

## PERENCANAAN ULANG STRUKTUR JEMBATAN KALI NGEPRIH PUJON MENGGUNAKAN PC-I GIRDER

Naufal Zaki Arnaz<sup>1</sup>, Bobby Asukmajaya Raharjo<sup>2</sup>

Mahasiswa Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang<sup>1</sup>, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang<sup>2</sup>

Email: [naufalarnaz@gmail.com](mailto:naufalarnaz@gmail.com)<sup>1</sup>, [bobbyasukma@polinema.ac.id](mailto:bobbyasukma@polinema.ac.id)<sup>2</sup>

### ABSTRAK

Jembatan Kali Ngeprih merupakan salah satu jembatan yang berada di Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang. Kondisi eksisting jembatan ini berupa jembatan balok T. Perencanaan ini akan mendesain Jembatan Kali Ngeprih Pujon menjadi jembatan PC-I Girder (Precast Concrete-I) dengan bentang 45 meter dan lebar total 9,5 meter. Dasar dari perencanaan pembebanan jembatan ini mengacu pada [1]SNI 1725:2016 dan untuk perencanaan elemen struktur PC-I girder mengacu pada [2]Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan oleh Kementerian PUPR Direktorat Jenderal Bina Marga No. 02/M/BM/2021. Proses analisis gaya dalam pembebanan jembatan menggunakan software CSi Bridge dan juga Microsoft Excel untuk perhitungan tendon serta tulangannya. Dari hasil analisis perencanaan didapatkan hasil berupa dimensi girder dengan tinggi 210 cm yang menggunakan tulangan 11D13 (bawah), 10D13 (tengah) dan 8D13 (atas). Pelat lantai dengan tebal 20 cm dan menggunakan tulangan utama D16 – 150 mm dan tulangan bagi D13 – 200 mm. Tendon digunakan 4 buah dengan konfigurasi masing-masing 15 strands (seven wire strands, low relaxation) dengan diameter 15,24 mm. Metode pelaksanaan digunakan metode crane.

**Kata kunci** : jembatan; beton pratekan; PC-I girder; CSi Bridge

### ABSTRACT

*Kali Ngeprih Bridge is one of the bridges that located in Pujon District, Malang Regency. The existing structure is a T-beam bridge. This planning aims to redesign the Kali Ngeprih Pujon Bridge as a Precast Concrete I-Girder bridge with a span of 45 meters and a total width of 9,5 meter. The bridge loading design refers to [1]SNI 1725:2016, while the structural design of the PC-I girder elements follows the [2]Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan oleh Kementerian PUPR Direktorat Jenderal Bina Marga No. 02/M/BM/2021. Internal force analysis under loading conditions is conducted using CSi Bridge software, and tendon and reinforcement calculations are performed using Microsoft Excel. The design results show that the girder has a height of 210 cm and is reinforced with 11D13 bars (bottom), 10D13 bars (middle), and 8D13 bars (top). The deck slab has a thickness of 20 cm and uses D16 mm – 150 mm main reinforcement and D13 mm – 200 mm distribution reinforcement. The structure uses 4 tendons, each consisting of 15 seven-wire low-relaxation strands with a diameter of 15.24 mm. The selected construction method is cranes installation.*

**Keywords** : bridge; prestressed concrete; PC-I girder; CSi Bridge

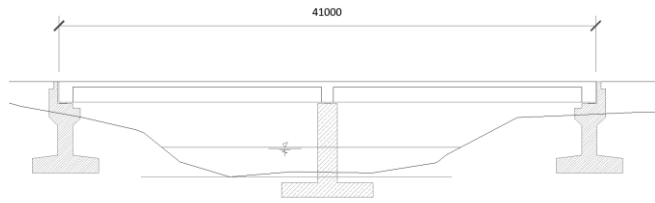
### 1. PENDAHULUAN

Jembatan Kali Ngeprih merupakan salah satu prasarana transportasi yang menghubungkan Kota Batu dan Kota Kediri melalui wilayah Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang. Keberadaan jembatan ini sangat penting mengingat tingginya mobilitas masyarakat serta arus logistik antar wilayah. Struktur eksisting jembatan berupa balok T dinilai sudah tidak layak operasional karena ketinggian muka air

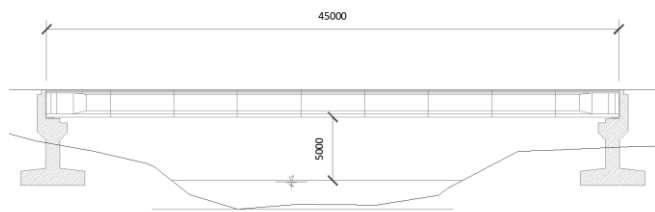
sungai yang sering meluap saat hujan deras dan berpotensi merusak struktur bawah jembatan.

Berdasarkan hal tersebut, dilakukan perencanaan ulang jembatan menjadi struktur bentang sederhana (single span) menggunakan tipe PC-I Girder (Precast Concrete I-Girder) dengan panjang bentang 45 meter dan lebar total 9,5 meter. Pemilihan tipe struktur ini mempertimbangkan efisiensi struktur, kemudahan pelaksanaan, serta kesesuaian dengan

bentang ekonomis berdasarkan [2]Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan No. 02/M/BM/2021.



**Gambar 1** Tampak samping jembatan eksisting  
Sumber: Perhitungan

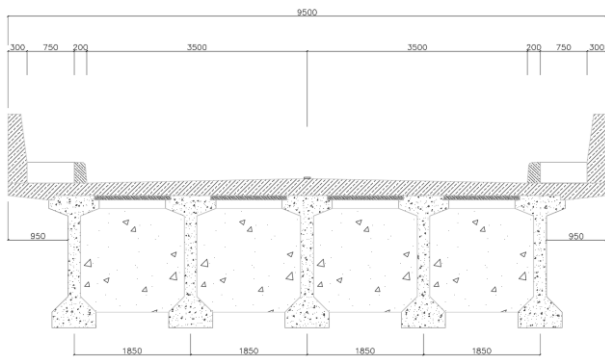


**Gambar 2** Tampak samping jembatan rencana  
Sumber: Perhitungan

**2. METODE**

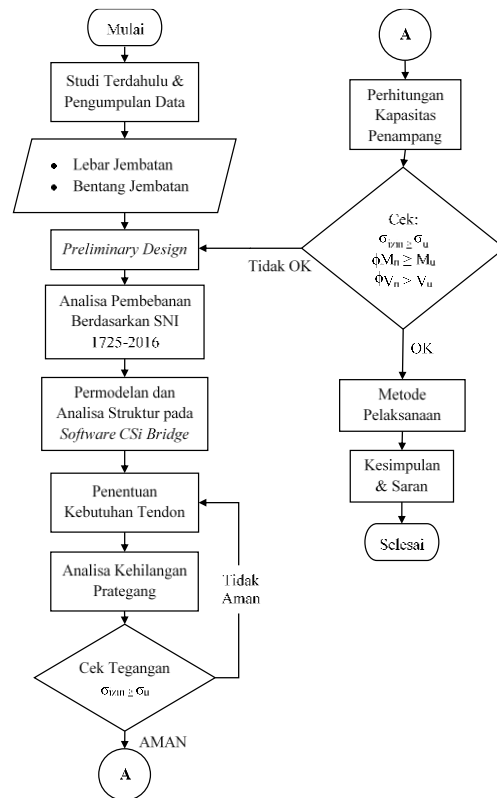
Jembatan Kali Ngeprih Pujon terletak di Jalan Brigjend Abd. Manan Wijaya, Kecamatan Pujon, Kabupaten Malang. Rencana desain jembatan menggunakan PC-I girder dengan tinggi 2,1 m sebanyak 5 buah.

Permodelan dan analisa gaya dalam dilakukan di aplikasi CSi Bridge. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh [3], proses yang dilakukan menggunakan bantuan software menjadi jauh lebih cepat karena otomatis dihitung secara optimal.



**Gambar 3** Potongan jembatan rencana  
Sumber: Dokumen pribadi

**Diagram Alir**



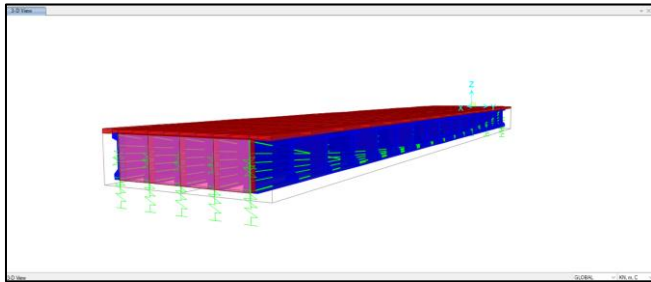
**Gambar 4** Flowchart

Sumber: Dokumen Pribadi

**Data Perencanaan Jembatan**

Nama Jembatan	: Jembatan Kali Ngeprih
Lokasi	: Jalan Brigjend Abd. Mana Wijaya
Jenis	: Jembatan PC-I girder
Panjang Jembatan	: 45 m
Lebar Jembatan	: 9,5 m
Lebar Lajur	: 3,5 m × 2 lajur
Tebal pelat lantai	: 0,2 m
<b>Spesifikasi Bahan</b>	
Mutu beton (f <sub>c</sub> ' )	: 50 MPa (struktur utama) 35 MPa (struktur lain)
Mutu baja (f <sub>y</sub> )	: 420 MPa
Modulus elastisitas (E <sub>s</sub> )	: 200000 MPa (nonprategang)
(E <sub>ps</sub> )	: 197000 MPa (prategang)
Diameter strand	: 15,24 mm

3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 5 Permodelan jembatan pada CSi Bridge

Sumber: Perhitungan

Kombinasi yang digunakan pada pembebanan jembatan Kali Ngeprih didapat bahwa kombinasi dengan momen dan gaya geser ultimit terdapat pada kombinasi KUAT I.

Tabel 1 Gaya dalam max

Kombinasi	Momen (kNm)	Geser (kN)
Kuat I	11437,062	1385,7391
Kuat II	11331,171	1374,7521
Kuat III	10969,686	1336,7134
Kuat IV	10965,053	1336,2975
Kuat V	10969,173	1336,8139
Ekstrem I	11227,28	1363,7651
Ekstrem II	11096,167	1350,0313
Layan I	8275,9454	990,0477
Layan II	8350,8545	997,8013
Layan III	8219,741	984,0675
Layan IV	8012,2758	962,3014

Sumber: Perhitungan

Hasil dari analisis yang dilakukan pada CSi Bridge didapatkan sebagai berikut:

MS = 7582,2984 kNm  
 MA + 0,8 LL = 3879,7409 kNm

Gaya dalam yang didapat dari aplikasi CSi bridge selanjutnya akan dipakai untuk analisis tendon.

Perencanaan Tendon

Jumlah dari strand yang diperlukan dihitung dengan persamaan berikut:

$$n_{stand\_req} = \frac{P_e}{P_{e\_strand}}$$

Jumlah strand minimum didapat 46,2 strand. Dengan didasari hal tersebut jumlah strand yang diambil menjadi 60 strand dan luas baja prategang didapat sebesar 8400 mm<sup>2</sup>.

Tabel 2 Konfigurasi tendon tengah bentang

Baris (n)	Isi strand / tendon	C <sub>n</sub> (mm)	e <sub>cn</sub> (mm)
1	15	210	802
2	15	150	862
3	15	150	862
4	15	150	862

Sumber: Perhitungan

$$e_{mid} = \frac{A_{ps1} \times e_{c1} + A_{ps2} \times e_{c2} + A_{ps3} \times e_{c3} + A_{ps4} \times e_{c4}}{A_{pstot}}$$

Maka e<sub>mid</sub> = 847 mm

$$y_{mid} = \frac{A_{ps1} \times C_1 + A_{ps2} \times C_2 + A_{ps3} \times C_3 + A_{ps4} \times C_4}{A_{pstot}}$$

Maka y<sub>mid</sub> = 165 mm

Tabel 3 Konfigurasi tendon tumpuan

Baris n	Isi strand / tendon	C <sub>en</sub> (mm)	e <sub>pen</sub> (mm)	e <sub>pn</sub> (mm)
1	15	1570	-558	1360
2	15	1200	-188	1050
3	15	820	192	670
4	15	450	562	300

Sumber: Perhitungan

$$e_{end} = \frac{A_{ps1} \times e_{pe1} + A_{ps2} \times e_{pe2} + A_{ps3} \times e_{pe3} + A_{ps4} \times e_{pe4}}{A_{pstot}}$$

Maka e<sub>end</sub> = 2 mm

$$y_{end} = \frac{A_{ps1} \times C_{e1} + A_{ps2} \times C_{e2} + A_{ps3} \times C_{e3} + A_{ps4} \times C_{e4}}{A_{pstot}}$$

Maka y<sub>end</sub> = 1010 mm

Penentuan Sudut Angkur

Sudut dari angkur yang digunakan didapat dari persamaan berikut:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{dy}{dx}$$

Dari persamaan diatas, maka nilai dari masing-masing sudut angkur tiap tendon didapat sebagai berikut:

Tabel 4 Sudut angkur per tendon

Baris	E <sub>pi</sub> (m)	dy/dx	Sudut angkur	
			α	Radian °
1	1,36	0,121	0,120	6,893
2	1,05	0,093	0,093	5,332
3	0,67	0,060	0,059	3,408
4	0,3	0,027	0,027	1,528

Sumber: Perhitungan

Tata Letak Tendon

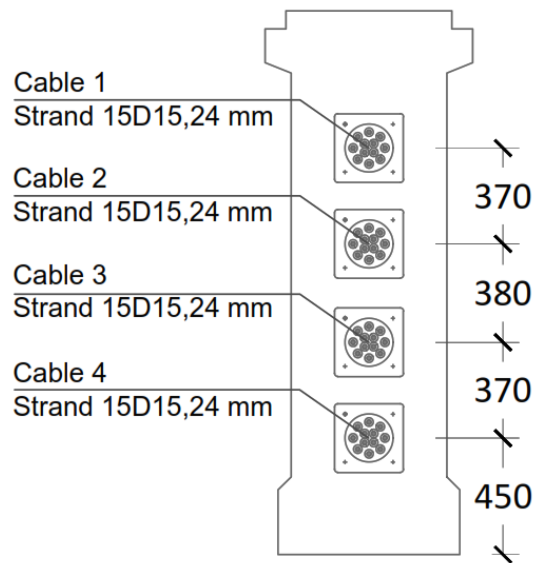
Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan posisi tendon per jarak yang ditinjau dengan persamaan berikut:

$$z_1 = C_{ei} - \frac{4 \cdot e_{pi} \cdot x}{L^2} \times (L - x)$$

**Tabel 5** Trace tendon

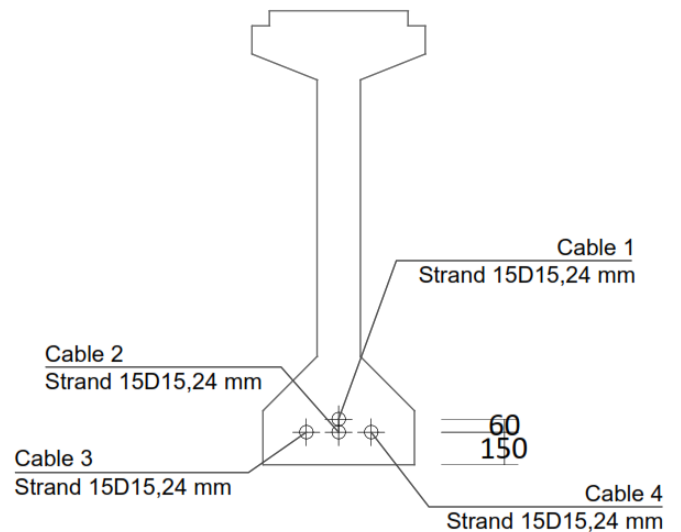
Jarak X (m)	Posisi masing-masing kabel			
	Z1 (mm)	Z2 (mm)	Z3 (mm)	Z4 (mm)
0	1570	1200	820	450
1	1451,80	1108,74	761,77	423,93
2	1338,97	1021,63	706,18	399,04
3	1231,51	938,67	653,24	375,33
4	1129,43	859,85	602,95	352,81
5	1032,72	785,19	555,31	331,48
6	941,38	714,67	510,31	311,33
7	855,41	648,30	467,96	292,37
8	774,82	586,07	428,26	274,59
9	699,60	528,00	391,20	258,00
10	629,75	474,07	356,79	242,59
11	565,28	424,30	325,03	228,37
12	506,18	378,67	295,91	215,33
13	452,45	337,19	269,44	203,48
14	404,09	299,85	245,62	192,81
15	361,11	266,67	224,44	183,33
16	323,50	237,63	205,92	175,04
17	291,26	212,74	190,03	167,93
18	264,40	192,00	176,80	162,00
19	242,91	175,41	166,21	157,26
20	226,79	162,96	158,27	153,70
21	216,04	154,67	152,98	151,33
22	210,67	150,52	150,33	150,15
22,5	210,00	150,00	150,00	150,00
23	210,67	150,52	150,33	150,15
24	216,04	154,67	152,98	151,33
25	226,79	162,96	158,27	153,70
26	242,91	175,41	166,21	157,26
27	264,40	192,00	176,80	162,00
28	291,26	212,74	190,03	167,93
29	323,50	237,63	205,92	175,04
30	361,11	266,67	224,44	183,33
31	404,09	299,85	245,62	192,81
32	452,45	337,19	269,44	203,48
33	506,18	378,67	295,91	215,33
34	565,28	424,30	325,03	228,37
35	629,75	474,07	356,79	242,59
36	699,60	528,00	391,20	258,00
37	774,82	586,07	428,26	274,59
38	855,41	648,30	467,96	292,37
39	941,38	714,67	510,31	311,33
40	1032,72	785,19	555,31	331,48
41	1129,43	859,85	602,95	352,81
42	1231,51	938,67	653,24	375,33
43	1338,97	1021,63	706,18	399,04
44	1451,80	1108,74	761,77	423,93
45	1570,00	1200,00	820,00	450,00

Sumber: Perhitungan



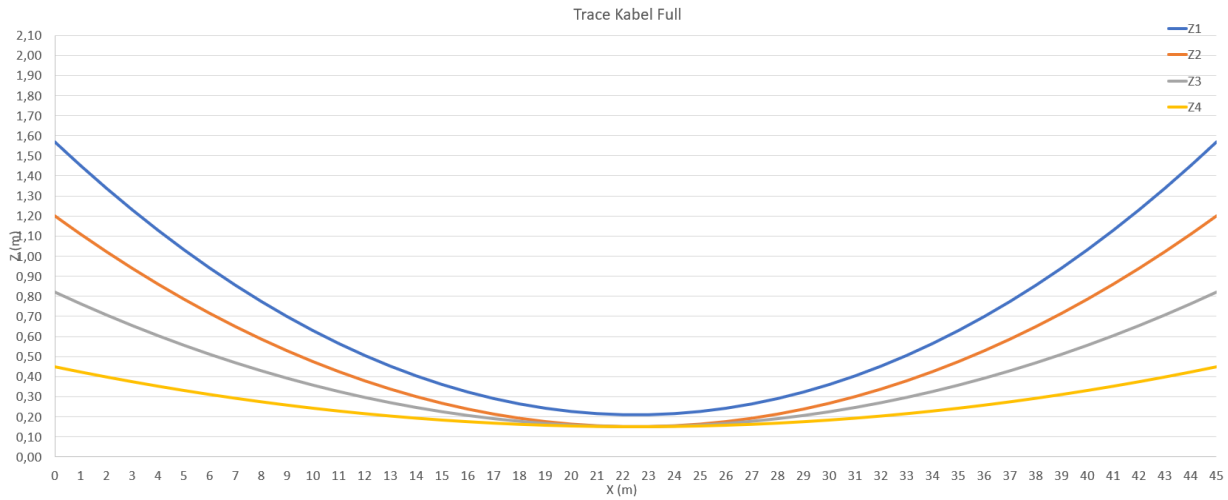
**Gambar 6** Posisi tendon pada tumpuan

Sumber: Perhitungan



**Gambar 7** Posisi tendon pada lapangan

Sumber: Perhitungan



Gambar 8 Trace tendon

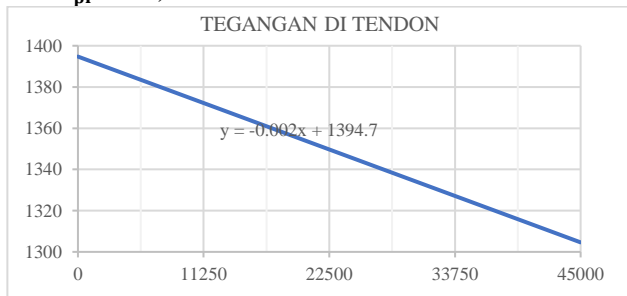
Sumber: Perhitungan  
**Kehilangan Prategang**

a) Akibat gesekan

$$\Delta f_{pF} = f_{pj} \times 1 - e^{-(Kx + \mu\alpha)}$$

Dari persamaan didapat hasil

$$\Delta f_{pF} = 45,82 \text{ MPa}$$



Gambar 9 Grafik kehilangan akibat gesek

Sumber: Perhitungan

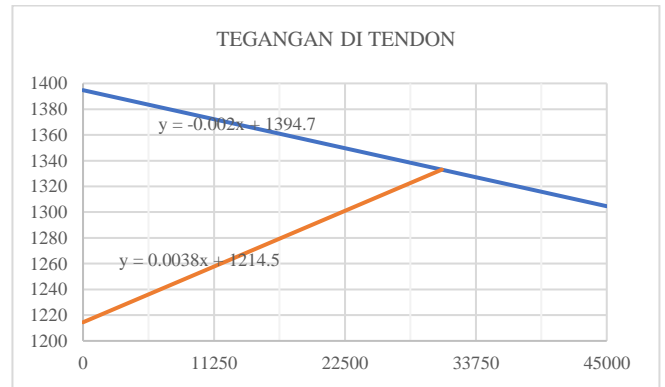
b) Akibat geser angkur

$$\Delta f_{pA} = \Delta f \times \left(1 - \frac{x}{L_{pA}}\right)$$

Tabel 6 Kehilangan akibat geser angkur

X/L	X (mm)	$\Delta f_{pA}$ (MPa)	$\Delta f_{pF}$ (MPa)	$\Delta f$ (MPa)
0	0	180,29	1395	1214
0,10	4500	153,98	1386	1232
0,20	9000	127,67	1377	1249
0,30	13500	101,36	1368	1266
0,40	18000	75,05	1359	1284
0,50	22500	48,75	1350	1301
0,60	27000	22,44	1341	1318
0,69	30837,94	0,00	1333	1333
0,70	31500		1332	1332
0,80	36000		1323	1323
0,90	40500		1314	1314
1	45000		1305	1305

Sumber: Perhitungan



Gambar 10 Grafik kehilangan akibat geser angkur

Sumber: Perhitungan

$$\Delta f_{pA} = 48,75 \text{ MPa}$$

c) Akibat perpindahan elastis

$$\Delta f_{pES} = \frac{N_{ps}-1}{2 \cdot N_{ps}} \times \frac{E_{ps}}{E_{cig}} \times f_{cgp}$$

$$\Delta f_{pES} = 4,91 \text{ MPa}$$

d) Akibat susut pada gelagar

$$\Delta f_{pSR} = \epsilon_{bid} \cdot E_{ps} \cdot k_{id}$$

$$\Delta f_{pSR} = 76,095 \text{ MPa (saat transfer),}$$

$$\Delta f_{pSD} = \epsilon_{bdf} \cdot E_{ps} \cdot k_{df}$$

$$\Delta f_{pSD} = 25,66 \text{ MPa (saat final)}$$

e) Akibat rangkai pada gelagar

$$\Delta f_{pCR} = \frac{E_{ps}}{E_{cig}} \cdot f_{cgp} \cdot \Psi_{tdfti} \cdot k_{id}$$

$$\Delta f_{pCR} = 85,00 \text{ MPa (saat transfer),}$$

$$\Delta f_{pCD} = 24,62 \text{ MPa (saat final)}$$

f) Akibat relaksasi tendon

$$\Delta f_{pR1} = 8 \text{ MPa}$$

$$\Delta f_{pR2} = 8 \text{ MPa}$$

g) Tambahan akibat susut pelat

$$\Delta f_{pSS} = \left| \frac{E_{ps}}{E_{cg}} \cdot \Delta f_{cfd} \cdot k_{df} \cdot (1 + 0,7 \cdot \Psi_{tftdd}) \right|$$

$\Delta f_{pss} = 17,98 \text{ MPa}$

Total dari kehilangan prategang ( $\Delta f_{pT}$ ) didapat nilai sebesar 308,88 MPa; nilai tegangan prategang efektif ( $f_{pe}$ ) didapat sebesar 1086,12 MPa. Maka gaya prategang efektif adalah:  $P_{eff} = A_{ps_{tot}} \cdot f_{pe} = 9123,405 \text{ kN}$ .

**Pemeriksaan tegangan**

**Tabel 7** Tegangan pada sambungan gelagar

Lokasi mm	Lokasi	Tegangan MPa
5000	Top	-6,87
	Bottom	3,11
10000	Top	-7,07
	Bottom	6,08
15000	Top	-9,40
	Bottom	8,91
20000	Top	-10,97
	Bottom	10,40
25000	Top	-10,97
	Bottom	10,41
30000	Top	-9,36
	Bottom	8,86
35000	Top	-7,00
	Bottom	6,03
40000	Top	-6,65
	Bottom	3,13

Sumber: Perhitungan

**Penulangan**

Acuan utama yang digunakan untuk perhitungan penulangan pelat adalah [4]SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan serta [5]RSNI T-12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan.

a) Gelagar

Untuk penulangan pada gelagar dilakukan perhitungan dengan membagi gelagar menjadi 3 bagian yaitu bawah, tengah dan atas.

Bagian bawah gelagar menggunakan 11D13, bagian tengah 10D13 dan bagian atas 8D13.

b) Pelat lantai

$$A_{Smin} = \rho \times b \times d = 1097 \text{ mm}^2$$

Didasarkan dari luas tulangan yang didapat, maka dipakai tulangan pokok D16 – 150 mm dan tulangan bagi D13 – 200 mm.

c) Diafragma

$$A_{Smin} = \rho \times b \times d = 1081 \text{ mm}^2$$

Tulangan pokok di diafragma dipakai D13 – 120 dan tulangan sengkang dipakai D9 – 110 mm.

**4. KESIMPULAN**

Dari hasil perencanaan yang telah dilaksanakan, diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Desain struktur atas Jembatan Kali Ngeprih Pujon menggunakan gelagar PCI Girder dengan ketinggian 2,1 meter. Jarak antar girder didapat sebesar 1,85 meter.

Tebal pelat lantai didapat setebal 200 mm. Dimensi dari diafragma yang digunakan adalah sebesar 1,65 m × 1,65 m × 0,2 m.

2. Beban yang dianalisis pada Jembatan Kali Ngeprih Pujon adalah sebagai berikut:
  - a. Beban mati (MS)
  - b. Beban mati tambahan atau utilitas (MA) terdiri dari beberapa elemen. Seperti berat aspal dan overlay sebesar 2,2 kN/m, berat trotoar sebesar 7,780 kN/m, berat parapet sebesar 17,776 kN/m dan berat genangan air hujan (tebal 5 cm) sebesar 0,49 kN/m.
  - c. Beban hidup (LL) digunakan beban terbagi merata (BTR) sebesar 13,875 kN/m dan beban garis terpusat (BGT) sebesar 126,91 kN kebutuhan perhitungan struktur.
  - d. Beban pengereman diambil senilai 5% dari berat truk rencana sebesar 33,625 kN/m.
  - e. Beban angin digunakan rencana angin dengan kecepatan 126 km/jam.
3. Jumlah dari strand minimum ditemukan sebanyak 46,22 strand namun yang digunakan sebanyak 60 strand dengan konfigurasi 15 strand tiap tendon dan menggunakan 4 tendon. Kehilangan prategang gelagar struktur atas Jembatan Kali Ngeprih Pujon ditemukan sebesar 16,61% pada perhitungan manualnya. Analisis kehilangan prategang yang dilakukan pada *software CSI Bridge* ditemukan nilai rata-rata sebesar 18,22%. Dari perhitungan didapatkan perbedaan nilai kehilangan antara perhitungan manual dan software sebesar 1,61%.
4. Tegangan yang dianalisis menggunakan *software CSI Bridge* pada sambungan antar segmen dan tengah bentang girder ditemukan sebagai berikut:
  - a. Jarak 5 m pada atas gelagar sebesar -6,87MPa, pada bawah gelagar sebesar 3,11 MPa.
  - b. Jarak 10 m pada atas gelagar sebesar -7,07MPa, pada bawah gelagar sebesar 6,08 MPa.
  - c. Jarak 15 m pada atas gelagar sebesar -9,40 MPa, pada bawah gelagar sebesar 8,91 MPa.
  - d. Jarak 20 m pada atas gelagar sebesar -10,97 MPa, pada bawah gelagar sebesar 10,40 MPa.
  - e. Jarak 25 m pada atas gelagar sebesar -10,97 MPa, pada bawah gelagar sebesar 10,41 MPa.
  - f. Jarak 30 m pada atas gelagar sebesar -9,36 MPa, pada bawah gelagar sebesar 8,86 MPa.
  - g. Jarak 35 m pada atas gelagar sebesar -7,00 MPa, pada bawah gelagar sebesar 6,03 MPa.
  - h. Jarak 40 m pada atas gelagar sebesar -6,65 MPa, pada bawah gelagar sebesar 3,13 MPa.
5. Metode pelaksanaan yang direncanakan pada perencanaan struktur atas Jembatan Kali Ngeprih Pujon adalah dengan menggunakan metode crane. Metode

crane yang direncanakan menggunakan 2 crane untuk proses erection girder.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 1725:2016 Pembebanan Untuk Jembatan,” 2016.
- [2] Direktorat Jenderal Bina Marga, “Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan No.02/M/BM/2021,” 2021.
- [3] B. A. R., “Perbandingan Desain Elemen Struktur Pada Bangunan Gedung Secara Manual dan Dengan Software RSAP 2022,” *J. Qua Tek.*, vol. 13, no. 1, pp. 46–60, 2023, doi: 10.35457/quateknika.v13i1.2660.
- [4] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung,” 2019.
- [5] Badan Standardisasi Nasional, “RSNI T-12-2004 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan,” pp. 1–140, 2004.