

# Pengaruh Modifikasi Pengaku Lateral Terhadap Perilaku Struktur Jembatan Rangka Baja Pejalan Kaki

Agus Bukhori Susilo dan Maris Setyo Nugroho

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta 55281, Indonesia

## Kata Kunci:

Mortar kapur  
Pemugaran  
Kuat tarik belah  
Kuat tekan  
Silica fume

## Keywords:

Limestone mortar  
Restoration  
Split tensile strength  
Compressive strength  
Silica fume

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui desain struktur jembatan pejalan kaki yang optimum serta menguji perilaku struktur jembatan rangka baja pejalan kaki terhadap pengaruh modifikasi komponen pengaku lateral. Penelitian juga bertujuan untuk mengetahui kapasitas batang yang dihasilkan dan besar perbandingan total anggaran yang dibutuhkan dalam fabrikasi jembatan dengan pengaku lateral dan tanpa pengaku lateral. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilakukan dengan pemodelan 3D pada dua desain pengaku lateral jembatan bentang enam meter dengan program bantu analisis. Pembebanan jembatan menggunakan kombinasi beban yang berpedoman pada SNI 1725:2016. Hasil analisis desain struktur utama jembatan dari kedua desain pengaku lateral berupa data lendutan, berat dan gaya-gaya yang bekerja kemudian dilakukan perhitungan terhadap kesesuaian aspek perencanaan jembatan yaitu kekuatan, kekakuan, dan kestabilan. Desain struktur yang optimum memiliki bentuk pelengkung tujuh segmen konfigurasi rangka kombinasi *howe* dan *warren* dengan *bracing* silang. Jembatan tanpa pengaku lateral menghasilkan deformasi lateral yang lebih besar dengan selisih 0,041 mm pada tengah bentang. Sedangkan pada deformasi arah Z, jembatan tanpa pengaku lateral menghasilkan lendutan yang lebih kecil dengan rerata selisih 0,0065 mm. Hasil lendutan maksimum yaitu sebesar 2,392 mm dan lebih kecil dari nilai izin  $L/800$  (7,5 mm). Jembatan tanpa pengaku lateral memperoleh nilai kekakuan yang lebih tinggi dengan rerata selisih 0,004 mm. Gaya dalam yang dihasilkan adalah sebesar 20,623 kN pada top chord jembatan. Hasil analisis kapasitas batang menunjukkan bahwa pada batang tarik ( $T_n > T_u$ ), tekan ( $P_n > P_u$ ), geser ( $V_n > V_u$ ), dan momen ( $M_n > M_u$ ). Biaya fabrikasi jembatan tanpa pengaku lateral lebih ekonomis dengan selisih sebesar Rp362.000,00. Berdasarkan hasil tersebut maka jembatan tanpa pengaku lateral telah memenuhi aspek kriteria perancangan.

## ABSTRACT

*This research aims to determine the optimum pedestrian bridge structure design and test the behavior of the pedestrian steel truss bridge structure against the effect of modification of the lateral bracing component. The research also aims to determine the resulting member capacity and the total budget required in bridge fabrication with lateral bracing and without lateral bracing. This research uses an experimental method carried out by 3D modeling of two lateral bracing designs for a six-meter span bridge with analysis programs. Bridge loading uses a combination of loads based on SNI 1725:2016. The results of the analysis of the main structural design of the bridge from the two lateral bracing designs in the form of deflection data, weight and working forces are then calculated on the suitability of the bridge planning aspects of strength, stiffness, and stability. The optimum structural design has a seven-segment arch frame with a combination of Howe and Warren truss configuration with cross bracing. Bridges without lateral bracing produce larger lateral deformations with a difference of 0.041 mm at mid-span. While in the Z direction deformation, the bridge without lateral bracing produced a smaller deflection with an average difference of 0.0065 mm. The maximum deflection result is 2.392 mm and is smaller than the permit value of  $L/800$  (7.5 mm). Bridges without lateral bracing obtained higher stiffness values with an average difference of 0.004 mm. The resulting internal force was 20.623 kN at the top chord of the bridge. The results of the members capacity analysis show that the bars are tensile ( $T_n > T_u$ ), compressive ( $P_n > P_u$ ), shear ( $V_n > V_u$ ), and moment ( $M_n > M_u$ ). The cost of fabricating a bridge without lateral bracing is more economical with a difference of IDR362,000. Based on these results, the bridge without lateral bracing has fulfilled aspects of the design criteria.*



This is an open access article under the [CC-BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.

\*Corresponding author.

E-mail: [agusbukhori.2020@student.uny.ac.id](mailto:agusbukhori.2020@student.uny.ac.id)

Available online 30 September 2024

## 1. Pendahuluan

Pemerintah sedang menggencarkan program pembangunan infrastruktur seperti yang disebutkan dalam Peraturan Presiden Nomor 120 Tahun 2022 mengenai Penugasan Khusus dalam Rangka Percepatan Pelaksanaan Pembangunan Infrastruktur. Ni Made Dwipanti selaku Kepala Dinas Perhubungan (Dishub) Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) juga menyebutkan bahwa Dishub DIY berkomitmen untuk mewujudkan Yogyakarta yang ramah pejalan kaki. Oleh karena itu, upaya perencanaan dan pengembangan infrastruktur transportasi yang menyeluruh menjadi sangat penting dalam mewujudkan tata kelola transportasi yang baik untuk mewujudkan kawasan ramah pejalan kaki.

Di sisi lain menurut informasi data dari Pusat Studi Pariwisata Universitas Gadjah Mada (2023), total wisatawan yang berkunjung ke Kota Yogyakarta selama Tahun 2023 adalah sebanyak 4,5 juta wisatawan. Namun berdasarkan Peraturan Daerah Kota Yogyakarta Nomor 1 Tahun 2019 mengenai Penyelenggaraan Lalu Lintas dan Angkutan Jalan menyebutkan tentang pembatasan lalu lintas angkutan pariwisata.

Selain itu, menurut data dari Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan dan Energi Sumber Daya Mineral DIY (2023), panjang saluran primer irigasi di Yogyakarta mencapai angka 75,14 km dengan lebar sungai sebesar 5 meter sampai dengan 13 meter. Dalam rangka menjawab tantangan tersebut, jembatan menjadi elemen krusial dalam konteks infrastruktur dan mobilitas manusia khususnya wisatawan Kota Yogyakarta.

Jembatan pejalan kaki merupakan elemen yang penting dalam memfasilitasi pergerakan manusia. Pembangunan jembatan pejalan kaki yang strategis dapat dapat menciptakan lingkungan yang lebih ramah manusia, yang mendukung pertumbuhan populasi dan mobilitas manusia dengan cara yang positif. Khususnya, penggunaan baja sebagai material konstruksi jembatan pejalan kaki menarik perhatian karena sifatnya yang kuat, ringan, dan ramah lingkungan.

Jembatan rangka baja adalah salah satu jenis jembatan yang paling umum dibangun di Indonesia. Jembatan tipe rangka terdiri dari sistem konstruksi rangka yang umumnya terdiri dari material baja yang dibangun dengan menghubungkan beberapa elemen batang dengan baut maupun las berbentuk segitiga untuk membuat struktur yang stabil (Saryono, 2003).

Dengan memanfaatkan jembatan rangka baja hasil kompetisi pada proyek nyata akan mendatangkan berbagai manfaat bagi masyarakat luas. Namun dalam penerapan

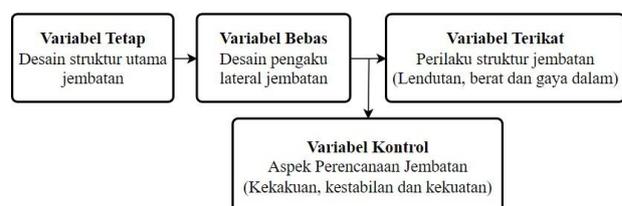
fungsi jembatan pejalan kaki perlu penyesuaian terhadap desain pengaku lateral jembatan agar tidak menghalangi lajur pejalan kaki. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menguji kelayakan dan perilaku struktur jembatan model hasil kompetisi untuk diaplikasikan menjadi fungsi jembatan pejalan kaki dengan beberapa penyesuaian pada komponen pengaku lateral dan lantai jembatan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku struktur jembatan rangka baja pejalan kaki terhadap pengaruh komponen pengaku lateral. Kemudian untuk menguji efektivitas desain tersebut, dilakukan analisa dengan model skala 1:10 dari jembatan sebenarnya berukuran 60 meter. Analisa perbandingan dilakukan menggunakan dua program bantu analisis yang digunakan untuk menguji keakuratan hasil perencanaan pada struktur jembatan tersebut. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman terhadap pengaruh pengaku lateral agar didapatkan desain struktur jembatan pejalan kaki yang lebih efisien.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini yaitu jenis kuantitatif dengan metode eksperimental. Penelitian dilaksanakan dengan analisa pada model skala 1:10 dari jembatan sebenarnya berukuran 60 meter serta membandingkan dua desain pengaku lateral jembatan untuk mendapatkan pemahaman tentang perilaku struktur jembatan. Selanjutnya, hasil dari desain perencanaan jembatan digunakan untuk pemodelan struktur menggunakan program dua program bantu analisis dan dilakukan pengecekan terhadap keamanan struktur jembatan.

Kota Yogyakarta Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan studi kasus yang dipakai dalam penelitian ini. Studi kasus tersebut digunakan untuk menghitung respon spektrum sebagai beban gempa dalam perencanaan jembatan. Penelitian berlangsung selama empat bulan yang dimulai dari bulan Februari 2024 hingga dengan bulan Mei 2024. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Variabel penelitian

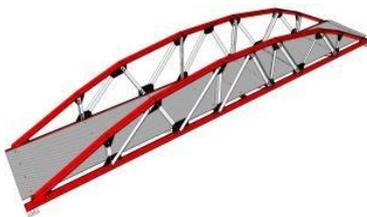
Proses mencari konfigurasi struktur jembatan dimulai dengan *preliminary* desain. Parameter penilaian terdiri dari lendutan (*deformation*), kekuatan struktur (*structural safety*), dan ekonomis (*economical*). Pemilihan desain

struktur dilakukan sebanyak enam tahap, yaitu: pemilihan jumlah segmen jembatan, pemilihan bentuk jembatan, pemilihan jenis rangka jembatan, pemilihan modifikasi rangka jembatan, pemilihan jenis profil jembatan, dan pemilihan jenis *bracing* jembatan

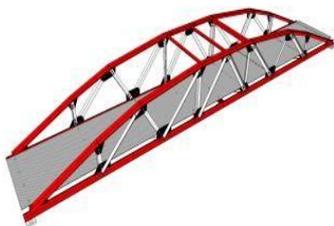
Struktur jembatan dibebani dengan mempertimbangkan beban permanen dan transien. Beban transien jembatan antara lain yaitu beban angin, beban pejalan kaki, beban air hujan, dan gaya gempa. Sedangkan untuk beban permanen terdiri dari beban mati jembatan.

**2.1 Pemodelan dan analisis struktur**

Pemodelan struktur dilakukan untuk menggambarkan desain jembatan yang digunakan (Chaukab, 2023). Pemodelan dilakukan pada dua jenis jembatan yaitu jembatan dengan pengaku dan tanpa pengaku dengan program bantu analisis. Hasil analisis menggunakan program bantu analisis untuk mengetahui deformasi, reaksi gaya, dan kapasitas dalam menumpu beban.



Gambar 2. Jembatan tanpa pengaku lateral



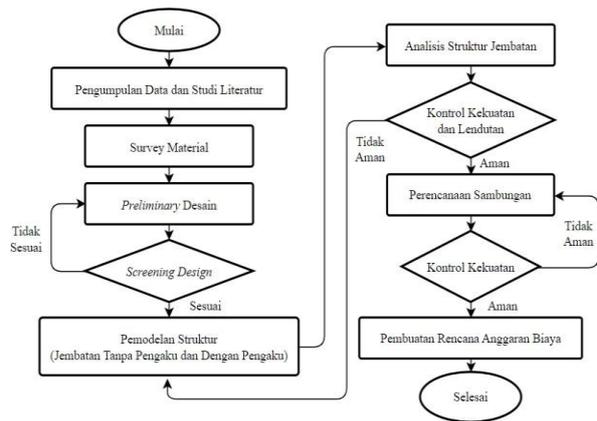
Gambar 3. Jembatan dengan pengaku lateral

**2.2 Perencanaan sambungan jembatan**

Untuk menghubungkan berbagai komponen menjadi satu kesatuan struktur, maka perlu dilakukan perencanaan sambungan digunakan untuk mempertimbangkan kapasitas komponen struktur dan komponen alat sambung dengan berpedoman pada SNI 1729:2020.

**2.3 Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB)**

Perhitungan RAB dilakukan untuk mendapatkan harga dan jumlah bahan yang dibutuhkan. Perhitungan dilakukan pada elemen struktur, alat sambung, pelat lantai dan jasa fabrikasi jembatan.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

**2.4 Faktor Beban dan Kekuatan Baja**

Faktor beban dan kekuatan material baja mencakup faktor reduksi kekuatan,  $\phi$  diambil dari nilai yang disebutkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Faktor reduksi kekuatan keadaan batas ultimit (RSNI T-03-2005)

Situasi Rencana	Faktor Reduksi Kekuatan, $\phi$
Lentur	0,90
Geser	0,90
Aksial Tekan	0,85
Aksial Tarik terhadap kuat tarik leleh	0,90
Aksial Tarik terhadap kuat tarik fraktur	0,75
Penghubung geser	0,75
Sambungan baut	0,75
Hubungan las tumpul penetrasi penuh	0,90
Hubungan las sudut dan tumpul penetrasi	0,75

Perencanaan jembatan harus memenuhi persyaratan dalam Surat Edaran Menteri PUPR Nomor: 07/SE/M/2015 mengenai Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan yaitu: kekuatan dan Keselamatan (*structural safety*), keawetan (*durability*), mudah diperiksa (*inspectability*), mudah dipelihara (*maintainability*), keamanan dan kenyamanan pengguna (*rideability*), perubahan bentuk (*deformation*), kemudahan dikerjakan (*constructability*), dan ekonomis.

Dalam menentukan lebar lantai jembatan dilakukan dengan identifikasi berdasarkan kebutuhan ruang gerak minimum pejalan kaki.

Tabel 2. Kebutuhan ruang gerak minimum pejalan kaki

No.	Posisi	Kebutuhan Lebar (m)
1	Diam	0,6
2	Bergerak	0,6
3	Bergerak membawa barang	0,75-0,90

\* Peraturan Menteri PU Nomor 3 Tahun 2014 tentang Pedoman Perencanaan, Penyediaan, dan Pemanfaatan Prasarana dan Sarana Jaringan Pejalan Kaki di Kawasan Perkotaan.

### 2.5 Pembebanan jembatan

Dalam proses perancangan jembatan, pembebanan dilaksanakan berdasarkan SEM PU No. 02/SE/M/2010 dan SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan. Beban mati jembatan terdiri dari seluruh berat yang dihasilkan dari beban jembatan sendiri serta seluruh komponen lain yang berhubungan dengan jembatan. Beban mati tambahan yaitu beban material keseluruhan yang ditanggung oleh struktur jembatan (Refani, 2017).

**Tabel 3.** Faktor beban untuk berat sendiri

Faktor beban ( $\gamma_{MS}$ )				
Tipe Beban	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{MS}$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{uMS}$ )	
	Bahan	Biasa	Terkurangi	
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton insitu	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

\* SNI 1725:2016

**Tabel 4.** Faktor beban terhadap beban mati tambahan

Faktor beban ( $\gamma_{MA}$ )				
Tipe Beban	Keadaan Batas Layan ( $\gamma_{sMA}$ )		Keadaan Batas Ultimit ( $\gamma_{uMA}$ )	
	Keadaan	Biasa	Terkurangi	
Tetap	Umum	1,00	1,10	0,90
	Khusus	1,00	1,10	0,90

\* SNI 1725:2016

Beban hidup merata dipertimbangkan sebesar 4 kPa untuk memberi batas keselamatan yang cukup terhadap seluruh pengguna jembatan pejalan kaki.

**Tabel 5.** Beban hidup yang ditumpu jembatan pejalan kaki

Kelas Pengguna	Lebar	Beban Terpusat	Beban Merata	Lendutan Izin ( $\Delta$ )
Jembatan Pejalan Kaki Kelas I (beban hidup maksimum sampai dengan kendaraan ringan)	1,8 m	20 kN (hanya ada satu kendaraan bermotor ringan pada satu bentang jembatan)	5 kPa	1/200 L
Jembatan Pejalan Kaki Kelas II (beban hidup dibatasi hanya untuk pejalan kaki dan sepeda motor)	1,4 m	-	4 kPa	1/100 L

Keterangan  
L adalah bentang utama jembatan

\* SEM PU No. 02/SE/M/2010

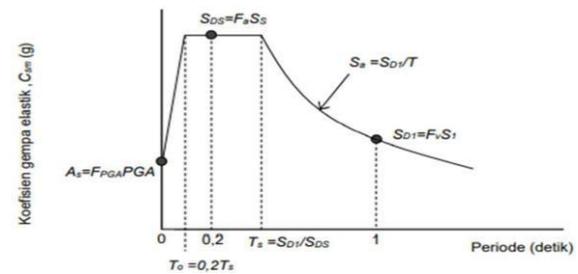
Dalam SNI 1725:2016 disebutkan kecepatan angin dasar ( $V_B$ ) sebesar 90-126 km/jam adalah sumber tekanan angin yang ditentukan.

**Tabel 6.** Tekanan angin dasar

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

\* SNI 1725:2016

SNI 1725:2016 dan SNI 2833:2016 mengenai Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa digunakan untuk menghitung beban gempa yang berdampak terhadap struktur jembatan. Respon spektra (*response spectrum*) merupakan angka yang menunjukkan respons optimal sistem berderajat kebebasan tunggal teredam oleh suatu goyangan tanah pada frekuensi alami (periode alami).



**Gambar 6.** Bentuk tipikal response spectrum di permukaan tanah

**Tabel 7.** Faktor modifikasi respon ( $R$ )

Hubungan Elemen Struktur	Faktor
Bangunan atas dengan kepala jembatan	0,8
Sambungan muai (dilatasi) pada bangunan atas	0,8
Kolom, pilar, atau tiang dengan bangunan atas	1,0
Kolom atau pilar dengan pondasi	1,0

\* SNI 2833:2016

Menurut SNI 1725:2016, koefisien respon elastis ( $C_{sm}$ ) dikalikan terhadap berat struktur ekuivalen, dan faktor modifikasi respon ( $R_d$ ) digunakan untuk menghitung beban gempa terhadap struktur jembatan.

$$E_Q = C_{sm} / R_d \cdot W_t \tag{1}$$

dengan  $E_Q$  adalah gaya gempa statis pada arah horizontal (kN),  $C_{sm}$  adalah koefisien respons pada gempa elastis,  $R_d$  adalah faktor modifikasi respons,  $W_t$  adalah beban keseluruhan struktur (kN).

Berdasarkan SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan, kombinasi beban yang ditetapkan untuk perencanaan jembatan ditunjukkan pada Tabel 8.

**Tabel 8.** Kombinasi beban dan faktor beban

Keadaan Batas	Beban Mati (MA)	Beban Hidup (TP)	Beban Angin (Ews)	Beban Gempa (EQ)
Kuat I	1,10	1,80	-	-
Kuat II	1,10	1,40	-	-
Kuat III	1,10	-	1,40	-
Kuat IV	1,10	-	-	-
Kuat V	1,10	-	0,40	-
Ekstrem I	1,10	1,00	-	1,00
Ekstrem II	1,10	0,50	-	-
Layan I	1,00	1,00	0,30	-
Layan II	1,00	1,30	-	-
Layan III	1,00	0,80	-	-
Layan IV	1,00	-	0,70	-

\* SNI 1725:2016

## 2.6 Analisis Struktur Jembatan

Dalam merencanakan komponen jembatan berpedoman pada SNI 1729:2020 mengenai Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Struktur perlu mempunyai ketahanan yang cukup untuk menumpu beban yang bekerja.

$$\phi R_n \geq \sum \gamma_i Q_i \quad (2)$$

dimana  $\phi$  merupakan faktor reduksi kekuatan dan  $R_n$  adalah kekuatan nominal.

SNI 1729:2020 menyebutkan komponen struktur batang tarik yang dipakai adalah yang memiliki nilai minimum. Hal tersebut didasarkan pada tinjauan keadaan batas keruntuhan batang tarik pada penampang netto serta batas leleh tarik di penampang bruto.

$$P_{ut} \leq \phi_t \cdot P_n \quad (3)$$

Dimana merupakan faktor resistensi (0,90),  $P_n$  adalah kekuatan nominal batang tarik (N),  $P_{ut}$  adalah gaya tarik aksial terfaktor (N).

SNI 1729:2020 menyatakan bahwa nilai terendah untuk komponen struktur tekan dihitung dalam keadaan batas tekuk lentur yang berlaku.

$$P_{uc} \leq \phi_c \cdot P_n \quad (4)$$

dimana  $\phi_c$  adalah faktor resistensi kekuatan tekan,  $P_n$  adalah kekuatan nominal batang tekan, dan  $P_{uc}$  adalah gaya tekan aksial terfaktor.

Kekuatan lentur nominal ( $M_n$ ) disyaratkan menjadi nilai minimum dalam keadaan batas leleh (momen plastis) yang mengacu pada SNI 1729:2020.

$$M_u \leq \phi_b \cdot M_n \quad (5)$$

dimana  $\phi_b$  adalah faktor resistensi kekuatan lentur (0,90)  $M_n$  adalah kekuatan nominal komponen lentur (N), dan  $M_u$  adalah gaya lentur terbesar terfaktor (N).

Perencanaan alat sambung harus disesuaikan dengan faktor kegagalan sambungan untuk mengurangi risiko kegagalan struktur. Ikhsan (2020) mengatakan bahwa struktur tidak boleh mengalami kegagalan karena akan runtuh atau tidak dapat menahan beban.

$$R_u \leq \phi^b \cdot R_n \quad (6)$$

dimana  $\phi^b$  merupakan faktor resistensi kekuatan baut (0,75),  $R_n$  adalah kekuatan nominal baut (N),  $R_u$  beban terfaktor (N).

## 3. Hasil

### 3.1 Pemilihan Desain Struktur Jembatan

Parameter yang digunakan untuk menentukan desain terbaik antara lain kekuatan struktur, lendutan, kemudahan pelaksanaan, dan faktor ekonomis. Kekuatan struktur dinilai dari keamanan jembatan, lendutan diukur dari deformasi yang terjadi, kemudahan pelaksanaan dilihat dari jumlah segmen jembatan, dan aspek ekonomis ditentukan berdasarkan berat struktur.

#### Penentuan Dimensi Jembatan

Dimensi jembatan ditentukan berdasarkan kondisi geografis dan kebutuhan akan fungsi jembatan tersebut. Studi kasus penelitian ini berada di Kota Yogyakarta yang banyak dilalui oleh saluran irigasi dengan lebar sungai sebesar 5-13 meter, maka ditentukan panjang jembatan sebesar 6 meter.

Dalam menentukan lebar lantai jembatan dilakukan identifikasi mengenai kebutuhan ruang gerak minimum pejalan kaki. Dalam Permen PU No. 3 Tahun 2014 disebutkan bahwa kebutuhan ruang satu orang dalam kondisi membawa barang adalah 0,75-0,90 meter, sehingga ditentukan lebar jembatan sebesar 0,80 meter.

Menurut Ummah (2021) disebutkan bahwa semakin tinggi jembatan, maka desain jembatan yang dihasilkan menjadi lebih efisien. Meninjau desain jembatan hasil kompetisi dan mempertimbangkan hasil penelitian tersebut, maka ditentukan tinggi jembatan 0,75 meter.

**Tabel 9.** Data Teknis Perencanaan

Uraian	Keterangan
Tipe Jembatan	<i>Through type truss</i>
Panjang Jembatan	6,00 meter
Lebar Jembatan	0,80 meter
Tinggi Jembatan	0,75 meter

Uraian	Keterangan
Fungsi Jembatan	Pejalan Kaki
Tumpuan Jembatan	Sendi – Rol
Material Jembatan	Baja BJ 37
Rangka Jembatan	Baja <i>Hollow &amp; Angle Section</i>

**Pendefinisian Material**

Program bantu analisis digunakan untuk mendefinisikan material yang digunakan untuk justifikasi desain struktur jembatan. Spesifikasi material yang akan digunakan untuk jembatan ditetapkan di pendefinisian *material properties*.

**Tabel 10.** Spesifikasi material baja BJ-37

Sifat Mekanis	Nilai
Tegangan Putus Minimum (fu)	370 MPa
Tegangan Leleh Minimum (fy)	240 MPa
Modulus Elastisitas (E)	200.000 MPa
Modulus Geser (G)	76923,08 MPa
Angka Poison (μ)	0,3
Koefisien Pemuai (α)	12 x 10 <sup>-6</sup> /°C

Penentuan *material section* dilakukan untuk menetapkan tipe dan dimensi profil yang dipakai. Tipe profil yang dipilih untuk desain awal meliputi baja *hollow section* 50.50.4, *angle section* 50.50.4, dan *canal section* 60.60.2.

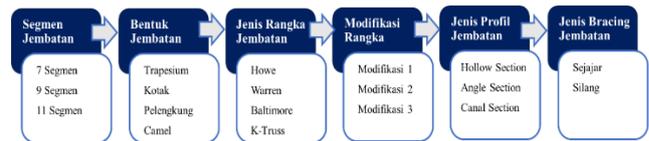
**Justifikasi Desain Struktur**

Justifikasi dilakukan untuk memilih konfigurasi struktur jembatan yang terbaik. Parameter penilaian termasuk ditentukan oleh gaya yang disebabkan oleh beban struktur jembatan, deformasi yang diukur dari lendutan yang terjadi pada gelagar jembatan, dan aspek ekonomis yang dihitung berdasarkan berat struktur jembatan.

Dari enam tahapan tersebut dipilih desain terbaik berdasarkan akumulasi nilai pada setiap parameter. Hasil dari justifikasi ditunjukkan pada Tabel 11.

**Tabel 11.** Data teknis perencanaan

Uraian	Keterangan
Tipe Jembatan	<i>Through type truss</i>
Jenis Rangka	<i>Howe-warren</i>
Jumlah Segmen	7 segmen
Dimensi Jembatan	6,00 x 0,80 x 0,75 meter
Fungsi Jembatan	Pejalan Kaki
Tumpuan Jembatan	Sendi–Rol
Material Jembatan	Baja BJ 37
Rangka Jembatan	Baja <i>Hollow &amp; Angle Section</i>
Lantai Jembatan	<i>Chequered Plate</i>



**Gambar 7.** Alur justifikasi desain jembatan

**Perhitungan Pembebanan Jembatan Pejalan Kaki**

Pembebanan berpedoman pada SNI 1725:2016, SNI 2833:2016 dan SEM PU No. 02/SE/M/2010 untuk perhitungan beban jembatan yang bekerja pada struktur jembatan. Berat jenis material yang dipakai adalah berat sendiri struktur jembatan dan berat pelat lantainya. SEM PU No. 02/SE/M/2010 menetapkan beban hidup struktur pada jembatan pejalan kaki untuk kelas II dengan beban hidup merata sebesar 4 kPa di pelat lantai. Dalam SNI 1725:2016 disebutkan bahwa berat jenis untuk air adalah sebesar 1000 kg/m<sup>3</sup>. Dengan asumsi tebal air hujan sebesar 50 mm, maka didapatkan beban air hujan sebesar 50 kg/m<sup>2</sup>. Menurut SNI 1725:2016 menyebutkan bahwa analisis jembatan rangka, tekanan angin tekan adalah 0,0024 MPa dan tekanan angin hisap adalah 0,0012 MPa.

**Tabel 12.** Data satu sisi jembatan

No	Uraian	Keterangan
1	Lebar Elemen ( <i>b</i> )	50 mm
2	Panjang Elemen ( <i>l</i> )	10450 mm
3	Jumlah <i>Node</i> ( <i>n</i> )	15 titik

Beban angin tekan ( $EWS_{tekan}$ )

$$EWS_{tekan} = 0,0024 \times b \times l / n$$

$$= 0,0024 \times 50 \times 10450 / 15$$

$$= 100,312 \text{ N per titik buhul}$$

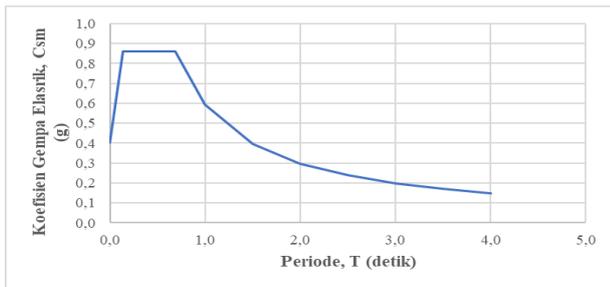
Beban angin hisap ( $EWS_{hisap}$ )

$$EWS_{hisap} = 0,0012 \times b \times l / n$$

$$= 0,0012 \times 50 \times 10450 / 15$$

$$= 50,156 \text{ N per titik buhul}$$

SNI 2833:2016 digunakan untuk menentukan beban gempa yang berdampak pada jembatan. Dalam perencanaan, lokasi yang digunakan adalah Kota Yogyakarta, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, dengan koordinat 7°41'34"S 110°15'32"E.



Gambar 8. Respon spektra desain

Menurut SNI 2833:2016 menjelaskan faktor modifikasi respon ( $R$ ) terhadap hubungan antar elemen struktur. Interaksi antar komponen yang ditinjau merupakan struktur atas dan kepala jembatan dengan  $R$  sebesar 0,8. Berdasarkan SEM PU No. 02/SE/M/2010, beban gempa dihitung dengan mempertimbangkan beban hidup pada jembatan kelas II yaitu 4 kPa, beban hidup jembatan sebesar 19,2 kN, dan beban mati struktur sebesar 4 kN.

$$EQ = (C_{sm} / R^d) \times Wt \tag{9}$$

$$= (0,8625 / 0,8) \times (4 + 19,2) = 25,013 \text{ kN}$$

### 3.2 Pemodelan Struktur

Data struktur yang digunakan dalam perhitungan analisis digambarkan dan didefinisikan melalui pemodelan struktur. Jenis jembatan yang dimodelkan adalah jembatan tanpa pengaku lateral dan jembatan dengan pengaku lateral.

#### Pendefinisian Material

Sifat mekanis baja struktural yang dipakai harus memenuhi kriteria minimal yang ditentukan dalam RSNI T-03-2005. Material BJ 37 yang digunakan memiliki tegangan leleh 240 MPa serta tegangan putus 370 MPa.

#### Pendefinisian Elemen

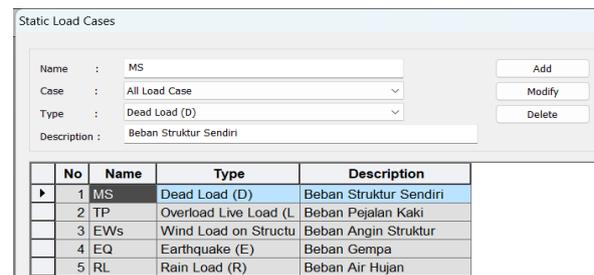
Bentuk elemen dibagi menjadi dua jenis yaitu batang yang menggunakan *section* dan *plate* yang menggunakan ketebalan.

Tabel 13. Spesifikasi data profil

No	Elemen Struktur	Jenis Profil
1	Top Chord	2L 50.50.4
2	Bottom Chord	2L 50.50.4
3	Diagonal Member	L 50.50.4
4	Vertical Member	L 50.50.4
5	Bracing	L 30.30.3
6	Cross Girder	HS 60.30.2

#### Pendefinisian Beban dan Kombinasi Beban

Untuk menentukan beban yang bekerja pada struktur jembatan, maka pendefinisian beban perlu dilakukan.



Gambar 9. Pendefinisian beban jembatan

Untuk menambahkan beban gempa menggunakan *software* analisis jembatan, pilih menu “Add Response Spectrum Functions”. Langkah tersebut digunakan untuk memasukkan data dari perhitungan beban gempa ke tampilan fungsi respons spektrum. Untuk mencapai tingkat kinerja struktur yang disyaratkan, maka dipakai kombinasi beban yang ditetapkan sesuai dengan standar SNI 1726:2016.

Gambar 10. Pendefinisian kombinasi beban jembatan

#### Pembuatan Node

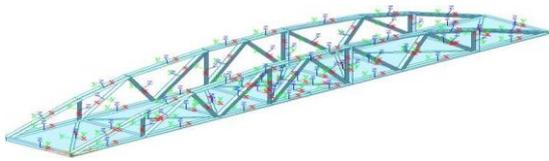
Untuk menentukan letak titik simpul pada program analisis jembatan, data koordinat titik simpul dimasukkan ke dalam menu “Nodes Table” di mana terdapat sumbu global x,y, dan z.

### 3.3 Pemodelan Struktur Jembatan

Berikut merupakan langkah-langkah dalam pemodelan struktur yang dilakukan setelah pendefinisian berbagai elemen jembatan.

#### (a) Pemodelan Elemen Rangka

Pemodelan komponen rangka dapat dilakukan menggunakan perintah “Node/Element”. Untuk membuat komponen rangka jembatan, klik pada dua titik sambung yang telah dibuat untuk menggabungkannya menjadi komponen rangka jembatan.



Gambar 11. Tampak *local axes* struktur rangka jembatan

(b) Pemodelan Elemen Pelat Lantai

Dalam memodelkan komponen pelat lantai jembatan, pilih empat titik sambung yang telah digambar guna mengoneksikan keempat titik buhul untuk menciptakan elemen jembatan.

(c) Pemodelan *Element Releases*

Pemodelan jembatan rangka menggunakan *element release* untuk mengidentifikasi sambungan dengan struktur rangka. Untuk menghindari reaksi momen di setiap titik buhul yang berperilaku sebagai sendi.

(d) Pemodelan Tumpuan

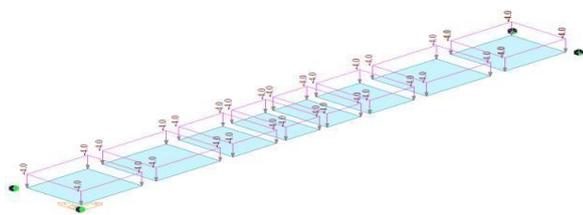
Untuk menentukan jenis perletakan yang digunakan, maka diperlukan model tumpuan jembatan yang digunakan dengan tumpuan sendi-rol.

**Input Beban pada Struktur Jembatan**

Pengisian beban digunakan guna menambahkan beban yang bekerja pada komponen jembatan. Setiap jenis beban berikut dijelaskan dalam memodelkan beban pada struktur jembatan.

(a) Beban Mati (*MS*)

Beban mati yang diperhitungkan terdiri dari beban struktur sendiri dan pelat lantai jembatan. Pada pengaturan berat sendiri, pilih beban *case* dengan beban mati (*MS*), dan selanjutnya dilakukan pengisian minus satu (-1) di sumbu global Z akibat arah gravitasi. Beban pejalan kaki yang dipakai sebesar 4 kN/m<sup>2</sup> (kPa) yang berpedoman pada SE Menteri PU No. 02/SE/M/2010. Setelah memilih komponen pelat lantai jembatan yang dipakai sebagai lajur pejalan kaki, selanjutnya dimodelkan beban air hujan pada program analisis.



Gambar 12. *Pressure loads* pejalan kaki dan air hujan di pelat lantai

Berdasarkan SNI 1725:2016, struktur rangka terdiri dari dua bagian, dengan satu sisi terkena beban angin tekan dan yang lainnya terkena beban angin hisap dan dimasukkan arah beban tegak lurus dari permukaan yang terkena beban, yang diwakili oleh sumbu global Y.

Tabel 14. Data beban angin

Jenis Beban	Beban Angin (MPa)	Beban Per Titik (N)
Angin Tekan	0,0024	88,5104
Angin Hisap	0,0012	44,2552

(b) Beban Gempa (*EQ*)

Untuk menentukan beban gempa di *software* analisis jembatan, gunakan menu “*RS Load Cases*”, pilih fungsi spektrum yang sesuai. Untuk mengukur beban gempa digunakan sumbu global X-Y. Faktor skala yang dipakai sesuai dengan SNI 2833:2016 adalah satu (1,00).

**4. Analisis dan Pembahasan**

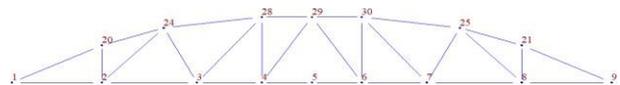
Analisis struktur digunakan untuk mengurangi potensi kesalahan yang dilakukan untuk mencegah kegagalan struktur. Proses analisis dilakukan dengan mengikuti kombinasi beban yang telah ditetapkan sebelumnya.

**Deformasi Jembatan**

Persamaan 10 digunakan untuk menentukan lendutan maksimum gelagar jembatan pejalan kaki berdasarkan AASHTO LRFD *Bridge Design Specifications*.

$$\begin{aligned} \delta_{jin} &= L / 800 \\ &= 6000 / 800 = 7,5 \text{ mm} \end{aligned} \tag{10}$$

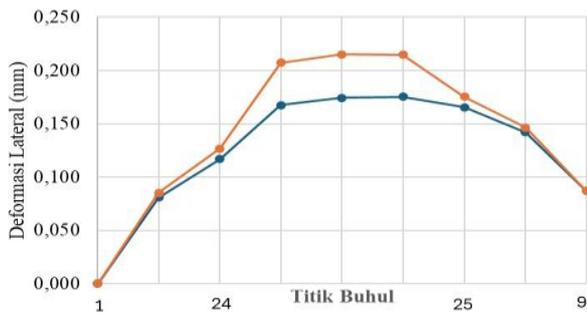
Deformasi akibat modifikasi pengaku lateral ditinjau berdasarkan lendutan arah Y. Analisis dilakukan menggunakan kombinasi beban dengan lendutan lateral maksimum yaitu kuat III. Gambar 13 menunjukkan titik buhul pada tampak x-z jembatan yang ditinjau.



Gambar 13. Titik buhul jembatan pada tampak x-z

Tabel 15. Perbandingan deformasi lateral akibat beban Kuat III

No	Titik Buhul	Deformasi (mm)		Deviasi (mm)
		Pengaku	Tanpa Pengaku	
1	1	0,000	0,000	0,000
2	20	0,081	0,085	0,004
3	24	0,117	0,127	0,010
4	28	0,168	0,207	0,040
5	29	0,174	0,215	0,041
6	30	0,175	0,215	0,040
7	25	0,166	0,176	0,010
8	21	0,142	0,147	0,004
9	9	0,087	0,087	0,000
Rata-Rata				0,016

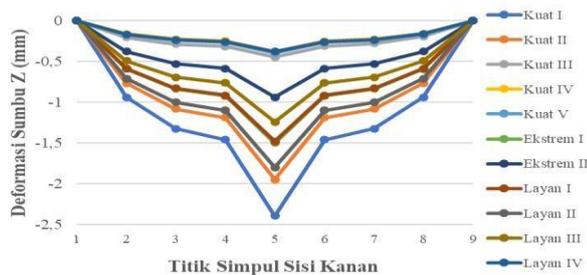


Gambar 14. Grafik deformasi lateral

Gambar 14 menunjukkan bahwa jembatan tanpa pengaku lateral menghasilkan deformasi lateral yang lebih besar. Deformasi terbesar terletak di titik buhul 29 yaitu sebesar 0,215 mm dan dapat dinyatakan aman karena memenuhi lendutan izin  $L/800$  (7,5 mm). Untuk deformasi sumbu Z yang dihasilkan program bantu analisis seperti berikut.

(a) Jembatan dengan pengaku

Gambar 15 menunjukkan perbandingan hasil analisis dari seluruh kombinasi beban guna menunjukkan deformasi arah Z jembatan yang terjadi akibat beban yang bekerja.



Gambar 15. Grafik deformasi sumbu Z jembatan dengan pengaku

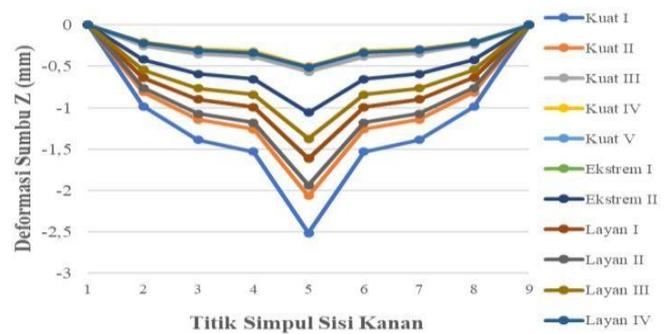
Tabel 16. Perbandingan hasil lendutan maksimum jembatan

No	Kombinasi Beban	Deformasi Maksimum (mm)		Deviasi (mm)
		Software 1	Software 2	
1	Kuat I	-2.396	-2.220	0.175
2	Kuat II	-1.948	-1.769	0.179
3	Kuat III	-0.446	-0.189	0.257
4	Kuat IV	-0.380	-0.188	0.192
5	Kuat V	-0.399	-0.188	0.210
6	Ekstrem I	-1.500	-1.317	0.183
7	Ekstrem II	-0.940	-0.753	0.187
8	Layan I	-1.479	-1.300	0.179
9	Layan II	-1.801	-1.639	0.162
10	Layan III	-1.241	-1.074	0.167
11	Layan IV	-0.378	-0.171	0.207
	Rata-Rata			0.191

Tabel 16 menunjukkan bahwa kombinasi beban Kuat I menghasilkan lendutan maksimum yang tidak melebihi lendutan izin (7,5 mm). Oleh karena itu, desain struktur kedua jembatan dapat dinyatakan aman.

(b) Jembatan tanpa pengaku

Gambar 16 menunjukkan perbandingan hasil analisis pada seluruh kombinasi beban guna menunjukkan deformasi arah z jembatan yang terjadi akibat beban.

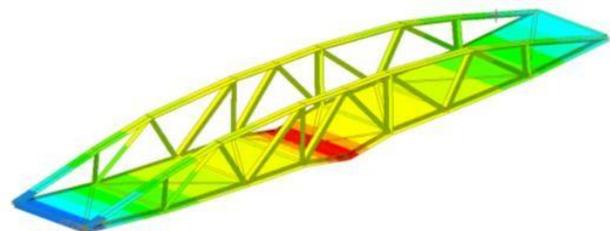


Gambar 16. Grafik lendutan sumbu Z jembatan tanpa pengaku

Tabel 17. Perbandingan hasil lendutan maksimum jembatan

No	Kombinasi Beban	Deformasi Maksimum (mm)		Deviasi (mm)
		Software 1	Software 2	
1	Kuat I	-2.392	-2.210	0.182
2	Kuat II	-1.944	-1.758	0.185
3	Kuat III	-0.441	-0.178	0.263
4	Kuat IV	-0.376	-0.178	0.198
5	Kuat V	-0.381	-0.178	0.203
6	Ekstrem I	-1.482	-1.307	0.175
7	Ekstrem II	-0.936	-0.742	0.193
8	Layan I	-1.476	-1.291	0.185
9	Layan II	-1.797	-1.629	0.168
10	Layan III	-1.238	-1.065	0.173
11	Layan IV	-0.374	-0.162	0.213
	Rata-Rata			0.194

Berdasarkan Tabel 17. didapatkan hasil deviasi rata-rata sebesar 0,194 mm. Tabel 17 menunjukkan kombinasi beban Kuat I menghasilkan lendutan maksimum yang tidak melebihi lendutan izin 7,5 mm. Oleh karena itu, desain jembatan tanpa pengaku lateral yang direncanakan dinyatakan aman.



Gambar 17. Displacement countour jembatan tanpa pengaku

Dari hasil deformasi kedua jenis jembatan, kemudian dilakukan perbandingan lendutan antara jembatan dengan pengaku dan jembatan tanpa pengaku untuk mengetahui

pengaruh pengaku lateral terhadap perilaku struktur jembatan rangka baja pejalan kaki.

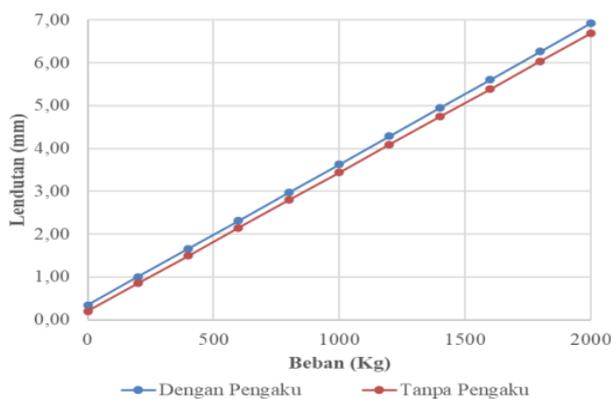
**Tabel 18.** Perbandingan deformasi jembatan

No	Kombinasi Beban	Deformasi (mm)		Deviasi (mm)
		Dengan Pengaku	Tanpa Pengaku	
1	Kuat I	-2.396	-2.392	0.0041
2	Kuat II	-1.948	-1.944	0.0041
3	Kuat III	-0.446	-0.441	0.0041
4	Kuat IV	-0.380	-0.376	0.0041
5	Kuat V	-0.399	-0.381	0.0179
6	Ekstrem I	-1.500	-1.482	0.0178
7	Ekstrem II	-0.940	-0.936	0.0041
8	Layan I	-1.479	-1.476	0.0037
9	Layan II	-1.801	-1.797	0.0037
10	Layan III	-1.241	-1.238	0.0037
11	Layan IV	-0.378	-0.374	0.0038
	Rata-Rata			0.0065

Tabel 18 menunjukkan bahwa jembatan dengan pengaku lateral menghasilkan deformasi yang lebih besar karena dipengaruhi oleh penambahan beban mati akibat adanya komponen pengaku lateral pada struktur atas jembatan. Selain itu, pengaku lateral tidak bekerja secara optimal dikarenakan beban yang dominan bekerja adalah beban vertikal. Dari lendutan maksimum sebesar 2,392 mm, maka jembatan tanpa pengaku lateral yang direncanakan dinyatakan aman dan memenuhi aspek kekakuan.

**Kekakuan Jembatan**

Menurut Nugroho *et al.* (2017) jembatan pejalan kaki tidak diperkenankan untuk berdeformasi melebihi batas yang disyaratkan sehingga mengakibatkan ketidaknyamanan bagi pengguna. Nilai kekakuan jembatan didapatkan dari perbandingan beban dan lendutan. Pembebanan struktur dilakukan di tengah bentang dengan program bantu analisis.



**Gambar 18.** Perbandingan nilai kekakuan

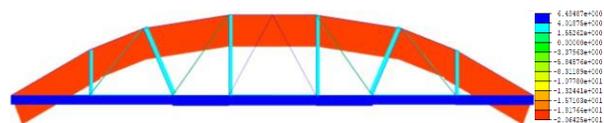
**Tabel 19.** Perbandingan beban dan lendutan

No	Beban (Kg)	Deformasi (mm)		Selisih
		Dengan Pengaku	Tanpa Pengaku	
1	200	0,855	0,851	0,004
2	400	1,504	1,500	0,004
3	600	2,152	2,148	0,004
4	800	2,800	2,797	0,004
5	1000	3,449	3,445	0,004
6	1200	4,097	4,093	0,004
7	1400	4,745	4,742	0,004
8	1600	5,394	5,390	0,004
9	1800	6,042	6,039	0,003
10	2000	6,690	6,687	0,003
	Rata-Rata			0,004

Pada Gambar 18 menunjukkan jembatan tanpa pengaku lateral memperoleh nilai kekakuan yang lebih tinggi dari jembatan dengan pengaku lateral.

**Gaya Aksial Jembatan**

Gaya aksial jembatan adalah gaya dalam elemen struktur yang dipengaruhi gaya luar. Untuk menghitung gaya maksimum menggunakan dasar dari SNI 1729:2020 dengan metode Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBT) atau *Load and Resistance Factor Desain* (LRFD). Gaya aksial didapat dari *software* analisis, yang terdiri dari gaya aksial tarik dan tekan menggunakan kombinasi beban dengan lendutan maksimum Kuat I. Hasil perhitungan kapasitas batang tekan dan tarik ditunjukkan pada Tabel 20 dan Tabel 21.



**Gambar 19.** Axial force diagram struktur jembatan

**Tabel 20.** Kapasitas batang tekan

No	Elemen Struktur	Kapasitas Batang Tekan (kN)		
		$P_{uc}$	$\phi_c P_{nc}$	Cek
1	Top Chord	19,264	134,114	Aman
2	Bottom Chord	0,000	134,114	Aman
3	Diagonal Member	0,543	67,057	Aman
4	Vertical Member	0,000	67,057	Aman
5	Bracing	0,000	19,913	Aman
6	Cross Girder	0,811	71,172	Aman

**Tabel 21.** Kapasitas batang tarik

No	Elemen Struktur	Kapasitas Batang Tarik (kN)		
		$P_u$	$\phi_c P_n$	Cek
1	Top Chord	0,000	162,282	Aman
2	Bottom Chord	5,833	162,282	Aman
3	Diagonal Member	0,437	70,640	Aman
4	Vertical Member	3,170	70,640	Aman
5	Bracing	0,657	25,165	Aman
6	Cross Girder	0,000	74,304	Aman

**Tabel 23.** Kapasitas gaya geser

No	Elemen Struktur	Kapasitas Gaya Geser (kN)		
		$V_u$	$\phi_v V_n$	Cek
1	Top Chord	0,078	103,680	Aman
2	Bottom Chord	0,738	103,680	Aman
3	Diagonal Member	0,026	51,840	Aman
4	Vertical Member	0,000	51,840	Aman
5	Bracing	0,022	23,328	Aman
6	Cross Girder	0,052	31,104	Aman

**Perencanaan Sambungan**

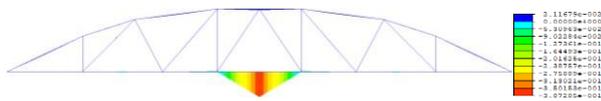
Berdasarkan SE Menteri PU No. 14/SE/M/2015 dan SNI 1729:2020, perencanaan sambungan dilakukan menggunakan metode DFBT untuk analisis sambungan.

**Tabel 24.** Perhitungan tata letak baut

Jarak Baut	Ketentuan	Desain	Keterangan
Spasi minimum	$S \geq 3 \text{ db} = 30 \text{ mm}$	40	Memenuhi
Spasi maksimum	$S \leq 14 \text{ tp} = 70 \text{ mm}$	mm	
Jarak tepi minimu	$m \geq 1,5 \text{ db} = 12,5 \text{ mm}$	20	Memenuhi
Jarak tepi maks.	$12 \text{ tp} = 60 \text{ mm}$	mm	

**Gaya Momen Jembatan**

Berdasarkan SNI 1729:2020 dengan metode Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBT) untuk menghitung tahanan momen lentur. Kombinasi beban dengan lendutan maksimum (Kuat I) digunakan untuk mendesain besarnya gaya momen.



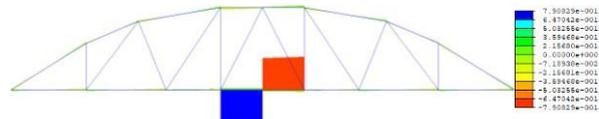
**Gambar 20.** Bending moment diagram struktur jembatan

**Tabel 22.** Kapasitas gaya momen

No	Elemen Struktur	Kapasitas Momen Lentur (kN)		
		$M_u$	$\phi_b M_n$	Cek
1	Top Chord	0,019	4,147	Aman
2	Bottom Chord	0,349	4,147	Aman
3	Diagonal Member	0,007	2,074	Aman
4	Vertical Member	0,000	2,074	Aman
5	Bracing	0,006	0,554	Aman
6	Cross Girder	0,015	1,944	Aman

**Gaya Geser Jembatan**

Reaksi elemen struktur terhadap beban yang bekerja pada jembatan dikenal sebagai gaya geser. Berdasarkan SNI 1729:2020 dengan metode DFBT untuk menghitung tahanan gaya geser dengan kombinasi beban Kuat I.



**Gambar 21.** Shear force diagram struktur jembatan

**Tabel 25.** Kebutuhan baut

No	Elemen Struktur	Jumlah Batang	Baut/	Jumlah Total
			Batang	
1	Top Chord	14	4	56
2	Bottom Chord	14	4	56
3	Diagonal Member	16	4	64
4	Vertical Member	8	4	32
5	Bracing	10	2	20
6	Cross Girder	9	2	18
Total kebutuhan baut (buah)				250

**Rencana Anggaran Biaya (RAB)**

Perhitungan RAB berpedoman pada Permen PUPR No. 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi.

**Tabel 26.** RAB fabrikasi jembatan

No	Uraian	Jumlah (Rp)
A	Jembatan dengan pengaku lateral	20.016.000
1	Elemen struktur jembatan	2.066.000
2	Komponen alat sambung	5.430.000
3	Pelat lantai jembatan	5.940.000
4	Jasa fabrikasi	6.580.000
B	Jembatan tanpa pengaku lateral	19.654.000
1	Elemen struktur jembatan	1.964.000
2	Komponen alat sambung	5.400.000
3	Pelat lantai jembatan	5.940.000
4	Jasa fabrikasi	6.350.000
Selisih		362.000

**5. Simpulan**

Desain struktur yang optimum memiliki bentuk pelengkung tujuh segmen konfigurasi rangka kombinasi *howe* dan *warren* dengan *bracing* silang. Jembatan tanpa pengaku lateral menghasilkan deformasi lateral yang lebih besar dengan selisih 0,041 mm pada tengah bentang. Sedangkan pada deformasi arah Z, jembatan tanpa pengaku lateral menghasilkan lendutan yang lebih kecil dengan rerata selisih 0,0065 mm. Hasil lendutan maksimum yaitu sebesar 2,392 mm dan lebih kecil dari nilai izin L/800 (7,5

mm). Jembatan tanpa pengaku lateral memperoleh nilai kekakuan yang lebih tinggi dengan rerata selisih 0,004 mm. Gaya dalam yang dihasilkan adalah sebesar 20,623 kN pada top chord jembatan. Hasil analisis kapasitas batang menunjukkan bahwa pada batang tarik ( $T_n > T_u$ ), tekan ( $P_n > P_u$ ), geser ( $V_n > V_u$ ), dan momen ( $M_n > M_u$ ). Biaya fabrikasi jembatan tanpa pengaku lateral lebih ekonomis dengan selisih sebesar Rp362.000,00. Berdasarkan hasil tersebut maka jembatan tanpa pengaku lateral telah memenuhi aspek kriteria perancangan.

### Daftar Rujukan

- [1] AASHTO. (2007). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications SI Units 4th Edition*. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- [2] Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum. (2005). *RSNI T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- [3] Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum. (2016). *SNI 1725-2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- [4] Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum. (2016). *SNI 2833-2016 tentang Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- [5] Badan Litbang PU Departemen Pekerjaan Umum. (2020). *SNI 1729-2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- [6] Chaukab, Noor. (2023). *Optimasi Perencanaan dan Uji Fisik Jembatan Nuansa Standar dengan Varian yang Lain Rangka Baja Modular untuk Pejalan Kaki Desa Kalibening*. Universitas Negeri Yogyakarta.
- [7] Ikhsan, M.N., Awaludin, Ali, Triwiyono, Andreas. (2020). *Kuat Tarik dan Pola Kegagalan Kombinasi Sambungan Baut dan Sekrup pada Baja Canai Dingin*. INERSIA: Vol. XVI No. 2, hal. 144 – 157.
- [8] Kementerian Pekerjaan Umum. (2010). *Surat Edaran Menteri PU 02/SE/M/2010*, tentang Pemberlakuan Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Gantung untuk Pejalan Kaki.
- [9] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Surat Edaran Menteri PUPR 07/SE/M/2015*, tentang Pedoman Persyaratan Umum Perencanaan Jembatan.
- [10] Menteri Pekerjaan Umum. (2014). *Peraturan Menteri PU Nomor 3 Tahun 2014*, tentang Pedoman Perencanaan, Penyediaan, dan Pemanfaatan Prasarana dan Sarana Jaringan Pejalan Kaki di Kawasan Perkotaan
- [11] Nugroho, M.S. Awaludin, Ali, Supriyadi, Bambang. (2017). *Perencanaan Jembatan Pejalan Kaki Menggunakan Kayu Jati Hutan Rakyat Sebagai Material Konstruksi*. INERSIA: Vol. XIII No. 2, hal. 141–153.
- [12] Presiden Republik Indonesia. (2022). *Peraturan Presiden Nomor 120 Tahun 2022*, tentang Penugasan Khusus dalam Rangka Percepatan Pelaksanaan Pembangunan Infrastruktur.
- [13] Prihadi, W.R., Pratama, G.N.I.P. (2016). *Konfigurasi Batang Pada Perancangan Rangka Atap Bambu*. INERSIA: Vol. XII No. 2, hal. 173 – 183.
- [14] Refani, A.N., Dibiantara, D., Suluch, M., Muqoddam, A.F. (2017). *Studi Alternatif Bentuk Rangka Jembatan Canai Dingin untuk Pejalan Kaki Bentang Kecil Terhadap Rasio Berat dan Lendutan*. Jurnal Aplikasi Teknik Sipil: Vol. XV No 2.
- [15] Walikota Kota Yogyakarta. (2019). *Peraturan Daerah Kota Yogyakarta Nomor 1 Tahun 2019*, tentang Penyelenggaraan Lalu Lintas dan Angkutan Jalan.