

ANALISA DESAIN BETON PRATEGANG TIPE I-GIRDER PADA JEMBATAN SAMOTA

Nurul Hidayati^{1,*}, Hariyadi², Ranni
Sahlinda³

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

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Mataram,
hariyadi@unram.ac.id

³Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil,
Fakultas Teknik, Universitas
Muhammadiyah Mataram,
rannibehel@gmail.com

ABSTRAK

Jembatan Samota adalah jembatan yang melintasi Sungai Brang Biji, Kabupaten Sumbawa, Nusa Tenggara Barat. Jembatan Samota akan direncanakan ulang menggunakan beton prategang dengan jenis PC I Girder dengan bentang 80 m dan lebar 11 m. Standar analisis jembatan yang digunakan adalah standar pembebanan untuk jembatan (SNI 1725:2016) dan standar perencanaan jembatan terhadap beban gempa (SNI 2833:2016). Pembebanan yang dianalisa yaitu analisa beban sendiri, beban mati, beban mati tambahan, pengaruh temperatur, pengaruh susut dan rangkai, gaya rem, beban gempa, beban angin, analisa kehilangan prategang, lendutan serta momen. Kemudian, dilakukan perhitungan penulangan pada PC I-Girder sampai kepada perencanaan elastomer jembatan. Hasil dari perencanaan ulang Jembatan Samota dengan bentang 80 m (40+40) didapatkan tinggi optimum PC I-Girder yang dibutuhkan adalah 2.10 m yang terdiri dari 4 tendon 2 di kiri dan 2 di kanan dengan 12 strands pada setiap tendon.

Diameter strands 15.24 mm dan diameter duct 85 mm. Beban mati (MS) yang diterima PC- I Girder adalah 636,777.60 kg.m, beban mati tambahan (MA) yang diterima adalah 59,153.04 kg.m, 406,980 kg.m untuk beban lajur "D", 8,183.25 kg.m untuk gaya rem, 3,003.25 kg.m untuk beban angin dan 179,378.73 kg.m untuk beban gempa. Total kehilangan prategang akibat gesekan ankur, gesekan pada kabel, akibat rangkai dan susut, relaksasi dan perpendekan elastis beton adalah 2,965.79 kN dengan presentase kehilangan prategang 29.63%.

Kata Kunci : Jembatan Samota, Perencanaan Ulang, Beton Prategang, I-Girder

ABSTRACT

Samota Bridge is a bridge crossing the Brang Biji River in Sumbawa Regency, West Nusa Tenggara. Samota Bridge will be redesigned using prestressed concrete with a type of PC I Girder with a span of 80 m and a width of 11 m. The bridge analysis standards used are loading standards for bridges (SNI 1725: 2016) and bridge planning standards against earthquake loads (SNI 2833: 2016). The loading analyzed is the analysis of own load, dead load, additional dead load, temperature influence, shrinkage and creep influence, brake force, earthquake load, wind load, prestress loss analysis, deflection and moment. Then, the reinforcement calculation is carried out on the PC I-Girder to the bridge elastomer planning. The results of the redesigned of the Samota Bridge with a span of 80 m (40+40) obtained the optimum height of the PC I-Girder needed is 2.10 m consisting of 4 tendons 2 on the left and 2 on the right with 12 strands in each tendon. The strands diameter is 15.24 mm and the duct diameter is 85 mm. The dead load (MS) received by PC- I Girder is 636,777.60 kg.m, the

additional dead load (MA) received is 59,153.04 kg.m, 406,980 kg.m for "D" lane load, 8,183.25 kg.m for brake force, 3,003.25 kg.m for wind load and 179,378.73 kg.m for earthquake load. The total prestress loss due to anchor friction, friction in the cable, due to creep and shrinkage, relaxation and elastic shortening of concrete was 2,965.79 kN with a prestress loss percentage of 29.63%.

Keyword : Samota bridge, redesign, prestress concrete, I-Girger

1. PENDAHULUAN

Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai atau saluran irigasi, lembah atau melintasi jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya. Dalam perencanaan dan perancangan jembatan sebaiknya mempertimbangkan fungsi kebutuhan transportasi, persyaratan teknis dan estetika-arsitektural yang meliputi aspek lalu lintas, aspek teknis dan aspek estetika (Supriyadi dan Muntohar, 2007). Sebagai salah satu konstruksi vital, jembatan harus didesain sedemikian rupa agar mampu menerima pembebanan yang bekerja pada waktu yang ditentukan berdasarkan umur rencana (Siregar, et al., 2020).

Jembatan dapat diklasifikasikan menjadi berbagai macam jenis menurut fungsi, lokasi, bahan konstruksi yang digunakan dan tipe strukturnya. Klasifikasi jembatan menurut bahan konstruksinya terdiri dari jembatan kayu (*log bridge*), jembatan baja (*steel bridge*), jembatan beton (*concrete bridge*), jembatan beton prategang (*prestressed concrete bridge*) dan jembatan komposit (*composite bridge*) (Anonim, 2022).

Secara struktural, jembatan pelengkung merupakan jenis jembatan yang mengandalkan batang lengkung dan kabel penggantung untuk memikul beban yang terjadi. Salah satu variabel penting yang dapat mempengaruhi keseluruhan kinerja

struktur dan nilai estetis struktur adalah rasio tinggi lengkung terhadap bentang jembatan (Musthofa et al, 2018).

Desain pelengkung secara alami akan mengalihkan beban yang diterima lantai kendaraan jembatan menuju ke abutmen yang menjaga kedua sisi jembatan agar tidak bergerak ke samping (Budio, et al., 2016). Lengkungan dapat digunakan untuk mengurangi momen tekuk pada struktur bentang panjang (Masagala, A. A., 2022). Pada dasarnya, lengkungan bekerja sebagai kebalikan dari kabel, sehingga lengkungan menerima bebannya berupa tekan, karena ketegarannya lengkungan harus juga menahan beberapa bengkokan dan gaya geser yang bergantung pada bagaimana lengkungan dibebani dan dibentuk. Jika lengkungan memiliki bentuk parabolik dan dibebani oleh beban vertikal yang terdistribusi merata secara horizontal, maka dari analisis kabel hanya mengikuti gaya-gaya mampatan yang akan ditahan oleh lengkungan (Jaya, 2018).

Infrastruktur jembatan terus berkembang seiring dengan struktur jembatan yang semakin berkembang dan bentang jembatan yang semakin panjang. Konstruksi jembatan yang paling banyak digunakan sekarang adalah jembatan dengan jenis konstruksi beton prategang (Hidayati, et al., 2023).

Beban yang bekerja pada struktur jembatan akan menyebabkan gaya-gaya dalam pada struktur. Salah satu gaya dalam yang patut diperhitungkan adalah tegangan (Apriani, et al., 2020). Tegangan pada jembatan pelengkung terbesar terjadi di gelagar dengan displacement melebihi displacement maksimum yang diizinkan (Rizqi, 2017). Selain itu, prinsip kerja dari beton prategang yaitu tendon ditegangkan diawal dengan cara ditarik untuk memberikan tegangan tekan pada penampang beton sebelum adanya beban yang bekerja pada struktur (Jauhari & Pertiwi, 2021).

Studi kasus pada penelitian ini akan meninjau Jembatan Samota dimana jembatan ini memiliki desain pelengkung yang merupakan jembatan pelengkung pertama di Pulau Sumbawa, dibangun pada tahun 2015 serta aktif digunakan pada tahun 2018. Jembatan Samota akan direncanakan ulang (*redesign*) menggunakan beton prategang dengan jenis balok girder yang digunakan adalah PC I Girder dengan bentang 80 m dan lebar 11 m untuk mengetahui kemampuan menahan beban-beban yang bekerja pada jembatan, sehingga didapat suatu struktur jembatan yang aman.

1.1 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah “berapa dimensi tiap elemen struktur PC I-Girder yang paling optimum yang dapat digunakan untuk mendesain ulang jembatan Samota menggunakan beton prategang”.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan penelitian ini adalah “Mengetahui dimensi elemen struktur PC I-Girder yang paling optimum yang dapat digunakan untuk mendesain ulang jembatan Samota menggunakan beton prategang”

1.3 Urgensi Penelitian

Secara teoritis nilai urgensi penelitian ini adalah secara spesifik sebagai bahan acuan untuk penelitian berikutnya, secara umum dapat menjadi acuan oleh para pelaku di dunia konstruksi khususnya dalam melakukan desain ulang jembatan menggunakan material beton prategang.

Secara praktis nilai urgensi penelitian ini adalah memberikan alternatif desain material dengan beton prategang yang memiliki banyak tipe, salah satunya adalah tipe PC I-Girder.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan perencanaan ulang struktur atas Jembatan Samota dimulai dengan

mengumpulkan data terkait berupa data umum jembatan, menentukan jenis, mutu, dimensi dan material struktur atas jembatan, menentukan desain *layout* jembatan, perencanaan struktur atas jembatan yang meliputi perhitungan pembebanan yang bekerja pada jembatan berdasarkan SNI 1725:2016, kemudian membuat gambar detail struktur menggunakan aplikasi AutoCad 2007.

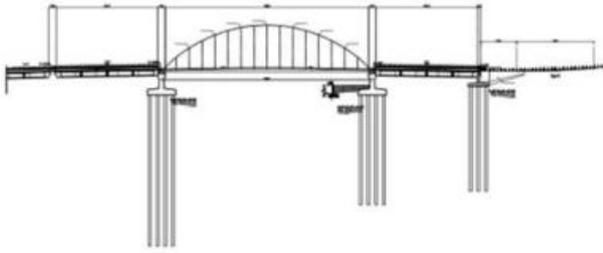
Jembatan yang menjadi subyek penelitian ini berlokasi di Jalan *bypass* Samota, Labuan Sumbawa, Labuhan Badas, Kabupaten Sumbawa, Nusa Tenggara Barat, Lokasi studi kasus dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1.
Lokasi Jembatan
(*google earth*, 2024)

Analisis data dilakukan setelah semua data perencanaan yang diperlukan terkumpul, selanjutnya adalah dilakukan identifikasi agar mendapat pemecahan masalah yang efektif. Pada penelitian ini hanya membahas pendimensian PC I-Girder pada Jembatan Samota dan perencanaan bagian atas jembatan sebagai berikut.

1. Perencanaan tiang sandaran pada jembatan
2. Perencanaan trotoar pada jembatan
3. Perencanaan kerb pada jembatan
4. Perencanaan pelat lantai pada jembatan
5. Perencanaan PC I-Girder pada jembatan



Gambar 2.
Layout Struktur Jembatan

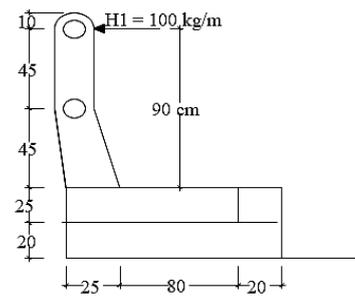
Layout struktur jembatan ditunjukkan pada Gambar 2. Adapun data umum jembatan adalah sebagai berikut:

1. Bagian Atas
 - Nama Jembatan = Jembatan Samota
 - Panjang Bentang = 80 m
 - Lebar Jembatan = 11 m
 - Material Struktur = Beton
 - Tipe Struktur = Jembatan Busur
 - Tipe Lintasan = Sungai Brang Biji, Labuan Sumbawa, Kabupaten Sumbawa
 - Kelas Jembatan = Kelas A
 - Jumlah Jalur/Lajur = 2 Jalur/4 Lajur
 - Lebar Trotoar = 1.0 m
 - Tebal Plat Lantai = 25 cm
 - Angkur hidup = BBR VT CONA CMI SP 1506 tipe SA (Annex 1)
2. Bagian Bawah
 - Pondasi = pondasi dalam
 - Jenis pondasi = *bored pile*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

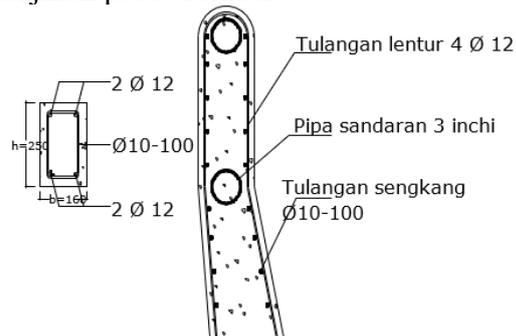
3.1 Perhitungan Struktur Atas Jembatan Perencanaan tiang sandaran

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. Adapun desain tiang sandaran yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3.
Desain Tiang Sandaran

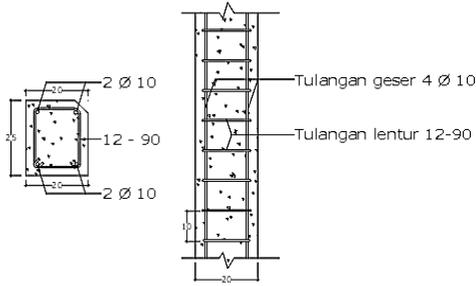
Berdasarkan hasil perhitungan, dimensi baja $\varnothing 76.3$ mm (3 inch) dengan mutu BJ37, dapat digunakan untuk pipa sandaran pada perencanaan jembatan ini. Tiang sandaran menggunakan mutu beton 24.90 MPa dan baja f_y 240 MPa dengan tulangan lentur $2\varnothing 12$ dan tulangan sengkang $\varnothing 10 - 100$ mm. Detail tulangan tiang sandaran disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4.
Desain Kebutuhan Tulangan Tiang Sandaran

Perencanaan kerb

Pada bagian tepi trotoar dipasang kerb setinggi minimal 0.25 m direncanakan untuk dapat menahan beban horizontal yang terbagi rata 500 kg/m yang tingginya 25 cm di atas permukaan lantai kendaraan. Berdasarkan hasil perhitungan kontrol gaya yang bekerja, digunakan tulangan geser praktis $2\varnothing 10$. Jadi, menggunakan mutu beton (f'_c) 24.90 MPa dan butu baja (f_y) 240 MPa dengan tulangan lentur $\varnothing 12-90$ mm dengan sengkang $2\varnothing 10$. Detail tulangan kerb disajikan pada Gambar 5.

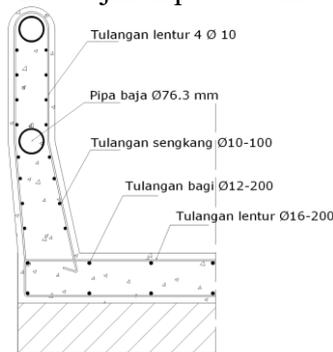


Gambar 5.

Desain Kebutuhan Tulangan Kerb

Perencanaan trotoar

Menurut SNI 1725:2016 semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa. Berdasarkan hasil perhitungan, slab lantai trotoar menggunakan mutu beton (f'_c) 24.90 MPa dan mutu baja (f_y) 240 MPa dengan tulangan lentur D16 – 250 mm dan tulangan bagi 12 – 200 mm. Detail tulangan slab lantai trotoar disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6.

Desain Kebutuhan Tulangan Trotoar

Perencanaan pelat lantai jembatan

Berdasarkan hitungan kontrol gaya yang bekerja, maka digunakan mutu beton pelat lantai (f'_c) 24.90 MPa dan mutu baja (f_y) 400 MPa dengan tulangan pelat arah x (melintang) D16 – 150 mm dan tulangan pelat arah y (memanjang) D16 – 175 mm.

Perencanaan deck slab precast

Deck slab precast yang digunakan menggunakan mutu beton (f'_c) 24.90 MPa dan mutu baja (f_y) 320 MPa dengan

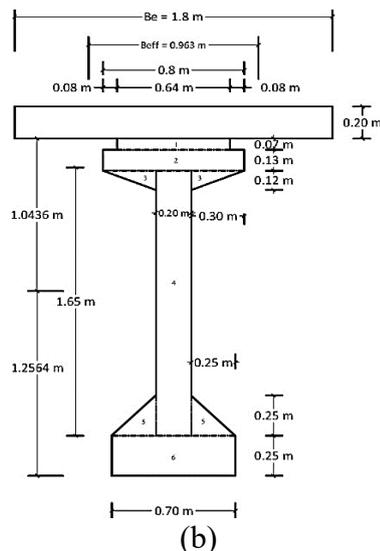
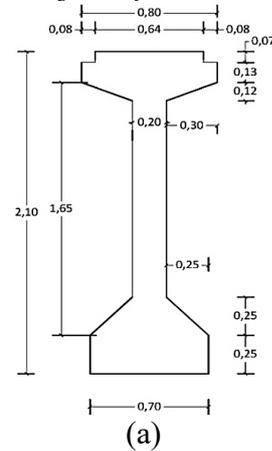
tulangan lentur D10-140 mm dan tulangan bagi D8-140 mm.

3.2 Perencanaan diafragma

Diafragma menggunakan mutu beton (f'_c) 24.90 MPa dan mutu baja (f_y) 400 MPa dengan tulangan lentur 2D19 dan tulangan bagi 3Ø8 serta sengkang Ø6-150 mm.

3.3 Perencanaan balok prategang

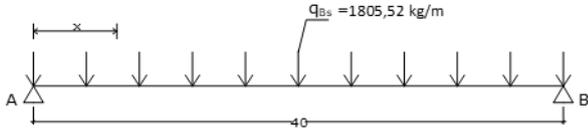
Dimensi penampang PC-I Girder yang digunakan berdasar pada PT Waskita Beton Precast Tbk dengan tipe PC-I Girder Span 40 m, H 210 Tipe 2. Bentuk dan dimensi PCI Girder disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7.

Dimensi (a) PC-I H210, (b) Penampang Gelagar Komposit

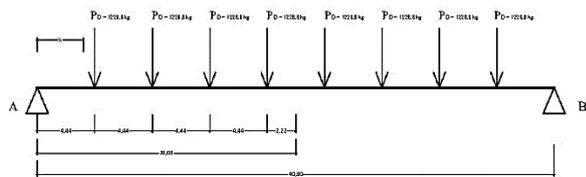
Perencanaan yang akan dilakukan adalah dengan memodelkan balok diafragma sebagai beban terpusat dan gelagar akan dimodelkan sebagai beban merata dengan ilustrasi gambar seperti yang disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8.

Pemodelan Beban Gelagar Sebagai Beban Merata

Berdasarkan pembebanan tersebut maka gaya dan momen yang terjadi dihitung dan diperoleh momen maksimum akibat berat sendiri balok yaitu 361,104 kgm dan gaya geser maksimum akibat berat sendiri balok adalah 36,110.4 kg.



Gambar 9.

Pemodelan Beban Balok Diafragma Sebagai Beban Terpusat

Perhitungan momen dan gaya geser akibat beban balok diafragma bentang 40 m diperoleh nilai momen maksimum akibat berat diafragma adalah 63,897.6 kgm dan gaya geser maksimum akibat berat diafragma adalah 4,915 kg.

3.4 Perhitungan beban

Perhitungan beban yang digunakan sebagai input data pada analisis jembatan ini berdasar pada standar yang berlaku (SNI, 2017).

Kombinasi beban

Kombinasi 1 : $MS+MA+TD+TB$

Kombinasi 2 : $MS+MA+TD+TB$

Kombinasi 3 : $MS+MA$

Kombinasi 4 : $MS+MA$

Kombinasi 5 : $MS+MA+EWI$

Kombinasi 6 : $MS+MA+TD+TB+EQ$

Kombinasi 7 : $MS+MA+TD+TB$

Kombinasi 8 : $MS+MA+TD+TB+EWI$

Kombinasi 9 : $MS+MA+TD+TB$

Kombinasi 10 : $MS+MA+TD+TB$

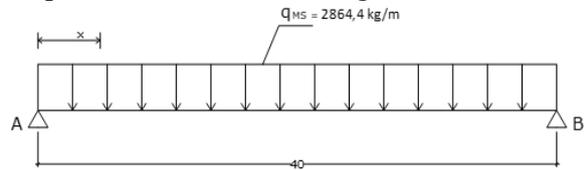
Kombinasi 11 : $MS+MA$

3.4.1 Berat sendiri (BS)

Adapun nilai momen maksimum dan gaya geser maksimum akibat berat sendiri masing-masing adalah 425,001.6 kgm dan 41,025.6 kg.

3.4.2 Beban mati sendiri (MS)

Beban mati sendiri terdiri dari beban merata akibat berat sendiri gelagar, *deck slab precast* dan berat pelat lantai beban terpusat akibat berat diafragma.



Gambar 10.

Pemodelan Beban Mati Sendiri Sebagai Beban Merata

Perhitungan momen dan gaya geser akibat beban mati sendiri (beban merata) bentang 40 m diperoleh momen maksimum akibat berat sendiri balok yaitu 572.880 kgm dan gaya geser maksimum akibat berat sendiri balok adalah 57.288 kg.

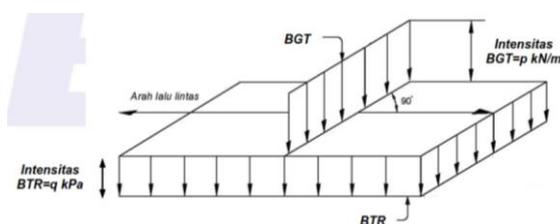
3.4.3 Beban mati tambahan (MA)

Beban mati tambahan adalah seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada gelagar jembatan yang merupakan elemen non-struktur dan mungkin besarnya berubah selama umur jembatan, girder jembatan direncanakan mampu memikul beban mati tambahan berupa aspal beton (50 mm), genangan air hujan setinggi 50 mm, dan pipa drainase ukuran 4". Berat total beban mati tambahan adalah 295,765 kg/m. Besar momen dan gaya geser yang terjadi akibat beban mati tambahan pada penampang I Girder diperoleh momen dan

gaya geser akibat beban mati tambahan masing-masing adalah 59,153.04 kgm dan 5,915.30 kg.

3.4.4 Beban lajur "D" (TD)

Beban terbagi rata mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang bentang total yang dibebani L , sedangkan beban garis terpusat dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan besar intensitas p 49.0 kN/m. Adapun beban lajur "D" dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Pemodelan Beban Lajur "D"

Perhitungan nilai momen dan gaya geser yang terjadi akibat beban lajur "D" pada penampang I Girder diperoleh nilai momen dan gaya geser akibat beban lajur "D" bentang 40 m masing-masing adalah 406,980 kgm dan 34,524 kg.

3.4.5 Gaya rem (TB)

Gaya rem harus diambil yang terbesar dari 25 % dari berat gandar truk desain atau 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR. Gaya ini harus diasumsikan bekerja secara horizontal pada jarak 1,800 mm diatas permukaan jalan. Perhitungan nilai momen dan gaya geser yang terjadi akibat gaya rem diperoleh besarnya nilai momen maksimum dan gaya geser maksimum akibat gaya rem masing-masing adalah 8,138.25 kgm dan 406.91 kg.

3.4.6 Gaya angin (EW₁)

Jembatan harus direncanakan memikul gaya akibat tekanan angin yang disebabkan

pada kendaraan sebesar 1.46 N/mm, bekerja pada ketinggian (h) 1.8 meter di atas permukaan jalan dan jarak as roda kendaraan (x) 1.75 m. Besar momen dan gaya geser yang terjadi akibat beban geser akibat beban angin pada penampang I Girder diperoleh besarnya nilai momen dan gaya geser akibat beban angin masing-masing adalah 30.034,28 kgm dan 3.003,43 kg.

3.4.7 Gaya gempa (EQ)

Lokasi Jembatan Samota ini berada pada koordinat longitude 117.4102167 dan latitude -8.468391. Besar momen dan gaya geser yang terjadi akibat beban geser akibat beban gempa. Besarnya momen maksimum dan gaya geser maksimum akibat beban gempa masing-masing adalah 179.378,73 kgm dan 17.937,87 kg.

3.4.8 Rekapitulasi nilai momen dan gaya geser maksimum

Rekapitulasi nilai momen dan gaya geser maksimum bentang 40 m penampang I Girder disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1.

Rekapitulasi Momen Maksimum Dan Gaya Geser Maksimum

Jenis beban	Kode beban	Momen (kg.m)	Gaya geser (kg)
Berat sendiri	<i>Bs</i>	425,001.60	41,025.60
Beban mati sendiri	<i>MS</i>	636,777.60	62,203.20
Beban mati tambahan	<i>MA</i>	59,153.04	5,915.30
Lajur "D"	<i>TD</i>	406,980	34,524
Gaya rem	<i>TB</i>	8,138.25	406.91
Angin	<i>EW₁</i>	30,034.28	3,003.43
Gempa	<i>EQ</i>	179,378.73	17,937.87

3.5 Perhitungan tendon

3.5.1 Perhitungan jumlah strands

Jumlah tendon yang diperlukan:

$$n_t = \frac{Pt}{0.85 \times 0.8 \times Pb1} \approx 4 \text{ tendon}$$

Jumlah kawat untai (*strands cable*) yang diperlukan

$$n_s = \frac{Pt}{0.85 \times 0.8 \times Pbs} = 45 \text{ strands}$$

Tiap tendon terdiri dari 12 *strands*

Jumlah *strands* dalam satu baris tendon

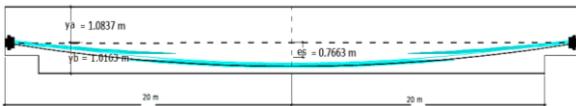
$$n_{t1} = 3 \times 12 = 36 \text{ strands}$$

$$n_{t2} = 1 \times 12 = 12 \text{ strands}$$

Total *strands* yang digunakan, $n_s = 48$ *strands*

Jumlah *strands* rencana (45) lebih besar daripada jumlah *strands* yang diperlukan (48) maka dapat dinyatakan aman.

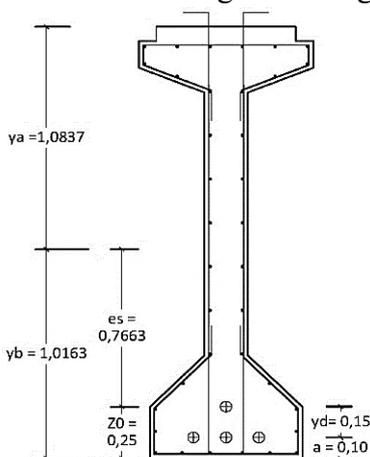
Beban satu *strands* adalah 166.065 kN dan persentase tegangan leleh yang timbul pada baja sebesar 74.94%. Gaya prategang akibat jacking sebesar 10,010.88 kN. Jumlah tendon yang digunakan adalah 4 tendon (48 *strands*) dengan *duct* diameter 85 mm dan tebal dinding 2 mm. Rencana layout tendon disajikan pada Gambar 11.



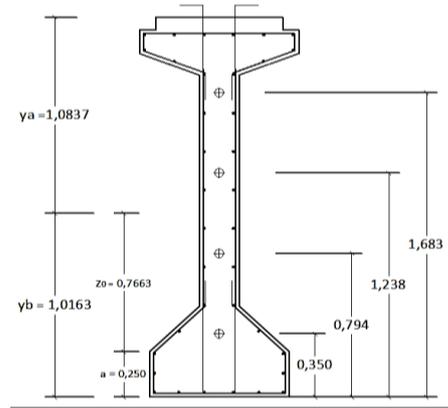
Gambar 11.
Rencana *Layout* Tendon

3.5.2 Perencanaan tata letak tendon

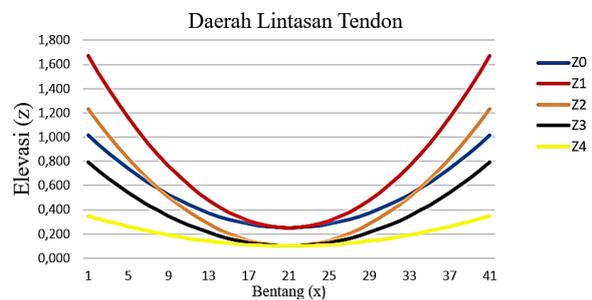
a. Posisi tendon di tengah bentang



Gambar 12.
Posisi Tendon di Tengah Bentang



Gambar 13.
Posisi Tendon di Tumpuan Bentang



Gambar 14.
Daerah Lintasan Tendon

3.6 Kehilangan gaya prategang

3.6.1 Kehilangan prategang akibat gesekan ankur (*A*)

Kehilangan prategang akibat gesekan ankur 29.78 MPa.

Gaya prategang akibat *jacking* 10,010.88 kN

Kehilangan prategang akibat gesekan ankur dalam bentuk gaya 372.71 kN

Kehilangan prategang akibat gesekan ankur dalam bentuk persen 3.72 %

3.6.2 Kehilangan prategang akibat gesekan kabel (*F*)

Kehilangan prategang akibat gesekan kabel 10,010.88 kN

Kehilangan prategang akibat gesekan ankur dalam bentuk gaya 1,061.69 kN

Kehilangan prategang akibat gesekan ankur dalam bentuk persen 10.61%

3.6.3 Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton bentang 40 m

Kehilangan prategang akibat perpendekan elastis beton dalam bentuk gaya 172.38 kN

Kehilangan prategang akibat gesekan ankur dalam bentuk persen 1.72 %

3.6.4 Kehilangan prategang akibat rangkai pada beton (CR) bentang 40 m

Kehilangan prategang akibat rangkai pada beton dalam bentuk gaya 351.61 kN

Kehilangan prategang akibat gesekan ankur dalam bentuk persen 3.51%

3.6.5 Kehilangan prategang akibat susut pada beton (SH) bentang 40 m

Kehilangan prategang akibat rangkai pada beton dalam bentuk gaya 336.91 kN

Kehilangan prategang akibat gesekan ankur dalam bentuk persen 3.36%

3.6.6 Kehilangan prategang akibat relaksasi baja (R) bentang 40 m

Kehilangan prategang akibat rangkai pada beton dalam bentuk gaya 670.48 kN

Kehilangan prategang akibat gesekan ankur dalam bentuk persen 6.70%

3.6.7 Total kehilangan prategang (Δf_{PT}) bentang 40 m

Total kehilangan prategang 2,965.79 kN

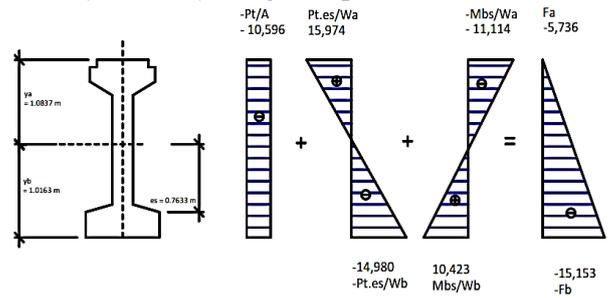
Persentase total kehilangan prategang adalah $29.63 \leq 30\%$ (Ok)

3.7 Tegangan yang terjadi pada I-Girder

3.7.1 Tegangan yang terjadi akibat gaya prestress bentang 40 m

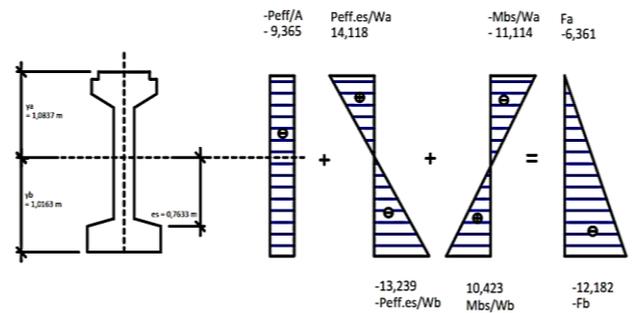
Tegangan di tengah bentang saat transfer ($L=40$ m) disajikan pada Gambar 15. Tegangan yang terjadi di tengah bentang saat *lost of prestress* ($L=40$ m) disajikan pada Gambar 16. Tegangan yang

terjadi ditengah bentang setelah pelat lantai dicor ($L=40$ m) disajikan pada Gambar 17.



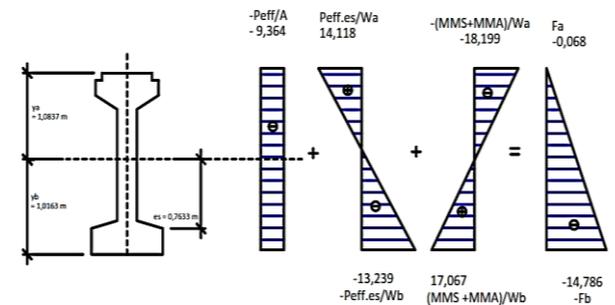
Gambar 15.

Tegangan di Tengah Bentang Saat Transfer



Gambar 16.

Tegangan di Tengah Bentang Saat *Lost of Prestress*



Gambar 17.

Tegangan di Tengah Bentang Setelah Plat Lantai dicor

Rekapitulasi tegangan yang terjadi akibat beban dengan bentang ($L=40$ m) disajikan pada Tabel 2. Hasil dari perhitungan rekapitulasi lendutan yang terjadi disajikan pada Tabel 3. Kontrol rekapitulasi kombinasi lendutan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 2.
Rekapitulasi Tegangan yang Terjadi Akibat Beban ($L = 40$ m)

No	Gaya/Beban	Tegangan di serat atas pelat f_{ac} (MPa)	Tegangan di serat atas balok f'_{ac} (MPa)	Tegangan di serat bawah balok f_{bc} (MPa)
1	Beban mati sendiri (<i>MS</i>)	-10.515	-8.502	12.660
2	Mati tambahan (<i>MA</i>)	-0.977	-0.790	1.176
3	Susut dan rangkai (<i>SH</i>)	-11.265	-11.267	-11.327
4	Gaya prestress (<i>PR</i>)	4.252	2.010	-21.552
5	Lajur "D" (<i>TD</i>)	-6.720	-5.434	8.091
6	Rem (<i>TB</i>)	-0.134	-0.109	0.162
7	Temperatur (<i>EUn</i>)	-1.632	-2.201	-0.957
8	Angin (<i>Ewl</i>)	-0.496	-0.401	0.597
9	Gempa (<i>EQ</i>)	-2.962	-2.395	3.566

Tabel 3.
Rekapitulasi Lendutan yang Terjadi Akibat Beban ($L= 40$ m)

No	Gaya/Beban	Lendutan (m)
1	Berat sendiri (<i>MS</i>)	0.034
2	Mati tambahan (<i>MA</i>)	0.004
3	Susut dan Rangkai (<i>SH</i>)	-0.010
4	Gaya prategang (<i>PR</i>)	-0.043
5	Lajur "D" (<i>TD</i>)	0.023
6	Rem (<i>TB</i>)	0.0003
7	Temperatur (<i>Eun</i>)	0.007
8	Angin (<i>Ewl</i>)	0.002
9	Gempa (<i>EQ</i>)	0.011

Tabel 4.
Rekapitulasi kombinasi lendutan

No	Kombinasi	Beban									δ (m)	Kontrol < $L/300$
		<i>MS</i>	<i>MA</i>	<i>SH</i>	<i>PR</i>	<i>TD</i>	<i>TB</i>	<i>EUn</i>	<i>Ewl</i>	<i>EQ</i>		
1	Kuat I	√	√	√	√	√	√	√			0.016	OK
2	Kuat II	√	√	√	√	√	√	√			0.016	OK
3	Kuat III	√	√	√	√			√			-0.01	OK
4	Kuat IV	√	√	√	√			√			-0.01	OK
5	Kuat V	√	√	√	√			√	√		-0.01	OK
6	Ekstrem I	√	√	√	√	√	√			√	0.02	OK
7	Eksstrem II	√	√	√	√	√	√		√		0.01	OK
8	Layan I	√	√	√	√	√	√	√	√		0.02	OK
9	Layan II	√	√	√	√	√	√	√			0.02	OK
10	Layan III	√	√	√	√	√	√	√			0.02	OK
11	Layan IV	√	√	√	√			√			-0.01	OK

3.8 Tinjauan momen ultimit

Rekapitulasi momen yang terjadi pada balok prategang disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5.
Rekapitulasi Kombinasi Lendutan

Aksi/Beban	Notasi	Momen (kN.m)
Berat sendiri	M_{MS}	6,367.77
Berat mati tambahan	M_{MA}	591.53
Prategang	M_{PR}	-7,090.18
Susut dan rangkak	M_{SH}	51.79
Beban lajur "D"	M_{TD}	4,069.8
Gaya rem	M_{TB}	81.38
Beban angin	M_{EWL}	300.34
Pengaruh temperatur	M_{EUn}	1,800.24
Beban gempa	M_{EQ}	1,793.79

Rekapitulasi momen balok ultimit pada balok prategang dengan bentang 40 m disajikan pada Tabel 6.

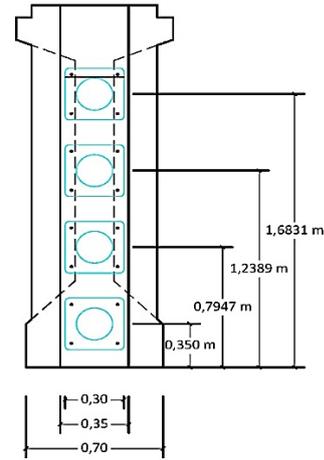
Tabel 6.
Rekapitulasi Kombinasi Lendutan

Kombi-nasi	Momen (kN.m)	Mr (kN.m)	Kontrol
1	10,132.35	≤ 15,302.19	OK
2	8,471.88	≤ 15,302.19	OK
3	2,660.23	≤ 15,302.19	OK
4	2,660.23	≤ 15,302.19	OK
5	2,960.57	≤ 15,302.19	OK
6	4,799.25	≤ 15,302.19	OK

Kombi-nasi	Momen (kN.m)	Mr (kN.m)	Kontrol
7	3,835.70	≤ 15,302.19	OK
8	6,532.73	≤ 15,302.19	OK
9	7,477.74	≤ 15,302.19	OK
10	5,402.15	≤ 15,302.19	OK
11	2,081.19	≤ 15,302.19	OK

3.9 Penulangan end block bentang 40 m

Posisi end block pada tumpuan disajikan pada Gambar 18.



Gambar 18.

Posisi End Block Pada Tumpuan

Perhitungan tegangan geser horizontal akibat gaya lintang dan jarak antar shear connector disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7.

Perhitungan Jarak Shear Connector

x (m)	Kombi-nasi (kg)	f_v (MPa)	f_{vi} (MPa)	Kontrol $f_v < f_{vi}$	Jarak shear connector (mm)
0	116,072	0.09	1.33	Aman	50
1	110,597	0.09	1.33	Aman	50
2	105,123	0.08	1.33	Aman	50
3	99,648	0.08	1.33	Aman	50
4	94,173	0.08	1.33	Aman	50
5	88,699	0.07	1.33	Aman	50
6	83,224	0.07	1.33	Aman	50
7	77,750	0.06	1.33	Aman	50
8	72,275	0.06	1.33	Aman	100
9	66,801	0.06	1.33	Aman	100
10	61,326	0.05	1.33	Aman	100
11	55,851	0.05	1.33	Aman	100
12	50,377	0.04	1.33	Aman	100
13	44,902	0.04	1.33	Aman	100
14	39,428	0.03	1.33	Aman	100

x (m)	Kombi- nasi (kg)	f_v (MPa)	f_{vi} (MPa)	Kontrol $f_v < f_{vi}$	Jarak <i>shear</i> <i>connector</i> (mm)
15	33,953	0.03	1.33	Aman	100
16	28,479	0.02	1.33	Aman	100
17	23,004	0.02	1.33	Aman	150
18	17,530	0.01	1.33	Aman	150
19	12,055	0.01	1.33	Aman	150
20	6,580	0.01	1.33	Aman	150

3.10 Perencanaan bantalan elastomer

Kemampuan perletakan untuk memikul beban dan pergerakan dari perletakan harus sesuai dengan asumsi yang dibuat dalam perencanaan jembatan secara keseluruhan dan persyaratan khusus didalamnya.

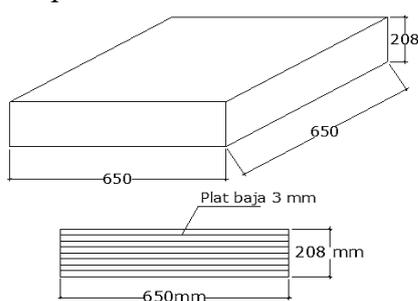
Ukuran elastomer yang digunakan dalam perencanaan jembatan disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8.

Resume Desain Bantalan Elastomer

Sifat fisik		Geometri	
f_y (MPa)	240	Dimensi (mm)	650 x 650 x 208
G (MPa)	0.7	Tebal <i>cover</i> atas (mm)	4
		Tebal <i>cover</i> bawah	4 mm
		Tebal lapisan internal	25 mm
		Tebal pelat baja	3 mm
		Jumlah lapisan	8 buah

Detail elastomer yang digunakan disajikan pada Gambar 19.



Gambar 19.

Desain Elastomer Rencana

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan dalam perencanaan Jembatan Samota diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Perhitungan bangunan sekunder meliputi, pipa tiang sadaran dengan diameter 76.3 mm, tebal 4 mm serta berat 7.13 kg/m untuk tiang sandaran menggunakan tulangan lentur 2Ø12 dengan tulangan sengkang Ø10-100 mm, kerb menggunakan tulangan Ø12-90 mm dengan tulangan sengkang 2Ø10 untuk trotoar menggunakan tulangan D16-250 mm dan tulangan bagi Ø12 – 200 mm.
2. Beban yang diterima oleh PC I Girder dengan bentang 40 m adalah 636,777.600 kg.m untuk beban mati sendiri (MS), 59,153.044 kg.m untuk beban mati tambahan (MA), 406,980 kg.m untuk beban lajur “D”, 8,183.250 kg.m untuk gaya rem, 30,034.250 kg.m untuk beban angin dan 179,378.728 kg.m untuk beban gempa.
3. Total kehilangan prategang akibat gesekan angkur, gesekan pada kabel, akibat rangkai dan susut, relaksasi dan perpendekan elastis beton adalah 2,965.791 kN dengan persentase kehilangan prategang 29.626 %.
4. Dimensi PC I Girder yang digunakan berdasarkan pada produk PT WASKITA yaitu span 40 m, H 210 m dengan menggunakan K-800 untuk bentang 40 m.
5. Hasil dari perencanaan Jembatan Samota dengan didapatkan tinggi PC I Girder adalah 2.10 m yang terdiri dari 4 tendon 2 di kiri dan 2 di kanan bersisi 12 *strands* pada setiap tendon dengan diameter *strands* 15.24 mm dan diameter *duct* 85 mm. Jenis angkur yang digunakan berdasarkan spesifikasi BBR PT CONA SMI SP 1506.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2019). SNI 03-1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standar Nasional. 2016. Pembebanan untuk Jembatan (SNI 1725-2016). Jakarta.
- Anonim. (2022). Buku Saku Petunjuk Konstruksi Jembatan. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya, Direktorat Pengembangan Kawasan Pemukiman.
- Siregar, A. P. N., Dolu, A., dan Ragalutu, M. Z. H. (2020). Perencanaan Struktur Jembatan Lengkung pada Sungai Sombe-Lewara. *Jurnal GRADASI TEKNIK SIPIL*. 4(2). 14-25.
- Hidayati, N., Hariyadi, dan Anggraini, Y. (2023). Studi Perancangan Jembatan Samota Sumbawa Besar Menggunakan Beton Prategang Tipe U-Girder. *SIGMA: Jurnal Teknik Sipil*. 3(2). 32-41.
- Masagala, A. A. (2022). Design of Railway Bridge Structure of Concrete Through Arch Type: Case Study of Railway Bridge BH 1828 Purworejo. *Semesta Teknika*. 25(1), 71-79.
- Apriani, W., Lubis, F., Suryanita, R., dan Afrialdi. (2020). Evaluasi Kinerja Struktur Jembatan Pelengkung Akibat Beban Gempa Dengan Analisis Riwayat Waktu. *Jurnal Infrastruktur*. 6(2).151-156.
- Rizqi, M. R. N. (2017). Pengaruh Gempa terhadap Perilaku Jembatan Pelengkung Sultan Muhammad Ali Abdul Jalil Muazzamyah dengan Time History Analisis. Publikasi Tugas Akhir Universitas Brawijaya Malang.
- Jaya, R. (2018). Perbandingan Jembatan Rangka Baja Kereta Api dengan Sistem Busur Atas dan Bawah. Tugas Akhir Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
- Jauhari, Z. A., dan Pertiwi, M. (2021). Desain PCI-Girder Untuk Bentang 42 m Berdasarkan Pembebanan SNI 1725:2016 (Studi Kasus: Jalan Soebrantas, Desa Sei. Injab). Seminar Nasional Industri dan Teknologi (SNIT), Politeknik Negeri Bengkalis. 6. 47-55.
- Musthofa, M., Aminullah, A., dan Muslikh. (2018). Optimasi Penampang dan Geometri Jembatan Pelengkung Rangka Baja Berdasarkan Berat Struktur. *Civil Engineering and Environmental Symposium 2018*. Yogyakarta.
- BBR. (2010). BBR VT CONA CMI SP, Europhen Technical Apporval. Switzerland.
- Supriyadi, B. dan Muntohar, A. S. (2007). Jembatan. Edisi Pertama. Cetakan ke-4. Yogyakarta.



Copyright© by the authors. Licensee Jurnal Ilmiah MITSU, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike (CC BY-NC-SA 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Halaman ini sengaja dikosongkan