

PENGARUH VARIASI KETINGGIAN BUSUR PADA PERENCANAAN ULANG JEMBATAN SARDJITO I MENGGUNAKAN STRUKTUR JEMBATAN PELENGKUNG BETON BERTULANG TERHADAP EFISIENSI MATERIAL

Angga Fahriza¹, Sarwidi², dan Suharyatma³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: 14511260@students.uui.ac.id

²Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: sarwidi@uui.ac.id

³Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: suharyatma@uui.ac.id

Abstract : Concrete arch bridge is an arch bridge structure with abutments on both sides. The arch design will distribute the load received from vehicle and floor plate, towards the abutment and foundation. This study aims to determine the effect of bridge bow height variation on the behavior and material efficiency of the Sardjito I bridge. The design of the structure of the Sardjito I bridge will be varied in the arched section, with a height of 10 m, 11 m and 12 m. In order to get the most effective and efficient design of the material used. The results of this study which 12 m high arch bridge obtaining forces in structural elements are relatively smaller than 10 m and 11 m arch height. For the material needs of the 12 m high arch bridge requires a concrete volume of 420,466 m³ and for reinforcement needs obtained by 42.470,737 kg.

Keyword : Concrete arch bridge, Material Efficiency, SAP2000

1. Pendahuluan

Jembatan mempunyai fungsi sebagai sarana penghubung dua daerah yang terpisah oleh kondisi alam seperti lembah, sungai, palung, danau, selat, jalan, laut dan sebagainya. Jembatan merupakan prasarana transportasi oleh pejalan kaki, kendaraan bermotor, maupun kereta api. Jembatan Sardjito I berada di jalan Prof. Dr. Sardjito, Corkodiningratan, Jetis, Kota Yogyakarta. Bangunan ini merupakan sarana terpenting penghubung lalu lintas antar wilayah. Sehingga keberadaannya sangat penting bagi masyarakat Yogyakarta dan sekitarnya. Jembatan Sardjito I ini melintang di atas Sungai Code yang berada pada jalur lalu lintas jalan AM. Sangaji ke jalan C. Simanjuntak. Jembatan Sardjito I merupakan jembatan rangka baja tipe Warren dengan bentang 61,60 m dan lebar 8,80 m yang dibangun pada tahun 1984. Perencanaan ulang Jembatan Sardjito I

merupakan salah satu solusi untuk memperbaiki jembatan yang telah ada, agar dapat memperpanjang masa layan jembatan dengan jembatan baru. Dalam penulisan tugas akhir ini Jembatan Sardjito I akan didesain ulang menggunakan jembatan pelengkung beton bertulang dengan posisi lengkung berada di bawah lantai jembatan (*true arch*). Jembatan pelengkung beton bertulang dipilih karena dapat didesain tanpa pilar di tengah bentang. Karena Sungai Code merupakan jalur aliran lahar dingin Gunung Merapi yang berhulu di Sungai Gendol dan berhilir di Sungai Code. Sehingga apabila terjadi banjir lahar dingin dikhawatirkan akan terjadi gerusan di pilar jembatan. Selain itu jembatan pelengkung beton bertulang mempunyai estetika yang indah dibandingkan dengan jembatan sebelumnya sehingga dapat menjadi salah satu ikon wisata kota Yogyakarta.

Desain struktur atas jembatan Sardjito I ini akan divariasi pada bagian pelengkung busurnya, dengan ketinggian busur 10 m, 11 m, dan 12 m, sesuai dengan batas ketentuan dari BMS 1992. Sehingga didapatkan desain yang paling efektif dan efisien terhadap material yang digunakan.

2. Tinjauan Pustaka

Terdapat 3 penelitian terdahulu yang digunakan sebagai tinjauan pustaka dalam penelitian ini. Rangkuman penelitian tersebut adalah sebagai berikut

2.1 Sutarja dan Swijana (2010)

Sutarja dan Swijana (2010), mendesain ulang Jembatan Tukad Yeh Poh dengan balok pelengkung beton bertulang. Acuan perencanaan pada penelitian ini menggunakan RSNI T-12-2004 tentang Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan dan acuan pembebanan menggunakan RSNI T-02-2005 tentang Pembebanan Untuk Jembatan. Struktur didesain dengan pendekatan LRFD, analisis elastis.

2.2 Yunus (2014)

Yunus (2014), melakukan perencanaan Jembatan Kali Elo Tipe Pelat Pelengkung Beton Bertulang. Jembatan Kali Elo mempunyai bentang total 80 m. Lebar jembatan ini 7 m lantai kendaraan dan 2 x 1 trotoar. Acuan perencanaan menggunakan Bridge Management System (BMS) – 1992 dan B.RSNI T-02-2005.

2.3 Budiawan (2013)

Budiawan (2013), merencanakan Jembatan Lengkung Beton Bertulang di daerah Tasikmalaya. Dalam perhitungannya struktur jembatan ini di bantu dengan software SAP V.14. untuk lebih memudahkan dalam perhitungan gaya-gaya dalam. Perencanaan struktur jembatan ini mengacu pada RSNI T-02-2005 (Peraturan Pembebanan untuk Jembatan), RSNI T-12-2004 (Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan).

3. Landasan Teori

3.1 Jembatan Pelengkung Beton Bertulang

Jembatan pelengkung beton adalah struktur jembatan setengah lingkaran dengan *abutment* di kedua sisinya. Desain pelengkung akan menyalurkan beban yang diterima dari pelat lantai kendaraan jembatan menuju *abutment* dan pondasi. Setiap bagian pelengkung menerima gaya tekan, karena itulah jembatan pelengkung biasanya menggunakan material yang tahan terhadap gaya tekan yang besar.

3.2 Pembebanan Pada jembatan

Pembebanan yang dilakukan pada jembatan ini menggunakan berdasarkan peraturan terbaru yaitu SNI 1725-2016.

3.3.1 Beban Permanen (Tetap)

Beban permanen atau beban tetap merupakan beban yang harus dihitung berdasarkan dimensi dan berat jenis bahan yang dipakai serta komponen yang melekat pada jembatan tersebut. Beban permanen/ tetap terbagi menjadi 3 bagian, dengan penjelasan berikut ini.

1. Berat Sendiri (MS)

Berat sendiri merupakan berat yang dipikul dari elemen-elemen struktur dan elemen non struktur lainnya yang masuk dalam unsur pendukung jembatan yang dianggap tetap.

2. Beban Mati Tambahan (MA)

Berdasarkan 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. Jembatan harus direncanakan untuk mampu memikul beban tambahan berupa lapisan aspal beton setebal 50 mm untuk pelapisan kembali di kemudian hari. Dan jembatan harus mampu memikul beban saluran drainase dalam keadaan kosong maupun penuh.

3.3.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas merupakan beban yang berasal dari kendaraan dan pejalan kaki yang melintasi sepanjang jembatan. Beban rencana jembatan terdiri atas beban lajur

“D” dan beban truk “T”. Beban lajur “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan yang bergantung pada lebar jalur kendaraan itu sendiri. Beban truk “T” merupakan satu kendaraan berat dengan 3 gandar yang ditempatkan pada beberapa posisi dalam lajur lalu lintas rencana. Secara umum, beban lajur “D” akan menjadi beban penentu dalam perhitungan jembatan yang mempunyai bentang sedang hingga memanjang, sedangkan beban truk “T” digunakan untuk bentang pendek dan lantai kendaraan.

1. Lajur Lalu Lintas Rencana

Jumlah lajur lalu lintas rencana ditentukan dengan mengambil integer dari hasil pembagian lebar bersih jembatan (w) dalam mm dengan lebar jalur rencana 2750 mm. Dalam perencanaan harus memperhitungkan kemungkinan perubahan lebar bersih jembatan akibat dari perubahan fungsi dari bagian jembatan dimasa yang akan datang. Jumlah maksimum lajur lalu lintas yang digunakan untuk berbagai lebar jembatan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana

Tipe Jembatan (1)	Lebar Bersih Jembatan (2) (mm)	Jumlah Lajur Lalu Lintas Rencana (n)
Satu Lajur	$3000 \leq w \leq 5250$	1
Dua Arah, tanpa Median	$5250 \leq w < 7500$	2
	$7500 \leq w < 10.000$	3
	$10.000 \leq w < 12.500$	4
	$12.500 \leq w < 15.250$	5
Dua Arah, dengan Median	$w \geq 15.250$	6
	$5500 \leq w \leq 8000$	2
	$8250 \leq w \leq 10.750$	3
	$11.000 \leq w \leq 13.500$	4
Dua Arah, dengan Median	$13.750 \leq w \leq 16.250$	5
	$w \geq 16.500$	6

2. Beban Lajur “D” (TD)

Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan dengan beban garis (BGT) seperti pada Gambar 1

Beban Lajur D. Faktor beban yang digunakan untuk beban lajur “D” dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Faktor Beban untuk Beban Lajur “D”

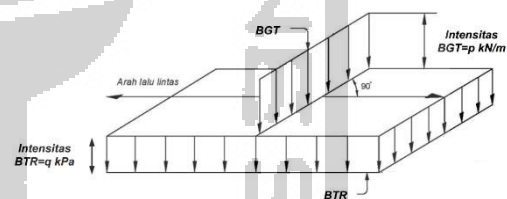
Tipe beban	Jembatan	Faktor beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^U)
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu sebagai berikut.

$$\text{Jika } L \leq 30\text{m}: q=9,0\text{kPa} \quad (1)$$

$$\text{Jika } L > 30\text{m}: q=9,0(0,5+ 15/L)\text{kPa} \quad (2)$$

dengan q = intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa) dan L = panjang total jembatan yang dibebani (m).



Gambar 1 Beban Lajur “D”

(Sumber : BMS 1992)

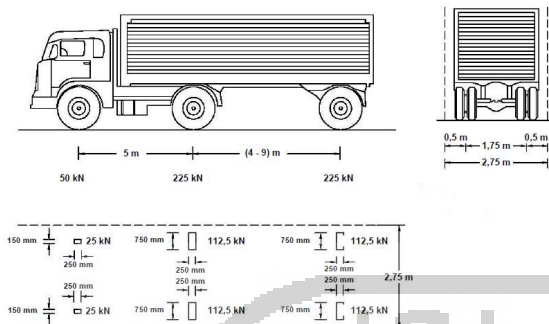
Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m.

3. Beban Truk “T” (TT)

Beban truk “T” tidak dapat digunakan bersamaan dengan beban “D”. Beban truk dapat digunakan untuk perhitungan struktur lantai.

a. Besarnya pembebanan truk “T”

Pembebanan truk “T” terdiri atas kendaraan truk *semi-trailer* yang mempunyai susunan dan berat gandar seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Pembebanan Truk “T” (500 kN)

Berat tiap gandar disebarakan menjadi 2 beban merata yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara 2 gandar tersebut bisa si ubah-ubah dari 4,0 m sampai dengan 9,0 m untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan.

- b. Posisi dan penyebaran pembebanan truk “T” dalam arah melintang

Umumnya pada satu lajur lalu lintas rencana hanya ada satu kendaraan truk “T” yang dapat ditempatkan. Untuk jembatan yang panjang dapat ditempatkan lebih dari satu truk pada lajur lalu lintas rencana. Kendaraan truk “T” harus ditempatkan di tengah lajur lalu lintas rencana seperti pada Gambar 3.3. Lajur lalu lintas rencana dapat ditempatkan di mana saja pada lajur jembatan.

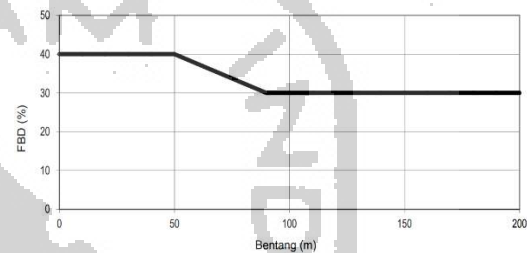
4. Faktor Beban Dinamis

Faktor beban dinamis (FBD) merupakan hasil interaksi antara kendaraan yang bergerak dan jembatan. Besarnya FBD tergantung pada frekuensi dasar dari suspensi kendaraan, biasanya 2 Hz sampai 5 Hz untuk kendaraan berat dan frekuensi dari getaran lentur jembatan. Untuk perencanaan, FBD dinyatakan sebagai beban statis ekuivalen. Besarnya BGT dari pembebanan lajur “D” dan beban roda dari Pembebanan Truk “T” harus cukup kuat untuk memberikan terjadinya interaksi antara kendaraan yang bergerak dengan jembatan dengan dikali FBD.

Untuk bentang menerus panjang bentang ekuivalen L_E diberikan dengan rumus:

$$L_E = \sqrt{L_{av} \cdot L_{max}} \quad (3)$$

Dengan L_{max} = panjang bentang rata-rata dari kelompok bentang yang disambungkan secara menerus dan L_{max} = panjang bentang maksimum dalam kelompok bentang yang disambungkan secara menerus



Gambar 3 FBD untuk Beban T pada Pembebanan Lajur “D”

5. Gaya Rem (TB)

Gaya rem diambil yang terbesar dari:

- 25% dari berat gandar truk desain atau
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR

Gaya rem tersebut ditempatkan di semua lajur rencana yang dimuati sesuai dengan Pasal 8.2 (SNI 1725-2016) dan yang bereski lalu lintas dengan arah yang sama. Gaya ini harus diasumsikan untuk bekerja secara horizontal pada jarak 1800 mm diatas permukaan jalan pada masing-masing arah longitudinal dan dipilih yang paling menentukan. Untuk jembatan yang dimasa depan akan dirubah menjadi satu arah, maka semua lajur rencana harus dibebani secara simultan pada saat menghitung besarnya gaya rem. Faktor kepadatan lajur yang ditentukan pada Pasal 8.4.3 (SNI 1725-2016) berlaku untuk menghitung gaya rem.

6. Pembebanan untuk Pejalan Kaki (TP)

Semua komponen trotoar yang lebarnya lebih dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5kPa dan dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan pada masing-masing lajur kendaraan. Jika trotoar

dapat dinaiki maka beban pejalan kaki tidak perlu dianggap bekerja secara bersamaan dengan beban kendaraan. Jika ada kemungkinan trotoar berubah fungsi di masa depan menjadi lajur kendaraan, maka beban hidup kendaraan harus ditetapkan pada jarak 250 mm dari tepi dalam parapet untuk perencanaan komponen jembatan lainnya. Dalam hal ini, faktor beban dinamis tidak perlu dipertimbangkan.

3.3.3 Aksi Lingkungan

Aksi lingkungan merupakan pengaruh dan penyebab-penyebab alamiah. Berdasarkan SNI 1725-2016, besarnya beban rencana yang diberikan dihitung berdasarkan analisis statistik dari kejadian-kejadian umum yang tercatat tanpa memperhitungkan hal khusus yang mungkin akan memperbesar pengaruh setempat.

1. Beban Angin

Menurut SNI 1725-2016, tekanan angin diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin diasumsikan terdistribusi secara merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Arah ini harus di variasikan untuk mendapatkan pengaruh yang paling berbahaya terhadap struktur jembatan atau komponen-komponen. Luasan yang tidak memberikan kontribusi dapat diabaikan dalam perencanaan. Untuk jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau air, kecepatan angin rencana (V_{DZ}) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{DZ} = 2,5 \cdot V_0 \cdot Ln \quad (4)$$

Dengan V_{DZ} = kecepatan angin rencana pada elevasi rencana (km/jam), V_{10} = kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam), V_B = kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 10000 mm, Z = elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ($Z > 10000$ mm), V_0 = kecepatan gesekan angina, yang merupakan karakteristik

meteorology, sebagaimana ditentukan pada Tabel 3, dan Z_0 = panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan pada Tabel 3.

V_{10} dapat diperoleh dari:

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang,
- Survei angin pada lokasi jembatan, dan
- Jika tidak ada data yang lebih baik, perencana dapat mengasumsikan bahwa $V_{10} = V_B = 90$ s/d 126 km/jam.

Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu dapat dilihat pada Tabel 3 berikut

Tabel 3 Nilai V_0 dan Z_0 untuk berbagai variasi kondisi permukaan hulu

Kondisi	Lahan Terbuka	Sub Urban	Kota
V_0 (km/jam)	13,2	17,6	19,3
Z_0 (mm)	70	1000	2500

a. Beban angin pada struktur (EWS)

Bila kondisi setempat telah sesuai, maka perencanaan dapat menggunakan kecepatan angina rencana dasar yang berbeda untuk kombinasi pembebanan. Arah angin diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan lain. Tekanan angina rencana dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (5)$$

Dengan P_B = tekanan angin dasar seperti dalam Tabel 3.4

Komponen Bangunan Atas	Angin Tekan (MPa)	Angin Hisap (MPa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

b. Pengaruh gempa

Jembatan harus dirancang agar memiliki kemungkinan kecil untuk runtuh namun dapat mengalami kerusakan dan gangguan terhadap pelayanan akibat gempa. Beban gempa diambil sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respon elastic (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen yang kemudian dimodifikasi dengan faktor modifikasi respons (R) dengan persamaan sebagai berikut.

$$E_Q = \left(\frac{C_{sm}}{R} \right) \times W_t \quad (6)$$

Dengan E_Q = gaya gempa horizontal statis (kN), C_{sm} = koefisien respons gempa elastis, R = faktor modifikasi respons, W_t = berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai (kN),

3.3 Perencanaan Struktur Atas

Struktur atas jembatan merupakan bagian struktur yang menerima beban langsung yang ditimbulkan dari berat mati, beban mati tambahan, beban lalu lintas dan aksi lingkungan. Dari struktur atas jembatan kemudian beban akan disalurkan ke bagian struktur bawah jembatan. Perencanaan struktur atas jembatan Sardjito I ini meliputi tiang sandaran, pelat lantai, balok gelagar, kolom, dan kolom pelengkung.

3.3.1 Perencanaan Tiang Sandaran

Tiang sandaran merupakan bagian dari jembatan yang berfungsi sebagai pembatas dan memberikan keamanan kepada pengguna jalan. Tiang sandaran umumnya direncanakan dengan tinggi 0,9 – 1,0 m dari muka trotoar.

1. Perencanaan Pelat Lantai

Pelat lantai jembatan merupakan komponen jembatan sebagai perlintasan lalu lintas. Pelat lantai mempunyai fungsi untuk mendistribusikan beban sepanjang bentang jembatan. Pelat lantai dibagi menjadi 2 tipe struktural yaitu pelat lantai satu arah dan dua arah. Pelat lantai satu arah yaitu pelat yang mempunyai panjang lebih besar dari pada lebarnya yang semua bebannya hampir bertumpu hanya pada dua balok yang sejajar. Pelat lantai dikatakan satu arah bila $L_x/L_y > 2$. Pelat lantai jembatan Sardjito I akan direncanakan menggunakan pelat lantai satu arah.

2. Perencanaan Balok Gelagar

Gelagar jembatan di bagi menjadi dua yaitu gelagar diafragma dan gelagar memanjang. Gelagar diafragma merupakan gelagar dengan arah melintang yang berfungsi untuk mengikat perkakuan antara gelagar-gelagar memanjang. Dan gelagar memanjang ini merupakan tumpuan pelat lantai kendaraan dalam arah memanjang. Perencanaan gelagar pada jembatan Sardjito I menggunakan gelagar beton bertulang.

3. Perencanaan Kolom

Kolom merupakan elemen struktur yang bertugas menahan beban tekan aksial dan momen. Kolom memiliki peran yang sangat penting dalam struktur, sehingga keruntuhan pada suatu kolom dapat menyebabkan runtuhnya bangunan yang bersangkutan dan juga runtuh seluruh struktur. Setelah mengetahui kekuatan maksimum balok maka dapat merencanakan kolom sehingga kekuatan kolom lebih kuat dibandingkan dengan balok agar tercapai prinsip strong column weak beam.

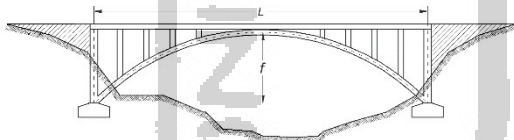
4. Perencanaan Kolom Pelengkung
 Pada perencanaan jembatan Sardjito I ini menggunakan jembatan pelengkung beton bertulang dengan tipe true arch, yaitu konstruksi pelengkung berada dibawah lantai jembatan. Pada perencanaan struktur atas Jembatan Sardjito I ini digunakan variasi ketinggian busur pelengkung untuk mengetahui desain yang paling efektif dan efisien. Variasi ketinggian busur berdasarkan BMS 1992 dengan persamaan berikut:

$$0,16 \leq \frac{f}{L} \leq 0,2 \quad (7)$$

Ketinggian busur jembatan menggunakan persamaan parabola dengan persamaan berikut:

$$y = \frac{4 \cdot f \cdot x(L - x)}{L^2} \quad (8)$$

Dengan y = jarak arah y , x = jarak arah x , f = ketinggian busur, dan L = bentang jembatan.



Gambar 4 Rencana Jembatan

4. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Data Struktur

Perencanaan Jembatan Sardjito I menggunakan pelengkung beton bertulang. Berikut merupakan data struktur Jembatan Sardjito I:

1. Struktur atas jembatan (superstructure)

Posisi pelengkung berada di bawah lantai jembatan (true arch), dengan bentang rencana 60 m. Berikut merupakan detail perencanaan jembatan:

- a. Lebar total jembatan : 9 m,
- b. Lebar perkerasan : 7 m (3,5 m x 2 lajur),

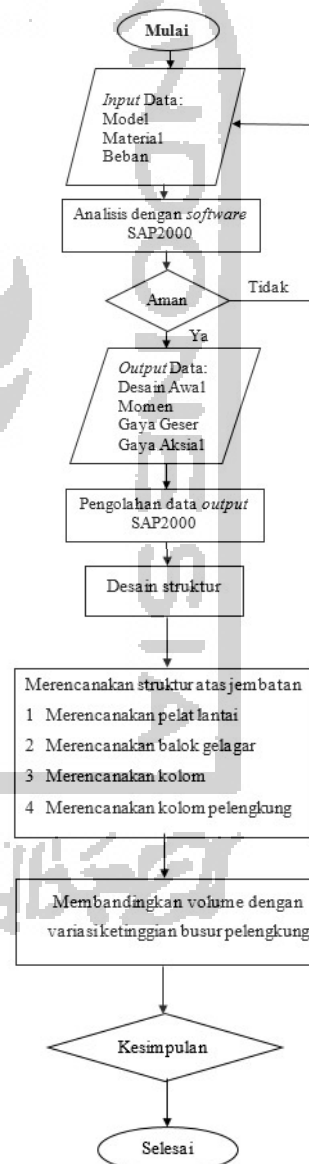
- c. Lebar trotoar : 2 meter (1,0 meter x 2 lajur),

- d. Balok melintang,
- e. Balok gelagar,
- f. Kolom, dan
- g. Pelengkung beton.

Struktur jembatan menggunakan,

- a. Beton dengan kuat tekan ($f'c$) : 25 MPa
- b. Mutu baja tulangan : 390 MPa

4.2 Tahapan Perencanaan



Gambar 5 Bagan Alir Perencanaan

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Perencanaan Balok

Setelah mendapatkan hasil analisis dari SAP2000, kemudian merencanakan penulangan balok. Untuk mendapatkan desain penulangan yang efektif maka perlu dilakukan redistribusi momen balok apabila momen positif lebih besar dari 50% momen negatif. Redistribusi momen tidak perlu lebih dari 20% agar tidak terjadi penurunan kekuatan secara signifikan. Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil dari desain tulangan geser balok terdapat pada tabel berikut.

Tabel 5 Hasil Desain Tumpuan Balok B1

Tinggi Busur	Dimensi (cm)	Tulangan Tarik	Tulangan Tekan	Mt- (Ton.m)	Mt+ (Ton.m)	Mkap- (Ton.m)	Mkap+ (Ton.m)
10 m	120 x 50	14 D16	8 D16	108.641	72.684	150.099	81.198
11 m	120 x 50	10 D16	4 D16	78.133	72.717	107.910	83.245
12 m	120 x 50	10 D16	4 D16	78.133	72.717	107.910	83.245

Tabel 6 Hasil Desain Lapangan Balok B1

Tinggi Busur	Dimensi (cm)	Tulangan Tarik	Tulangan Tekan	Mt- (Ton.m)	Mt+ (Ton.m)	Mkap- (Ton.m)	Mkap+ (Ton.m)
10 m	120 x 50	10 D16	2 D16	86.142	78.475	101.248	108.338
11 m	120 x 50	8 D16	2 D16	70.950	62.844	82.624	86.782
12 m	120 x 50	8 D16	2 D16	70.950	62.844	82.624	86.782

Tabel 7 Hasil Desain Tumpuan Balok B2

Tinggi Busur	Dimensi (cm)	Tulangan Tarik	Tulangan Tekan	Mt- (Ton.m)	Mt+ (Ton.m)	Mkap- (Ton.m)	Mkap+ (Ton.m)
10 m	70 x 35	23 D16	15 D16	101.833	52.560	139.684	75.757
11 m	70 x 35	7 D16	4 D16	29.521	27.619	40.618	30.966
12 m	70 x 35	7 D16	4 D16	29.521	27.619	40.618	30.966

Tabel 8 Hasil Desain Tumpuan Balok B2

Tinggi Busur	Dimensi (cm)	Tulangan Tarik	Tulangan Tekan	Mt- (Ton.m)	Mt+ (Ton.m)	Mkap- (Ton.m)	Mkap+ (Ton.m)
10 m	70 x 35	13 D16	10 D16	40.252	58.400	51.365	80.501
11 m	70 x 35	5 D16	2 D16	26.430	21.402	29.991	29.425
12 m	70 x 35	5 D16	2 D16	26.430	21.402	29.991	29.425

Tabel 9 Hasil Desain Tumpuan Balok B3

Tinggi Busur	Dimensi (cm)	Tulangan Tarik	Tulangan Tekan	Mt- (Ton.m)	Mt+ (Ton.m)	Mkap- (Ton.m)	Mkap+ (Ton.m)
10 m	60 x 30	13 D16	9 D16	44.109	27.239	60.548	35.335
11 m	60 x 30	4 D16	2 D16	14.464	12.716	16.258	17.429
12 m	60 x 30	4 D16	2 D16	14.464	12.716	16.258	17.429

Tabel 10 Hasil Desain Lapangan Balok B3

Tinggi Busur	Dimensi (cm)	Tulangan Tarik	Tulangan Tekan	Mt- (Ton.m)	Mt+ (Ton.m)	Mkap- (Ton.m)	Mkap+ (Ton.m)
10 m	60 x 30	4 D16	2 D16	18.655	14.299	20.908	19.617
11 m	60 x 30	4 D16	2 D16	18.655	14.299	20.908	19.617
12 m	60 x 30	4 D16	2 D16	18.655	14.299	20.908	19.617

Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil dari desain tulangan geser balok terdapat pada tabel berikut

Tabel 11 Hasil Desain Geser Balok B1

Tinggi Busur	Dimensi (cm)	Jarak Sengkang	
		Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis
10 m	90 x 45	2 D13-50	2 D13-100
11 m	90 x 45	2 D13-50	2 D13-100
12 m	90 x 45	2 D13-50	2 D13-100

Tabel 12 Hasil Desain Geser Balok B1

Tinggi Busur	Dimensi (cm)	Jarak Sengkang	
		Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis
10 m	70 x 35	3 D13-50	3 D13-100
11 m	70 x 35	3 D13-50	3 D13-100
12 m	70 x 35	3 D13-50	3 D13-100

Tabel 13 Hasil Desain Geser Balok B1

Tinggi Busur	Dimensi (cm)	Jarak Sengkang	
		Sendi Plastis	Luar Sendi Plastis
10 m	60 x 30	2 Ø10-100	2 Ø10-100
11 m	60 x 30	2 Ø10-100	2 Ø10-100
12 m	60 x 30	2 Ø10-100	2 Ø10-100

5.2 Hasil Perencanaan Kolom Tegak

Berdasarkan prinsip struktur daktail, maka kolom harus lebih kuat daripada balok. Berikut ini merupakan hasil rekapitulasi tulangan lentur kolom K dengan ketiga variasi ketinggian busur jembatan terdapat pada Tabel 14.

Tabel 14 Hasil Desain Kolom Tegak

Tinggi Busur	Dimensi (cm)	Tulangan		Arah X		Arah Y	
		Arah X	Arah Y	Mn (T.m)	Pn (Ton)	Mn (T.m)	Pn (Ton)
10 m	100 x 50	6 D25	12 D25	98.05	214.9	152.5	242.5
11 m	100 x 50	6 D25	12 D25	100.7	240	154.5	255.5
12 m	100 x 50	6 D25	12 D25	102.6	265.25	162	320

Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan tulangan geser kolom K

Tabel 15 Hasil Desain Geser Kolom Tegak

Tinggi Busur	Dimensi (cm)	Sendi Plastis		Luas Sendi Plastis	
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
10 m	100 x 50	4D13-100	2D13-100	2D13-150	2D13-150
11 m	100 x 50	4D13-100	2D13-100	2D13-150	2D13-150
12 m	100 x 50	4D13-100	2D13-100	2D13-150	2D13-150

5.3 Perencanaan Penulangan Kolom Pelengkung

Berdasarkan prinsip struktur daktail, maka kolom harus lebih kuat daripada balok.

Berikut ini merupakan hasil rekapitulasi tulangan lentur kolom K dengan ketiga variasi ketinggian busur jembatan terdapat pada Tabel 16.

Tabel 16 Hasil Desain Kolom Pelengkung

Tinggi Busur	Dimensi (cm)	Tulangan		Arah X		Arah Y	
		Arah X	Arah Y	Mn (T.m)	Pn (Ton)	Mn (T.m)	Pn (Ton)
10 m	150 x 75	10 D19	10 D19	342.5	1327.5	156.700	1377.000
11 m	150 x 75	10 D19	10 D19	380.5	1230	176.000	1288.500
12 m	150 x 75	10 D19	10 D19	386	1232	186.000	1250.000

Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan tulangan geser kolom K

Tabel 17 Hasil Geser Kolom Pelengkung

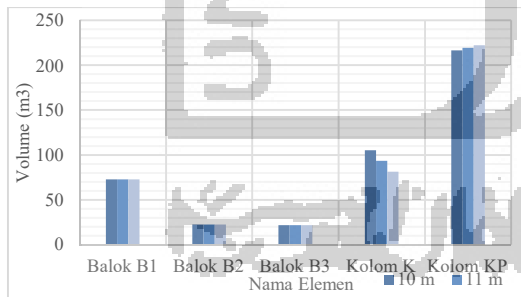
Tinggi Busur	Dimensi (cm)	Sendi Plastik		Luas Sendi Plastik	
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
10 m	150 x 75	7D13-100	3D13-100	2D13-150	2D13-150
11 m	150 x 75	7D13-100	3D13-100	2D13-150	2D13-150
12 m	150 x 75	7D13-100	3D13-100	2D13-150	2D13-150

5.4 Perhitungan Volume Elemen Jembatan

Perhitungan volume elemen jembatan ditujukan untuk mengetahui volume beton dan tulangan baja pada elemen balok dan kolom yang dibutuhkan setiap jembatan yang telah di desain kebutuhan tulangnya. Selanjutnya akan dicari jembatan yang paling efisien dari segi material pada ketiga variasi ketinggian busur jembatan. Berikut ini hasil dari perhitungan volume beton.

Tabel 18 Volume Beton

Tinggi Busur	Elemen	Dimensi (cm)	Volume	Total (m ³)
10 m	Balok B1	90 x 45	72.900	438.571
	Balok B2	70 x 35	22.295	
	Balok B3	60 x 30	21.600	
	Kolom K	100 x 50	105.231	
	Kolom KP	150 x 75	216.545	
11 m	Balok B1	90 x 45	72.900	429.413
	Balok B2	70 x 35	22.295	
	Balok B3	60 x 30	21.600	
	Kolom K	100 x 50	93.307	
	Kolom KP	150 x 75	219.311	
12 m	Balok B1	90 x 45	72.900	420.466
	Balok B2	70 x 35	22.295	
	Balok B3	60 x 30	21.600	
	Kolom K	100 x 50	81.396	
	Kolom KP	150 x 75	222.275	

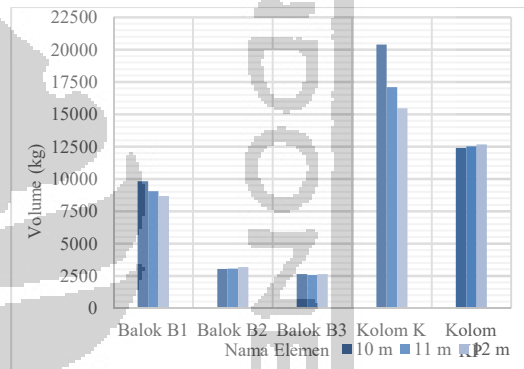


Gambar 6 Perbandingan Volume Beton

Volume balok B1, B2, dan B3 memiliki kebutuhan beton yang sama karena dari dimensi dan panjang bentang balok setiap ketinggian busur sama. Volume kolom K tertinggi terdapat pada jembatan dengan tinggi busur 10 m sebesar 105,231 m³. Berikut ini hasil dari perhitungan volume tulangan.

Tabel 19 Volume Tulangan

Tinggi Busur	Elemen	Dimensi (cm)	Volume	Total (Kg)
10 m	Balok B1	90 x 45	9812.250	48292.653
	Balok B2	70 x 35	3043.500	
	Balok B3	60 x 30	2649.261	
	Kolom K	100 x 50	20399.089	
	Kolom KP	150 x 75	12388.552	
11 m	Balok B1	90 x 45	9041.770	44299.393
	Balok B2	70 x 35	3053.349	
	Balok B3	60 x 30	2569.713	
	Kolom K	100 x 50	17109.454	
	Kolom KP	150 x 75	12525.108	
12 m	Balok B1	90 x 45	8684.940	42640.566
	Balok B2	70 x 35	3188.770	
	Balok B3	60 x 30	2649.261	
	Kolom K	100 x 50	15457.121	
	Kolom KP	150 x 75	12660.474	



Gambar 7 Perbandingan Volume Tulangan

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa volume tulangan paling tinggi yaitu pada ketinggian busur 10 m sebesar 48.131,031 kg, hal ini karena momen yang dihasilkan dari analisis struktur jembatan dengan ketinggian busur 10 m memiliki momen terbesar, sehingga memerlukan tulangan yang lebih banyak untuk menahan momennya.

5. Kesimpulan Dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Pada jembatan tinggi busur 10 m diperoleh gaya-gaya dalam elemen struktur relatif lebih besar dari tinggi busur 11 m dan 12 m. Pada tinggi busur 12 m diperoleh gaya gaya dalam pada elemen struktur yang paling kecil. Semakin tinggi busur jembatan, gaya-gaya dalam akan semakin dari ketiga variasi jembatan tersebut.
2. Jembatan dengan tinggi busur 12 m merupakan jembatan yang paling efisien dari ketiga variasi ketinggian busur

jembatan. Untuk kebutuhan beton jembatan tinggi busur 12 m lebih efisien sebesar 11,7% terhadap tinggi busur 10 m, dan untuk material tulangan lebih efisien sebesar 4,128%.

5.2 Saran

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 menggunakan jembatan pelengkung beton, sehingga penelitian selanjutnya dapat menggunakan tipe jembatan yang berbeda.
3. Penelitian ini tidak dilakukan perhitungan pengaruh tekanan tanah, sehingga penelitian selanjutnya sebaiknya memperhitungkan tekanan tanah pada struktur.
4. Penelitian ini menggunakan gaya gempa statik ekuivalen, sehingga penelitian selanjutnya sebaiknya memperhitungkan time history.
5. Penelitian ini tidak mencakup perbandingan biaya, sehingga perlu

dilakukan penelitian lebih lanjut untuk membahas tentang perbandingan biaya antar variasi tinggi busur.

Daftar Pustaka

- Bridge Management System. 1992. Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan. Departemen PU Bina Marga.
- Budiawan, A.D. 2013. Perencanaan Struktur Jembatan Lengkung Beton Bertulang. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Siliwangi. Tasikmalaya.
- Sutarja, N. dan Swijana, K. 2010. Perencanaan Jembatan Tukad Yeh Poh Dengan Balok Pelengkung Beton Bertulang. Konferensi Nasional Teknik Sipil 4. 2010. Universitas Udayana. Bali.
- Standar Nasional Indonesia 1725. 2016. Pembebanan untuk Jembatan. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Yunus. 2014. Desain Jembatan Kali Elo Tipe Pelat Pelengkung Beton Bertulang (Concrete Arch Bridge). Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.