

# STUDI VARIASI TINGGI BUSUR PADA PERENCANAAN ULANG JEMBATAN SARDJITO II TERHADAP PENGARUH PERILAKU DAN KEKUATAN *THROUGH ARCH BRIDGE*

Rizky Angga Hidayat<sup>1</sup>, Sarwidi<sup>2</sup>, dan Suharyatma<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: [14511279@students.uui.ac.id](mailto:14511279@students.uui.ac.id)

<sup>2</sup> Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: [845110101@uui.ac.id](mailto:845110101@uui.ac.id)

<sup>3</sup> Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: [865110201@uui.ac.id](mailto:865110201@uui.ac.id)

**Abstract:** *Curved bridge is a bridge that has a curved curve shape and both ends are based on abutments. The height of the arch bridge is influenced by the length of the bridge span. This study aims to determine the effect of bridge arc height variation on material strength and efficiency on the Sardjito II bridge. This research was conducted by comparing 3 variations of arch bridge height, namely 20 m, 22 m, and 24 m. the structural response reviewed is the axial force, bending moment, and shear force on each constituent component of the curved structure. Steel or cable needs are obtained from the results of the design of steel or cable in each component of the bridge structure. The results of this study show that at 20 m arc height the structure response to the frame has the smallest value between arc height 22 m and 24 m. at the 24 m arc height the greatest structural response is obtained. However, the spectral response cable is obtained at the highest 20 m height. Whereas at 24 m small. The steel material requirements obtained based on the analysis shows that the 24 m arc height requires more steel than the arc height of 20 m and 22 m. while the cable, at a height of 20 m, requires more than the arc height of 20 m and 24 m.*

**Keywords :** *arch bridge, steel frame, SAP2000*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kota Yogyakarta merupakan Ibukota Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan luas wilayah 32,5 km<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa luas Kota Yogyakarta hanya 1,025% dari luas wilayah DIY. Menurut Badan Pusat Statistik DIY, jumlah penduduk Kota Yogyakarta setiap tahun mengalami peningkatan. Pertumbuhan jumlah penduduk ini perlu diiringi dengan peningkatan sarana dan prasarana yang ada di Kota Yogyakarta. Jembatan merupakan salah satu sarana yang dibutuhkan Kota Yogyakarta mengingat Kota Yogyakarta dilewati oleh 3 sungai, yaitu Sungai Gajah Wong, Sungai Code, dan Sungai Winongo.

Jembatan merupakan suatu konstruksi yang menghubungkan dua bagian jalan yang terpisah oleh kondisi-kondisi tertentu. Jalan disini dapat berupa lalu lintas jalan raya, kereta api, pejalan kaki, atau pipa air. Sedangkan kondisi-kondisi disini dapat berupa sungai, lembah, laut, saluran irigasi, jalan kereta api, jalan raya dan kondisi-kondisi lainnya.

Sementara itu, bila ditinjau dari material utama jembatan yang umum digunakan adalah beton dan baja. Pemilihan material yang digunakan harus didasarkan atas informasi yang ada di lapangan, mulai dari akses menuju lokasi, ketersediaan material, hingga faktor-faktor alam yang mungkin akan terjadi. Beton sebagai material memiliki keuntungan karena kemudahan dalam ketersediaan dan produksinya, serta beton

dapat dicetak menjadi berbagai macam bentuk. Namun, beton memiliki kekurangan pada jembatan bentang panjang karena beton menjadi tidak ekonomis dan menambah berat dari jembatan.

Saat ini, penggunaan baja sebagai material utama telah banyak dipilih. Hal ini menunjukkan bahwa baja memiliki kelebihan yang tidak dimiliki oleh material struktur yang umum digunakan lainnya. Kemudian, jika ditinjau dari bentuk-bentuk jembatan, belakangan ini mulai banyak menggunakan jembatan baja tipe lengkung atas (*through arch*). Hal ini dikarenakan baja tipe lengkung memiliki beberapa kelebihan yaitu dapat digunakan pada rentang jembatan yang panjang, dapat menghilangkan kebutuhan pilar jembatan yang berada disungai, serta memiliki nilai lebih dalam bentuk arsitekturalnya karena memberikan kesan monumental.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari permasalahan yang dikemukakan pada latar belakang tersebut, maka masalah pada perencanaan ulang Jembatan Sardjito II dirumuskan sebagai berikut ini.

1. Bagaimana pengaruh antara variasi tinggi busur pada struktur pelengkung utama jembatan terhadap perilaku dan kekuatan jembatan?
2. Bagaimana pengaruh antara variasi tinggi busur pada struktur pelengkung utama jembatan terhadap kebutuhan material?

## 1.3 Maksud dan Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari variasi tinggi busur pada struktur pelengkung utama jembatan terhadap:

1. perilaku dan kekuatan jembatan, dan
2. kebutuhan material pada masing-masing model.

## 1.4 Manfaat

Manfaat dari tugas akhir ini adalah untuk:

1. mengetahui perencanaan jembatan menggunakan busur rangka tipe *through arch*,
2. mengetahui pengaruh tinggi busur pada jembatan pelengkung terhadap perilaku dan kekuatan jembatan,
3. menambah pemahaman yang lebih mendalam terhadap ilmu rekayasa teknik sipil terutama yang berhubungan dengan perencanaan jembatan, dan
4. menjadi bahan pertimbangan dalam merencanakan suatu jembatan busur rangka tipe *through arch*.

## 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan agar penulisan dapat terarah dan fokus pada tujuan yang akan dicapai, maka penulisan ini dibatasi dengan pendekatan sebagai berikut ini.

1. Permasalahan hanya mencakup struktur atas jembatan dengan tipe pelengkung baja dan bentang 140 m.
2. Analisis dilakukan pada jembatan pelengkung dengan variasi tinggi busur adalah 20 meter, 22 meter, dan 24 meter.
3. Permasalahan ini hanya ditinjau dari aspek teknik dan tidak dilakukan analisa dari segi biaya dan waktu.
4. Acuan desain menggunakan Peraturan Standar Pembebanan jembatan (SNI 1725-2016) dan Standar Perencanaan Gempa untuk Jembatan (SNI 2833-2008).
5. Berat jenis beton digunakan 25 kN/m<sup>3</sup> untuk menambah faktor keamanan.
6. Beban gempa pada struktur atas dihitung menggunakan metode static ekuivalen.
7. Perhitungan struktur atas jembatan mengacu *AISC-LRFD*.
8. Persamaan yang digunakan untuk menghitung busur jembatan adalah persamaan parabola.
9. Perhitungan hanya dilakukan pada struktur atas jembatan dan struktur bawah tidak diperhitungkan.
10. Perhitungan tidak melibatkan sambungan pada rangka.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Pembebanan

Sistem struktur suatu konstruksi pada intinya bekerja menyalurkan beban sehingga menjaga konstruksi tersebut tetap berdiri.

#### 1. Berat Sendiri (MS)

Menurut SNI 1725-2016, berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Persamaan yang digunakan untuk menghitung berat sendiri adalah sebagai berikut.

$$MS = b \times h \times w \quad (1)$$

dengan,

$b$  = lebar berat yang ditinjau (m),

$h$  = tebal berat yang ditinjau (m), dan

$w$  = berat jenis ( $\text{kN/m}^3$ ).

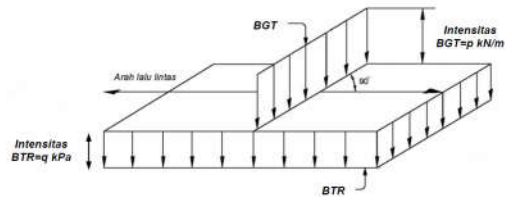
#### 2. Beban Mati Tambahan (MA)

Menurut SNI 1725-2016, beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Beban-beban tersebut adalah:

- peralatan pelengkap,
- pelapisan ulang perkerasan jembatan berupa aspal beton setebal 50 mm, dan
- pipa-pipa air.

#### 3. Beban Lajur "D" (TD)

Beban lajur terdiri dari beban terbagi merata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT) seperti Gambar 1.

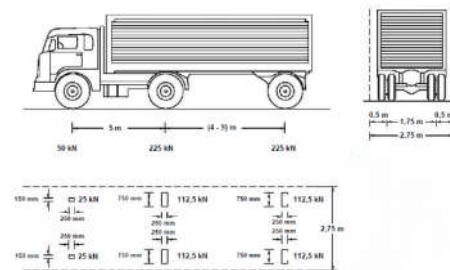


Gambar 1. Beban Lajur "D"

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

#### 4. Beban Truk "T" (TT)

Pembebanan truk terdiri dari kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti terlihat dalam Gambar 2.



Gambar 2. Pembebanan Truk "T"

(Sumber SNI 1725-2016 Standar Pembebanan Jembatan)

#### 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.

#### 6. Pembebanan untuk Pejalan Kaki (TP)

Menurut SNI 1725-2016, semua komponen trotoar yang lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa.

#### 7. Pengaruh Gempa

Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastic ( $C_{sm}$ ) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi

dengan faktor modifikasi respons ( $R$ ) dengan formulasi sebagai berikut.

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R} \times W_t \quad (2)$$

dengan,

$E_Q$  = gaya gempa horizontal statis (kN),

$C_{sm}$  = koefisien respons gempa elastis,

$R$  = faktor modifikasi respons, dan

$W_t$  = berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN).

## 2.2 Perencanaan Konstruksi Cable Hanger

Luas strand ( $A_{Ps}$ ) yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$A_{Ps} = \frac{P}{f_{ps}} \quad (3)$$

dengan,

$$F_{Ps} = 0,74 \times f_{pu} \quad (4)$$

dengan,

$P$  = tegangan maksimum setiap kabel

$f_{pu}$  = tegangan ultimit kabel

Sedangkan untuk menghitung jumlah strand yang diperlukan digunakan rumus berikut ini.

$$n = \frac{A_{Ps}}{A_s} \quad (5)$$

## 2.3 Perencanaan Batang Lengkung

Syarat tinggi busur menggunakan persamaan berikut.

$$\frac{1}{6} \leq \frac{f}{L} \leq \frac{1}{5} \quad (6)$$

Syarat tinggi tampang busur sebagai berikut.

$$\frac{1}{40} \leq \frac{h}{L} \leq \frac{1}{25} \quad (7)$$

Sedangkan tinggi efektif dari batang penggantung dapat diperoleh menggunakan rumus parabola berikut.

$$Y = \frac{4fx(L-x)}{L^2} \quad (8)$$

dengan,

$f$  = tinggi busur (m),

$t$  = tinggi tampang busur (m),

$x$  = jarak tertentu yang diukur dari tunpuan menuju ke lapangan, dan

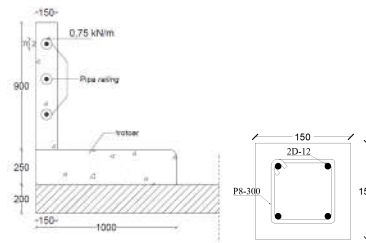
$L$  = panjang total jembatan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam suatu perencanaan dibutuhkan analisis struktur untuk mendapatkan tegangan dan momen yang dibutuhkan kemudian dimasukkan ke dalam perhitungan struktur.

### 1. Tiang Sandaran

Direncanakan tiang sandaran dengan dimensi 150x150x900 mm, dengan dimensi pipa Ø76,2 mm. Tulangan sandaran digunakan 2D12 untuk tulangan lentur dan P8-300 untuk tulangan geser.



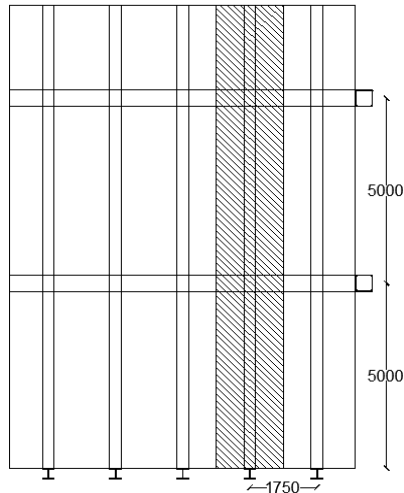
Gambar 3. Tiang Sandaran

### 2. Trotoar

Trotoar didesain untuk memberikan kelayakan kepada pengguna trotoar sehingga dapat melintasi jembatan dengan aman dan nyaman. Trotoar didesain dengan tebal 250 mm dan terbuat dari beton.

### 3. Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang adalah gelagar yang membentang sepanjang jalan. Gelagar ini berfungsi untuk menahan beban yang memanjang diatas jalan.



Gambar 4. Perletakan Gelagar Memanjang

Dari pembebanan dihitung nilai momen dan geser dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} Mu &= \left(\frac{1}{8} \times q \times l^2\right) + \left(\frac{1}{4} \times P \times l\right) \\ &= \left(\frac{1}{8} \times 38,862 \times 5^2\right) + \left(\frac{1}{4} \times 200,655 \times 5\right) \\ &= 372,264 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Vu &= \left(\frac{1}{2} \times q \times l\right) + \left(\frac{1}{2} \times P\right) \\ &= \left(\frac{1}{2} \times 38,862 \times 5\right) + \left(\frac{1}{2} \times 200,655\right) \\ &= 197,483 \text{ kN} \end{aligned}$$

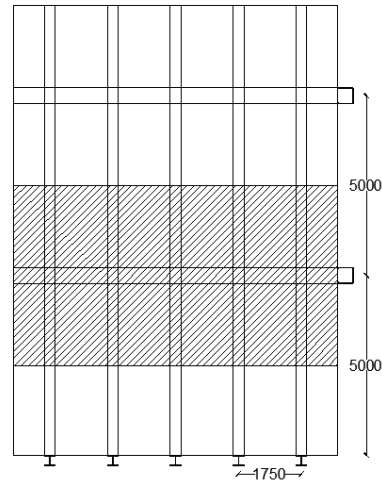
Berdasarkan analisa kuat nominal lentur, gelagar memanjang merupakan bentang menengah  $L_p < L_b < L_r$ . Besarnya dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} Mn &= Cb \left[ Mp - (Mp - 0,7F_y \cdot S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq Mp \\ Mn &= 1,25 \left[ 459 \cdot 10^6 - (459 \cdot 10^6 - 0,7 \cdot 250 \cdot 169 \cdot 10^4) \left( \frac{5000 - 2120,6}{6099,4 - 2120,6} \right) \right] \\ &= 426,529 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$Mu_{max} = 372,264 \text{ kNm} < \phi \cdot Mn = 0,9 \times 426,529 = 384 \text{ kNm}$ , maka kuat momen lentur aman.

#### 4. Gelagar Melintang

Gelagar melintang adalah gelagar yang menahan beban secara melintang jalan. Terletak dibawah gelagar memanjang sehingga ukuran gelagar melintang lebih besar dari gelagar memanjang.



Gambar 5. Perletakan Gelagar Melintang

Berdasarkan hasil analisa penentuan penampang, diketahui bahwa gelagar melintang termasuk penampang nonkompak sehingga persamaan yang digunakan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Mn &= Mp - (Mp - F_y \cdot S_x) \left( 3,57 \times \frac{D - 2t}{t} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4,0 \right) \leq Mp \\ &= 1919620000 - (1919620000 - 410 \cdot 5461 \cdot 10^3) \left( 3,57 \times \frac{500 - 2 \cdot 16}{16} \times \sqrt{\frac{410}{200000}} - 4,0 \right) \\ &= 16820,692 \text{ kNm} \end{aligned}$$

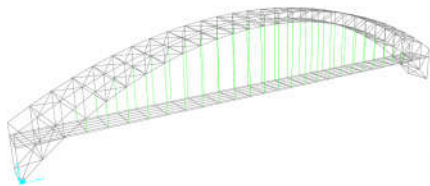
$$Mn = 16820,692 \text{ kNm} > Mp = 1919,62 \text{ kNm}$$

$$Mn_{pakai} = 1919,62 \text{ kNm}$$

$Mu = 1496,2089 \text{ kNm} < \phi \cdot Mn = 0,9 \times 1919,62 = 1727,66 \text{ kNm}$ , maka kuat momen lentur aman.

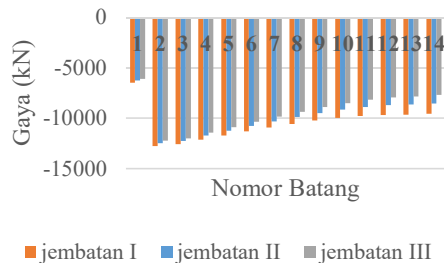
## 5. Rangka Batang

Pemodelan struktur jembatan menggunakan SAP 2000 dapat dilihat pada Gambar 6.

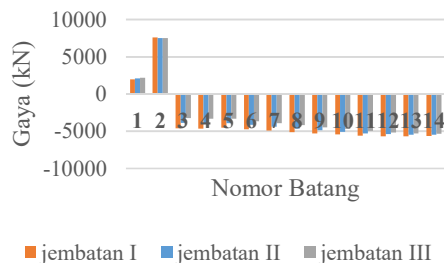


Gambar 6. Pemodelan Struktur Jembatan

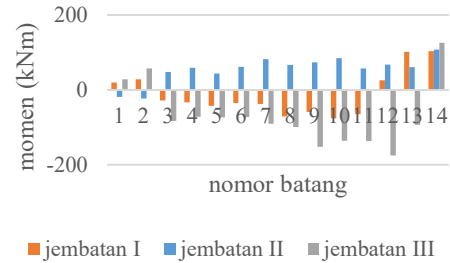
Berikut ini adalah hasil gaya-gaya dalam yang diperoleh dari hasil analisis program SAP2000.



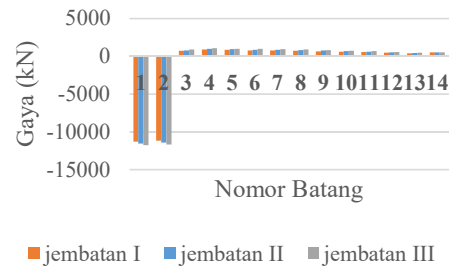
Gambar 7. Diagram Hubungan Nomor Batang dengan Gaya Aksial pada Struktur Rangka Utama Bagian Tepi Atas



Gambar 8. Diagram Hubungan Nomor Batang dengan Gaya Aksial pada Struktur Rangka Utama Bagian Tepi Bawah

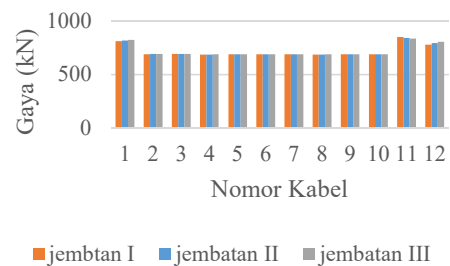


Gambar 9. Diagram Hubungan Nomor Batang dengan Gaya Aksial pada Struktur Rangka Utama Bagian Diagonal



Gambar 10. Diagram Hubungan Nomor Batang dengan Gaya Aksial pada Struktur Rangka Utama Bagian Kolom

Semakin tinggi busur jembatan maka gaya-gaya dalam yang akan dihasilkan relatif lebih kecil. Hal ini terlihat dari gaya-gaya dalam yang diperoleh pada tinggi busur 20 m lebih besar dari gaya-gaya dalam yang diperoleh pada tinggi busur 22 m dan 24 m.

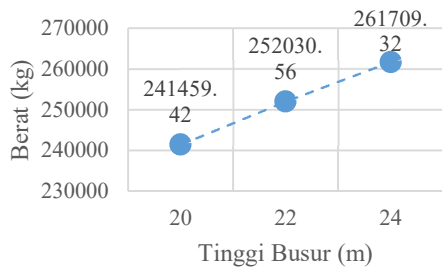


Gambar 11. Diagram Hubungan Nomor Kabel dengan Gaya Tarik pada Kabel

Grafik tersebut menunjukkan pola penyebaran gaya tarik pada setiap kabel untuk masing-masing jembatan. Berbeda dari gaya-gaya dalam pada

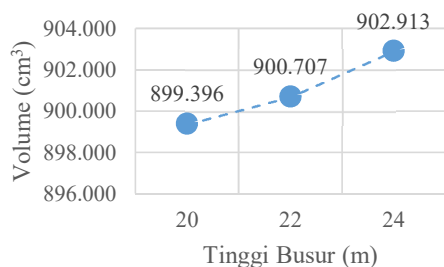
rangka baja, pada gaya tarik kabel nilai yang diperoleh pada tinggi busur 20 m lebih kecil dari tinggi busur 22 m dan 24 m. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi busur jembatan maka gaya tarik kabel akan semakin meningkat.

Berikut ini adalah grafik perbandingan kebutuhan berat baja dan volume kabel yang diperoleh dari hasil desain.



Gambar 12. Grafik Hubungan Tinggi Busur dengan Kebutuhan Total Material Baja pada Rangka Baja Jembatan

Berdasarkan grafik pengaruh tinggi busur dengan berat baja, menunjukkan bahwa kebutuhan berat baja terus meningkat seiring meningkatnya tinggi busur jembatan.



Gambar 13. Grafik Hubungan Tinggi Busur dengan Kebutuhan Material Kabel pada Struktur Kabel

Grafik tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan volume kabel terus meningkat seiring meningkatnya tinggi busur jembatan.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada variasi tinggi busur jembatan Sardjito II dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pada tinggi busur 20 m diperoleh gaya-gaya dalam pada rangka relatif lebih besar dari tinggi busur 22 m dan 24 m. Pada tinggi busur 24 m diperoleh gaya-gaya dalam pada rangka yang paling kecil. Sedangkan kabel, tinggi busur 20 m memiliki gaya tarik paling kecil dan tinggi busur 24 m memiliki gaya tarik paling besar.
2. Pada tinggi busur 20 m diperoleh kebutuhan material baja 241459,42 kg; pada tinggi busur 22 m diperoleh kebutuhan material baja 252030,56 kg; dan pada tinggi busur 24 m diperoleh kebutuhan material baja 261709,32 kg. Sedangkan kebutuhan material kabel, pada tinggi busur 20 m dibutuhkan 899,396 cm<sup>3</sup> tendon, pada tinggi busur 22 m dibutuhkan 900,707 cm<sup>3</sup> tendon, pada tinggi busur 24 m dibutuhkan 902,913 cm<sup>3</sup> tendon.

#### 5. SARAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dan hasil yang diperoleh, adapun saran-saran yang dapat diberikan penulis untuk menyempurnakan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini hanya memperhitungkan tiga variasi tinggi busur jembatan, sehingga pada penelitian selanjutnya variasi tinggi busur yang diperhitungkan sebaiknya ditambah untuk menambah keakuratan hasil yang diperoleh.
2. Penelitian ini hanya meninjau struktur utama pada rangka pelengkung, yaitu batang tepi atas (BA), batang tepi bawah (BB), batang diagonal (BD), dan batang kolom (BK), sehingga penelitian selanjutnya sebaiknya juga dilakukan peninjauan pada ikatan angin.
3. Penelitian ini tidak dilakukan perhitungan terhadap sambungan, sehingga penelitian selanjutnya sebaiknya memperhitungkan sambungan yang terdapat pada rangka

- pelengkung dan sambungan antar gelagar.
4. Penelitian ini tidak mencakup perbandingan biaya, sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk membahas tentang perbandingan biaya antar variasi tinggi busur.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Jaelani, A.H. 2015. *Re-Design Jembatan Nambangan Bantul Menggunakan Rangka Baja Tipe Warren. Tugas Akhir.* (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Jurusan Teknik Sipil. 2017. *Buku Pedoman Tugas Akhir.* Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Setiawan, A. 2015. *Analisis Struktur.* Erlangga. Jakarta.
- Setyawan, F.O. 2009. Perencanaan Jembatan Malangsari Menggunakan Struktur Jembatan Busur Rangka Tipe *Through-Arch.* *Tugas Akhir.* (Tidak Diterbitkan). Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Siadari, W.N.A. 2012. Desain Jembatan Air Pangi 2 dengan Tipe Lengkung Atas (*the Tied Arch*). *Tugas Akhir.* (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Standar Nasional Indonesia 1725. 2016. Pembebanan untuk Jembatan. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia 1729. 2015. Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia 2833. 2008. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Supriyadi, dan Muntohar. 2007. *Jembatan.* Beta Offset. Yogyakarta.
- Wahyudi, R. 2017. Studi Perbandingan Desain Struktur Atas Jembatan Rangka Baja dengan Tipe *Through Arch Bridge.* *Tugas Akhir.* (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Wanarno, A.N dan Pakpahan, A.N. 2013. Perencanaan Jembatan Leho Kawasan Pesisir Kabupaten Karimun, Kepulauan Riau, dengan Struktur Jembatan Pelengkung (*Arch Bridge*). *Tugas Akhir.* Universitas Diponegoro. Semarang.



