

Perkuatan Jembatan Beton 28 Meter Menggunakan Prategang Eksternal

MONIKA PUTRI RIZKITA SURYAWINATA¹, EUNEKE WIDYANINGSIH, S.T., M.T.²

1. Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
 2. Dosen, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional, Bandung
- Email : monika.putri@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

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 untuk mendapatkan hasil jembatan yang lebih efektif digunakan. Hasil yang didapatkan nilai rasio kapasitas >1 , lendutan untuk jembatan beton bertulang dengan prategang eksternal tersebut tidak memenuhi syarat izin yaitu $> 0,035$ m, dan berat girder didapatkan untuk jembatan beton bertulang sebesar 3241,224 kN.

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

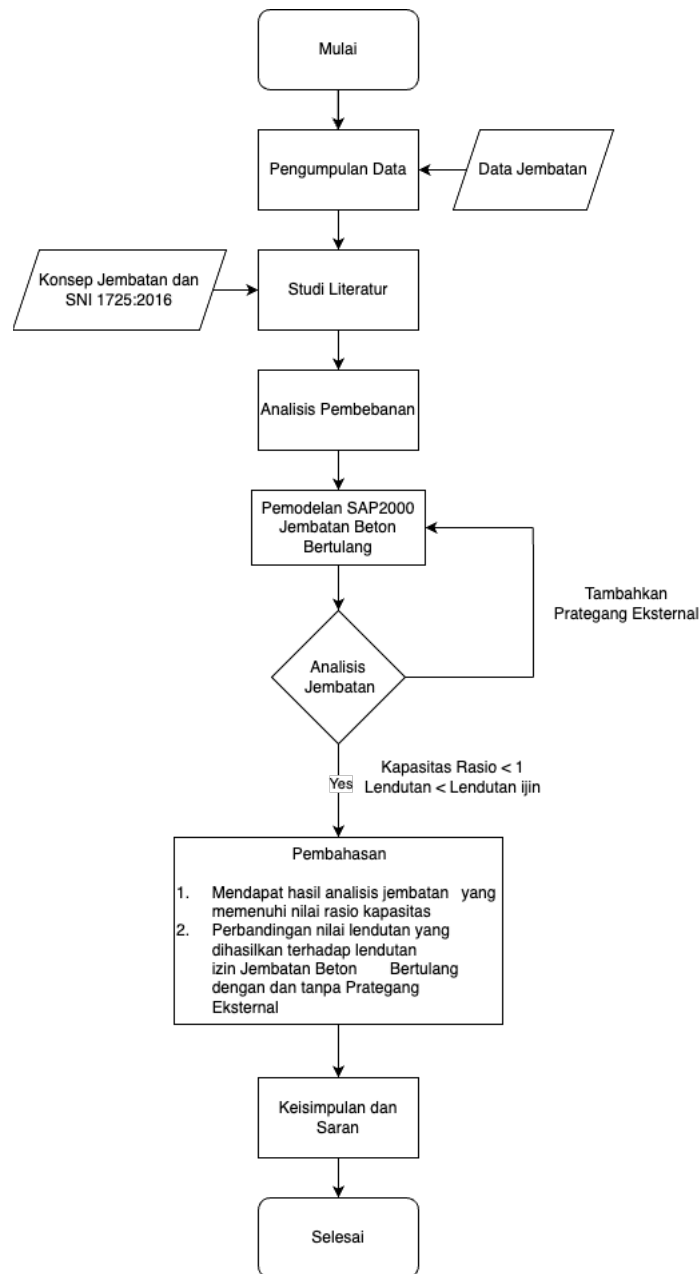
1. PENDAHULUAN

Jembatan Cikeruh dapat menghubungkan tiga kecamatan sekaligus, yakni Solokanjeruk, Ciparay, dan Majalaya dengan Kawasan Tegalluar yang hendak menuju ke Kota Bandung maupun sebaliknya. 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 untuk mendapatkan hasil jembatan yang lebih efektif digunakan.

2. METODOLOGI

2.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir yang ditunjukkan pada **Gambar 1** merupakan susunan atau gambaran kerangka penelitian berupa tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian dalam penyusunan Tugas Akhir.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Perencanaan Jembatan

Tipe Jembatan : Jembatan Beton Bertulang
Panjang Jembatan : 28 meter
Jarak Antar Girder : 1,85 meter

3.2 Pembebanan Jembatan Beton Bertulang

Beban Mati Sendiri (MS)

Pembebanan pada Pelat Lantai

Ditinjau slab lantai jembatan (b) = 1,85 m
Tebal slab lantai jembatan ($h = t_s$) = 0,25 m
Berat beton bertulang (W_c) = 25 kN/m³

$$\begin{aligned}\text{Berat sendiri } (Q_{MS}) &= b \times h \times Wc \\ &= 1,85 \times 0,25 \times 25 \\ &= 11,563 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Beban Diafragma

Berat satu balok diafragma:

$$\begin{aligned}\text{a. Lebar diafragma (bd)} &= 1,1 \text{ m} \\ \text{b. Tinggi diafragma (hd)} &= 1,562 \text{ m} \\ \text{c. Wd} &= 79,467 \text{ kN}\end{aligned}$$

Beban diafragma pada girder:

$$\begin{aligned}\text{a. Jumlah diafragma (nd)} &= 4 \text{ buah} \\ \text{b. Panjang jembatan (L)} &= 28 \text{ m} \\ \text{c. Qd} &= 11,352 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Beban Mati Tambahan (MA)

Aspal

Aspal yang digunakan memiliki nilai berat jenis 22 kN/m^3 , tebal $0,05 \text{ m}$ dan lebar $1,85 \text{ m}$. Dengan:

$$\begin{aligned}\text{Luas Penampang (A)} &= 0,05 \times 1,85 \\ &= 0,093 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban } Q_{MA} &= 0,093 \times 22 \\ &= 2,035 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Air Hujan

Air hujan diasumsikan memiliki nilai berat jenis $9,8 \text{ kN/m}^3$, tebal $0,05 \text{ m}$, dan lebar $1,85 \text{ m}$. Dengan:

$$\begin{aligned}\text{Luas Penampang (A)} &= 0,05 \times 1,85 \\ &= 0,093 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Beban } Q_{MA} &= 0,093 \times 9,8 \\ &= 0,9065 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

$$\text{Total Beban } Q_{MA} = 2,035 + 0,9065$$

Beban Lajur (TD)

Merupakan beban jalur untuk gelagar yang terdiri dari beban terbagi rata sebesar "q" ton per meter panjang per jalur, dan beban garis "P" ton per lajur lalu lintas tersebut. Dengan:

$$\text{Faktor Beban Dinamis (FBD)} = 0,4 \text{ m}$$

$$\text{Bentang jembatan (L)} = 28 \text{ m}$$

Beban Terbagi Rata (BTR)

Intensitas beban dalam arah memanjang (q) = $9,0 \text{ kPa}$

$$\begin{aligned}\text{Beban } Q_{TD} &= 1,85 \times 9 \\ &= 16,65 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

Beban Garis Terpusat (BGT)

Intensitas beban yang tegak lurus terhadap arah lalu lintas (p) = 49 kN/m

$$\begin{aligned}\text{Beban } P_{TD} &= (1+0,4) \times 49 \times 1,85 \\ &= 126,91 \text{ kN}\end{aligned}$$

Beban Truk (TT)

Merupakan beban yang dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai. Dengan: Diasumsikan beban terpusat pada 3 titik bentang jembatan berdasarkan roda truk yang melaluinya. Dengan:

$$\text{Faktor Beban Dinamis (FBD)} = 0,3$$

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

Gaya Rem (TB)

Gaya rem ditempatkan di semua lajur rencana yang berisi lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya rem harus diambil yang terbesar dari:

$$\begin{aligned}25\% \times \text{Berat gandar truk rencana} &= 25\% \\ \times 225 &= 56,25 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}5\% \times (\text{Berat truk rencana} + \text{BTR}) &= 5\% \times \\ (16,65 \times 28 + 126,91) &= 26,656 \text{ kN}\end{aligned}$$

Sehingga, diambil gaya rem terbesar yaitu $56,25 \text{ kN}$

$$\begin{aligned}\text{Titik berat} &= 0,525 \text{ m} \\ y &= 1,8 + \text{tebal lapisan aspal} + \\ &\quad \text{tebal pelat lantai} + yac \\ &= 1,8 + 0,05 + 0,25 + 0,525 \\ &= 2,626 \text{ m}\end{aligned}$$

Reaksi Gaya Dalam:

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

Beban Angin (EW)

Merupakan beban angin horizontal terbagi rata pada bidang vertikal jembatan. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin.

Beban Angin pada Kendaraan (EW_L)

$$\text{Koefisien Seret (Cw)} = 1,2$$

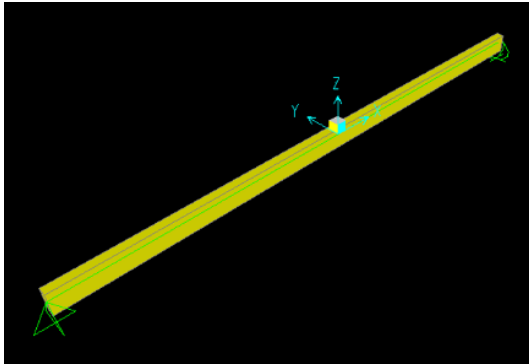
$$\text{Kecepatan angin rencana (Vw)} = 30 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned}\text{Gaya angin kendaraan (TEW)} &= 0,0012 \times 1,2 \times 30^2 \\ &= 1,296 \text{ N/mm} \\ \text{Jarak angin ke permukaan pelat (h)} &= 2 \text{ m} \\ \text{Jarak antar roda} &= 1,75 \text{ m} \\ \text{Beban } Q_{EWL} &= \frac{2}{1,75} \times 1,296 \\ &= 1,481 \text{ kN/m}\end{aligned}$$

3.3 Pemodelan Jembatan Beton Bertulang

3.3.1 Tanpa Prategang Eksternal

Hasil dari pemodelan penampang girder *extruded* dengan tampak 3D ditunjukkan **Gambar 2**.



Gambar 2. Hasil Pemodelan Tampak 3D Single Beam (Jembatan Beton Bertulang Tanpa Prategang Eksternal)

3.3.2 Menggunakan Prategang Eksternal

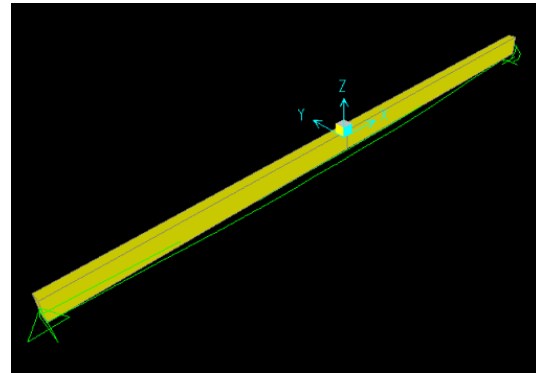
Berdasarkan jurnal terdahulu, terdapat 2 pendapat yang menyatakan seberapa besar batas gaya tarik tendon diantaranya:
Jika merujuk pada jurnal (Erlangga, 2022) batas gaya tarik tendon adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Luas nominal tendon} &= 201 \text{ mm}^2 \\ \text{Tegangan tarik} &= 1600 \text{ MPa} \\ \text{Gaya tarik tendon} &= 1600 \text{ N/mm}^2 \times 201 \text{ mm}^2 \\ &= 321600 \text{ N} \\ &= 321,6 \text{ kN}\end{aligned}$$

Namun jika merujuk pada Pd T-03-2004-B batas gaya tarik tendon adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Luas nominal tendon} &= 201 \text{ mm}^2 \\ \text{Tegangan putus tendon} &= 1960 \text{ MPa} \\ \text{Gaya tarik tendon} &= 1960 \times 45\% \\ &= 882 \times 201 \text{ mm}^2 \\ &= 117282 \text{ N} \\ &= 117,28 \text{ kN}\end{aligned}$$

Berdasarkan analisis perhitungan pada penelitian ini gaya tarik prategang eksternal yang digunakan adalah sebesar 310 kN pada masing-masing kabel. Hasil dari pemodelan penampang girder *extruded* dengan tampak 3D ditunjukkan **Gambar 3**.



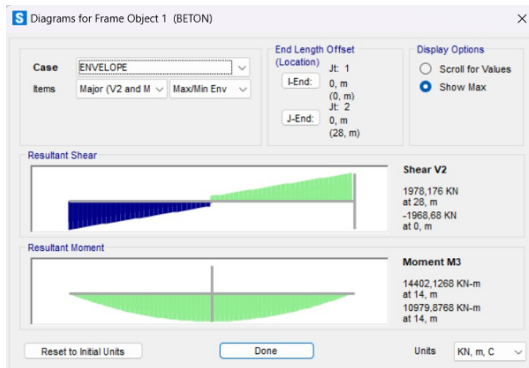
Gambar 3. Hasil Pemodelan Tampak 3D Single Beam (Jembatan Beton Bertulang Menggunakan Prategang Eksternal)

3.4 Hasil Analisis Struktur

3.4.1 Rasio Kapasitas

1. Jembatan Beton Bertulang Tanpa Prategang Eksternal

Berdasarkan hasil kombinasi pembebanan didapatkan M_u sebesar 14402,1268 kNm yang dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Diagram Gaya Dalam Akibat Kombinasi Pembebanan *Envelope*

Rasio Kapasitas Struktur

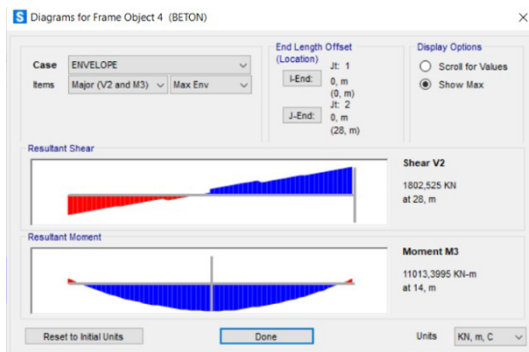
$$\left(\frac{M_u}{\phi M_n} \right) \leq 1$$

$$\left(\frac{14402,1268}{1961,85} \right) \leq 1$$

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

2. Jembatan Beton Bertulang Menggunakan Prategang Eksternal

Berdasarkan hasil kombinasi pembebanan didapatkan M_u sebesar 11013,4 kNm yang dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Diagram Gaya Dalam Akibat Kombinasi Pembebanan *Envelope*

Rasio Kapasitas Struktur

$$\left(\frac{M_u}{\phi M_n} \right) \leq 1$$

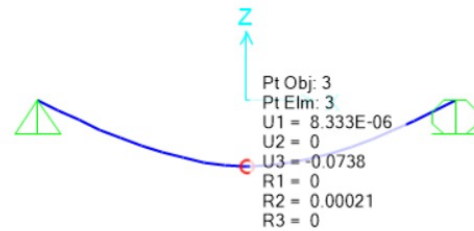
$$\left(\frac{11013,4}{1961,85} \right) \leq 1$$

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

3.4.2 Lendutan

1. Jembatan Beton Bertulang Tanpa Prategang Eksternal

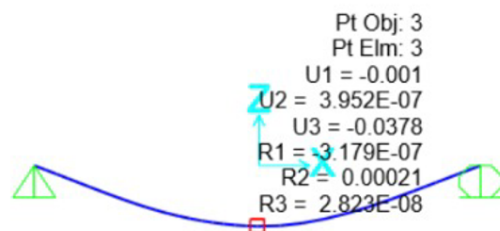
Berdasarkan hasil dari SAP2000 didapatkan lendutan sebesar -0,0738 m yang dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Hasil Lendutan pada Jembatan Beton Bertulang Tanpa Prategang Eksternal

2. Jembatan Beton Bertulang Menggunakan Prategang Eksternal

Berdasarkan hasil dari SAP2000 didapatkan lendutan sebesar -0,0378 m yang dapat dilihat pada **Gambar 7**.



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

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

Bentang jembatan = 28 m

Lendutan izin = $L/800$

$$\begin{aligned} &= 28/800 \\ &= 0,035 \text{ m} \end{aligned}$$

3.4.1 Berat Satuan Girder

$$\begin{aligned} W &= \rho \times A \times L \times g \\ W &= 25 \times 0,472 \times 28 \times 9,81 \\ W &= 3241,224 \text{ kN} \end{aligned}$$

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan nilai rasio kapasitas pada jembatan beton bertulang tanpa prategang eksternal sebesar 7,341 dan jembatan beton bertulang menggunakan prategang eksternal sebesar 5,614, yang mana melebihi rasio kapasitas izin yaitu > 1 . Berdasarkan hasil analisis, didapatkan nilai lendutan pada jembatan beton bertulang tanpa prategang eksternal sebesar 0,0738 m dan pada jembatan beton bertulang menggunakan prategang eksternal sebesar 0,0378 m, yang mana melebihi nilai lendutan izin yaitu $> 0,035$ m. Berdasarkan hasil analisis dapat disimpulkan berat girder pada jembatan beton bertulang sebesar 3241,224 kN.

DAFTAR RUJUKAN

- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *Pembebanan untuk Jembatan*, SNI 1725. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.
- Nuranita, Badriana. "tanpa tahun". *Bahan Ajar Rekayasa Jembatan Perancangan Struktur Jembatan*. Bandung : Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Prastyo, Endro., dan Azis Susanto. (1998). *Studi Kasus Pemanfaatan "External Prestressing" untuk Perkuatan Jembatan Beton Lama*. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia.
- Romadon, Karno. (2024). *Studi Analisis Kekuatan Struktur Atas Jembatan Callender Hamilton Bina Marga Kelas A Bentang 50,29 meter (Studi Kasus Jembatan Tajum II Margasana)*. Bandung : Perpustakaan Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Tamba, Hesekiel., Gusneli Yanti, Shanti Wahyuni Megasari. (2017). *Perencanaan Struktur Jembatan Beton Bertulang di Sungai Sail Kecamatan Limapuluh Kota Pekanbaru*. Pekanbaru : Universitas Lancang Kuning.