

OPTIMASI JARAK ELEMEN MELINTANG PADA JEMBATAN BAJA PELENGKUNG TIPE VIERENDEEL

Raden Ian Sulasmono¹, Moch. Dhoni Bathista², Puput Risdanareni³

¹Universitas Negeri Malang, raden.ian.2005236@students.um.ac.id

²Universitas Negeri Malang, moch.dhoni.2005236@students.um.ac.id

³Universitas Negeri Malang, puput.risdanareni.ft@um.ac.id

Abstrak:Indonesia merupakan negara yang tersusun atas ribuan pulau yang saling terpisah. Jumlah jembatan di Indonesia hingga tahun 2021 adalah sebanyak 18.931-unit dan dari jumlah tersebut sebanyak 2.938-unit dalam kondisi kritis dan perlu dilakukan Pembangunan ulang oleh pemerintah. Salah satu jenis jembatan yang banyak digunakan adalah jembatan pelengkung Vierendeel yang memiliki banyak keunggulan. Walaupun begitu pendesainan jembatan pelengkung harus melalui langkah-langkah yang benar agar keunggulan-keunggulan tersebut dapat maksimal. Salah satu usaha untuk meningkatkan performa jembatan pelengkung ialah dengan melakukan optimasi elemen melintang. Beberapa penelitian telah mencoba melakukan hal tersebut, dengan cara mengurangi jumlah elemen. Metode pengurangan elemen ini dinilai masih kurang optimal, sehingga dalam penelitian ini dilakukan penambahan variabel berupa pengaturan jarak antar batang melintang. Didasari hal itu, penulis ingin menutup riset gap dengan melakukan analisis untuk mencari rasio jumlah dan jarak batang melintang sehingga didapatkan konfigurasi struktur yang efisien. Dari hasil analisis menggunakan software SAP2000.v22 diperoleh hasil bahwa parameter elemen melintang bawah yang paling efisien adalah 1/8-OB1 dengan rasio struktur 19,644. Kemudian untuk parameter elemen melintang atas yang paling efisien adalah OA1 dengan rasio struktur 20,257. Dengan hasil tersebut maka dapat diketahui bahwa semakin sedikit elemen melintang maka semakin efisien rasio yang didapatkan dimana hal ini juga dipengaruhi oleh beban yang diberikan yang tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap elemen melintang.

Kata-kata kunci: Elemen Melintang; Rasio; Struktur Jembatan

Abstract: Indonesia is a country composed of thousands of islands that are separated from each other. The number of bridges in Indonesia until 2021 is 18,931-units and of this number as many as 2,938-units are in critical condition and need to be rebuilt by the government. One type of bridge that is widely used is the Vierendeel arch bridge which has many advantages. Even so, the design of arch bridges must go through the right steps so that these advantages can be maximized. One of the efforts to improve the performance of arch bridges is to optimize transverse elements. Some studies have tried to do just that, by reducing the number of elements. The method of reducing this element is considered still not optimal, so in this study an additional variable was carried out in the form of setting the distance between transverse rods. Based on this, the author wants to close the gap research by conducting an analysis to find the ratio of the number and distance of transverse bars so that an efficient structural configuration is obtained. From the results of the analysis using SAP2000.v22 software, it was obtained that the most efficient parameter of the lower transverse element was 1/8-OB1 with a structure ratio of 19.644. Then for the parameter of the upper transverse element the most efficient is OA1 with a structure ratio of 20.257. With these results, it can be seen that the fewer transverse elements, the more efficient the ratio obtained which is also influenced by the load given which does not have a significant effect on transverse elements.

Keywords: transverse elements; Ratio; Bridge Structure

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang tersusun atas ribuan pulau yang saling terpisah. Kondisi wilayah yang terpisah satu sama lain dapat menjadi penghambat dalam hubungan perekonomian antar wilayah. Upaya pemerintah dalam membangun konektivitas antar wilayah dengan program pembangunan infrastruktur secara nasional dan berkesinambungan dari tahun ke tahun menjadi jawaban atas kebutuhan infrastruktur jembatan. berdasarkan data yang diterbitkan oleh (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2021), jumlah jembatan di Indo-

nesia hingga tahun 2021 adalah sebanyak 18.931 unit dan dari jumlah tersebut sebanyak 2.938 unit dalam kondisi kritis dan perlu dilakukan pembangunan ulang oleh pemerintah.

Terdapat berbagai jenis jembatan yang dapat dibedakan baik dari bentuk, jenis material, maupun panjang bentangnya. Salah satu jenis jembatan menurut bentuknya adalah jembatan pelengkung. Proyek jembatan pelengkung terbaru di Indonesia adalah jembatan Youtefa yang berada di Papua. Pemilihan model pelengkung pada jembatan Youtefa ini dikarenakan jembatan pelengkung memiliki kelebihan apabila dibandingkan dengan bentuk struktur jembatan yang lain (surya hadi, prasetyo heru, 2022). Struktur utama jembatan hanya mengandalkan pengaturan hanger membuat jembatan efisien dalam hal konsumsi material, berat jembatan, dan emisi karbon yang dihasilkan selama konstruksi berlangsung (Guang et al., 2022). Selain itu, jembatan pelengkung ini sering kali menjadi opsi utama dalam pemilihan desain jembatan dikarenakan keunggulan dari sisi ekonomi dan tingkat daya tahan yang tinggi terutama untuk area pegunungan (Shao et al., 2021). Walaupun begitu pendesainan jembatan pelengkung harus melalui langkah-langkah yang benar agar keunggulan-keunggulan tersebut dapat maksimal.

Studi parameter untuk mendapatkan bentuk jembatan yang optimal sudah pernah dilakukan sebelumnya (Belevičius et al., 2021a)(Belevičius et al., 2021b). tujuan dilakukannya studi tersebut ialah untuk mendapatkan nilai-nilai parameter yang dapat digunakan sebagai petunjuk awal dalam mendapatkan desain yang optimal. Nilai-nilai parameter yang ada pada penelitian tersebut antara lain untuk tinggi pelengkung, jumlah section, sudut sebaran, radius dari hanger, tinggi girder, dan lebar girder. Namun, pada penelitian tersebut tidak dipertimbangkan terkait nilai parameter yang dibutuhkan untuk mendapatkan konfigurasi batang melintang yang optimal. Padahal sebuah struktur jembatan juga terdiri dari struktur batang melintang atas dan batang melintang bawah. Dari penelusuran yang dilakukan oleh penulis, mayoritas penelitian terhadap jembatan pelengkung menggunakan ikatan angin atau batang melintang tipe vierendeel, bentuk X, dan bentuk K tanpa dilakukan analisis terlebih dahulu apakah penggunaan tipe tersebut merupakan yang terefisien terhadap struktur (Greco et al., 2019). Sedangkan apabila penelitian bertujuan untuk menemukan bentuk jembatan terefisien, juga diperlukan analisis yang berfokus pada batang melintang atas dan bawah jembatan agar konfigurasi jembatan bisa dikatakan benar-benar efisien. Selain itu, pada penelitian-penelitian yang melakukan perencanaan terhadap jembatan pelengkung, untuk mendapatkan berat yang ringan dan efisien juga seringkali dengan cara melakukan penyesuaian terhadap ukuran profil (Fahrulloh, 2016; Jesus, 2016; KERAFA, 2015). Berdasarkan penelitian tersebut, usaha untuk mendapatkan bentuk yang optimal menjadi kurang maksimal hal ini dikarenakan penyesuaian profil seharusnya dilakukan setelah penentuan konfigurasi jembatan.

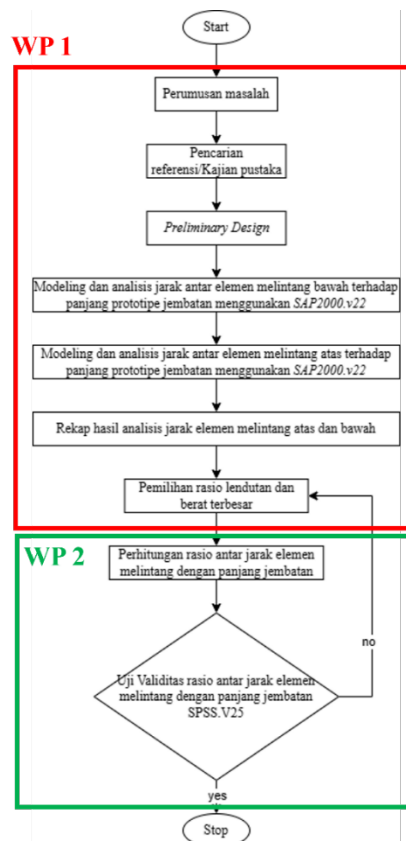
Uji coba mengenai batang melintang atas pada struktur model jembatan pelengkung sudah pernah dilakukan sebelumnya oleh penulis (Sulasmono, Bhatista, 2022). Akan tetapi hasil uji coba tersebut belum maksimal dikarenakan hanya mempertimbangkan pengurangan

batang. Dalam penelitian ini, metode yang digunakan akan berbeda dikarenakan penambahan variabel berupa pengaturan jarak antar batang melintang. Pengaturan jarak antar batang melintang diperlukan untuk dapat mengetahui posisi batang yang efisien (Bruno et al., 2016). Didasari hal itu, penulis ingin menutup gap dengan melakukan analisis untuk mencari rasio jumlah dan jarak batang melintang sehingga didapatkan konfigurasi struktur yang efisien.

Pada penelitian ini, analisis dilakukan terhadap prototipe skalatis jembatan pelengkung sebenarnya dengan skala 1 : 30. Spesifikasi jembatan ialah menggunakan material hollow karbon dengan bentang 3 m. Kemudian untuk pengujian dilakukan pembebanan sebesar 60 kg yang diletakkan ditengah bentang jembatan. dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui pengaruh batang melintang pada struktur jembatan, sehingga dapat menjadi acuan awal dalam menyusun konfigurasi batang melintang jembatan pelengkung yang efisien.

2. METODE

2.1 Rancangan Penelitian



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian

Penggunaan metode eksperimen pada penelitian ini adalah dengan mempelajari secara detail terkait analisis pengaruh yang terjadi akibat dari pengaturan jarak batang melintang pada struktur jembatan pelengkung yang kemudian analisis tersebut digunakan untuk menentukan rasio jarak batang melintang terhadap panjang jembatan. dalam penelitian ini, terdapat 2 work packages, yaitu :

2.1.1 Work package 1 (WP 1) : Analisis pengaruh batang melintang atas dan bawah terhadap struktur jembatan pelengkung

Pada WP1, analisis pengaruh elemen melintang dibedakan menjadi 2, yaitu: pertama menganalisis pengaruh batang melintang atas terhadap struktur jembatan pelengkung dengan melakukan pengaturan jumlah batang melintang jembatan; dan kedua menganalisis pengaruh batang melintang bawah terhadap struktur jembatan pelengkung dengan melakukan pengaturan jarak antar batang melintang. spesifikasi ukuran jembatan menggunakan ukuran panjang 300 cm, lebar 40 cm, dan tinggi 50 cm. Aspek yang ditinjau pada analisis ini adalah lendutan dan berat jembatan, dimana kedua variabel yang didapatkan dari trial tersebut dikumpulkan untuk kemudian dilakukan penentuan hasil terbaik di akhir proses analisis.

2.1.2 Work package 2 (WP 2) : Rasio jarak batang melintang atas dan bawah terhadap panjang jembatan

Setelah didapatkan hasil terbaik dari WP 1 untuk jarak antara batang melintang yang digunakan, maka selanjutnya dilakukan perhitungan rasio jarak antar batang yang digunakan terhadap panjang jembatan. untuk mengetahui tingkat kevalidan dari rasio yang didapatkan, dilakukan uji validitas dengan menganalisis ulang model jembatan dengan ukuran yang berbeda-beda menurut panjangnya, yaitu : 200 cm, 400 cm, dan 500 cm. dari WP2 ini nantinya juga akan diketahui untuk jumlah elemen melintang yang optimal.

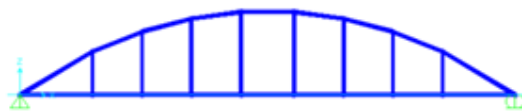
2.2 Peraturan yang Digunakan

Desain dan perancangan teoritis model jembatan pelengkung pada penelitian ini mengacu pada buku panduan perancangan KJI ke 17. Selain itu, peraturan-peraturan yang digunakan untuk melakukan penelitian jembatan pelengkung ini adalah sebagai berikut :

- 1.SNI 1725-2016 tentang Standar Pembebanan untuk Jembatan
- 2.SNI 1729-2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural
- 3.RSNI T-03-2005 tentang perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan
- 4.Bridge Management System (BMS) tentang Panduan Perencanaan Jembatan

2.3 Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini, spesifikasi ukuran bahan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

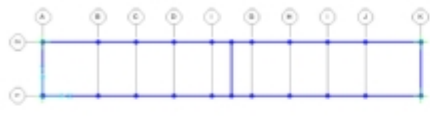
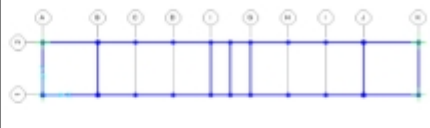
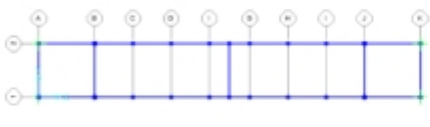
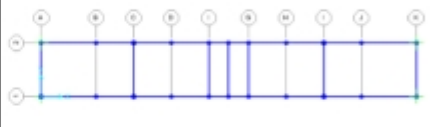
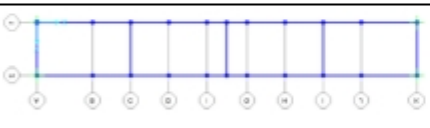
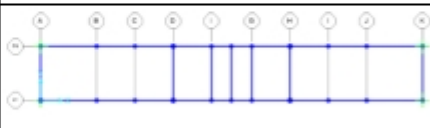
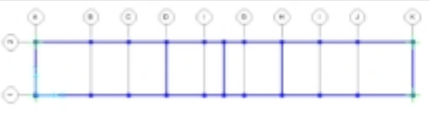
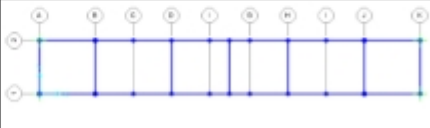
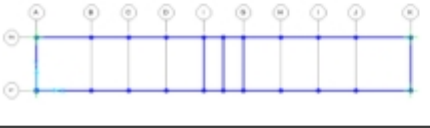
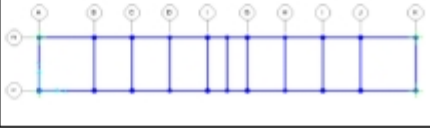


Gambar 2 Tampak samping jembatan model bahan penelitian

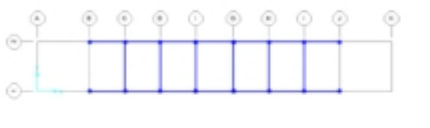
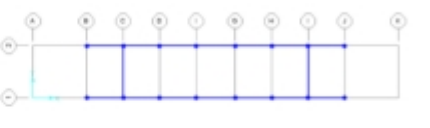
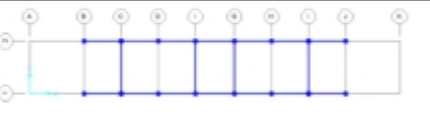
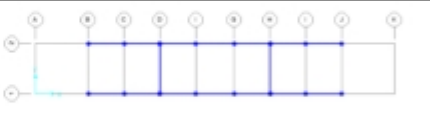
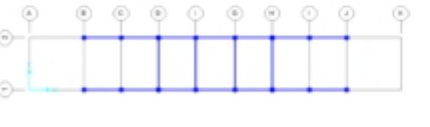
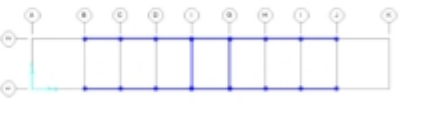
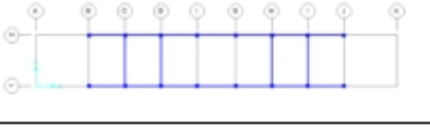
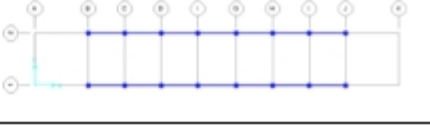
- 1.Bentang jembatan : 3,0 meter
 - 2.Lebar jembatan : 0,4 meter
 - 3.Tinggi jembatan : 0,5 meter
 - 4.Tumpuan : sendi dan rol
 - 5.Material jembatan : baja hollow karbon
 - 6.Dimensi profil : hollow 20 x 20 x 1 mm
- Mutu baja : BJ 37 ($f_y = 240$ MPa, $f_u = 370$ MPa)

Dari batasan ukuran di atas kemudian dilakukan modifikasi terhadap batang melintang atas dan bawahnya. modifikasi dilakukan terhadap jumlah batang melintang terlebih dahulu. Berikut merupakan modifikasi-modifikasi batang melintang bawah dan atas yang akan diuji coba :

Tabel 1 Bahan Penelitian Batang Melintang Bawah

Modifikasi Jarak Batang Melintang Bawah	Kode	Modifikasi Jarak Batang Melintang Bawah	Kode
	1/8-OB1		1/2-OB1
	1/4-OB1		1/2-OB2
	1/4-OB2		1/2-OB3
	1/4-OB3		1/2-OB4
	1/4-OB4		1/1-OB1

Tabel 2 Bahan Penelitian Batang Melintang Atas

Modifikasi Jarak Batang Melintang Bawah	Kode	Modifikasi Jarak Batang Melintang Bawah	Kode
	1/1-OA1		1/4-OA1
	1/2-OA1		1/4-OA2
	1/2-OA2		1/4-OA3
	1/2-OA3		OA1

2.4 Penetapan Benda Uji

Terdapat dua beban yang bekerja yaitu beban sendiri yang berasal dari berat sendiri struktur baja dan plat lantai triplek 3 mm yang dihitung otomatis oleh program SAP2000.v22 dan beban hidup (live load) berupa beban terpusat 60 kg yang terletak di Tengah bentang jembatan.

2.5 Defleksi Jembatan

Terdapat Batasan defleksi ijin yang diperlukan dalam perancangan jembatan, menurut bridge management system (BMS) dalam Peraturan Perencanaan Teknik Jembatan Direktorat Jenderal Bina Marga tahun 1992, yang menyatakan bahwa :

- a. Lendutan maksimum suatu balok kontinu adalah $1/800 \times$ bentang. Kemudian, apabila jembatan berada di area perkotaan yang Sebagian jalurnya digunakan untuk pejalan kaki, maka batas defleksinya adalah $1/1000 \times$ bentang
- b. Lendutan maksimum pada ujung kantilever harus kurang dari $1/300 \times$ Panjang kantilever. Kemudian untuk jembatan yang Sebagian jalurnya digunakan untuk pejalan kaki, batas lendutannya adalah $1/400 \times$ Panjang kantilever.

Desain jembatan pelengkung baja pada penelitian ini diasumsikan berada di area perkotaan yang sebagian jalurnya digunakan untuk pejalan kaki, sehingga batas defleksi yang digunakan adalah $1/1000 \times$ bentang jembatan.

$$\Delta = \frac{1}{1000} \times L$$
$$\Delta = \frac{1}{1000} \times 3000 \text{ mm}$$
$$\Delta = 3 \text{ mm}$$

2.6 Rasio Jembatan

Rasio jembatan merupakan salah satu metode penilaian dalam memilih desain jembatan yang paling efisien. Rasio jembatan diperoleh dengan meninjau berat struktur jembatan dan besarnya lendutan yang terjadi. Semakin berat jembatan maka semakin tidak efisien strukturnya dan semakin besar defleksi jembatan maka semakin kurang kokoh jembatan tersebut. Oleh karena itu, rumus berat struktur dikalikan dengan lendutan sebenarnya digunakan untuk memperoleh nilai rasio jembatan. Model jembatan dengan rasio terkecil merupakan model jembatan paling efisien.

2.7 Metode Analisis Jembatan Lengkung

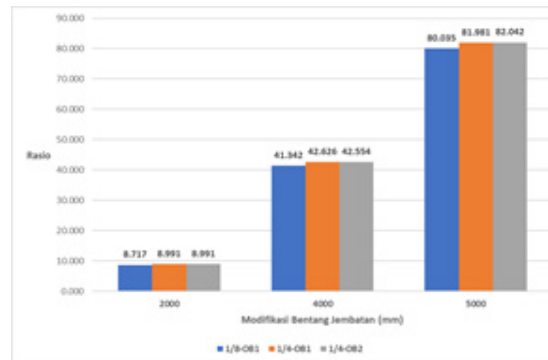
Pada penelitian ini akan dibuat struktur jembatan lengkung baja dianalisis menggunakan program bantu SAP2000 berbasis konsep numerik dengan metode elemen hingga. Struktur jembatan lengkung baja dengan berbagai variasi jarak gantungan akan dianalisis untuk mendapatkan gaya dalam dan lendutan pada setiap struktur yang akan menjadi dasar untuk menentukan tingkat efisiensi setiap desain sehingga diperoleh desain yang paling optimal

3. HASIL

Data hasil penelitian diperoleh setelah dilakukan analisis menggunakan software SAP2000. v22. hasil penelitian ini disajikan dalam bentuk diagram batang pada masing-masing tipe modifikasi elemen melintang struktur.

3.1 Analisis Elemen Melintang Bawah

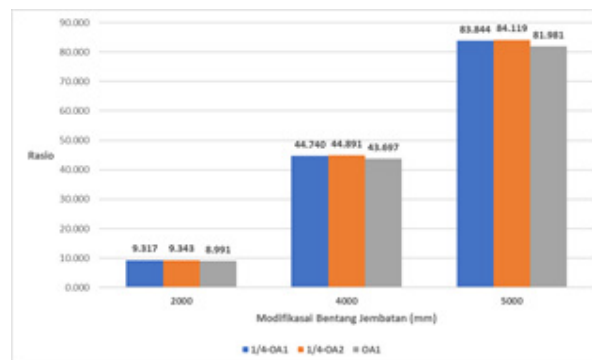
Hasil dari analisis elemen melintang untuk tipe modifikasi elemen melintang bawah berdasarkan bentang Panjang 2 m, 4 m, dan 5m secara berurutan tipe 1/8-OB1 dengan nilai rasio 8.717, 41.342, dan 80.035; tipe 1/4-OB1 dengan nilai rasio 8.991, 42.626, dan 81.981; tipe 1/4-OB2 dengan nilai rasio 8.991, 42.554, 82.042.



Gambar 3 Rasio Modifikasi Elemen Melintang Bawah terhadap Variasi Bentang Jembatan

3.2 Analisis Elemen Melintang Atas

Hasil dari analisis elemen melintang untuk tipe modifikasi elemen melintang atas berdasarkan bentang Panjang 2 m, 4 m, dan 5 m secara berurutan tipe OA1 dengan nilai rasio 8.991, 43.697, dan 81.981; tipe 1/4-OA1 dengan nilai rasio 9.317, 44.740, dan 83.844; tipe 1/4-OA2 dengan nilai rasio 9.343, 44.981, 84.119.



Gambar 4 Rasio Modifikasi Elemen Melintang Atas terhadap Variasi Bentang Jembatan

4. PEMBAHASAN

Analisis struktur jembatan dilakukan pada masing-masing model terhadap beban yang diberikan. Berat struktur dan lendutan yang terjadi pada masing-masing model kemudian direkapitulasi dan kemudian dianalisis pengaruh penempatan elemen melintang terhadap kemampuan struktur jembatan pelengkung.

4.1 Analisis Elemen Melintang Bawah

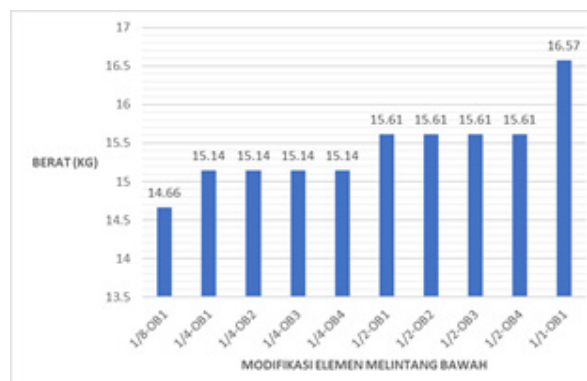
4.1.1 Berat Elemen Melintang Bawah

Berdasarkan hasil analisis SAP2000.v22 didapatkan berat dari masing-masing model struktur jembatan berdasarkan typenya sebagai berikut.

Tabel 3 analisis berat elemen melintang bawah struktur jembatan

Mod. Batang Melintang Bawah	Berat (kg)
1/8-OB1	14.66
1/4-OB1	15.14
1/4-OB2	15.14
1/4-OB3	15.14
1/4-OB4	15.14
1/2-OB1	15.61
1/2-OB2	15.61
1/2-OB3	15.61
1/2-OB4	15.61
1/1-OB1	16.57

Terlihat dari tabel 3 diketahui bahwa model 1/8-OB1 memiliki berat struktur teringan yaitu 14.66 kg. hal ini bisa terjadi dikarenakan model 1/8-OB1 memiliki jumlah elemen melintang paling sedikit dibandingkan yang lain sehingga menghasilkan berat struktur paling ringan. Berat tersebut kemudian diikuti oleh deretan model $\frac{1}{4}$ yang memiliki berat seragam yaitu 15.14 kg. hal tersebut bisa terjadi dikarenakan struktur model $\frac{1}{4}$ memiliki jumlah elemen melintang yang sama dan hanya dibedakan oleh penempatan dari elemen tersebut. Hasil ini juga menyempurnakan penelitian yang dilakukan sebelumnya (Belevičius et al., 2018), dimana untuk melakukan optimalisasi terhadap berat struktur jembatan pelengkung juga dapat dilakukan dengan memodifikasi elemen melintang struktur jembatan.



Gambar 5 grafik perbandingan berat model struktur jembatan berdasarkan elemen melintang bawah

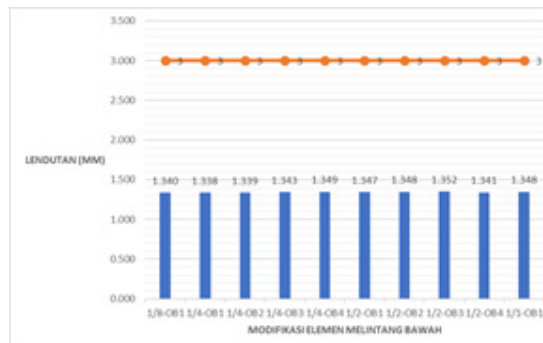
4.1.2 Lendutan Elemen Melintang Bawah

Berdasarkan analisis program SAP2000.v22 didapatkan hasil lendutan dari masing-masing model struktur jembatan berdasarkan tipe penempatan elemen melintang bawah. Berikut merupakan tabel hasil analisis lendutan.

Tabel 4 Hasil analisis lendutan model struktur jembatan berdasarkan tipe penempatan elemen melintang

Mod. Batang Melintang Bawah	Lendutan (mm)
1/8-OB1	1.340
1/4-OB1	1.338
1/4-OB2	1.339
1/4-OB3	1.343
1/4-OB4	1.349
1/2-OB1	1.347
1/2-OB2	1.348
1/2-OB3	1.352
1/2-OB4	1.341
1/1-OB1	1.348

Dari tabel 4 dapat dilihat bahwa penempatan elemen melintang bawah yang memiliki lendutan terkecil adalah 1/4-OB1 yang memiliki lendutan sebesar 1,338 mm. nilai tersebut kemudian secara berurutan diikuti oleh tipe 1/4-OB2 dan 1/8-OB1 yang memiliki rasio 1,339 mm dan 1,340 mm. dari hasil tersebut maka dapat diketahui bahwa penempatan elemen melintang efisien jika diletakkan di 1/3 dari bentang jembatan. Elemen melintang yang diletakkan pada 1/3 bentang akan menambah kekakuan struktur gelagar jembatan terhadap beban yang diberikan karna pada titik tersebut gaya aksial yang disebabkan oleh beban dapat terdistribusi secara merata.



Gambar 6 Grafik perbandingan lendutan model struktur jembatan berdasarkan penempatan elemen melintang bawah

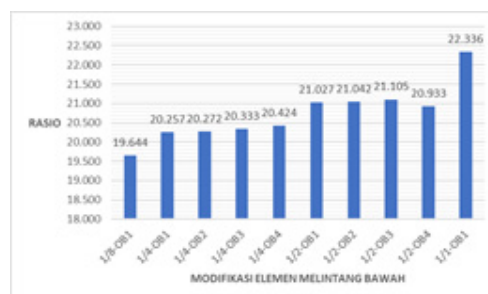
4.1.3 Rasio Elemen Melintang Bawah

Setelah didapatkan nilai berat struktur jembatan dan lendutan yang terjadi pada jembatan dari analisis SAP2000.v22, data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan nilai rasio jembatan. Berikut merupakan nilai rasio struktur jembatan berdasarkan penempatan elemen melintang bawah jembatan.

Tabel 5 Hasil analisis rasio penempatan elemen melintang bawah

Mod. Batang Melintang Bawah	Rasio
1/8-OB1	19.644
1/4-OB1	20.257
1/4-OB2	20.272
1/4-OB3	20.333
1/4-OB4	20.424
1/2-OB1	21.027
1/2-OB2	21.042
1/2-OB3	21.105
1/2-OB4	20.933
1/1-OB1	22.336

Terlihat dari data tabel 5, diketahui bahwa tipe 1/8-OB1 memiliki rasio struktur paling efisien yaitu 19,644. diikuti oleh 1/4-OB1 dan 1/4-OB2 yang secara berurutan memiliki rasio 20,257 dan 20,272. Walaupun tipe 1/4-OB1 memiliki lendutan lebih kecil daripada 1/8-OB1 tetapi berat yang dimiliki oleh tipe 1/8-OB1 lebih kecil. Sehingga secara efisiensi tipe 1/8-OB1 memiliki rasio penempatan lebih baik. kemudian dari hasil tersebut terlihat tren yang menunjukkan bahwa penambahan elemen melintang yang bertujuan untuk memperkecil lendutan tidak terlalu efektif dimana hal tersebut justru memperbesar rasio dikarenakan penambahan berat struktur. Hasil ini juga menyempurnakan penelitian yang dilakukan sebelumnya (Ammendolea et al., 2020), dimana dari penelitian tersebut diketahui bahwa desain elemen melintang menggunakan tipe Vierendeel memiliki kelebihan dari segi kekuatan dan biaya dibandingkan dengan tipe K-shape maupun X-shape. Pada penelitian ini tipe Vierendeel tersebut dilakukan optimasi Kembali dan didapatkan tipe 1/8-OB1 dengan rasio struktur terefisien.



Gambar 7 Grafik perbandingan rasio struktur jembatan berdasarkan tipe permodelan elemen melintang bawah struktur jembatan

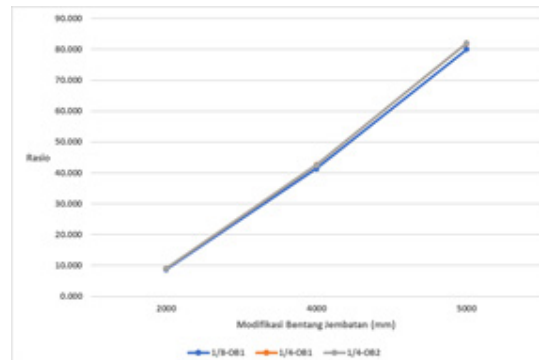
4.1.4 Validasi Elemen Melintang Bawah

Setelah didapatkan struktur jembatan dengan penempatan elemen melintang bawah dengan rasio terefisien, selanjutnya dipilih 3 tipe terbaik untuk selanjutnya dilakukan validitas dengan beberapa variasi bentang jembatan. Dari analisis ini akan diketahui tipe rasio penempatan terefisien.

Tabel 6 analisis rasio struktur dengan variasi bentang jembatan terhadap permodelan tipe elemen melintang bawah

Rasio Mod. Batang Melintang bawah	Variasi Bentang Jembatan (mm)		
	2000	4000	5000
1/8-OB1	8.717	41.342	80.035
1/4-OB1	8.991	42.626	81.981
1/4-OB2	8.991	42.554	82.042

Dari hasil tabel 6 diketahui bahwa tipe penempatan 1/8-OB1 tetap memiliki rasio terefisien yaitu 8,717 untuk bentang 2 m; 41,342 untuk bentang 4 m; dan 80,035 untuk bentang 5 m. kemudian tipe tersebut diikuti oleh tipe 1/4-OB2 dan 1/4-OB1 dengan nilai seperti tertera pada tabel. Berdasarkan hasil tersebut tipe 1/8-OB1 masih memiliki rasio terkecil baik dibentang 2 m-5 m.

**Gambar 8.** Grafik perbandingan rasio modifikasi elemen melintang bawah terhadap variasi bentang jembatan

4.2 Analisis Elemen Melintang Atas

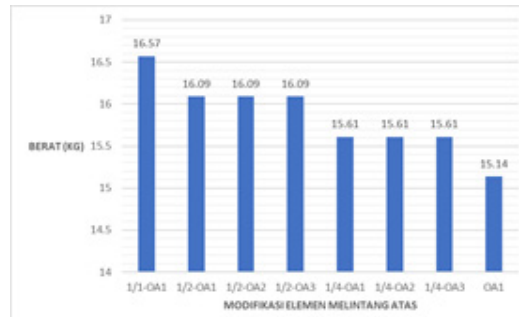
4.2.1 Berat Elemen Melintang Atas

Berdasarkan hasil analisis SAP2000.v22 didapatkan berat dari masing-masing model struktur jembatan berdasarkan typenya sebagai berikut.

Tabel 7 Analisis Berat Elemen Melintang Atas Struktur Jembatan

Mod. Batang Melintang Atas	Berat (kg)
1/1-OA1	16.57
1/2-OA1	16.09
1/2-OA2	16.09
1/2-OA3	16.09
1/4-OA1	15.61
1/4-OA2	15.61
1/4-OA3	15.61
OA1	15.14

Terlihat dari tabel 7 diketahui bahwa model OA1 memiliki berat struktur teringan yaitu 15,14 kg. hal ini bisa terjadi dikarenakan model OA1 memiliki jumlah elemen melintang paling sedikit dibandingkan yang lain sehingga menghasilkan berat struktur paling ringan. Berat tersebut kemudian diikuti oleh deretan model 1/4 yang memiliki berat seragam yaitu 15,61 kg. hal tersebut bisa terjadi dikarenakan struktur model 1/4 memiliki jumlah elemen melintang yang sama dan hanya dibedakan oleh penempatan dari elemen tersebut.



Gambar 9 Grafik perbandingan berat elemen melintang atas struktur jembatan

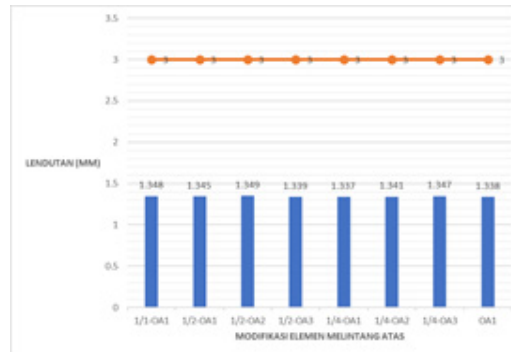
4.2.2 Lendutan Elemen Melintang Atas

Berdasarkan analisis program SAP2000.v22 didapatkan hasil lendutan dari masing-masing model struktur jembatan berdasarkan tipe penempatan elemen melintang atas. Berikut merupakan tabel hasil analisis lendutan.

Tabel 8 analisis Lendutan elemen melintang atas struktur jembatan

Mod. Batang Melintang Atas	Lendutan (mm)
1/1-OA1	1.348
1/2-OA1	1.345
1/2-OA2	1.349
1/2-OA3	1.339
1/4-OA1	1.337
1/4-OA2	1.341
1/4-OA3	1.347
OA1	1.338

Dari tabel 8 dapat dilihat bahwa penempatan elemen melintang atas yang memiliki lendutan terkecil adalah $\frac{1}{4}$ -OA1 yang memiliki lendutan sebesar 1,337 mm. nilai tersebut kemudian secara berurutan diikuti oleh tipe OA1 dan $\frac{1}{2}$ -OA3 yang memiliki rasio 1,338 mm dan 1,339 mm. tipe modifikasi $\frac{1}{4}$ -OA1 memiliki nilai lendutan paling kecil dibandingkan tipe modifikasi elemen melintang atas yang lain. Hal ini dikarenakan penempatan elemen $\frac{1}{4}$ -OA1 akan membagi bentang jembatan secara merata sehingga fungsi elemen melintang atas sebagai batang Tarik dapat maksimal. Dari hasil analisis tersebut juga terlihat tren yang sama dengan analisis elemen melintang bawah dimana penambahan elemen melintang dengan tujuan untuk memperkaku struktur justru memberikan hasil yang sebaliknya dimana struktur dengan tipe modifikasi $\frac{1}{2}$ -OA dan 1/1-OA memiliki lendutan yang lebih besar. Hal ini dikarenakan penambahan elemen melintang akan menambah beban mati yang diterima oleh struktur jembatan. Beban mati struktur tersebut yang kemudian menyebabkan bertambahnya lendutan.



Gambar 10 Grafik perbandingan lendutan struktur jembatan berdasarkan tipe permodelan elemen melintang atas struktur jembatan

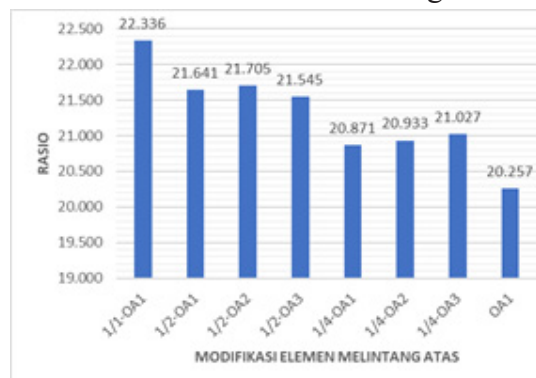
4.2.3 Rasio Elemen Melintang Atas

Setelah didapatkan nilai berat struktur jembatan dan lendutan yang terjadi pada jembatan dari analisis SAP2000.v22, data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan nilai rasio jembatan. Berikut merupakan nilai rasio struktur jembatan berdasarkan penempatan elemen melintang atas jembatan.

Tabel 11 analisis rasio elemen melintang atas struktur jembatan

Mod. Batang Melintang Atas	Rasio
1/1-OA1	22.336
1/2-OA1	21.641
1/2-OA2	21.705
1/2-OA3	21.545
1/4-OA1	20.871
1/4-OA2	20.933
1/4-OA3	21.027
OA1	20.257

Terlihat dari data tabel di atas, diketahui bahwa tipe OA1 memiliki rasio struktur paling efisien yaitu 20,257. diikuti oleh 1/4-OA1 dan 1/4-OA2 yang secara berurutan memiliki rasio 20,871 dan 20,933. Walaupun tipe 1/4-OA1 memiliki lendutan lebih kecil daripada OA1 tetapi berat yang dimiliki oleh tipe OA1 lebih kecil. Sehingga secara efisiensi tipe 1/8-OB1 memiliki rasio penempatan lebih baik. selain itu, dari hasil tersebut juga diketahui bahwasannya elemen melintang atas tidak terlalu berpengaruh terhadap beban yang diberikan sehingga tipe OA1 memiliki efisiensi paling baik walau tidak memiliki elemen melintang sama sekali.



Gambar 11 Grafik perbandingan rasio struktur jembatan berdasarkan tipe permodelan elemen melintang atas struktur jembatan

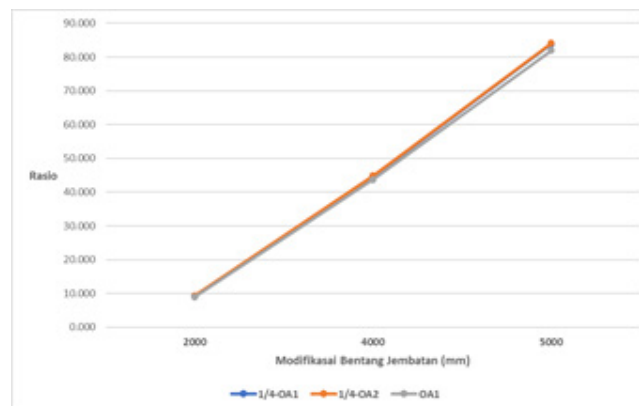
4.2.4 Validasi Elemen Melintang Atas

Setelah didapatkan struktur jembatan dengan penempatan elemen melintang atas dengan rasio terefisien, selanjutnya dipilih 3 tipe terbaik untuk selanjutnya dilakukan validitas dengan beberapa variasi bentang jembatan. Dari analisis ini akan diketahui tipe rasio penempatan terefisien.

Tabel 12 analisis rasio struktur dengan variasi bentang jembatan terhadap permodelan tipe elemen melintang atas

Rasio Mod. Batang Melintang atas	Variasi Bentang Jembatan (mm)		
	2000	4000	5000
1/4-OA1	9.317	44.740	83.844
1/4-OA2	9.343	44.891	84.119
OA1	8.991	43.697	81.981

Dari hasil tabel 12 diketahui bahwa tipe penempatan OA1 tetap memiliki rasio terefisien yaitu 8,991 untuk bentang 2 m; 43,697 untuk bentang 4 m; dan 81,981 untuk bentang 5 m. kemudian tipe tersebut diikuti oleh tipe $\frac{1}{4}$ -OA1 dan $\frac{1}{4}$ -OA2 dengan nilai seperti tertera pada tabel. Berdasarkan hasil tersebut tipe OA1 masih memiliki rasio terkecil baik dibentang 2 m-5 m.



Gambar 12 Grafik perbandingan rasio modifikasi elemen melintang atas terhadap variasi bentang jembatan

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian optimasi penempatan elemen melintang pada jembatan baja pelengkung tipe Vierendeel didapatkan hasil, yaitu :

1. Berdasarkan hasil analisis SAP2000.v22, diketahui berat struktur jembatan teringan berdasarkan pemodelan elemen melintang bawah adalah tipe 1/8-OB1 dengan berat 14,66 kg.
2. Berdasarkan hasil analisis SAP2000.v22, diketahui lendutan struktur jembatan terkecil berdasarkan pemodelan elemen melintang bawah adalah tipe 1/4-OB1 dengan nilai 1,338 mm.
3. Berdasarkan hasil analisis, diketahui rasio struktur jembatan terefisien berdasarkan pemodelan elemen melintang bawah adalah tipe 1/8-OB1 dengan nilai 19,644.

4. Berdasarkan hasil analisis SAP2000.v22, diketahui berat struktur jembatan teringan berdasarkan pemodelan elemen melintang atas adalah tipe OA1 dengan berat 15,14 kg.
5. Berdasarkan hasil analisis SAP2000.v22, diketahui lendutan struktur jembatan terkecil berdasarkan pemodelan elemen melintang atas adalah tipe 1/4-OA1 dengan nilai 1,337 mm.
6. Berdasarkan hasil analisis, diketahui rasio struktur jembatan terefisien berdasarkan pemodelan elemen melintang atas adalah tipe OA1 dengan nilai 20,257.
7. Berdasarkan hasil analisis, diketahui rasio struktur jembatan apabila menggunakan elemen melintang bawah 1/8-OB1 dan elemen melintang atas OA1 adalah 17,583.

Berdasarkan faktor-faktor yang dihasilkan berdasarkan analisis maka untuk mendapatkan rasio struktur jembatan baja pelengkung yang efisien dapat menggunakan tipe modifikasi 1/8-OB1 untuk elemen melintang bawah. Sedangkan untuk elemen melintang atas dapat menggunakan tipe modifikasi OA1. Dimana rasio yang didapatkan dari kombinasi tersebut adalah 17,583.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abd Elrehim, M. Z., Eid, M. A., & Sayed, M. G. (2019). Structural optimization of concrete arch bridges using Genetic Algorithms. *Ain Shams Engineering Journal*, 10(3), 507–516. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.01.005>
- Ammendolea, D., Greco, F., Blasi, P. N., Lonetti, P., & Pascuzzo, A. (2020). Strategies to improve the structural integrity of tied-arch bridges affected by instability phenomena. *Procedia Structural Integrity*, 25(2019), 454–464. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.04.051>
- Belevičius, R., Juozapaitis, A., & Rusakevičius, D. (2018). Parameter study on weight minimization of network arch bridges. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(1), 48–55. <https://doi.org/10.3311/PPci.10036>
- Chen Kong-liang, W. R. (2014). PRACTICAL COMPUTATION METHOD FOR LATERAL STABILITY OF THROUGH ARCH BRIDGE. *Blucher Mechanical Engineering Proceedings*, 1(May), 1–7.
- Dhoni Bathista, Ian Sulasmono, P. R. (2022). Proposal Kompetisi Jembatan Indonesia XVII Tahun 2022 DoRa “Jembatan Sandyatara.” 62.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2021). *Buku Kondisi Jalan Nasional 2021 Semester II*. 116.
- Han, L., & Wang, Y. (2019). Topology optimization of top lateral bracing for steel tub girder systems using genetic algorithm. *Structural Stability Research Council Annual Stability Conference 2019, SSRC 2019*, 1, 51–58.
- Helwig, T., & Yura, J. (2022). *Steel Bridge Design Handbook: Bracing System Theory and Design for I-Girders and Tub Girders*. February. www.aisc.org/nsba.
- Korus, K., Salamak, M., & Jasiński, M. (2021). Optimization of geometric parameters of arch

- bridges using visual programming FEM components and genetic algorithm. *Engineering Structures*, 241(April). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112465>
- MAHERI, M., & SAFARI, D. (2005). Topology optimization of bracing in steel structures by genetic algorithm. *Fourth International Conference on Advances in Steel Structures*, June 2005, 277–282. <https://doi.org/10.1016/b978-008044637-0/50040-8>
- Ostrycharczyk, A. W., & Malo, K. A. (2017). Parametric study of radial hanger patterns for network arch timber bridges with a light deck on transverse crossbeams. *Engineering Structures*, 153(November), 491–502. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.10.021>
- surya hadi, prasetyo heru, komang azi. (2022). STUDI ANALISIS PERBANDINGAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN BLAHKIUH-AYUNAN DENGAN MODEL WAREEN TRUSS DAN THROUGH ARCH BOX. *INTAKINDO*, 12.
- Zotti, A. De, Pellegrino, C., & Modena, C. (2007). A parametric study of the hanger arrangement in arch bridges. *ARCH'07 - 5th International Conference on Arch Bridges*.
- Agus Setiawan, *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD*, E. (2008). ufvS umxnuJs WNiIUfcl.
- Anggara, D. S., & Abdillah, C. (2019). *Modul Metode Penelitian Lapangan*. FKIP Universitas Pamulang, 1–219.
- Afifuddin, M. (n.d.). *UJI EKSPERIMENTAL PROFIL BAJA HOLLOW YANG DIISI MORTAR FAS 0,4 - PDF Free Download.pdf*.
- Belevičius, R., Juozapaitis, A., Rusakevičius, D., & Žilėnaitė, S. (2021a). Optimal schemes of radial network arch pedestrian bridges: An extensive dataset of solutions under different conditions. *Data in Brief*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107149>
- Belevičius, R., Juozapaitis, A., Rusakevičius, D., & Žilėnaitė, S. (2021b). Parametric study on mass minimization of radial network arch pedestrian bridges. *Engineering Structures*, 237(May 2020). <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112182>
- Bruno, D., Lonetti, P., & Pascuzzo, A. (2016). An optimization model for the design of network arch bridges. *Computers and Structures*, 170, 13–25. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2016.03.011>
- Fahrulloh, A. (2016). *PERENCANAAN ULANG JEMBATAN NONGKO DENGAN PELENGKUNG BAJA*. *Digital Repository Universitas Jember*, 67.
- Greco, F., Lonetti, P., & Pascuzzo, A. (2019). Structural integrity of tied arch bridges affected by instability phenomena. *Procedia Structural Integrity*, 18, 891–902. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.240>
- Guang, H., Xudong, S., Yubao, C., Ping, O., & Dongbo, Z. (2022). Preliminary Design of a Steel-UHPFRC Composite Truss Arch Bridge and Model Tests of K-Joints. *Journal of Bridge*

- Engineering, 27(10). [https://doi.org/doi: 10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001921](https://doi.org/doi: 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001921)
- Jesus, J. de. (2016). STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN RANGKA MENGGUNAKAN TIPE LENGKUNG DENGAN METODE LRFD PADA JEMBATAN DESA TAGUL KECEMATAN SEMBAKUNG KABUPATEN NUNUKAN KALIMANTAN UTARA. Digital Repository Institut Teknologi Nasional, 346.
- KERAF, P. (2015). STUDI ALTERNATIF PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN TYPE PELENGKUNG (lowerdeck) PADA JEMBATAN SUKARNO-HATTA KOTA MALANG. Digital Repository Institut Teknologi Nasional, 697.
- Shao, X., He, G., Shen, X., Zhu, P., & Chen, Y. (2021). Conceptual design of 1000 m scale steel-UHPFRC composite truss arch bridge. *Engineering Structures*, 226(November 2020), 111430. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111430>
- Prayoga, M. (2015). Aplikasi SAP2000 Untuk Pembebanan Gempa Statis dan Dinamis Dalam Perencanaan Struktur Gedung Baja. 4–29.
- Purwanto, H., & Hariadi, G. (2018). Analisis Perbandingan Jembatan Tipe Parker Dan Tipe Warren Dengan Bentang 50 Meter. *Jurnal Deformasi*, 3(1), 67. <https://doi.org/10.31851/deformasi.v3i1.1963>

