eksisting

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan tiang sandaran, kerb dan trotoar

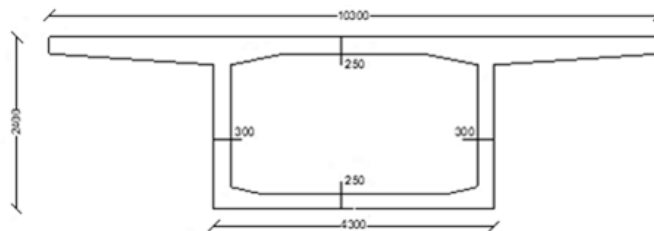
Tiang sandaraan terbuat dari beton ataupun baja yang dikombinasikan dengan pipa besi, tiang sandaran pada setiap tepi trotoar harus diperhitungkan agar dapat menahan beban horizontal sebesar 100 kg/m yang bekerja pada tinggi 90 cm diatas lantai trotoar. Dimensi dan penulangan tiang sandaran ditentukan berdasarkan analisis kebutuhan material berdasarkan besarnya beban yang bekerja, sehingga dimensi serta tulangan yang digunakan pada tiang sandaran hingga tulangan pada trotoar pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Detail tulangan tiang sandaran

Perencanaan balok prategang bentang 40 m

Dimensi penampang *box girder* yang digunakan berdasarkan Bridge product oleh WIKA BETON ditampilkan pada Gambar 6



Gambar 6. Bentuk dan dimensi box girder

Besarnya momen dan gaya geser yang terjadi pada penampang *box girder* akibat gaya dan beban dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi momen dan gaya geser maksimum

No	Jenis beban	Kode Beban	Momen (kg.m)	Gaya Geser (kg)
1	Berat sendiri	<i>Bs</i>	2712000	271200

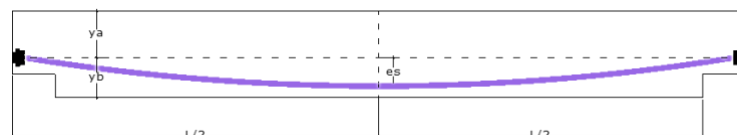
No	Jenis beban	Kode Beban	Momen (kg.m)	Gaya Geser (kg)
2	Beban mati sendiri	MS	2977698	297796.8
3	Beban mati tambahan	MA	139153	13915
4	Lajur "D"	TD	972230	82474
5	Gaya rem	TB	7478	374
6	Angin	EW1	30034	3003
7	Gempa	EQ	43784	175138

Beban kombinasi momen dan gaya geser maksimum yang terjadi pada gelagar prategang *box girder* sesuai beban kombinasi dapat dilihat pada Tabel 2.

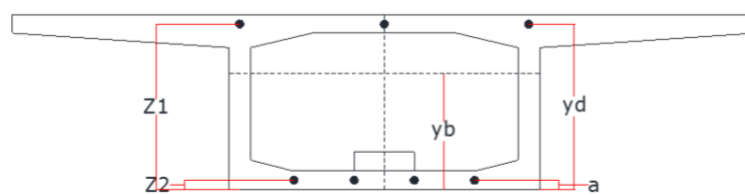
Tabel 2. Kombinasi momen dan gaya geser maksimum

Nama	Kombinasi	Momen kombinasi (kg.m)	Gaya geser kombinasi (kg)
Kombinasi 1	MS+MA+TD+TB	4096559	394560
Kombinasi 2	MS+MA+TD+TB	4096559	394560
Kombinasi 3	MS+MA	3116851	311712
Kombinasi 4	MS+MA	3116851	311712
Kombinasi 5	MS+MA+EW1	3146885	314715
Kombinasi 6	MS+MA+TD+TB+EQ	4140343	569697
Kombinasi 7	MS+MA+TD+TB	4096559	394560
Kombinasi 8	MS+MA+TD+TB+EW1	4126593	397563
Kombinasi 9	MS+MA+TD+TB	4096559	394560
Kombinasi 10	MS+MA+TD+TB	4096559	394560
Kombinasi 11	MS+MA	3116851	311712

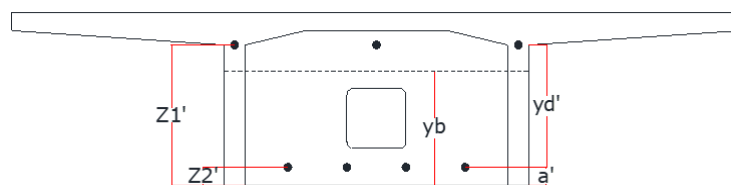
Berdasarkan analisis perhitungan dengan mempertimbangkan gaya prategang saat *jacking* serta beban lain yang bekerja diperoleh jumlah tendon yang digunakan adalah 7 tendon (175 strands) dengan *duct* diameter 85 mm dan tebal dinding 2 mm. posisi tendon pada gelagar *box girder* dapat dilihat pada Gambar 7 hingga Gambar 9.



Gambar 7. Layout posisi tendon



Gambar 8. Posisi tendon di tengah bentang



Gambar 9. Posisi tendon di tumpuan

Keterangan:

$$yd' = 1,645 \text{ m}$$

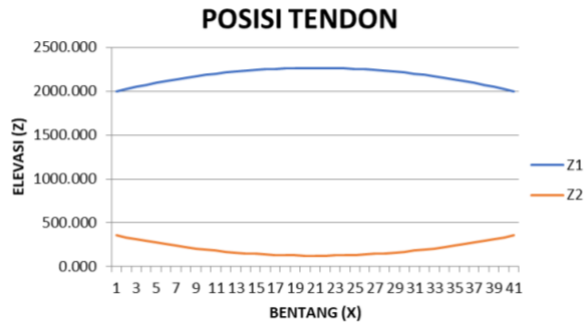
$$a' = 0,355 \text{ m}$$

jarak masing-masing baris tendon terhadap alas :

$$z_1' = 2,00 \text{ m}$$

$$z_2' = 0,355 \text{ m}$$

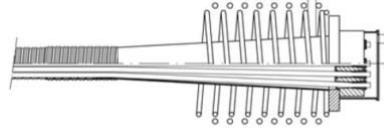
Posisi masing-masing tendon ditampilkan pada Gambar 10.



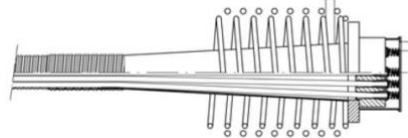
Gambar 10. Daerah lintasan tendon

Angkur

Pada analisis redesain ini akan digunakan angkur hidup (Gambar 11) dengan tipe BBR VT CONA CMI SP 1506 (SA) dan angkur mati (Gambar 12) dengan tipe BBR VT CONA CMI SP 1506 (FA).



Gambar 11. Angkur tipe SA (Annex 1)



Gambar 12. Angkur tipe FA (Annex 1)

Kehilangan Gaya Prategang Bentang

A. Kehilangan prategang akibat gesekan angkur

Kehilangan prategang akibat gesekan angkur dalam bentuk gaya :

$$P_x = \Delta f_p A \times \text{luas 7 tendon} \\ = 503,939 \text{ kN}$$

Kehilangan prategang akibat gesekan angkur adalah 1,355%

B. Kehilangan prategang akibat gesekan kabel

Kehilangan prategang akibat gesekan kabel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$f_{pi} = \frac{P_j}{\text{Luas 7 tendon}} \\ = 2125,980 \text{ MPa}$$

$$\text{Sudut pusat } \alpha = \frac{8y}{x} = 0,268 \text{ rad}$$

Jadi kehilangan prategang akibat gesekan kabel adalah:

$$\Delta f_p F = f_{pi} (\mu \alpha + KL) = 267,070 \text{ MPa}$$

$$\text{Luas 7 tendon} = 17500 \text{ mm}^2$$

Kehilangan prategang akibat gesekan angkur dalam bentuk gaya:

$$P_x = \Delta f_{pf} \times \text{luas 7 tendon} \\ = 4672,681 \text{ kN}$$

Kehilangan prategang akibat gesekan angkur dalam bentuk persen adalah 12,559%

C. Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton

Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton dalam bentuk gaya:

$$P_x = \Delta f_{PES} \times \text{luas 7 tendon} \\ = 119,035 \text{ kN}$$

Kehilangan prategang akibat gesekan angkur dalam bentuk persen adalah 0,319%

D. Kehilangan prategang akibat rangkai pada beton (CR)

Kehilangan prategang akibat rangkai pada beton dalam bentuk gaya:

$$P_x = \Delta f_{p_{cr}} \times \text{Luas 7 tendon} \\ = -1611,225 \text{ kN}$$

Kehilangan prategang akibat gesekan angkur dalam bentuk persen adalah -4,331%

E. Kehilangan prategang akibat susut pada beton (SH)

Kehilangan prategang akibat susut pada beton dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$\Delta f_{p_{SH}} = \epsilon_{SH,t} \times E_{ps}$$

Dengan :

$$\epsilon_{SH,t} = \frac{t}{35+t} \times \epsilon_{SH,u}$$

t = waktu dalam hari setelah susut mulai ditinjau

diasumsikan , t = 7 hari setelah perawatan basah

$$\epsilon_{SH,u} = 820 \times 10^{-6}$$

$$E_p = 195000 \text{ Mpa}$$

Sehingga,

$$\epsilon_{SH,t} = \frac{t}{35+t} \times \epsilon_{SH,u} = \frac{7}{35+7} \times 820 \times 10^{-6} = 0,000137 \text{ mm/mm}$$

$$\Delta f_{p_{SH}} = \epsilon_{SH,t} \times E_{ps} = 0,000137 \times 195000 = 26,65 \text{ Mpa}$$

$$\text{Luas 7 tendon} = 17500 \text{ mm}^2$$

Kehilangan prategang akibat rangkai pada tendon dalam bentuk gaya :

$$P_x = \Delta f_{p_{sh}} \times \text{Luas 7 tendon} \\ = 26,65 \times 17500 \\ = 466375 \text{ N} = 466,375 \text{ kN}$$

Kehilangan prategang akibat gesekan angkur dalam bentuk persen

$$\frac{P_x}{P_j} \times 100\% = \frac{466,375}{37204,65} \times 100\% = 1,253\%$$

F. Kehilangan prategang akibat relaksasi baja (R)

Kehilangan prategang akibat rangkai pada tendon dalam bentuk gaya :

$$P_x = \Delta f_{pR} \times \text{Luas 7 tendon} \\ = 630,669 \times 17500 \\ = 11036707,5 \text{ N} = 1103,671 \text{ kN}$$

Kehilangan prategang akibat gesekan angkur dalam bentuk persen adalah 2,966%

G. Total kehilangan prategang (Δf_{PT})

Dalam bentuk gaya (kN) Total kehilangan prategang adalah

$$\Delta f_{PT} = 503,939 + 4672,681 + 119,035 + 1103,671 + (-1611,225) + 446,375 \\ = 5254,476 \text{ kN}$$

Tegangan yang Terjadi Pada Box Girder

A. Tegangan yang terjadi akibat gaya prestress

Tegangan yang terjadi akibat gaya prategang adalah sebagai berikut :

- Tegangan serat atas

$$f_a = - (P/A) + (P_t \cdot e_s/W_a) - (M_{bs}/W_a) \\ = -4,768 \text{ MPa} \leq \text{teg. Ijin Tekan (1,440 MPa)} \quad \text{OK}$$

- Tegangan serat bawah

$$f_b = - (P/A) + (P_t \cdot e_s/W_b) - (M_{bs}/W_b) \\ = -0,060 \text{ MPa} \leq \text{teg. Ijin Tekan (19,92 MPa)} \quad \text{OK}$$

b) Keadaan setelah *loss of prestress*

Tegangan serat atas

$$f_a = - (P_{eff}/A) + (P_{eff} \cdot e_s/W_a) - (M_{bs}/W_a) \\ = -3,129 \text{ MPa} \leq \text{teg. Ijin Tekan (1,440 MPa)} \quad \text{OK}$$

Tegangan serat bawah

$$f_b = - (P_{eff}/A) + (P_{eff} \cdot e_s/W_b) - (M_{bs}/W_b) \\ = -1,594 \text{ MPa} \leq \text{teg. Ijin Tekan (19,92 MPa)} \quad \text{OK}$$

B. Tegangan yang terjadi akibat beban pada box girder

Tegangan yang terjadi pada gelagar *box girder* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi tegangan yang terjadi akibat beban

No	Gaya/Beban	Tegangan di serat atas balok	Tegangan di serat bawah balok
		f_a (MPa)	f_b (MPa)
1	Beban mati sendiri (<i>MS</i>)	-0,272	0,539
2	Mati tambahan (<i>MA</i>)	-0,254	0,504
3	Susut dan rangkai (<i>SH</i>)	-5,173	-10,837
4	Gaya prestress (<i>PR</i>)	-4,318	-46,377
5	Lajur "D" (<i>TD</i>)	-0,178	0,352
6	Rem (<i>TB</i>)	-0,014	0,027
7	Temperatur (<i>EUn</i>)	-7,498	-3,736
8	Angin (<i>Ewl</i>)	-0,549	1,088
9	Gempa (<i>EQ</i>)	-0,081	0,158

Kombinasi tegangan yang terjadi pada gelagar *box girder* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi kombinasi tegangan

Kombinasi	Beban									f_a	Kontrol	f_b	Kontrol
	MS	MA	SH	PR	TD	TB	EUn	Ewl	EQ	(Mpa)	< 18,675 Mpa	(Mpa)	< 3,221 Mpa
Kuat I	√	√	√	√	√	√	√			- 17.707	OK	- 59.528	OK
Kuat II	√	√	√	√	√	√	√			- 17.707	OK	- 59.528	OK
Kuat III	√	√	√	√			√			- 17.515	OK	- 59.907	OK
Kuat IV	√	√	√	√			√			- 17.515	OK	- 59.907	OK
Kuat V	√	√	√	√			√	√	√	- 18.064	OK	- 58.819	OK
Ekstrem I	√	√	√	√	√	√				- 10.276	OK	- 55.661	OK
Ekstrem II	√	√	√	√	√	√				- 10.209	OK	- 55.792	OK
Layan I	√	√	√	√	√	√	√	√		-17.748	OK	-58.440	OK
Layan II	√	√	√	√	√	√	√			- 17.707	OK	- 59.528	OK
Layan III	√	√	√	√	√	√	√			- 17.707	OK	- 59.528	OK
Layan IV	√	√	√	√			√			- 17.707	OK	- 59.528	OK

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan digunakan dalam jembatan Samota dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Total kehilangan gaya prategang yang terjadi pada perencanaan jembatan yang diakibatkan oleh gesekan ankur, gesekan kabel, perpendekan elastis beton, rangkai dan susut beton, relaksi baja dalam bentuk gaya adalah 5254,476 kN dalam bentuk persen yaitu 14,122% lebih kecil dari 30% maka dapat dikatakan kehilangan gaya prategang memenuhi.
- 2) Tegangan yang terjadi pada Box girder yang diakibatkan oleh gaya prestess
 - a. Keadaan awal (saat transfer) tegangan yang terjadi pada serat atas yaitu (-4,768) MPa lebih kecil dari tegangan ijin tarik beton 1,440 MPa dan tegangan yang terjadi pada serat bawah (-0,060) MPa lebih kecil dari tegangan ijin tekan beton 19,92 MPa maka tegangan memenuhi.
 - b. Keadaan setelah loss of prestress tegangan yang terjadi pada serat atas sebesar (-3,129) MPa lebih kecil dari teg. Ijin tarik beton 1,440 MPa dan tegangan yang terjadi pada serat bawah sebesar (-1,594) MPa lebih kecil dari teg. Ijin tekan beton 19,92 MPa maka tegangan memenuhi.

6. SARAN

- 1) Dalam merencanakan bentuk penampang segmen perlu diperhatikan dimensi slab dan web, karena akan sangat berpengaruh terhadap beban yang bekerja pada tata letak tendon dan kapasitas penampang itu sendiri.
- 2) Untuk penelitian selanjutnya meneliti lebih detail mengenai tegangan yang terjadi pada penampang akibat gaya prategang pada jembatan

7. DAFTAR PUSTAKA

- BBR. (2015). BBR VT CONA CMI SP. European Technical Assessment.
- Gunawan, R. (2002). Tabel Profil Konstruksi Baja. Yogyakarta: Kanisius
- Karramal, M. F. (2016). Perencanaan Box Girder Prategang Struktur Atas Fly Over Simpang Air Hitam Samarinda. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Lin, T. Y. (2000). Desain Struktur Beton Prategang Jilid 1 (Terjemahan). Jakarta: Binarupa Aksara Jakarta.
- Nabila, A. Z. (2017). Modifikasi perencanaan jembatan THP Kenjeran menggunakan struktur Concrete Box Girder Pratekan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nawy, E. G. (2001). Beton Prategang Suatu Pendekatan Mendasar. Jilid 1 Edisi III. Jakarta : Erlanga.
- SNI 7833:2012. (2012). Tata Cara Perancangan Beton Pracetak dan Beton Prategang untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- SNI 1725:2016. (2016). Pembebanan Untuk Jembatan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional
- Supriyadi, B., dan Muntohar, A. S. (2007). Perencanaan Jembatan. Yogyakarta: Beta Offset.
- Yudo, N. Z. (2016). Perencanaan Alternatif Struktur Jembatan Damas-Trenggalek Menggunakan Box Girder Prestressed Segmental. Doctoral dissertation. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya