

Studi Perbandingan Kinerja Struktur Atas Girder Jembatan Beton Bertulang Menggunakan Perkuatan Prategang Eksternal Tipe *Double King Pose* terhadap *Pre-Cast I Girder*

MONIKA PUTRI RIZKITA SURYAWINATA^{1*}, EUNEKE WIDYANINGSIH²

¹ Mahasiswa Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

² Dosen Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia
Email: monikaputri1118@gmail.com

ABSTRAK

Jembatan Cikeruh merupakan jalan umum yang kerap dilalui oleh kendaraan pribadi, umum, dan juga berat. Dari waktu ke waktu jumlah kendaraan yang melewati jembatan ini semakin meningkat, sehingga menyebabkan terjadinya keretakan karena beban yang tersalurkan semakin besar dan juga jarak antara jembatan dengan muka air banjir terlalu dekat. Oleh karena itu, penelitian ini akan dibandingkan tipe struktur yang sama bentang dapat diperpanjang yaitu tipe beton bertulang menggunakan prategang eksternal atau harus melakukan rekonstruksi penuh pada jembatan yaitu mengganti tipe girder menjadi PCI Girder untuk mendapatkan hasil jembatan yang lebih efektif. Hasil yang didapatkan nilai rasio kapasitas untuk jembatan PCI Girder memenuhi syarat izin yaitu < 1 , hasil analisis lendutan untuk jembatan beton bertulang dengan prategang eksternal dan jembatan PCI Girder memenuhi syarat izin yaitu $< 0,035$ m; dan berat girder didapatkan untuk jembatan beton bertulang sebesar 3241,22 kN dan berat girder untuk PCI girder sebesar 3032,88 kN. Apabila struktur jembatan tersebut ingin diperpanjang menjadi 28 m maka harus dilakukan rekonstruksi penuh atau mengganti tipe girder jembatan menjadi tipe PCI Girder jika ditinjau dari nilai rasio kapasitas, nilai lendutan, dan berat girder sendiri.

Kata kunci: Jembatan PCI Girder, Prategang Eksternal, Jembatan Girder Beton Bertulang, Lendutan, Rasio Kapasitas, Berat Girder

ABSTRACT

The Cikeruh Bridge is a public road that is often passed by private vehicles, public transportation and also heavy vehicles. From time to time the number of vehicles passing through this bridge is increasing, causing cracks to occur because the load being distributed is getting bigger and also the distance between the bridge and the flood water surface is too close, this supports the bridge being extended. Therefore, this research will compare whether with the same type of structure the span can be extended, the reinforced concrete type using external prestressing or whether a full reconstruction of the bridge must be carried out, also changing the girder type to PCI Girder to get a bridge that is effective. The results obtained by the capacity ratio value for the PCI Girder bridge is < 1 , the results of the deflection analysis for the reinforced concrete bridge with external prestressing and the PCI Girder bridge is < 0.035 m, and the girder's weight for the reinforced concrete bridge is 3,241.22 kN and the for the PCI girder is 3,032.88 kN. If the bridge structure is to be extended to 28 m, a full reconstruction must be carried out or the bridge girder type changed to PCI Girder type if viewed from the capacity ratio, deflection and girder's weight itself.

Keywords: PCI Girder Bridge, External Prestressing, Reinforced Concrete Girder Bridge, Deflection, Capacity Ratio, Girder Weight

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan sebuah struktur yang dibangun untuk menghubungkan jalan yang terhalang oleh rintangan yang lebih rendah, seperti saluran air atau jalur lalu lintas lainnya [12]. Fungsi utamanya adalah untuk menyatukan dua bagian jalan yang terputus akibat adanya hambatan, seperti lembah, sungai, saluran irigasi, saluran pembuangan, rel kereta api, waduk, dan sebagainya [7][16].

Jembatan Cikeruh dapat menghubungkan tiga kecamatan, yaitu Solokanjeruk, Ciparay, dan Majalaya dengan Kawasan Tegalluar yang menuju ke Kota Bandung atau sebaliknya [15]. Jembatan Cikeruh merupakan jalan umum yang kerap dilalui oleh kendaraan pribadi, kendaraan umum, dan juga kendaraan berat. Dari waktu ke waktu jumlah kendaraan yang melewati jembatan ini semakin meningkat, sehingga menyebabkan terjadinya keretakan karena beban yang tersalurkan semakin besar dan juga jarak antara jembatan dengan muka air banjir terlalu dekat, hal tersebut mendukung jembatan untuk diperpanjang. Melihat hal tersebut, pada tugas akhir ini akan dibandingkan apakah dengan tipe struktur yang sama bentang dapat diperpanjang yaitu tipe beton bertulang menggunakan prategang eksternal atau harus melakukan rekonstruksi penuh pada jembatan yaitu mengganti tipe *girder* menjadi PCI *Girder* untuk mendapatkan hasil jembatan yang lebih efektif digunakan [4].

2. METODOLOGI

Diagram alir yang ditunjukkan pada **Gambar 1** merupakan susunan atau gambaran kerangka penelitian berupa tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian sebagai berikut.

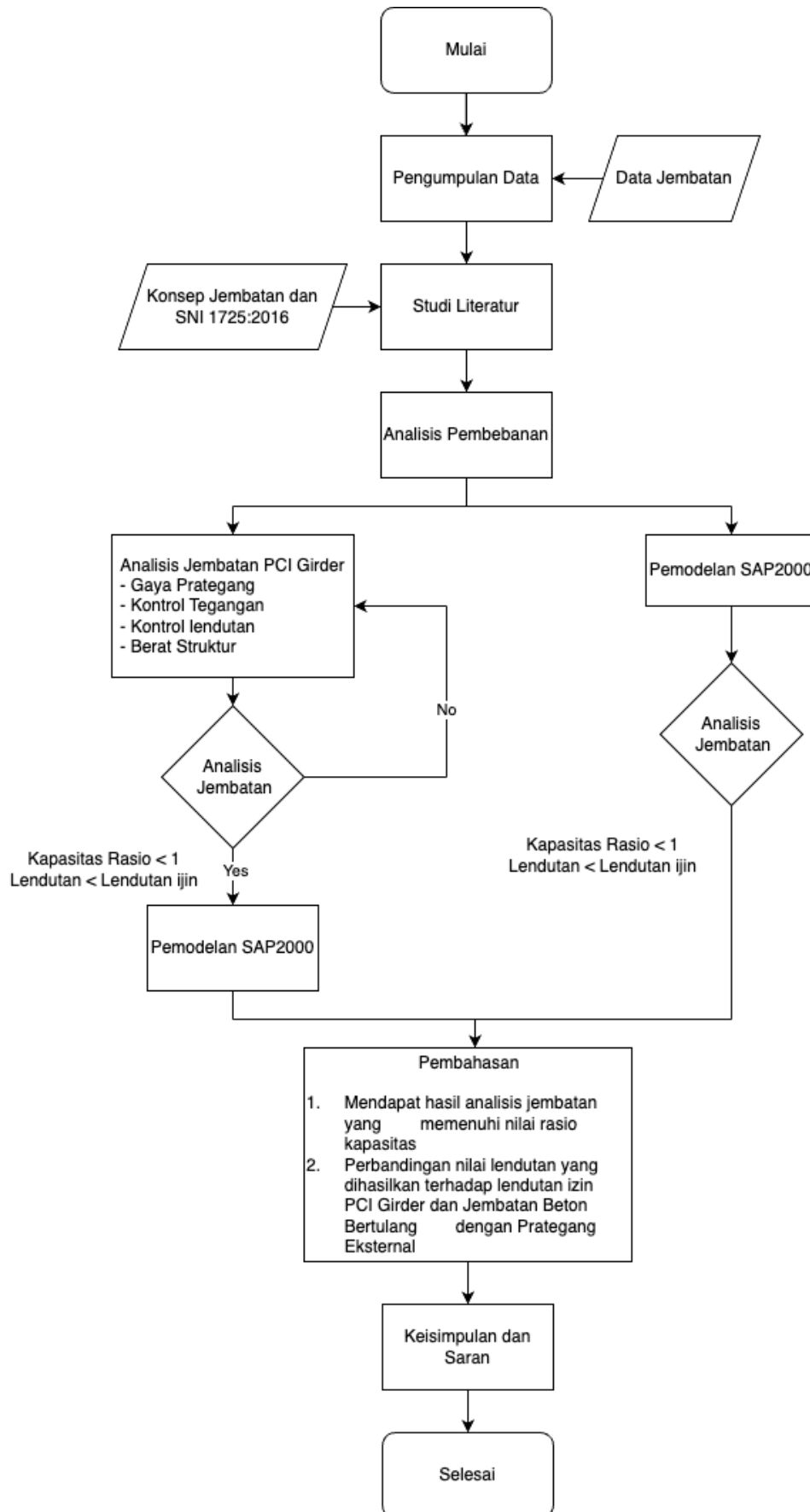
Berikut merupakan data teknis Jembatan Cikeruh yang ditunjukkan pada **Gambar 2**, sebagai berikut:

- | | |
|--------------------------------------|-------------------|
| 1. Jenis jembatan | = Beton bertulang |
| 2. Bentang jembatan | = 28 meter |
| 3. Lebar jembatan | = 9 meter |
| 4. Tebal <i>slab</i> lantai jembatan | = 0,25 meter |
| 5. Jumlah gelagar | = 5 buah |
| 6. Jumlah diafragma | = 4 buah |
| 7. Spasi antar <i>girder</i> | = 1.850 mm |

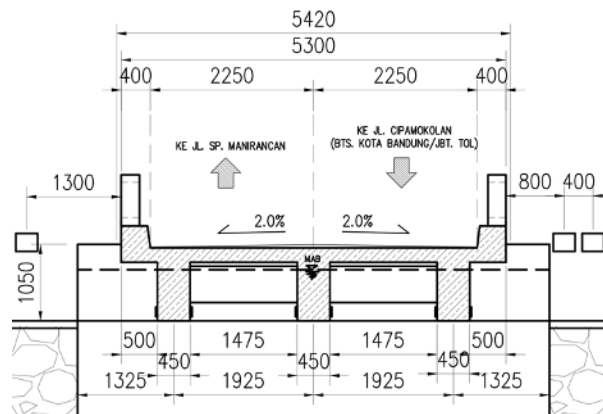
Berikut merupakan data teknis rekonstruksi Jembatan Cikeruh yang ditunjukkan pada **Gambar 3**, sebagai berikut:

- | | |
|--------------------------------------|-------------------|
| 1. Jembatan rekonstruksi | = Beton prategang |
| 2. Bentang jembatan | = 28 meter |
| 3. Lebar jembatan | = 9 meter |
| 4. Tebal <i>slab</i> lantai jembatan | = 0,25 meter |
| 5. Jumlah gelagar | = 5 buah |
| 6. Jumlah diafragma | = 4 buah |
| 7. Spasi antar <i>girder</i> | = 1.850 mm |

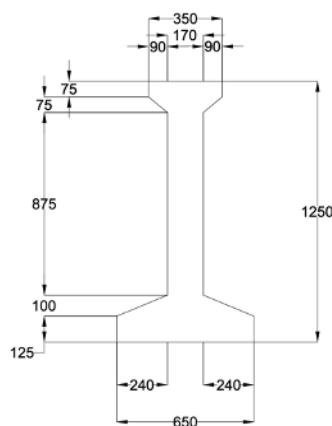
Studi Perbandingan Kinerja Struktur Atas Girder Jembatan Beton Bertulang Menggunakan Perkuatan Prategang Eksternal Tipe Double King Pose terhadap Pre-Cast I Girder



Gambar 1. Diagram alir penelitian



Gambar 2. Detail profil jembatan beton bertulang
(Sumber: UPTD Wilayah Pelayanan III Bina Marga Provinsi Jawa Barat)



Gambar 3. Detail profil PCI Girder rekonstruksi Jembatan Cikeruh [14]

Berikut detail pembebanan jembatan [3] pada Jembatan balok T beton bertulang:

1. Beban sendiri (MS)
2. Beban tambahan (MA)
3. Beban lajur (TD)
 - a. BTR (Beban Terbagi Rata)
Total bentang jembatan balok T beton bertulang adalah sebesar 28 m, dengan demikian beban BTR yang digunakan adalah sebesar 9 kPa.
 - b. BGT (Beban Garis Terpusat)
Beban BGT yang akan digunakan adalah sebesar 49 kN/m.
4. Beban Truk (TT)
Beban truk "TT" menggunakan standar kendaraan truk semi-trailer 500 kN.
5. Beban rem (TB)
Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:
 - a. 25% dari berat truk desain atau,
 - b. 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR
6. Beban angin (EW)

Pembebanan jembatan pada Jembatan PCI Girder menggunakan data yang sama dengan pembebanan jembatan aktual beton bertulang ditambahkan dengan Beban Prategang (PR) [14].

Studi Perbandingan Kinerja Struktur Atas Girder Jembatan Beton Bertulang Menggunakan Perkuatan Prategang Eksternal Tipe Double King Pose terhadap Pre-Cast I Girder

Metode perkuatan yang digunakan pada Jembatan balok T beton bertulang pada Jembatan Cikeruh yaitu prategang eksternal. Tipe *strands* yang digunakan pada Jembatan Cikeruh adalah 7 *wires strand* dengan luas nominal 98,71 mm² beban putus 18,733 ton produksi PT. VSL. Berikut adalah tabel spesifikasi 7 *wire strand* dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Ukuran Kabel *Prestress 7 Wire Strand*
(Sumber: Bahan Ajar Rekayasa Jembatan Institut Teknologi Nasional Bandung) [8]

| <i>Prestressing steel</i> | ASTM type or grade | Nominal diameter | | Nominal area | | Minimum tensile strength, f_{pu} | |
|---|--------------------|------------------|-------|-----------------|-----------------|------------------------------------|-------|
| | | in | mm | in ² | mm ² | ksi | MPa |
| Stress-relieved 7-wire strands (ASTM A416) | Grade 250 | 0,250 | 6,35 | 0,036 | 23,22 | 250 | 1.725 |
| | | 0,313 | 7,94 | 0,058 | 37,42 | 250 | 1.725 |
| | | 0,375 | 9,53 | 0,080 | 51,61 | 250 | 1.725 |
| | | 0,438 | 11,11 | 0,108 | 69,68 | 250 | 1.725 |
| | | 0,500 | 12,54 | 0,144 | 92,90 | 250 | 1.725 |
| | | 0,600 | 15,24 | 0,216 | 139,35 | 250 | 1.725 |
| | Grade 270 | 0,375 | 9,53 | 0,085 | 54,84 | 270 | 1.860 |
| | | 0,438 | 11,11 | 0,115 | 74,19 | 270 | 1.860 |
| | | 0,500 | 12,54 | 0,153 | 98,71 | 270 | 1.860 |
| | | 0,563 | 14,29 | 0,192 | 123,87 | 270 | 1.860 |
| | | 0,600 | 15,24 | 0,216 | 139,35 | 270 | 1.860 |

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembebanan Jembatan

3.1.1 Beban Mati Sendiri (MS)

Pelat lantai jembatan (b) = 1,85 m
 Berat beton bertulang (W_c) = 25 kN/m³
 Tebal pelat lantai jembatan ($h = t_s$) = 0,25 m
 Berat sendiri (Q_{MS}) = $b \times h \times W_c$
 = 1,85 x 0,25 x 25
 = 11,563 kN/m

Berat satu balok diafragma:

a. Tinggi diafragma (h_d) = 1,562 m
 b. Lebar diafragma (b_d) = 1,1 m
 c. W_d = 79,467 kN

Beban diafragma pada girder:

a. Jumlah diafragma (n_d) = 4 buah
 b. Panjang jembatan (L) = 28 m
 c. Q_d = 11,352 kN/m

3.1.2 Beban Mati Tambahan (MA)

Aspal yang digunakan memiliki nilai berat jenis 22 kN/m³; tebal 0,05 m; dan lebar 1,85 m. Dengan:

Luas Penampang (A) = 0,05 x 1,85
 = 0,093 m²
 Beban Q_{MA} = 0,093 x 22
 = 2,035 kN/m

Air hujan diasumsikan memiliki nilai berat jenis 9,8 kN/m³; tebal 0,05 m; dan lebar 1,85 m. Dengan:

$$\begin{aligned}
 \text{Luas Penampang (A)} &= 0,05 \times 1,85 \\
 &= 0,093 \text{ m}^2 \\
 \text{Beban } Q_{MA} &= 0,093 \times 9,8 \\
 &= 0,9065 \text{ kN/m} \\
 \text{Total Beban } Q_{MA} &= 2,035 + 0,9065 \\
 &= 2,9415 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

3.1.3 Beban Lajur (TD)

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor Beban Dinamis (FBD)} &= 0,4 \text{ m} \\
 \text{Bentang jembatan (L)} &= 28 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban Terbagi Rata (BTR)} & \\
 \text{Intensitas beban dalam arah memanjang (q)} &= 9,0 \text{ kPa}^{[2]} \\
 \text{Beban } Q_{TD} &= 1,85 \times 9 \\
 &= 16,65 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban Garis Terpusat (BGT)} & \\
 \text{Intensitas beban (p)} &= 49 \text{ kN/m}^{[2]} \\
 \text{Beban } P_{TD} &= (1+0,4) \times 49 \times 1,85 \\
 &= 126,91 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3.1.4 Beban Truk (TT)

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor Beban Dinamis (FBD)} &= 0,3 \\
 \text{Roda 1} &= 25 \times (1+0,3) = 32,5 \text{ kN} \\
 \text{Roda 2} &= 112,5 \times (1+0,3) = 146,25 \text{ kN} \\
 \text{Roda 3} &= 112,5 \times (1+0,3) = 146,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

3.1.5 Gaya Rem (TB)

$$\begin{aligned}
 \text{Gaya rem harus diambil yang terbesar dari}^{[2]}: \\
 25\% \times \text{Berat gandar truk rencana} &= 25\% \times 225 = 56,25 \text{ kN} \\
 5\% \times (\text{Berat truk rencana} + \text{BTR}) &= 5\% \times (500+126,91) = 26,656 \text{ kN} \\
 \text{Sehingga, diambil gaya rem terbesar yaitu } &56,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Titik berat} &= 0,525 \text{ m} \\
 Y \quad (\text{jarak titik tangkap gaya ke pusat girder}) &= 1,8 + 0,05 + 0,25 + 0,525 \\
 &= 2,626 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Reaksi Gaya Dalam:

$$M_{MS} = H_{tb} \times y = 56,25 \times \frac{2,626}{2} = 73,856 \text{ kNm}$$

3.1.6 Beban Angin (EW)

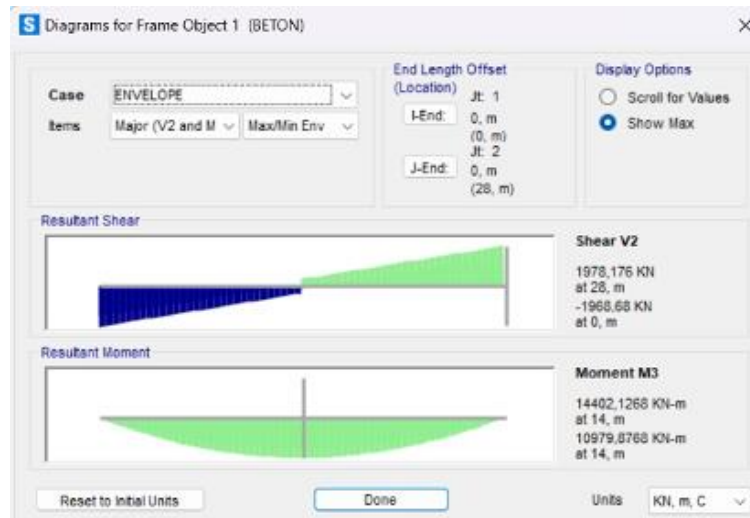
$$\begin{aligned}
 \text{Beban angin pada Kendaraan (EW}_L) & \\
 \text{Koefisien seret (C}_w) &= 1,2 \\
 \text{Kecepatan angin rencana (V}_w) &= 30 \text{ m/s} \\
 \text{Gaya angin kendaraan (TEW)} &= 0,0012 \times 1,2 \times 30^2 = 1,296 \text{ N/mm} \\
 \text{Jarak angin ke permukaan pelat (h)} &= 2 \text{ m} \\
 \text{Jarak antar roda} &= 1,75 \text{ m} \\
 \text{Beban } Q_{EWL} &= \frac{2}{1,75} \times 1,296 \\
 &= 1,481 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

3.2 Hasil Analisis Struktur

3.2.1 Rasio Kapasitas

3.2.1.1 Jembatan Beton Bertulang Tanpa Prategang [13]

Berdasarkan hasil kombinasi pembebanan didapatkan M_u sebesar 14.402,1268 kNm yang dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Diagram gaya dalam pada jembatan beton bertulang tanpa prategang eksternal

Rasio Kapasitas Struktur

$$\left(\frac{M_u}{\phi M_n}\right) \leq 1$$
$$\left(\frac{14.402,127}{1.961,85}\right) \leq 1$$

$7,341 \geq 1$, artinya balok struktur jembatan tidak dapat menahan beban yang bekerja.

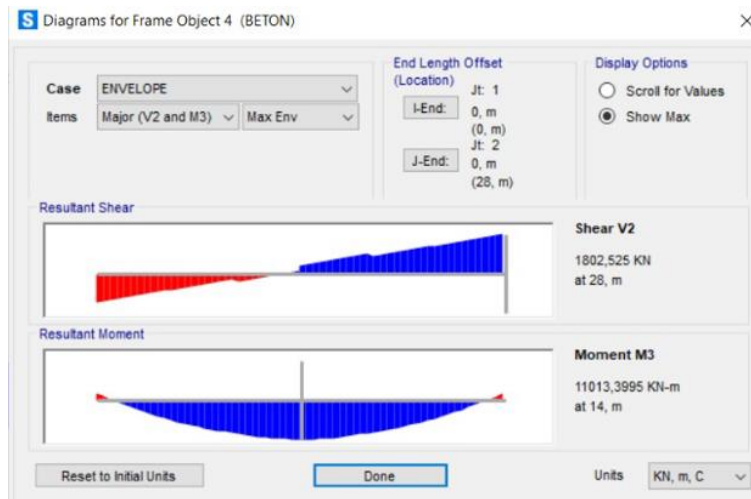
3.2.1.2 Jembatan Beton Bertulang Menggunakan Prategang Eksternal [9]

Berdasarkan hasil kombinasi pembebanan didapatkan M_u sebesar 11.013,4000 kNm yang dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Rasio Kapasitas Struktur

$$\left(\frac{M_u}{\phi M_n}\right) \leq 1$$
$$\left(\frac{11.013,4}{1.961,85}\right) \leq 1$$

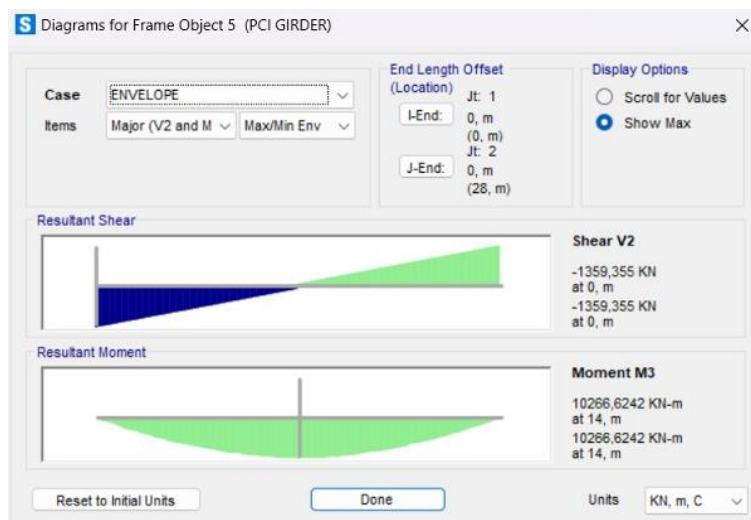
$5,614 \geq 1$, artinya balok struktur jembatan tidak dapat menahan beban yang bekerja.



Gambar 5. Diagram gaya dalam pada jembatan beton bertulang menggunakan prategang eksternal

3.2.1.3 Jembatan Beton Bertulang Menggunakan Prategang Eksternal [5][6]

Berdasarkan hasil kombinasi pembebanan didapatkan M_u sebesar 10.266,624 kNm yang dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Diagram gaya dalam pada jembatan PCI Girder

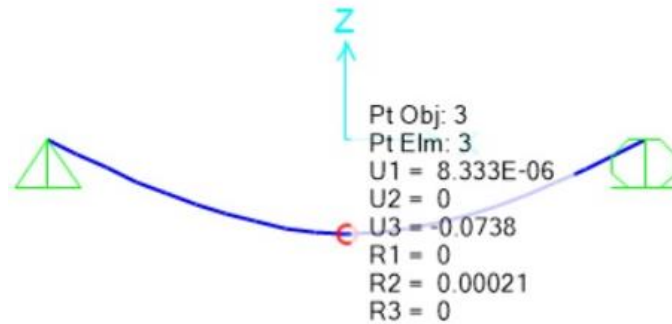
3.2.2 Lentutan

3.2.2.1 Jembatan Beton Bertulang Tanpa Prategang

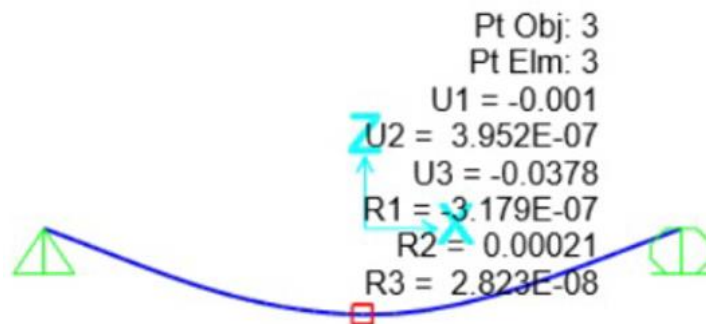
Berdasarkan hasil dari SAP2000 didapatkan lentutan sebesar -0,074 m hal ini dapat terlihat pada **Gambar 7**.

3.2.2.2 Jembatan Beton Bertulang Menggunakan Prategang Eksternal

Berdasarkan hasil dari SAP2000 didapatkan lentutan sebesar -0,038 m yang dapat dilihat pada **Gambar 8**.



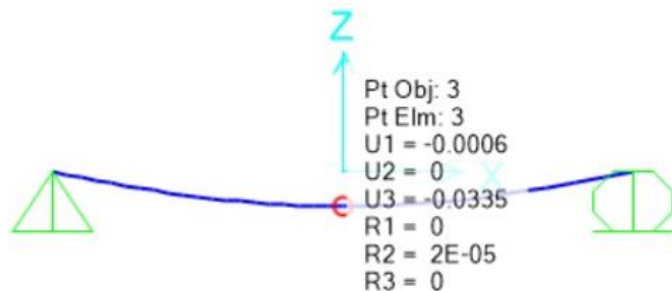
Gambar 7. Hasil Lendutan pada Jembatan Beton Bertulang Tanpa Prategang Eksternal



Gambar 8. Hasil lendutan pada jembatan beton bertulang menggunakan prategang eksternal

3.2.2.3 Jembatan PCI Girder

Berdasarkan hasil dari SAP2000 didapatkan lendutan sebesar -0,034 m hal ini dapat terlihat pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Hasil lendutan pada jembatan PCI Girder

Lendutan maksimum yang disyaratkan oleh peraturan adalah $L/800$ ^[1] yang mana dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Bentang jembatan} &= 28 \text{ m} \\ \text{Lendutan izin} &= L/800 \\ &= 28/800 \\ &= 0,035 \text{ m} \end{aligned}$$

3.2.3 Berat Satuan Girder

3.2.3.1 Jembatan Beton Bertulang

Diperoleh nilai berat satu buah girder beton bertulang dengan dimensi tinggi girder 1,05 meter dan berat jenis beton bertulang diasumsikan 25 kN/m^3 sebagai berikut:

$$W = \rho \times A \times L \times g$$

$$W = 25 \times 0,472 \times 28 \times 9,81$$

$$W = 3.241,224 \text{ kN}$$

3.2.3.2 Jembatan Beton Bertulang

Diperoleh nilai berat satu buah *girder* beton bertulang dengan dimensi tinggi girder 1,25 meter dan berat jenis beton bertulang diasumsikan 25,5 kN/m³ sebagai berikut:

$$W = \rho \times A \times L \times g$$

$$W = 25,5 \times 0,433 \times 28 \times 9,81$$

$$W = 3.032,879 \text{ kN}$$

3.3 Analisis Perbandingan Jembatan

Berdasarkan **Tabel 2**, setelah jembatan beton bertulang diperkuat dengan metode prategang eksternal, dinilai cukup efektif untuk meningkatkan rasio kapasitas dimana pada kondisi tanpa perkuatan rasio kapasitas bernilai 7,341 setelah diperkuat menjadi 5,614 atau meningkat sebesar 23,5%; namun nilai tersebut masih belum memenuhi syarat rasio kapasitas dimana harus < 1. Hasil lendutan dengan metode perkuatan menggunakan prategang eksternal cukup meningkat yang dimana pada kondisi tanpa perkuatan lendutan bernilai 0,0738 m dan setelah diperkuat menjadi 0,0378 m atau meningkat sebesar 48,8%; namun nilai tersebut masih belum memenuhi syarat lendutan izinnnya.

Tabel 2. Hasil Perbandingan Keseluruhan

| Aspek Perbandingan | Tanpa Perkuatan | Menggunakan Perkuatan | PCI Girder | Ket. |
|--------------------|-----------------|-----------------------|-------------|-----------------------------------|
| Rasio Kapasitas | 7,341 | 5,614 | 0,505 ✓ | Rasio < 1 |
| Lendutan (m) | 0,074 | 0,038 | 0,034 ✓ | $\delta_{ijin} = 0,035 \text{ m}$ |
| Berat Girder (kN) | | 3.241,224 | 3.032,879 ✓ | - |

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan nilai rasio kapasitas pada jembatan beton bertulang tanpa prategang eksternal sebesar 7,341; pada jembatan beton bertulang menggunakan prategang eksternal sebesar 5,614; dan pada jembatan PCI Girder sebesar 0,505 yang mana jembatan PCI Girder tidak melebihi rasio kapasitas izin yaitu < 1. Dari hasil analisis juga, didapatkan nilai lendutan pada jembatan beton bertulang tanpa prategang eksternal sebesar 0,0738 m; pada jembatan beton bertulang menggunakan prategang eksternal sebesar 0,0378 m; dan pada jembatan PCI Girder sebesar 0,0335 m yang jembatan PCI Girder tidak melebihi nilai lendutan izin yaitu < 0,035 m. Untuk berat girder pada jembatan beton bertulang sebesar 3.241,224 kN dan untuk jembatan PCI Girder sebesar 3.032,879 kN. Dilihat yang lebih direkomendasikan dari segi berat yaitu jembatan tipe PCI Girder dikarenakan memiliki berat yang lebih ringan.

Berdasarkan kesimpulan-kesimpulan diatas, apabila struktur jembatan tersebut ingin diperpanjang menjadi 28 m maka harus dilakukan rekonstruksi penuh atau mengganti tipe girder jembatan menjadi tipe PCI Girder jika ditinjau dari nilai rasio kapasitas, nilai lendutan, dan berat girder sendiri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Apriyanto, D., & Siswoyo, (2021). "Perencanaan Girder Jembatan Beton Prategang Jl. Raya Sememi Benowo Surabaya Section 0 – 152", *axial Jurnal Rekayasa dan Manajemen*, vol. 9, no. 1, p. 35-40, doi: 10.30742/axial.v9i1.1700.

Studi Perbandingan Kinerja Struktur Atas Girder Jembatan Beton Bertulang Menggunakan Perkuatan Prategang Eksternal Tipe Double King Pose terhadap Pre-Cast I Girder

- [2] Azhara, U., (2023). "Evaluasi Struktur Atas Jembatan Precast Concrete-I Girder (Studi Kasus: Tol Cisumdawu Fase 2)", *Prosiding FTSP Series 6*, Institut Teknologi Nasional Bandung.
- [3] Badan Standardisasi Nasional, (2016). *SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [4] Departemen Pekerjaan Umum, (1992). *Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- [5] Fahimuddin, F., (2021). *Konstruksi Jembatan Jenis dan Bagian Struktur Atas*. Depok: PNJ Press.
- [6] Ilham, M. N. (2008). *Perhitungan Balok Prategang (PCI-Girder) (hal. 25-46)*. Barito Kuala: Anyflip, PT. Panji Bangun Persada.
- [7] Rasidi, N. & Ibrahim, R., (2023). *Perencanaan Jembatan Beton Prategang*. Bengkalis-Riau: DOTPLUS Publisher.
- [8] Nawy, E.G., & Hardani, H.W. (2001). *Beton Prategang*. Jakarta: Erlangga.
- [9] Juanda, F.A., (2024). "Perancangan Struktur Jembatan Pelengkung Bentang 40,8 Meter Menggunakan Software SAP2000", *Prosiding FTSP Series 8*, Institut Teknologi Nasional Bandung.
- [10] Nuranita, B., (2023). *Bahan Ajar Rekayasa Jembatan Perancangan Struktur Jembatan*. Bandung: Institut Teknologi Nasional Bandung.
- [11] Prastyo, E. & Susanto, A., (1998). *Studi Kasus Pemanfaatan "External Prestressing" untuk Perkuatan Jembatan Beton Lama – Tugas Akhir*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- [12] Romadon, K., (2024). "Evaluasi Kapasitas Struktur Atas Jembatan Eksisting Callender Hamilton Tajum II Margasana Berdasarkan Standar Pembebanan SNI 1725:2016", *Prosiding FTSP Series 8*, Institut Teknologi Nasional Bandung
- [13] Supriyadi, B. & Muntohar, A.S., (2007). *Jembatan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- [14] Tamba, H., et al., (2017). "Perencanaan Struktur Jembatan Beton Bertulang di Sungai Sail Kecamatan Limapuluh Kota Pekanbaru", *Jurnal Teknik*, vol. 1, no. 2, p. 58-65.
- [15] Tumpu, M., & Rangga, P.R., (2020). *Struktur Beton Prategang Teori dan Prinsip Desain*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- [16] Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, (2014). *Bahan Ajar Rekayasa Jembatan*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.