



Perencanaan Ulang Struktur Atas Jembatan Sambungrejo Sidoarjo dengan Menggunakan *Prestressed Concrete I Girder*

Azarine Carissa Yuniar^{1*}, Nawir Rasidi², Wahiddin Wahiddin³

¹⁻³Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Email: azarineyuniar@gmail.com¹, nawir.rasidi@polinema.ac.id², wahiddin@polinema.ac.id³

Korespondensi penulis: azarineyuniar@gmail.com*

Abstract. *This study aims to redesign the superstructure of the Sambungrejo Bridge in Sidoarjo, which has a span length of 16 meters. The Sambungrejo Bridge originally used WF 700.300.15.28 steel girders and C 300.100.10.16.8 diaphragms, that are susceptible to corrosion, especially during floods. The redesign involves replacing the steel girder with a Prestressed Concrete I Girder (PCI Girder) H-900mm, 170mm thick, produced by WIKA Beton, known for its superior corrosion resistance and construction efficiency. The research methodology includes structural analysis using Robot Structural Analysis Professional (RSAP) software, calculation of prestressing forces, and the design of the prestressing cable layout. The results of this study demonstrate that the use of PCI Girder does not reduce the structural dimensions of the bridge but also proves to be more compatible with the flood water conditions at the site. The total cost required for implementing the new bridge superstructure design is Rp. 4.372.201.*

Keywords: *Redesign, Prestressed Concrete I Girder, Structural Analysis, Prestressed Concrete Bridge, Cost Efficiency*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk merancang ulang struktur atas Jembatan Sambungrejo di Sidoarjo dengan panjang bentang 16 m. Jembatan Sambungrejo semula menggunakan gelagar baja WF 700.300.15.28 dan diafragma C 300.100.10.16,8 yang rentan terhadap korosi, terutama saat terjadi banjir. Perencanaan ulang dilakukan dengan menggantikan gelagar baja tersebut dengan Prestressed Concrete I Girder (PCI Girder) H-900mm, tebal 170mm produksi WIKA Beton yang dikenal memiliki keunggulan dalam hal ketahanan terhadap korosi dan efisiensi dalam proses konstruksi. Metode penelitian mencakup analisis struktural menggunakan perangkat lunak Robot Structural Analysis Professional (RSAP), perhitungan gaya prategang, serta desain tata letak kabel prategang. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan PCI Girder tidak mengurangi dimensi struktural jembatan, tetapi juga lebih sesuai dengan kondisi muka air banjir di lokasi yang ada. Total biaya yang diperlukan untuk implementasi desain struktur atas jembatan baru ini adalah Rp. 4.372.201.

Kata Kunci : Perencanaan Ulang, Gelagar Beton Prategang I (PCI Girder), Analisis Struktur, Jembatan Beton Prategang, Efisiensi Biaya

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan infrastruktur penting yang berfungsi sebagai penghubung antar wilayah, memfasilitasi pergerakan orang dan barang. Jembatan Sambungrejo, yang terletak di Kecamatan Sukodono, Kabupaten Sidoarjo, berperan penting dalam mendukung aktivitas ekonomi dan sosial masyarakat setempat. Jembatan ini dibangun dengan menggunakan gelagar baja sebagai elemen struktural utama, yang dipadukan dengan plat beton untuk membentuk lantai jembatan. Namun, seiring berjalannya waktu, jembatan ini menghadapi tantangan serius terkait daya tahan material yang digunakan.

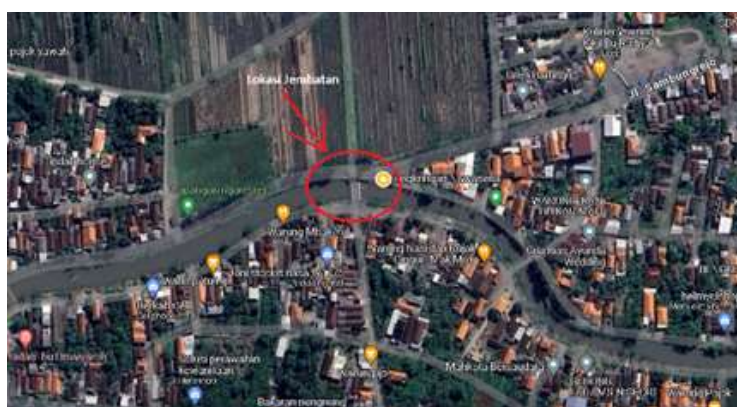
Kabupaten Sidoarjo dikenal sebagai daerah yang rawan banjir. Ketika musim hujan tiba, muka air sungai seringkali naik hingga merendam bagian bawah jembatan, termasuk gelagar baja. Kondisi ini menyebabkan gelagar baja menjadi rentan terhadap korosi, yang

lambat laun mengurangi kekuatan struktural jembatan. Korosi adalah proses elektro-kimia yang terjadi ketika baja terpapar air dan oksigen, mengakibatkan terbentuknya karat yang secara signifikan melemahkan struktur. Mengingat pentingnya jembatan ini dan risiko yang dihadapi, diperlukan solusi untuk memperpanjang umur layan jembatan dan memastikan keselamatan penggunaannya.

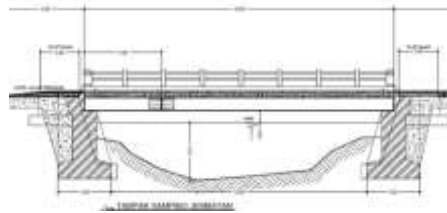
Dalam rangka meningkatkan ketahanan jembatan terhadap korosi, penelitian ini mengusulkan perencanaan ulang struktur atas Jembatan Sambungrejo dengan menggunakan Prestressed Concrete I Girder (PCI Girder). PCI Girder dipilih karena beberapa keunggulan yang dimilikinya. Pertama, material ini dikenal memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap korosi dibandingkan baja, terutama ketika terpapar kondisi lingkungan yang lembap atau basah. Kedua, PCI Girder memungkinkan pengurangan tinggi balok induk, yang penting untuk menjaga agar jembatan tetap berada di atas muka air banjir. Ketiga, penggunaan PCI Girder dapat mempercepat proses konstruksi karena metode ini memungkinkan prefabrikasi elemen-elemen jembatan sebelum dipasang di lokasi proyek. Dengan demikian, tujuan utama penelitian ini adalah merancang ulang struktur atas Jembatan Sambungrejo menggunakan PCI Girder, dengan harapan dapat meningkatkan ketahanan jembatan terhadap korosi dan mengurangi biaya pemeliharaan.

2. METODE

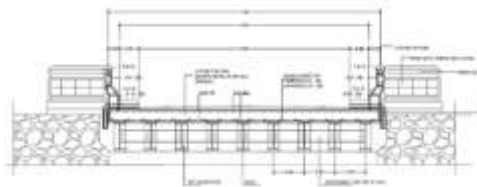
Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan survei lapangan untuk mengumpulkan data terkait kondisi eksisting Jembatan Sambungrejo. Data yang dikumpulkan mencakup dimensi jembatan, material yang digunakan, serta kondisi lingkungan seperti elevasi muka air banjir dan kondisi jalan pendekat. Survei lapangan ini penting untuk memastikan bahwa desain ulang yang diusulkan dapat disesuaikan dengan kondisi lokasi proyek.



Gambar 1. Lokasi Jembatan



Gambar 2. Tampak samping jembatan eksisting



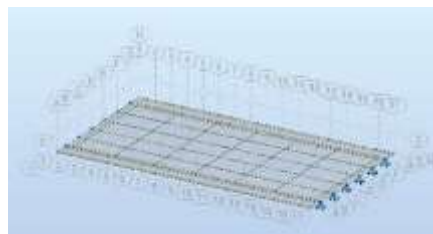
Gambar 3. Potongan melintang jembatan eksisting



Gambar 4. Foto kondisi lapangan

Setelah data lapangan terkumpul, langkah berikutnya adalah melakukan perencanaan model dan menentukan dimensi elemen struktur atas jembatan dan menghitung nilai-nilai beban yang bekerja kepada jembatan.

Langkah selanjutnya melakukan analisa struktur menggunakan perangkat lunak Robot Structural Analysis Professional (RSAP). Perangkat lunak ini digunakan untuk mensimulasikan berbagai beban yang bekerja pada jembatan, termasuk beban mati (berat sendiri komponen jembatan), beban hidup (beban kendaraan dan pejalan kaki), serta beban-beban lingkungan seperti tekanan angin dan gaya rem kendaraan. Melalui simulasi ini, dapat dihitung distribusi tegangan dan momen yang terjadi pada PCI Girder, yang menjadi dasar untuk menentukan dimensi optimal dari girder tersebut.



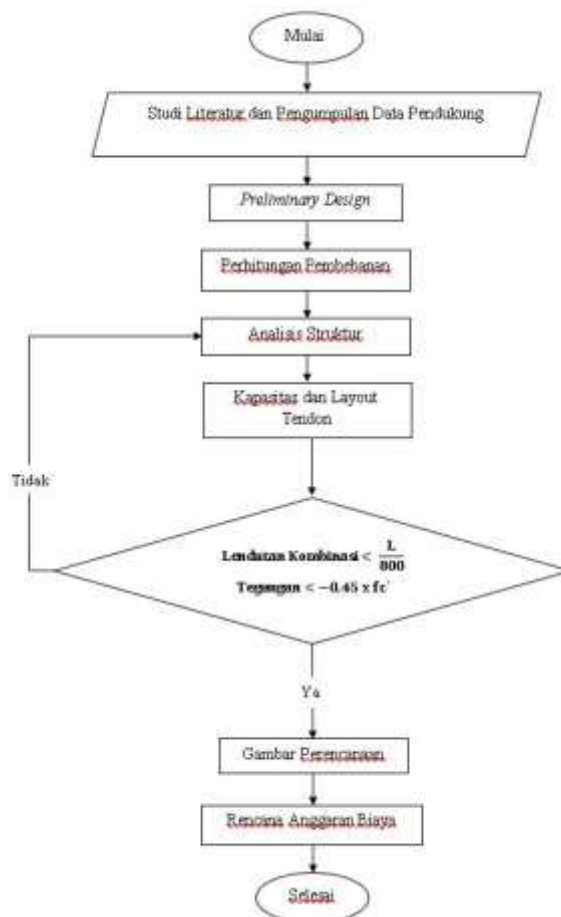
Gambar 5. Pemodelan jembatan di RSAP 2022

Setelah analisis struktural selesai, penelitian dilanjutkan dengan perhitungan gaya prategang. Prategang merupakan gaya yang diberikan pada beton sebelum beban luar bekerja, dengan tujuan untuk meningkatkan kemampuan beton dalam menahan gaya tarik. Dalam penelitian ini, perhitungan penulangan elemen struktur atas dan perhitungan gaya prategang

dilakukan dengan berdasar standar SNI 2847-2019 dan RSNI-T-12-2004. Perhitungan ini melibatkan penentuan ukuran dan jumlah tendon serta strands yang digunakan pada PCI Girder. Selain itu, penelitian ini juga memperhitungkan kehilangan gaya prategang yang mungkin terjadi akibat gesekan antara tendon dan beton, serta relaksasi tendon.

Langkah berikutnya adalah merancang tata letak kabel prategang pada PCI Girder. Tata letak kabel dirancang sedemikian rupa agar dapat mendistribusikan gaya secara merata pada seluruh penampang girder, sehingga mengurangi risiko kerusakan struktural akibat konsentrasi tegangan. Desain tata letak ini juga mempertimbangkan faktor-faktor seperti eksentrisitas tendon, sudut ankur, dan efek wobble, yang dapat mempengaruhi efektivitas gaya prategang.

Setelah desain tata letak kabel selesai, langkah terakhir adalah melakukan analisis biaya yang dibutuhkan untuk merencanakan ulang jembatan. Analisis ini mencakup pekerjaan persiapan dan pekerjaan struktur atas jembatan, estimasi biaya material, biaya tenaga kerja, serta biaya pemeliharaan jangka panjang.

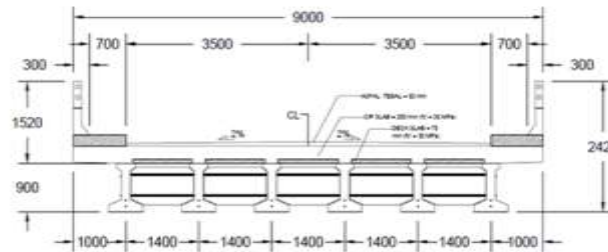


Gambar 6. Bagan Prosedur Analisis

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Preliminary Design

Preliminary design ialah langkah awal perencanaan yang dipakai untuk menentukan rencana sesungguhnya tentu dengan hasil yang telah di kontrol dan telah sesuai persyaratan.



Gambar 7. Perencanaan ulang struktur atas jembatan

Desain Trotoar dan Sandaran

Mengacu pada SE Dirjen Bina Marga 21 Maret 2008, jembatan dengan tipe kelas Jalan Nasional lebar minimumnya $1,0 + 7,0 + 1,0$ meter. Sehingga trotoar yang lebar awalnya 0,5 meter menjadi 1 meter. Tiang sandaran biasanya dirancang dengan tinggi $\pm 90 - 100$ cm dari atas trotoar, dan direncanakan lebih tinggi 20 – 25 cm dari lantai jembatan. Penulangan trotoar serta sandaran dirancang berdasarkan SNI 03- 2847-2019.

Desain Plat Lantai

Mengacu pada RSNI-T-12-2004, pelat lantai jembatan harus mempunyai tebal minimum t_s sesuai kedua ketentuan yaitu $t_s > 200$ mm atau $t_s > (100 + 40 L)$ mm dimana L ialah bentang pelat ditinjau dari pusat ke pusat tumpuan (dalam meter). Pelat lantai kendaraan dirancang dengan tebal 250 mm serta asumsi tebal plat $t_s \geq 100 + 4L$. Analisis perhitungan pembesian menurut SNI 03-2847- 2019.

Desain Gelagar Jembatan

Perkiraan tinggi total sistem dek sesuai dengan Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Bina Marga Bagian 3, 2017. Tinggi sistem dek untuk jembatan gelagar beton I pratekan bentang sederhana adalah $0,045L$, dimana L ialah nilai bentang jembatan. Pada kasus ini digunakan PCI Girder seminimum mungkin namun masih diatas tinggi minimal system dek sehingga digunakan PCI Girder H=900. Penentuan jarak antar girder yang disyaratkan ialah tidak kurang dari 1100 mm dan lebih kecil dari 4900 mm. Jembatan dengan bentang 16 meter jarak spasi antar gelagar PCI H-900 adalah 1,4 m.

Desain Diafragma

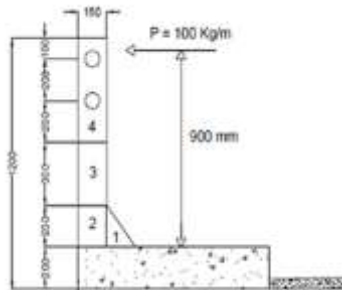
Diafragma ialah struktur jembatan yang berguna untuk menyalurkan penyebaran beban vertikal, maka akan terjadi perilaku yang sama antara balok induk. Tinggi diafragma diperkirakan $\pm 2/3$ tinggi balok induk. Diafragma juga digunakan sebagai struktur pengaku

yang dirancang untuk menahan deformasi melintang dari elemen bangunan atas jembatan. Pembesian diafragma dirancang berdasarkan SNI 03- 2847-2019.

Analisa Struktur

Perencanaan Tiang Sandaran

- 1) Pembebanan



Gambar 8. Tiang dan Dinding Sandaran

Momen akibat berat sendiri (Q MS) = 0,1458 kNm

Momen akibat gaya horizontal (Q MA) = 180 kgm

Momen ultimit rencana (Mu) = 1,8 x 180 = 324 kgm

Gaya Geser (Vu) = H/2 = 200/2 = 100kg = 1000 N

- 2) Perhitungan Pembesian

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 133,98 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan tarik dan desak 2 D12, untuk tulangan geser digunakan P8 – 200 (357 mm²).

Perencanaan Dinding Sandaran

- 1) Pembebanan

Beban horizontal P = 100 kg/m (h= 900 mm)

Momen (Mn) = H x h = 2 x 0,9 = 180 kgm

Momen ultimit = 180/0,9 = 200kgm

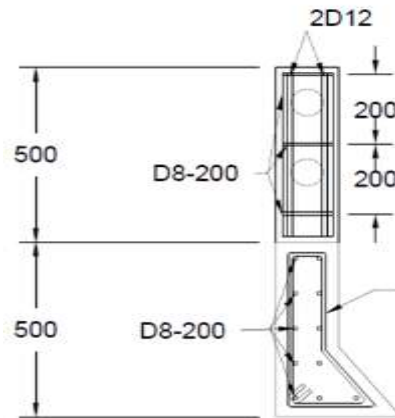
- 2) Perhitungan Pembesian

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 100,92 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan pokok D12-100

Tulangan bagi = 0,2 x As tulangan utama = 226,195 mm²

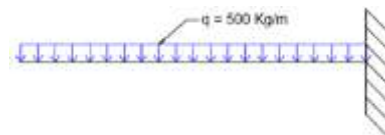
Digunakan tulangan bagi D10-150



Gambar 9. Penulangan Tiang dan Dinding Sandaran

Perencanaan Trotoar

1) Pembebanan



Gambar 10. Beban Hidup Trotoar

Beban akibat berat sendiri (Q MS) = 480 kg/m

Beban akibat berat mati tambahan (QMA) = 50 kg/m

Beban hidup pejalan kaki (Q TP) = 500 kg/m

Momen akibat beban sendiri (M_u MS) = 463,32 kg.m

Momen akibat beban mati tambahan (M_u MA) = 50 kg.m

Momen akibat beban hidup (M_u TP) = 630 kg.m

Momen ultimit total (M_u) = 1143,32 kg.m

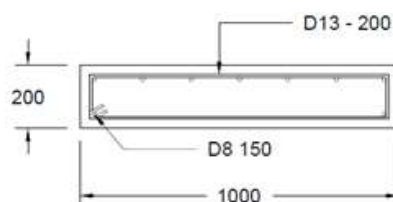
2) Perhitungan Pembesian

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 572,25 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan pokok D13 – 200

$$A_{s'} = 50\% \times A_s = 286,13 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan bagi D8 – 150



Gambar 11. Penulangan Trotoar

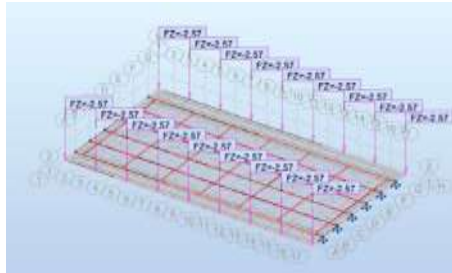
Perencanaan Plat Lantai

1) Pembebanan

Simulasi dan Analisa pembebanan untuk pelat

Lantai menggunakan aplikasi *Robot Structural Analysis 2022 (RSAP)*. Berikut ini gambar perletakan beban yang bekerja terhadap plat lantai:

- Beban akibat berat sendiri (MS)



Gambar 12. Perletakan beban akibat berat sendiri (MS)

- Beban akibat berat aspal dan air hujan (MA)



Gambar 13. Perletakan beban akibat beban mati tambahan (MA)

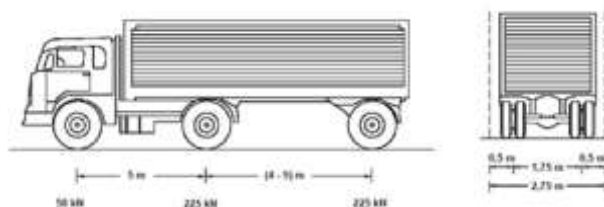
- Beban akibat pejalan kaki (TP)



Gambar 14. Perletakan beban akibat pejalan kaki (TP)

- Beban akibat muatan truk (TT)

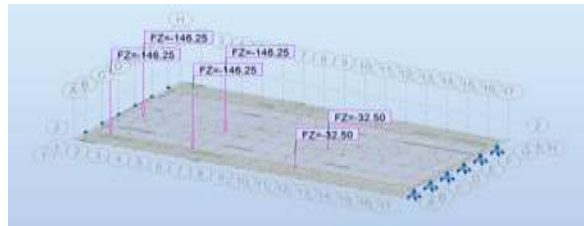
Mengacu pada SNI 1725:2016, besarnya berat kendaraan dan jarak antar gandar dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 15. Beban truk dan jarak antar gandar truk

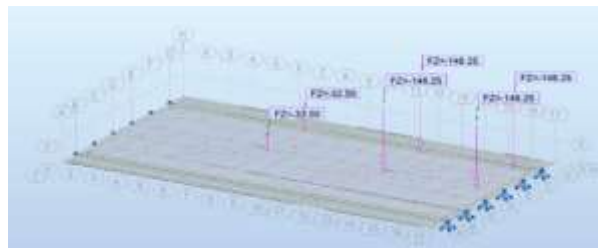
Terdapat beberapa skema pembebanan yang diterapkan pada jembatan ini, yaitu:

- Kondisi 1, 1 buah truk di salah satu lajur



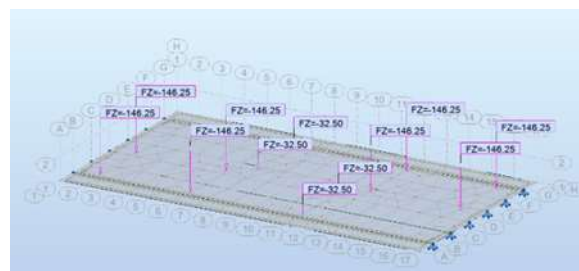
Gambar 16. Kondisi 1 beban truk

- Kondisi 2, 1 buah truk di lajur lain dan berlawanan arah dari truk kondisi 1



Gambar 17. Kondisi 2 beban truk

- Kondisi 3, 2 buah truk yang berada di kedua lajur dan berlawanan arah



Gambar 18. Kondisi 3 beban truk

Setelah ditambahkan faktor kombinasi beban Kuat I, Kuat II, Layan I, dan Layan II sesuai SNI 1725:2016, hasil analisa RSAP 2022 di dapat momen maksimum diakibatkan oleh case 17 atau kombinasi beban KUAT I.

2) Perhitungan Tulangan

- Perhitungan tulangan tumpuan plat lantai

$$Mu \text{ tumpuan} = 155,66 \text{ kNm} = 155660000 \text{ Nmm}$$

$$Mn = Mu / 0,9 = 172955555 \text{ Nmm}$$

Dipakai tulangan pokok D12 – 50

Dipakai tulangan bagi D10 – 150

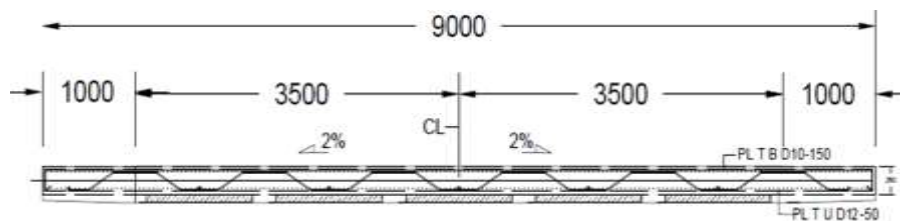
- Perhitungan tulangan lapangan plat lantai

$$Mu \text{ lapangan} = 39,53 \text{ kNm} = 39530000 \text{ Nmm}$$

$$Mn = Mu / 0,9 = 43922222 \text{ Nmm}$$

Dipakai tulangan pokok D12 – 150

Dipakai tulangan bagi D10 – 150



Gambar 19. Penulangan Plat Lantai

Perencanaan Plat Injak

1) Pembebanan

Momen akibat beban sendiri ($M_u MS$) = 2808 kg.m

Momen akibat berat tambahan ($M_u MA$) = 1440 kg.m

Momen akibat beban truk ($M_u TT$) = 2654,38 kg.m

Momen ultimit total (M_u) = 6902,38 kg.m

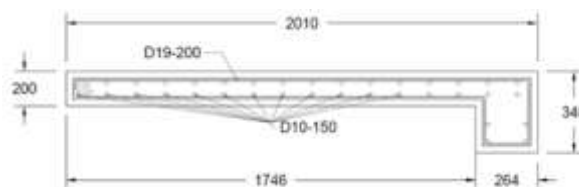
2) Perhitungan Tulangan

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 1369,55 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan pokok D19 – 200

$$A_s' = 0,002 \times b \times h = 400 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan bagi D10 – 150



Gambar 20. Penulangan Plat Injak

Perencanaan Diafragma

1) Pembebanan

Balok melintang ialah komponen yang berfungsi untuk menahan beban sendiri atau tidak terkena beban luar.

$$Q MS = 252 \text{ kg/m}$$

$$M_u MS = 39,312 \text{ kg.m}$$

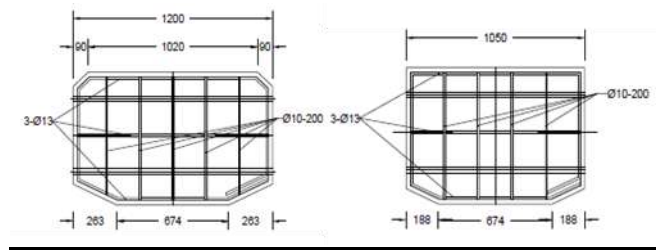
$$V_u MS = 196,56 \text{ kg}$$

2) Perhitungan Pembesian

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 342,3 \text{ mm}^2$$

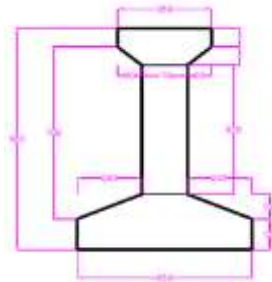
Dipakai tulangan pokok 3D13

Dipakai tulangan sengkang D10 – 200



Gambar 21. Penulangan Diafragma

Analisa Penampang Girder Jembatan



Gambar 22. Penampang Girder

1) Sebelum Komposit

Tabel 1. Pengukuran jarak Yb sebelum komposit

No	Dimensi		Luas Penampang A m ²	Jarak thd Alas Y m	Statis Momen A x Y m ³
	b m	h m			
1	0,35	0,075	0,026	0,863	0,0226
2	0,09	0,075	0,003	0,800	0,0027
3	0,17	0,7	0,119	0,400	0,0476
4	0,24	0,1	0,012	0,267	0,0032
5	0,65	0,125	0,081	0,063	0,0051
Total			0,242		0,081

Titik berat balok:

$$Y_b = \frac{\sum (A \cdot Y)}{\sum A} = \frac{0,081 \text{ m}^3}{0,242 \text{ m}^2} = 0,335 \text{ m}$$

$$Y_a = Y - Y_b = 0,9 - 0,335 = 0,565 \text{ m}$$

Tabel 2. Perhitungan Momen Inersia sebelum komposit

No	Dimensi		Momen Inersia		
	b m	h m	A x Y ² m ⁴	I _o m ⁴	I _b m ⁴
1	0,35	0,075	0,01953	0,000012	0,019540
2	0,09	0,075	0,00216	0,000002	0,002162
3	0,17	0,7	0,01904	0,004859	0,023899
4	0,24	0,1	0,00085	0,000013	0,000867
5	0,65	0,125	0,00032	0,000106	0,000423
Total			0,0419	0,0050	0,0469

Momen inersia pada titik berat balok:

$$I_x = \sum I_b - (\sum A x Y_b^2)$$

$$= 0,0469 - (0,242 x 0,335^2)$$

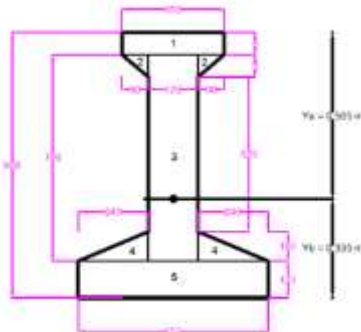
$$= 0,01974 \text{ m}^4$$

Tahanan momen sisi atas balok:

$$W_a = \frac{Ix}{Y_a} = \frac{0,01974}{0,565} = 0,03494 \text{ m}^3$$

Tahanan momen sisi bawah balok girder:

$$W_b = \frac{Ix}{Y_b} = \frac{0,01974}{0,335} = 0,05893 \text{ m}^3$$



Gambar 23. Penampang balok sebelum komposit

2) Komposit

Tabel 3. Analisa perhitungan jarak Yb setelah komposit

No	Dimensi		Luas Penampang A m ²	Jarak thd Alas Y m	Statis Momen A x Y m ³
	b m	h			
0	1,22	0,25	0,305	1,025	0,3126
1	0,35	0,075	0,026	0,863	0,0226
2	0,09	0,075	0,003	0,800	0,0027
3	0,17	0,7	0,119	0,400	0,0476
4	0,24	0,1	0,012	0,267	0,0032
5	0,65	0,125	0,081	0,063	0,0051
Total			0,547		0,394

Titik berat balok:

$$Y_{bc} = \frac{\sum (A.Y)}{\sum A} = \frac{0,394 \text{ m}^3}{0,547 \text{ m}^2} = 0,720 \text{ m}$$

$$Y_{ac} = Y - Y_{bc} = 1,15 - 0,720 = 0,430 \text{ m}$$

Tabel 4. Perhitungan Momen Inersia setelah komposit

No	Dimensi		Momen Inersia		
	b m	h	A x Y ² m ⁴	Io m ⁴	Ib m ⁴
0	1,22	0,25	0,32044	0,001589	0,322029
1	0,35	0,075	0,01953	0,000012	0,019540
2	0,09	0,075	0,00216	0,000002	0,002162
3	0,17	0,7	0,01904	0,004859	0,023899
4	0,24	0,1	0,00085	0,000013	0,000867
5	0,65	0,125	0,00032	0,000106	0,000423
Total			0,3623	0,0066	0,3689

Momen inersia pada titik berat balok:

$$\begin{aligned} I_{xc} &= \sum I_b - \left(\sum A x Y_b^2 \right) \\ &= 0,3689 - (0,547 x 0,720^2) \\ &= 0,085 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

Tahanan momen pada sisi atas pelat:

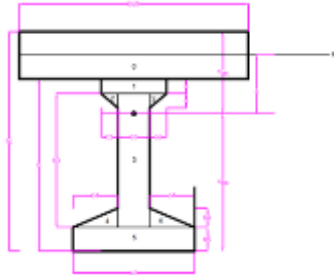
$$W_{ac} = \frac{I_{xc}}{Y_{ac}} = \frac{0,085}{0,720} = 0,118055 \text{ m}^3$$

Tahanan momen sisi atas balok:

$$W'_{ac} = \frac{I_{xc}}{Y_{ac}-h_0} = \frac{0,085}{0,430-0,25} = 0,47222 \text{ m}^3$$

Tahanan momen pada sisi bawah balok girder:

$$W_{bc} = \frac{I_{xc}}{Y_{bc}} = \frac{0,085}{0,720} = 0,118055 \text{ m}^3$$



Gambar 24. Penampang balok setelah komposit

Analisa Pembebanan Girder Jembatan

Berikut ini ialah beberapa beban yang bekerja pada gelagar prategang:

Beban mati meliputi:

- Beban sendiri gelagar
- Berat balok melintang
- Berat plat lantai jembatan
- Berat mati tambahan seperti berat aspal dan hujan

Beban hidup meliputi:

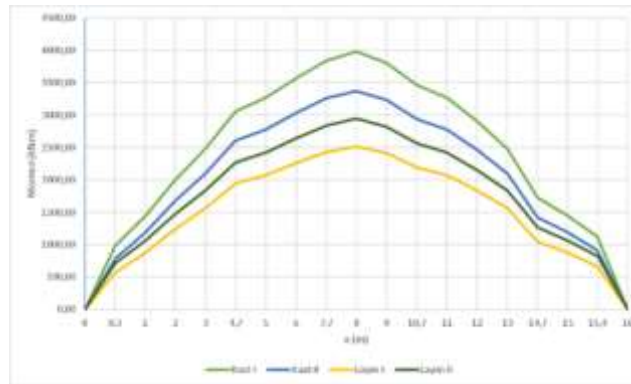
- Beban "D"
- Beban truk "T"
- Beban pejalan kaki
- Berat akibat rem

Tabel 5. Resume beban yang bekerja pada girder prategang

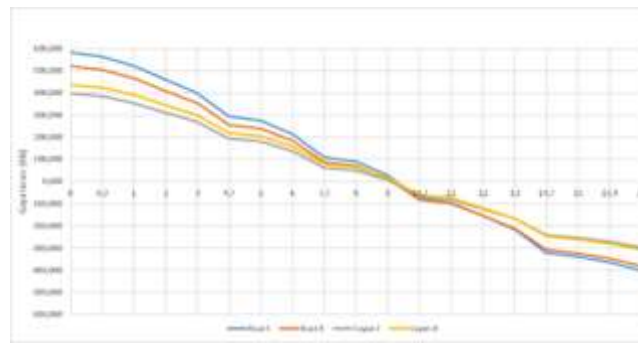
No	Nama Beban	Kode	Q (kN/m)	P (kN)	V (kN)	M (kNm)
1	Berat balok prategang	Balok	5,337		43,56	170,77
2	Berat pelat	Plat	8,4		67,2	268,80
3	Berat deck slab	Deck	1,915		15,32	61,28
4	Berat Diafragma	Diaf	12,237		97,896	391,584
5	Beban MS Precast	MS Pre	19		156,78	623,64
6	Beban mati tambahan	MA	2,24		17,92	71,68
7	Beban jalur "D"	TD	12,6	96,04	148,82	787,36
8	Beban truk "T"	TT	-		1,68	726,8
9	Gaya rem	TB	-		0,688	10,688
10	Angin	EW	0,751		6,008	24,032

Momen dan Gaya Geser Pada Gelagar

Setelah dihitung dengan faktor kombinasi beban Kuat I, Kuat II, Layan I, dan Layan II sesuai SNI 1725:2016, hasil perhitungan momen dan gaya geser pada girder disajikan dalam bentuk diagram dibawah ini.



Gambar 25. Diagram momen



Gambar 26. Diagram gaya geser

Desain Kabel Prategang

Spesifikasi beton dan kabel prategang:

Tegangan beton: $f_c' = 41,5$ MPa

Tegangan beton saat transfer: $f_{ci}' = 33,2$ MPa

Jenis strands: 7 wire strands ASTM A-416 Grade 270

Diameter strands = 12,7 mm (0,5")

Gaya prategang awal (Pt) = 2817,064 kN

Beban putus satu strand (Pbs) = 183,7 kN

Beban putus satu tendon (Pb1) = 2204,4 kN

Modulus elastis strands = 195000 MPa

Jumlah tendon yang diperlukan

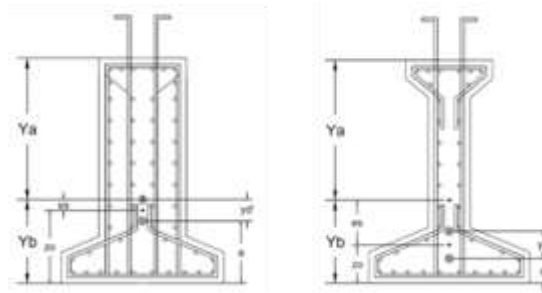
$$\begin{aligned}
 n_t &= \frac{Pt}{(0,85 \times 0,80 \times Pb1)} \\
 &= \frac{2817,064}{(0,85 \times 0,80 \times 2204,4)} \\
 &= 1,88 \approx 2 \text{ tendon}
 \end{aligned}$$

Jumlah kawat untaiain yang diperlukan

$$\begin{aligned}
 ns &= \frac{Pt}{(0,85 \times 0,80 \times Pbs)} \\
 &= \frac{2817,064}{(0,85 \times 0,80 \times 183,7)} \\
 &= 22,55 \approx 24 \text{ strands}
 \end{aligned}$$

Diambil 2 tendon, tiap tendon terdiri dari 12 strands.

Tata Letak dan trace kabel prategang



Gambar 27. Letak tendon pada tumpuan serta pada tengah bentang gelagar

Persamaan letak tiap kabel:

$$Zi = Zi' - \left(\frac{4 \times fi \times x}{L^2} \times (L - x) \right)$$

Dimana:

L = 16 m

F0 = es = 0,205

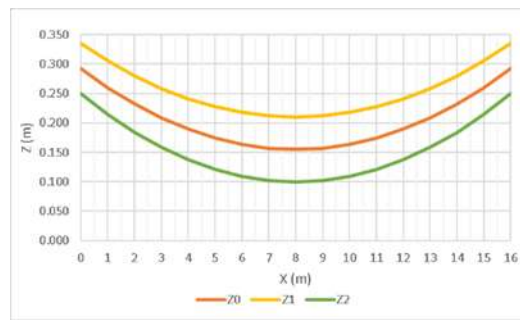
Yb = 0,335 m

f1 = 0,51 m

f2 = 0,15 m

Tabel 6. Posisi masing-masing kabel

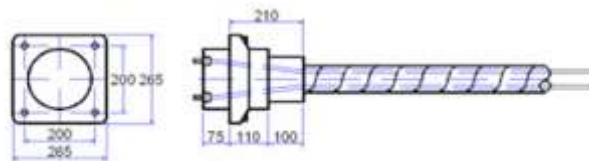
Jarak (X)	Trace Z0 (m)	Posisi masing -masing kabel	
		Z1 (m)	Z2 (m)
0	0.293	0.335	0.250
1	0.260	0.306	0.215
2	0.232	0.280	0.184
3	0.209	0.259	0.159
4	0.189	0.241	0.138
5	0.174	0.228	0.121
6	0.164	0.218	0.109
7	0.157	0.212	0.102
8	0.155	0.210	0.100
9	0.157	0.212	0.102
10	0.164	0.218	0.109
11	0.174	0.228	0.121
12	0.189	0.241	0.138
13	0.209	0.259	0.159
14	0.232	0.280	0.184
15	0.260	0.306	0.215
16	0.293	0.335	0.250



Gambar 28. Diagram posisi kabel be prategang

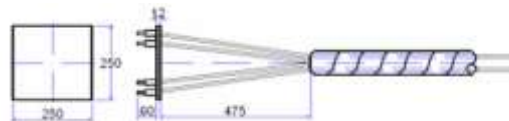
Penggunaan ankur

Angkur hidup yang dipakai yaitu VSL tipe 19 Sc



Gambar 29. Angkur hidup

Angkur mati yang dipakai yaitu VSL tipe 19 P



Gambar 30. Angkur mati

Kehilangan Gaya Prategang

Tabel dibawah ini merupakan rangkuman hasil analisa kehilangan gaya prategang yang terjadi.

Tabel 7. Kehilangan Gaya Prategang

No	Jenis Kehilangan Gaya Prategang	Kode	Besar Kehilangan	Satuan	Persentase (%)
1	Perpendekan elastis	ES	30,743	N/mm ²	2,619
2	Gesekan tendon	F	47,420	N/mm ²	4,039
3	Rangak beton	CR	0	N/mm ²	0
4	Susut beton	SH	57,9	N/mm ²	4,933
5	Relaksasi baja	RE	56,116	N/mm ²	4,780
6	Slip ankur	ANC	97	mm	3,083
Total					19,454

Tegangan yang terjadi pada balok

Sebelum komposit:

Tabel 8. Resume tegangan yang terjadi pada balok

Jenis Tegangan	fa (MPa)	fb (MPa)	
Awal	0	-4,738	
Setelah loss of prestress	-0,298	-4,626	
Beton muda	-7,991	-9,187	
Jenis Tegangan	fac (MPa)	f'ac (MPa)	fbc (MPa)
Komposit	0,835	-0,932	-5,254

Tegangan yang dihitung terletak di tengah bentang jembatan. Tegangan yang terjadi pada balok komposit direkap dalam tabel berikut ini.

Tabel 9. Resume tegangan balok komposit

Jenis Tegangan	Kode	fac (mpa)	f'ac (MPa)	fbc (MPa)
Berat sendiri	MS	-4,515	-1,890	7,559
Beban mati tambahan	MA	-0,362	-0,151	0,607
Susut dan Rangkak	SR	-3,811	-4,173	0,926
Prategang	PR	3,059	-1,531	-18,056
Beban lajur "D"	TD	-3,983	-1,667	6,669
Gaya Rem	TB	-0,054	-0,023	0,090
Beban Angin	EW	-0,121	-0,051	0,204

Kontrol Lendutan dan Tegangan

Kontrol Tegangan

Tegangan tekan yang diizinkan, $-0,45 \times f_c' = 18,675 \text{ MPa}$

Tegangan tarik yang diizinkan, $0,50 \times \sqrt{f_c'} = 3,2 \text{ MPa}$

Kombinasi pembebanan yang digunakan untuk tegangan ijin berdasarkan SNI 1725-2016 yaitu kombinasi Kuat I, Kuat II, Layan I, dan Layan II.

Tabel 10. kontrol tegangan terhadap kombinasi beban

Jenis Kombinasi	Jenis Tegangan	Tegangan (Mpa)	Keterangan
Kuat I	fac	-9,666	AMAN < -18,675 Mpa
	f'ac	-9,435	AMAN < -18,675 Mpa
	fbc	-2,205	AMAN < 0
Kuat II	fac	-9,666	AMAN < -18,675 Mpa
	f'ac	-9,435	AMAN < -18,675 Mpa
	fbc	-2,205	AMAN < 0
Layan I	fac	-9,787	AMAN < -18,675 Mpa
	f'ac	-9,486	AMAN < -18,675 Mpa
	fbc	-2,001	AMAN < 0
Layan II	fac	-9,666	AMAN < -18,675 Mpa
	f'ac	-9,435	AMAN < -18,675 Mpa
	fbc	-2,205	AMAN < 0

Kontrol Lendutan

Menurut RSNI T-12-2004 ps. 9.2.1 lendutan maksimum gelagar diatas dua tumpuan L/800. Lendutan maksimum yang diijinkan:

$$\delta \text{ ijin} = \frac{L}{800} = \frac{16}{800} = 0,020 \text{ m}$$

Lendutan maksimum yang terjadi menggunakan rumus:

$$\delta \text{ maks} = k \times \delta$$

Tabel 11. Rekap perhitungan lendutan dan kontrolnya

Kombinasi Beban	Total δ maks (m)	Keterangan
Kuat I	0,00715	< L/800 (OK)
Kuat II	0,00715	< L/800 (OK)
Layan I	0,00748	< L/800 (OK)
Layan II	0,00715	< L/800 (OK)

Rencana Anggaran Biaya

Sebelum melakukan perhitungan RAB diperlukan perhitungan volume pekerjaan lalu dilanjutkan dengan perhitungan harga satuan pokok yang sesuai dengan Harga Satuan Pokok Kegiatan Kabupaten Sidoarjo pada tahun 2022 dan Permen PU no 8 tahun 2023. Kemudian dilanjutkan perhitungan RAB dengan cara mengalikan volume pekerjaan dengan hasil analisa harga satuan pokok.

Setelah melakukan perhitungan volume pekerjaan dan analisa harga satuan maka didapatkan Rencana Anggaran Biaya. Berikut ini merupakan tabel rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya.

Tabel 12. Rekap RAB

REKAPITULASI RAB STRUKTUR ATAS JEMBATAN SAMBUNGREJO SIDOARJO		
No.	Uraian	Jumlah Total (Rp/lot)
I	PEKERJAAN PERSIAPAN	1.070.000.000
II	PEKERJAAN STRUKTUR ATAS	2.731.914.337
		3.801.914.337
	Overhead = Laba	570.287.151
	Total Harga	4.372.201.487
	DIHILANGKAN	4.372.201.000
TERBILANG :	Empat Milyar Tiga Ratus Tiga Puluh Dua Juta Dua Ratus Sembilan Ribu Empat	

4. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa:

1. Balok girder yang digunakan adalah PCI Girder 16 m H-900 dengan 4 sengkang bursting steel. Angkur yang digunakan adalah angkur VSL tipe 19 Sc untuk angkur hidup dan angkur VSL tipe 19 P untuk angkur mati. Dimensi diafragma yaitu 1,2 x 0,7 x 0,2 m dengan tulangan pokok 3D13 dan tulangan bagi D10-200. Plat lantai dimensi 16 x 9 x 0,25 m di cor ditempat dengan tulangan pokok D12-150 dan tulangan bagi D10-150. Plat injak dinaikkan dari elevasi sebelumnya dan dicor ditempat dengan tulangan pokok ϕ 19-200 dan tulangan bagi ϕ 10-150. Trotoar berada di tepi kiri dan kanan sepanjang jembatan selebar 1 meter dan tebal 0,2 meter dan di cor di tempat dengan tulangan pokok D13-200 dan tulangan bagi ϕ 8-150. Dinding sandaran dibuat menerus sepanjang jembatan dengan tinggi 0,5 m dan tebal 0,15 m. Tulangan pokok dinding sandaran yaitu ϕ 12-100 dan tulangan bagi ϕ 10-150. Tiang sandaran berada diatas dinding sandaran tiap 2 m dengan dimensi 0,5 x 0,15 m. Tulangan tarik pada tiang sandaran yaitu 2D12 dan tulangan desak pada tiang sandaran yaitu 2D12, sedangkan untuk tulangan geser tiang sandaran menggunakan ϕ 8-150.

2. Jumlah tendon yang dipasang yaitu sebanyak 2 buah. Setiap tendon terdiri dari 12 *strands* dengan diameter 13mm (0,5”). *Sistem* prategang menggunakan sistem *post-tensioning*, dan jumlah kehilangan gaya prategang sebesar 19,454%.
3. Biaya yang dibutuhkan untuk perencanaan pembangunan struktur atas Jembatan Sambungrejo Sidoarjo ini senilai Rp. 4.372.201 (*Empat Milyar Tiga Ratus Tujuh Puluh Dua Juta Dua Ratus Satu Ribu Rupiah*).

DAFTAR PUSTAKA

- Gehrlein, S. F., & Fischer, O. (2019). Full-scale shear capacity testing of an existing prestressed concrete bridge. *Civil Engineering Design*, 1(2), 64-73.
- Gilbert, R. I., Mickleborough, N. C., & Ranzi, G. (2009). *Design of prestressed concrete to Eurocode 2*. New York: CRC Press.
- Hewson, N. (2003). *Prestressed concrete bridges*. London: Taylor & Francis.
- Indianto, A., Aprilia, R. A., Yanuarini, E., Rikki, S. R., & Sukarman, S. (2022). Uniform deflection in PCI girder with diaphragm installation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1117(1), 012035.
- Ishazli, M. T., Abdulazeez, M. M., ElGawady, M., & Ibrahim, A. (2024). Comprehensive numerical modeling of prestressed girder bridges under low-velocity impact. *Buildings*, 14(3), 640.
- Jing, Y., Ma, Z. J., & Clarke, D. B. (2016). Full-scale lateral impact testing of prestressed concrete girder. *Structural Concrete*, 17(6), 947-958.
- Lee, J. H., Lim, K. M., & Park, C. G. (2018). Modified PCI multipliers for time-dependent deformation of PSC bridges. *Advances in Civil Engineering*, 2018, Article 1391590, 13 pages.
- Manual Perencanaan Struktur Beton Pratekan untuk Jembatan, Dirjen Bina Marga No 021/BM/2011.
- National Association of Australian State Road Authorities. (1976). *NAASRA bridge design specification* (5th ed.). Chatswood, Sydney: Technical Writing Services Pty. Ltd.
- Nettis, A., Ruggieri, S., & Uva, G. (2023). Fragility analysis of prestressed concrete girder bridges to traffic loads considering tendon corrosion. *EUROSTRUCT 2023: Digital Transformation in Sustainability*, 6(5), 794-800.
- Precast/Prestressed Concrete Institute. (2014). *Bridge design manual* (3rd ed., 2nd release). PCI Committee on Bridges, United States of America.
- Rahmawati, C., Zainuddin, Z., Is, S., & Rahim, R. (2018). Comparison between PCI and box girder in prestressed concrete bridge design. *Journal of Physics: Conference Series*, 1007(1).
- RSNI T-02-2005, Standar Pembebanan untuk Jembatan, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.

- RSNI T-12-2004, Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 03 – 2847 – 2019, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- SNI 1725 – 2016, Pembebanan untuk Jembatan, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Suangga, M., & Pranoto, A. (2023). Study of deflection of PCI girder bridges using rotation data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1324(1), 012023.
- Supriyadi, & Muntohar, A. S. (2000). *Jembatan*. Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS FT Universitas Gadjah Mada.
- VSL. (2019). *Strand post-tensioning systems*. Technical Catalogue.
- Yi-Ching, L., Chin-Yu, H., Jian-Hua, T., Liao, C., Shin-Tai, S., Hsin-Chu, T., & Jui-Lin, W. (2022). Application of edge computing in structural health monitoring of simply supported PCI girder bridges. *Sensors*, 22(22), 8711.