

EFISIENSI BENTUK RANGKA JEMBATAN DENGAN KOMBINASI TIPE WARREN DAN K-TRUSS MATERIAL HOLLOW BJ 37

Mohammad Sulton^{1*}, Mohammad Musthofa Al Ansyorie¹, Defa Gilang Ramadhan¹

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia

*Corresponding author, email: mohammad.sulton.ft@um.ac.id

doi: 10.17977/um068.v3.i12.2023.5

Kata kunci

efisiensi
jembatan rangka
kombinasi tipe
k-truss
warren

Abstrak

Kekuatan struktur jembatan menjadi hal utama yang harus diperhatikan mengingat pembangunan sebuah jembatan berfungsi untuk menahan beban yang bekerja pada jembatan. Salah satu hal yang berpengaruh terhadap kekuatan struktur jembatan rangka adalah pemilihan bentuk rangka jembatan. Jembatan dengan tipe k-truss dan warren memiliki kelebihan pada berat struktur dan kekuatan jembatan. Jembatan rangka memiliki nilai yang paling efisien apabila memiliki nilai lendutan dan berat paling minimum. Metode yang dilakukan dengan cara menganalisis bentuk rangka dengan kombinasi tipe k-truss dan warren, kemudian memodifikasi serta memberikan konfigurasi breaching untuk mendapatkan satu bentuk rangka terbaik ditinjau dari nilai lendutan dan berat jembatan. Kemudian membuat benda uji jembatan model untuk dilakukan uji pembebanan statis secara analisis dan uji model. Kekuatan struktur jembatan ditinjau dari nilai lendutan dan berat struktur jembatan. Nilai efisiensi model jembatan dihitung dengan mengalikan nilai lendutan dan berat jembatan. Jembatan yang paling efisien apabila memiliki nilai efisiensi terkecil. Berdasarkan hasil analisis menggunakan program aplikasi SAP 2000 didapat satu bentuk rangka yang memiliki nilai efisiensi terbaik sebesar 0,0652 yaitu pada rangka kode KF 5. Ukuran rangka jembatan KF 5 memiliki panjang segmen bentang ke-1 sampai ke-5 secara berurutan 550 mm, 700 mm, 500 mm, 700 mm, dan 550 mm. Nilai lendutan pada rangka hasil optimasi akibat beban statis pada ½ bentang secara analisis sebesar 0,3412 mm sedangkan secara uji model sebesar 0,5275 mm.

1. Pendahuluan

Kekuatan struktur jembatan menjadi hal utama yang harus diperhatikan dalam merencanakan jembatan, mengingat pembangunan sebuah jembatan berfungsi untuk menahan beban lalu lintas harian yang bekerja pada struktur jembatan, namun dalam pembangunan jembatan terkadang hanya mempertimbangkan kekuatan strukturnya saja tanpa adanya pertimbangan terhadap nilai efisiensi jembatan (Wisnumurti, 2018). Salah satu hal yang berpengaruh terhadap kekuatan struktur jembatan rangka adalah pemilihan bentuk atau tipe rangka jembatan (Putri et al., 2018). Menurut Ermawan, et al., (2019) jembatan yang dinilai paling efisien adalah jembatan yang memiliki lendutan paling kecil dan berat paling ringan. Terdapat beberapa jenis tipe rangka jembatan yang dikenal di dunia teknik sipil yaitu tipe warren-truss, howe-truss, pratt-truss, k-truss, parker, dan Baltimore sehingga diperlukan kreativitas dan pemahaman untuk memperoleh desain jembatan rangka yang seefisien mungkin (Arifi et al., 2017).

Penelitian mengenai tipe rangka jembatan sudah beberapa kali dilakukan salah satunya oleh Febrianti, et al., (2014) yang dalam penelitiannya mengenai analisis perbandingan tipe jembatan menghasilkan jembatan dengan tipe warren merupakan jembatan terkuat dengan menerima beban maksimum sebesar 4 ton dan mengalami lendutan sebesar -0,0213 m. Penelitian tersebut didukung oleh Purwanto & Hariadi (2018) dalam penelitiannya berhasil menunjuk jembatan dengan tipe warren memiliki angka keamanan yang baik dibanding tipe parker. Namun berbeda dengan dua penelitian sebelumnya, penelitian yang dilakukan oleh Zunanda & Irfan (2010) mengenai

perbandingan tipe rangka menunjukkan hasil bahwa tipe australia lebih kuat dibandingkan jembatan dengan tipe rangka k-truss ditinjau dari lendutan jembatan. Melihat dari beberapa penelitian diatas, penelitian mengenai gabungan antara tipe jembatan masih jarang dilakukan sementara itu menurut Ansyorie, et al. (2020) pada penelitian rangka jembatan dengan kombinasi tipe rangka jembatan dari material kayu berhasil membuktikan bahwa jembatan dengan kombinasi warren - ktruss memiliki nilai lendutan dan berat terbaik.

Menurut Budiman & Heri Khoeri (2017) pada penelitiannya yang berjudul studi komparasi struktur baja menggunakan profil WF (Wide Flange) terhadap profil HSS (Hollow Structural Section) menunjukkan hasil bahwa profil HSS memiliki berat konstruksi yang lebih ringan dibanding profil WF, namun profil HSS mempunyai simpangan dan tegangan yang lebih besar. Memperhatikan beberapa hal diatas dapat dilihat bahwa material baja hollow bisa digunakan sebagai material infrastruktur jembatan, serta rangka jembatan dengan tipe warren dan k-truss menurut penelitian yang dilakukan oleh Ansyorie, et al. (2020) terbukti bahwa dua tipe tersebut memiliki kelebihan masing-masing terhadap kekuatan dan berat jembatan. Maka perlu dilakukan penelitian mengenai efisiensi bentuk rangka jembatan dengan mengkombinasikan tipe warren dan k-truss yang bertujuan untuk mendapatkan satu bentuk rangka jembatan yang paling efisien ditinjau dari nilai lendutan dan berat jembatan serta mengetahui nilai lendutan rangka dari hasil analisis secara analisis dan uji model.

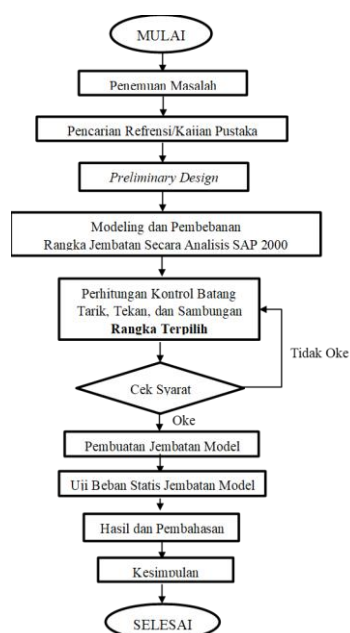
2. Metode

2.1. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan pada bulan November 2021 sampai April 2022 di Laboratorium Universitas Negeri Malang dan pengujian jembatan pada Kompetisi Jembatan Indonesia Ke XVI di Politeknik Negeri Pontianak.

2.2. Alur Penelitian

Prosedur dalam penelitian ini mempelajari secara detail mengenai efisiensi pemilihan bentuk rangka jembatan berskala pejalan kaki menggunakan material hollow BJ 37 dengan tahapan sebagai berikut yaitu (1) Melakukan preliminary design jembatan dengan menggunakan material hollow BJ 37 kemudian dilakukan analisis terhadap dua tipe rangka lalu mengkombinasikan untuk mendapatkan bentuk rangka terbaik ditinjau dari lendutan terkecil dan berat jembatan, (2) Membuat model jembatan sebenarnya menjadi jembatan model menggunakan skala 1:10, yang kemudian jembatan tersebut dilakukan uji pembebanan statis untuk membuktikan model jembatan efisien secara analisis maupun uji model.



Gambar 1. Alur Penelitian

2.3. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan pada penelitian kali ini adalah dengan metode penelitian eksperimen dan termasuk dalam metode penelitian kuantitatif. Menurut Arikunto (2019) penelitian eksperimen digunakan apabila peneliti ingin mencari hubungan kausal (sebab-akibat) antara dua faktor yang sengaja ditimbulkan dan mencari pengaruh variabel tertentu terhadap variabel lain dalam kondisi yang terkontrol. Penelitian ini termasuk dalam jenis true experimental design karena peneliti dapat mengontrol semua variabel luar yang dapat mempengaruhi jalannya eksperimen, sehingga kualitas pelaksanaan rancangan atau validitas internal dapat diandalkan.





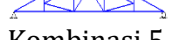
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil

3.1.1. Analisis Kombinasi Rangka Tipe K-truss dan Warren

Tahap kombinasi ini mengacu pada dua pola rangka tipe *k-truss* dan *warren* secara umum dengan bentuk busur dikarenakan menurut Mahardika & Wahyuni (2017) jembatan dengan bentuk busur atau lengkung memiliki keefektifan lebih baik dalam menerima beban dibanding bentuk mendatar. Dari hasil analisis model rangka didapat nilai lendutan, berat dan efisiensi menggunakan aplikasi *SAP 2000* sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Analisis Kombinasi Dua Tipe Rangka Terpilih



Jenis Rangka	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Berat (kg)	Lendutan (mm)	Efisiensi (kg.mm)
 Kombinasi 1	3000	400	350	23,69	0,384	9,0970
 Kombinasi 2	3000	400	350	23,47	0,377	8,8482
 Kombinasi 3	3000	400	350	22,64	0,363	8,2183
 Kombinasi 4	3000	400	350	22,11	0,351	7,7606
 Kombinasi 5	3000	400	350	22,11	0,343	7,5837



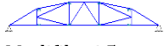
Tahap ini menghasilkan rangka terpilih dengan kombinasi terbaik yaitu pada kombinasi 5 dengan nilai lendutan terkecil sebesar -0,343 mm dan memiliki nilai efisiensi sebesar 7,5837. Kemudian dari bentuk pola rangka hasil kombinasi 5 akan dimodifikasi berdasarkan jarak batang.

3.1.2. Analisis Rangka Terpilih dengan Modifikasi Jarak Batang

Proses modifikasi ini bertujuan untuk mendapatkan bentuk rangka yang memiliki nilai efisiensi terbaik ditinjau dari nilai lendutan terkecil dan berat jembatan taringan. Tahap modifikasi dilakukan dengan menggeser batang vertikal dan diagonal ke sisi luar dan dalam sejauh 50 – 100 mm atau merubah ukuran panjang pada setiap segmen bentang rangka jembatan. Hal tersebut dikarenakan setiap elemen batang pada struktur rangka jembatan memiliki besar gaya yang berbeda seperti gaya tarik dan gaya tekan, sehingga pada tahap ini akan dilakukan optimalisasi panjang batang terhadap gaya dalam yang bekerja.

Tabel 2. Hasil Analisis Rangka Terpilih Dengan Modifikasi Jarak Batang

Jenis Rangka	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Berat (kg)	Lendutan (mm)	Efisiensi (kg.mm)
 Modifikasi 1	3000	400	350	22,27	0,340	7,5718
 Modifikasi 2	3000	400	350	22,01	0,337	7,4174

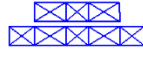
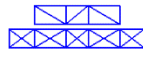
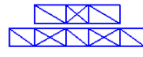




Jenis Rangka	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Berat (kg)	Lendutan (mm)	Efisiensi (kg.mm)
 Modifikasi 3	3000	400	350	22,51	0,329	7,4058
 Modifikasi 4	3000	400	350	22,62	0,320	7,2384
 Modifikasi 5	3000	400	350	22,45	0,336	7,5432

Hasil analisis rangka berdasarkan modifikasi jarak batang menunjukkan pola bentuk rangka terbaik yaitu pada modifikasi 4 dengan nilai lendutan sebesar -0,320 mm, berat struktur jembatan sebesar 22,62 kg dan nilai efisiensi sebesar 7,2384. Dimana pada rangka modifikasi 4 memiliki bentuk sama dengan modifikasi 5 namun memiliki panjang bentang segmen yang berbeda. Hal tersebut dikarenakan bentang segmen ke 1 dan 3 jembatan, memiliki gaya tekan yang cukup besar sehingga perlu memperpendek bentang pada segmen ke 1 dan 3 sebesar 550 mm dari 600 mm yang bertujuan untuk mengoptimalkan batang tarik k-truss terhadap gaya batang tekan menjadi gaya tarik.

3.1.3. Analisa Rangka Terpilih Berdasarkan Konfigurasi Breacing

Konfigurasi *breacing* dilakukan dengan memasukan bentuk pola *breacing* secara umum untuk mendapatkan berat struktur jembatan yang ringan namun tetap memiliki nilai lendutan yang baik atau kokoh dan aman secara struktur. Berikut adalah bentuk konfigurasi *breacing* yang akan digunakan untuk struktur rangka jembatan.

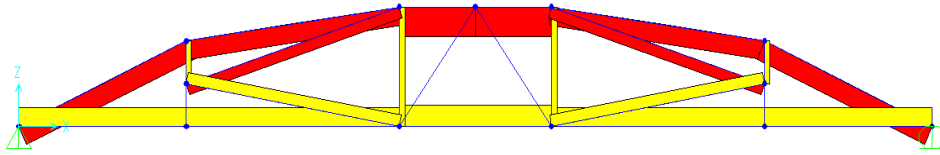
Tabel 3. Hasil Analisis Konfigurasi *Breacing* Rangka Terpilih

Jenis Rangka	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Berat (kg)	Lendutan (mm)	Efisiensi (kg.mm)
 Konfigurasi 1	3000	400	350	22,62	0,320	7,2384
 Konfigurasi 2	3000	400	350	21,26	0,346	7,3560
 Konfigurasi 3	3000	400	350	20,45	0,333	6,8098
 Konfigurasi 4	3000	400	350	19,11	0,393	7,5102
 Konfigurasi 5	3000	400	350	19,11	0,341	6,5165
 Konfigurasi 6	3000	400	350	19,15	0,380	7,2770
 Konfigurasi 7	3000	400	350	20,89	0,356	7,4368

Hasil rekapitulasi analisis rangka terbaik berdasarkan konfigurasi *breacing*, didapatkan pola bentuk *breacing* yang paling efisien adalah pada konfigurasi 5 dengan berat struktur jembatan yang ringan sebesar 19,11 kg nilai lendutan sebesar -0,341 mm, dan nilai efisiensi sebesar 6,5165.

3.1.4. Kontrol Kekuatan Struktur Jembatan

Material baja yang akan digunakan untuk sebuah struktur konstruksi perlu dikontrol sesuai SNI 1729-2020, sebagai berikut :



Gambar 2. Diagram Gaya Akibat Pembebanan Secara Analisis (Gaya Batang Tarik 615,37 N ; Gaya Batang Tekan 850,95 N)

Sumber : SAP 2000 V.14 (2022)

3.1.4.1. Kontrol Batang Tarik

- Kontrol Kelangsingan

Batang tunggal □, $I_{min} = 7,76 \text{ mm}$

$$\lambda = \frac{Lk}{I_{min}} = 700/7,76 = 90,206 \text{ mm} < 300 \quad (\text{OK})$$

- Berdasarkan Keruntuhan Leleh

$$\begin{aligned} N_n &= A_g \times f_y \\ &= 76 \times 237,21 \\ &= 18027,96 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi N_n &= 0,9 \times 18027,96 \\ &= 16225,164 \text{ N} > N_u = 615,37 \text{ N} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Berdasarkan Keruntuhan Fraktur

$$\begin{aligned} A_n &= (A_g - d \times \phi \text{ lub} \times n) \\ &= (76 - 1 \times 8 \times 2) \\ &= 60 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U &= 1 - \frac{x}{L} \\ &= 1 - 7,76 / 20 \\ &= 0,612 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_n &= \phi \times F_u \times A_n \times U \\ &= 0,75 \times 371,667 \times 60 \times 0,612 \\ &= 10235,709 \text{ N} > N_u = 615,37 \text{ N} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

- Kontrol Blok Shear

$$\begin{aligned} A_{gv} &= 234 \text{ mm}^2; & A_{nv} &= 121,5 \text{ mm}^2; \\ A_{gt} &= 166,5 \text{ mm}^2; & A_{nt} &= 144 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi (0.6 \times F_y \times A_{gv} + F_u \times A_{nt}) \\ &= 0,9 (0,6 \times 237,21 \times 234 + 371,667 \times 144) \\ &= 78141,9 > N_u = 615,37 \text{ N} \quad (\text{OK})\end{aligned}$$

Jadi profil Hollow 20x20x1 mm dapat dan aman untuk dipakai struktur tarik pada jembatan model penelitian ini.

3.1.4.2. Kontrol Batang Tekan

- Pemeriksaan Terhadap Tekuk Lokal

$$\begin{aligned}L_p &< L_r \\ L_p &= b/t = 20 \\ L_r &= 1,0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,0 \sqrt{\frac{216396}{237,21}} \\ &= 30,20 \quad (\text{OK}) \quad \text{Kondisi tumpuan sendi-sendi, } K = 1,0\end{aligned}$$

- Pemeriksaan Terhadap Kekuatan Nominal Terfaktor

Terhadap sumbu X-X dan Y-Y (sumbu bahan)

$$\begin{aligned}L_k &= L_{cx} / r_x \\ &= 706 / 7,76 \\ &= 90,979 < 200 \quad (\text{OK})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_e &= \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} \\ &= 238,231\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{cr} &= 0,877 \times F_e \\ &= 208,93\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi N_n &= 0.85 \times A_g \times F_{cr} \\ &= 0.85 \times 76 \times 212,523 \\ &= 13496,94\end{aligned}$$

$$\phi N_n > N_u = 850,95 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

Karena material yang digunakan adalah profil hollow persegi maka nilai kekuatan nominal terfaktor terhadap sumbu X-X dan Y-Y sama. Jadi profil Hollow 20x20x1 mm dapat dan aman untuk dipakai struktur tekan pada jembatan model penelitian ini.

3.1.4.3. Desain Komponen Sambungan

Data Baut : A325 (M6 x 30 mm)

$$\begin{aligned} Fu_{Baut} &= 560 \text{ MPa} \\ Fu_{Plat} &= 370 \text{ MPa} \\ r_1 &= 0,50 \\ m &= 1 \\ tp &= 2 \text{ mm} \\ d &= 6 \text{ mm} \\ Ab &= \frac{1}{4} \pi D^2 \end{aligned}$$

- Tahanan Geser Baut

$$\begin{aligned} \phi R_{nv} &= 0,75 \times r_1 \times fu \text{ (baut)} \times m \times Ab \\ &= 5934,6 \text{ N} \end{aligned}$$

- Tahanan Tumpu Baut

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times 2,4 \times d \times tp \times fu \text{ (plat)} \\ &= 7992,0 \text{ N} \end{aligned}$$

Berdasarkan tahanan geser dan tumpu baut diambil gaya dukung terkecil yaitu 5934,6 N = 593,46 Kg

- Jumlah Baut

$$\begin{aligned} (n) &= \frac{Nu(1)}{\phi R_{nv}} = \frac{850,95}{5934,6} \\ &= 0,14 \infty 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jumlah baut tiap sambungan dibulatkan menjadi 2 buah, karena sambungan pada struktur baja jumlah baut minimum adalah 2 untuk menghindari kegagalan struktur.

3.1.4.4. Hasil Nilai Lendutan Akibat Beban Statis Secara Analisis dan Uji Model

Perhitungan lendutan secara permodelan analisis menggunakan program analisis *SAP 2000 V.14* yang ditabelkan dengan menggunakan *Microsoft Excel* untuk mempermudah perhitungan. Kemudian hasil nilai lendutan jembatan model haruslah sesuai dengan prosedur pembebanan statis pada jembatan model. Maka hasil lendutan yang dipakai untuk menentukan lendutan sebenarnya adalah hasil pembebanan statis yang dilakukan pada Kompetisi Jembatan Indonesia yang Ke-16 di Politeknik Negeri Pontianak dan sudah terverifikasi oleh para juri. Nilai lendutan yang digunakan merupakan hasil rata-rata *dial gauge* di kedua sisi rangka jembatan.

Tabel 4. Hasil Lendutan Pembebanan Statis Secara Uji Model Jembatan

Beban Uji Statis (Kg)	Lendutan (mm)	
	Uji Model	Analisis <i>SAP 2000</i>
	(a)	(b)
5	0,0100	0,0328
10	0,0545	0,0552
15	0,0900	0,0889
20	0,1425	0,1169
25	0,1900	0,1449
30	0,2375	0,1730

Beban Uji Statis (Kg)	Lendutan (mm)	
	Uji Model	Analisis SAP 2000
	(a)	(b)
35	0,2850	0,2010
40	0,3325	0,2290
45	0,3800	0,2571
50	0,4275	0,2851
55	0,4820	0,3132
60	0,5275	0,3412

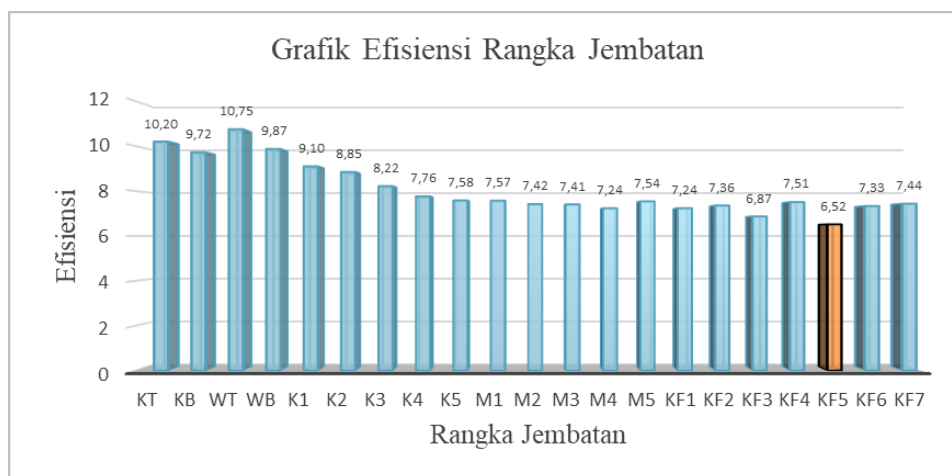


Gambar 3. Dokumentasi Pengujian Beban Jembatan Model
Sumber : Penulis (2022)

3.2. Pembahasan

3.2.1. Umum

Secara umum, hasil lendutan dari keseluruhan rangka proses optimasi menunjukkan bahwa lendutan maksimal yang terjadi masih dalam batang ijin sesuai dengan RSNI T-03-2005 dan dan Bridge Management System (BMS) yaitu $1/1000 \times$ bentang, pada penelitian ini sebesar 3 mm. Sehingga secara keseluruhan struktur model rangka jembatan dinyatakan aman. Hasil efisiensi rangka digambarkan pada grafik efisiensi terhadap nilai lendutan dan berat jembatan sebagai berikut :

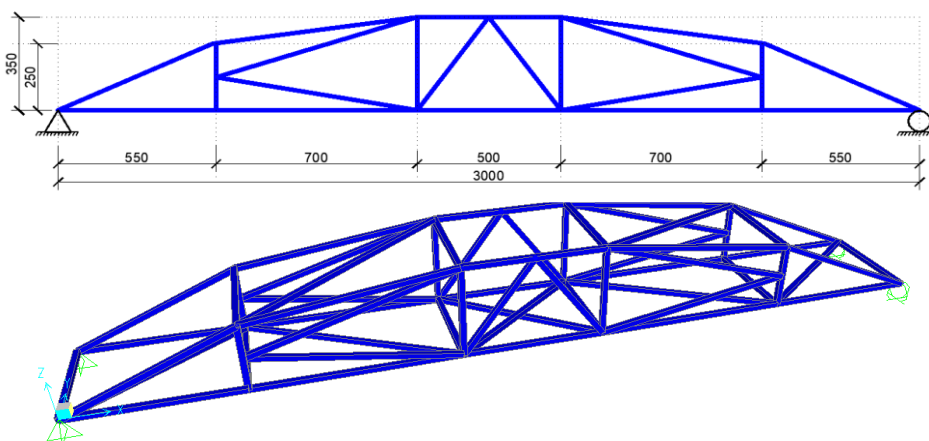


Gambar 4. Grafik Perbandingan Efisiensi Seluruh Rangka Jembatan
Sumber : Penulis (2022)

Pada penelitian ini didapat satu bentuk rangka jembatan yang paling efisien yaitu rangka dengan kode KF 5, dimana bentuk rangka didapat dari hasil kombinasi tipe k-truss dan warren dengan memodifikasi jarak batang serta memberikan konfigurasi breacing yang efisien. Modifikasi jarak batang pada rangka jembatan dengan menggeser batang vertikal yang terletak pada 1/5 bentang mendekati tumpuan jembatan sejauh 50 mm dan menggeser batang vertikal yang terletak pada 2/5 bentang menjauh tumpuan jembatan sejauh 50 mm atau merubah panjang segmen ke-1 dan ke-3 jembatan dari 600 mm menjadi 550. Hal tersebut dilakukan untuk mengurangi gaya tekan yang terjadi pada batang vertikal sehingga lebih dioptimalkan oleh batang diagonal untuk didistribusikan menjadi gaya tarik. Menurut Grahadika, et al., (2017) model jembatan diagonal k-truss memiliki keuntungan karena memiliki panjang elemen tekan yang pendek sehingga dapat mengurangi resiko tekuk. Pada batang vertikal yang berupa batang tekan akan lebih pendek karena dipisah oleh batang diagonal yang berbentuk "K". Penjelasan di atas juga sesuai dengan hasil penelitian oleh Ansyorie, M. M. A., et al. (2020) pada penelitian rangka jembatan dengan kombinasi tipe rangka Warren dan K-truss. Hasil analisis telah diperoleh lendutan terkecil dan berat taringan dimiliki oleh kombinasi dengan bentuk rangka batang vertikal yang pendek.

Menurut Mashudi (2020) untuk mendapatkan nilai efisiensi terbaik pada struktur rangka jembatan adalah ketika nilai lendutan dan berat struktur memiliki nilai yang paling kecil. Pada penelitian ini material baja hollow Bj 37 yang digunakan masih dalam batas aman/ijin persyaratan struktur rangka sesuai dengan metode LRFD dan SNI 1927 : 2020, sehingga dapat disimpulkan material hollow Bj 37 dapat digunakan sebagai struktur jembatan pejalan kaki.

Bentuk rangka terbaik dari hasil optimasi yang memiliki nilai efisiensi terbaik pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 5. Bentuk Rangka Dengan Nilai Efisiensi Terbaik
Sumber : Penulis (2022)

3.2.2. Hasil Lendutan Secara Analisis dan Uji Model

Hasil perhitungan lendutan model jembatan secara analisis dan uji model secara umum masih dalam batas ijin lendutan maksimal sesuai dengan RSNI T-03-2005 dan Bridge Management System (BMS) yaitu $1/1000 \times$ bentang, pada penelitian ini sebesar 3 mm. Lendutan yang terjadi ketika beban kurang dari 15 kg menunjukkan bahwa lendutan uji model lebih kecil dari pada lendutan secara analisis, sedangkan ketika beban lebih besar sama dengan 15 kg lendutan permodelan secara analisis lebih kecil dari pada lendutan uji model. Menurut Purba (2012) hasil analisis menggunakan program seringkali memiliki nilai lendutan lebih kecil dibanding dengan uji model atau hasil sebenarnya. Hal tersebut dikarenakan pada analisis/perencanaan sambungan antar batang pada titik buhul berupa sendi yang sempurna, sedangkan pada pelaksanaan/uji model sambungan berupa baut yang kemungkinan besar tidak sempurna pengencangannya.

Menurut Gill dalam perdamenta (2015) dalam melakukan proses optimasi hal yang sangat penting dilakukan adalah meminimalisasi faktor-faktor yang menyebabkan perbedaan hasil. Pada penelitian ini sudah dilakukan beberapa pengujian yaitu, uji tarik material baja yang digunakan untuk mendapatkan kuat leleh, kuat fraktur dan modulus elastisitas sehingga dalam permodelan

secara analisis dan uji model menggunakan satu data material yang sama. Nilai lendutan maksimal yang terjadi pada rangka jembatan akibat pembebanan statis dengan beban plat sebanyak $12 \times 5 \text{ kg} = 60 \text{ kg}$ pada $\frac{1}{2}$ bentang secara analisis sebesar 0,341 mm, sedangkan secara uji model sebesar 0,527 mm.

4. Simpulan

Berdasarkan semua hasil perhitungan, pengujian, dan pembahasan pada penelitian diatas didapat suatu kesimpulan sebagai berikut.

- Analisa yang dilakukan dari beberapa tahap optimasi didapat bentuk rangka paling efisien adalah pada rangka kode KF 5 dengan melakukan kombinasi tipe k-truss dan warren, memodifikasi jarak batang dan memberikan konfigurasi breaching. Sehingga didapat ukuran rangka jembatan yang paling optimal ditinjau dari nilai efisiensi terhadap nilai lendutan dan berat jembatan adalah jembatan dengan panjang segmen bentang ke-1 sampai ke-5 secara berurutan 550 mm, 700 mm, 500 mm, 700 mm, dan 550 mm.
- Lendutan yang terjadi pada rangka jembatan akibat pembebanan statis dengan beban plat sebanyak $12 \times 5 \text{ kg} = 60 \text{ kg}$ pada $\frac{1}{2}$ bentang secara analisis sebesar 0,341 mm, sedangkan lendutan secara uji model sebesar 0,527 mm. Seluruh perhitungan pada desain komponen rangka jembatan yang meliputi desain batang tarik, batang tekan, dan sambungan masih dalam batas ijin sesuai metode LRFD (Load Resistance and Factor Design) dan SNI 1729-2020. Sehingga penelitian ini membuktikan bahwa rangka yang didapat benar-benar efisien karena hanya terjadi perbedaan nilai lendutan secara analisis dan uji model sebesar 0,18 mm.

Daftar Rujukan

- Alantia, F., & Wahyuni, E. (1989). Studi perilaku struktur jembatan pejalan kaki akibat beban statis dan dinamis dari beban manusia berjalan. *Bangunan*, 2631, 2.
- Al Ansyorie, M. M., Mustofa, M. A. K., Sabila, M. T. F., & Putri, N. M. (2020). Pemodelan jembatan rangka dengan kombinasi tipe rangka ditinjau dari lendutan dan berat jembatan. *Jurnal prokons*, 14(2), 87-95.
- Arikonto, S. (2019). *Prosedur Penelitian*. Jakarta: Rineka cipta.
- Arifi, E., Suseno, H., Hidayat, M. T., & Grahadika, H. E. (2016). Pengaruh konfigurasi rangka dan optimasi profil terhadap kinerja pada struktur jembatan rangka baja. *Rekayasa sipil*, 10(3), 187-193.
- Atika, E. (2018). Analisis variasi tinggi rangka batang pada jembatan rangka baja tipe pratt (analysis for the height variation of pratt truss bridge).
- Ermawan, R., Ismeddiyanto, I., & Ridwan, R. (2019). Perancangan dan analisis jembatan rangka baja canai dingin (cold formed steel) untuk pejalan kaki. *Jurnal online mahasiswa (jom) bidang teknik dan sains*, 6, 1-14.
- Febrianti, R. P., Nurtanto, D., & Hasanuddin, A. (2014). Perbandingan kekuatan jembatan rangka tipe warren dan baltimore dalam menerima beban yang sama pada material bambu. *Artikel ilmiah hasil penelitian mahasiswa*. (Online) 1-4. (<http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/60143>), diakses 15 Maret 2022.
- Grahadika, H. (2017). Analisis pengaruh konfigurasi dan optimasi pada jembatan rangka baja terhadap efisiensi jembatan (doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Perdamenta, N. F. (2015). Analisis dan uji kekuatan model jembatan tangka baja tipe k-truss akibat beban statis.
- Purwanto, H., & Hariadi, G. (2018). Analisis perbandingan jembatan tipe parker dan tipe warren dengan bentang 50 meter. *Jurnal deformasi*, 3(1), 10-18.
- Putri, A. E., Pranoto, Y., & Tumingan, T. (2018). Analisis perbandingan struktur rangka baja bukaka dan sni dengan pemodelan tekla pada jembatan betapus Samarinda. *PROSIDING SNITT POLTEKBA*, 3(1), 219-225.
- Wisnumurti. Soehardjono, A., & Iskandar, R. (2008). Prosentase penurunan lendutan pada model jembatan rangka baja akibat penambahan kabel prategang eksternal tipe trapesium. *Rekayasa sipil*, (Online) 2 (2): 131-145, (<https://rekayasasipil.ub.ac.id>), diakses 5 Februari 2022.
- Zunanda, A. Irfan, K. (2010). Perbandingan desain jembatan rangka australia dengan jembatan rangka type rusuk k (tinjauan terhadap kekuatan struktur dan ekonomi). *Jurnal civil engineering*, 5 (2), 25-34.