

**ANALISIS PERBANDINGAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN TIPE *WARREN*
PADA JEMBATAN SUBALI TERHADAP TIPE *PRATT, HOWE, DAN PARKER*
MENGUNAKAN *SOFTWARE MIDAS CIVIL***

Oktavian Fajar Nugroho¹, Widha Ardiansyah², Nurjanah³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Islam Balitar
e-mail: ¹oktavianfajarnugroho@gmail.com, ²Widhaardiansyahstmt@gmail.com,
³nurjanah@politala.ac.id

Diterima: 14/2/2026; Direvisi: 20/2/2026; Diterbitkan: 25/2/2026

ABSTRAK

Jembatan merupakan infrastruktur penopang jalan yang sangat penting untuk menghubungkan wilayah-wilayah yang dipisahkan oleh berbagai hambatan. Jembatan rangka baja memiliki beberapa tipe diantaranya adalah tipe *Warren, Pratt, Howe, dan Parker*. Konfigurasi rangka jembatan akan berpengaruh terhadap kekuatan dan nilai ekonomis jembatan. Penelitian ini bertujuan membandingkan kinerja struktur atas jembatan tipe *Warren* pada jembatan Subali terhadap tipe *Pratt, Howe, dan Parker* untuk mengetahui perbandingan kinerja dan nilai ekonomis. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan simulasi beberapa beban kendaraan dengan menggunakan *software Midas Civil* untuk mengetahui perbandingan beban maksimum yang mampu ditahan setiap tipe jembatan, mengetahui nilai lendutan, dan melakukan perbandingan estimasi biaya material yang digunakan setiap tipe jembatan. Hasil menunjukkan jembatan tipe *Warren* pada jembatan Subali mampu menahan beban maksimal 33 ton, jembatan tipe *Pratt* 24 ton, jembatan tipe *Howe* 21 ton, dan tipe *Parker* 36 ton. Lendutan terbesar terjadi pada jembatan tipe *Howe* dan lendutan terkecil pada tipe *Parker*. Estimasi biaya material paling besar adalah jembatan tipe *Parker* Rp. 1.895.359.792 dan terkecil jembatan tipe *Pratt* dan *Howe* Rp. 1.862.936.874. jembatan tipe *Parker* merupakan jembatan paling baik dari segi kekuatan walaupun estimasi biaya material paling besar, namun nilainya sangat tidak signifikan.

Kata Kunci: *jembatan rangka baja, efisiensi struktur, Midas Civil*

ABSTRACT

Bridges are vital transportation infrastructure components that connect region separated by various physical barriers. Steel truss bridges consist of several types, including the *Warren, Pratt, Howe, and Parker* configurations. The specific truss configuration significantly influences both the structural strength and the economic value of the bridge. This study aims to compare the structural performance of the *Warren* truss used in the Subali Bridge against *Pratt, Howe, and Parker* types to determine their comparative efficiency and cost-effectiveness. The research was conducted by simulating various vehicle loads using *Midas Civil* software to identify the maximum load capacity, deflection, and estimated material costs for each bridge type. The results indicate that the *Warren* truss (Subali Bridge) can withstand a maximum load of 33 tons, while the *Pratt* truss sustains 24 tons, the *Howe* 21 tons, and the *Parker* truss 36 tons. The largest deflection occurred in the *Howe* truss, while the smallest was observed in the *Parker* truss. Regarding economic analysis, the *Parker* truss incurred the highest estimated material cost at Rp. 1.895.359.792 while the *Pratt* and *Howe* trusses had the lowest at Rp. 1.862.936.874. In conclusion, the *Parker* truss is the superior model in terms of structural strength although it requires the highest material investment, the cost difference is considered insignificant relative to its performance.

Keywords: *Steel truss bridge, structural efficiency, Midas Civil*

PENDAHULUAN

Jembatan merupakan elemen infrastruktur transportasi darat yang memiliki fungsi 100% krusial dalam menghubungkan 2 titik wilayah yang terpisahkan oleh rintangan alam maupun buatan manusia. Keberadaan jembatan sangat vital untuk memastikan arus mobilitas penduduk dan distribusi barang tidak terhambat oleh hambatan fisik seperti lembah yang dalam, aliran sungai yang deras, hingga bentang laut yang luas. Dalam dunia teknik sipil, penggunaan material baja menjadi salah satu pilihan utama untuk konstruksi bentang panjang karena memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang sangat unggul. Berbagai macam tipe struktur rangka baja telah dikembangkan secara global untuk memenuhi kebutuhan desain yang beragam, di antaranya adalah tipe *Warren*, *Pratt*, *Howe*, dan *Parker* (Indriani & Tarigan, 2023; Khalil, 2022; Manurung et al., 2023). Di Indonesia, penggunaan jembatan rangka baja tipe *Warren* sangat mendominasi pembangunan infrastruktur nasional karena bentuknya yang seragam dianggap mampu mendistribusikan beban secara lebih merata ke seluruh bagian struktur. Keseragaman pola segitiga pada tipe ini memudahkan proses fabrikasi serta pemasangan di lapangan sehingga menjadi standar yang sering diaplikasikan dalam berbagai proyek strategis untuk menunjang pertumbuhan ekonomi di tingkat daerah maupun nasional secara berkelanjutan bagi masyarakat luas.

Kabupaten Blitar bagian selatan memiliki karakteristik geografis yang unik karena dikelilingi oleh banyak aliran sungai yang cukup lebar, sehingga kebutuhan akan infrastruktur jembatan menjadi syarat mutlak bagi kelangsungan hidup penduduk setempat. 1 dari titik vital dalam jaringan transportasi ini adalah Jembatan Subali yang berfungsi sebagai urat nadi penghubung antara 2 desa, yaitu Desa Kedungbunder dan Desa Sutojayan. Jembatan ini memiliki bentang sepanjang 50 meter dan menjadi akses tunggal bagi kendaraan logistik serta masyarakat untuk melintasi sungai yang memisahkan kedua wilayah tersebut. Selain sebagai sarana konektivitas antar desa, Jembatan Subali juga memegang peranan strategis sebagai jalur alternatif menuju proyek nasional Jalur Lintas Selatan atau JLS yang membentang di sepanjang pesisir pantai pulau Jawa. Dengan posisi yang sedemikian penting, kehandalan struktur jembatan ini menjadi prioritas utama agar tidak mengganggu arus lalu lintas regional maupun nasional. Kualitas konstruksi jembatan dengan material baja pada ruas ini harus mampu melayani beban kendaraan yang semakin meningkat seiring dengan berkembangnya aktivitas pariwisata dan ekonomi di wilayah pesisir selatan Kabupaten Blitar yang semakin masif perkembangannya setiap tahun.

Kesenjangan yang terjadi saat ini terletak pada aspek optimalisasi desain terhadap fungsi jembatan yang semakin berat bebannya seiring berjalannya waktu penggunaan bangunan tersebut. Secara ideal, sebuah jembatan yang berada di jalur strategis seperti Jembatan Subali harus memiliki efisiensi struktur 100% baik dari segi daya dukung beban maupun efisiensi biaya material yang digunakan. Namun, realitas di lapangan menunjukkan bahwa penggunaan tipe *Warren* pada bentang 50 meter sering kali hanya didasarkan pada standar umum tanpa adanya perbandingan mendalam terhadap tipe rangka lainnya yang mungkin lebih efisien. Belum ada analisis komprehensif yang membandingkan apakah tipe *Warren* benar-benar merupakan pilihan terbaik jika dibandingkan dengan tipe *Pratt*, *Howe*, atau *Parker* khusus untuk lokasi geografis di Blitar selatan. Hal ini menciptakan celah pengetahuan mengenai sejauh mana jembatan eksisting mampu menahan variasi beban kendaraan yang terus berkembang melampaui rencana awal pembangunan. Ketidakpastian mengenai batas beban maksimum yang mampu ditahan oleh struktur saat ini menimbulkan kekhawatiran akan

keamanan jangka panjang terutama saat jembatan digunakan sebagai jalur utama kendaraan berat menuju area pembangunan nasional di sekitarnya (Adam et al., 2024; Milić et al., 2021; Nugraha et al., 2023; Suarjana & Budiharto, 2023).

Guna menjawab tantangan teknis tersebut, penelitian ini menghadirkan inovasi dengan menggunakan bantuan teknologi komputer melalui *software Midas Civil* sebagai alat analisis dan perencanaan struktur jembatan yang sangat canggih. Penggunaan perangkat lunak ini memungkinkan peneliti untuk melakukan simulasi secara digital dengan tingkat akurasi yang tinggi terhadap berbagai variasi beban kendaraan yang melintasi jembatan (Jacob & S, 2022; Tang et al., 2023; Venkatcharyulu et al., 2025). Melalui pemodelan 3 dimensi, perilaku struktur atas jembatan dapat diamati secara mendetail dalam merespons tekanan dari berbagai arah serta beban dinamis yang bekerja secara simultan di atas lantai jembatan. Simulasi ini tidak hanya berfokus pada kondisi beban statis, tetapi juga mempertimbangkan faktor-faktor teknis lainnya yang memengaruhi stabilitas rangka baja dalam jangka panjang. Penggunaan *software* khusus jembatan ini memberikan keunggulan dalam kecepatan pengolahan data serta visualisasi hasil analisis yang lebih komprehensif dibandingkan dengan perhitungan manual secara tradisional. Inovasi metodologi ini menjadi sangat penting untuk memvalidasi keamanan struktur Jembatan Subali sekaligus memberikan landasan ilmiah bagi pengembangan standar perencanaan jembatan baja di wilayah Kabupaten Blitar agar lebih adaptif terhadap tuntutan teknologi masa kini.

Nilai kebaruan dari penelitian ini terletak pada analisis komparatif yang menyeluruh antara 4 tipe rangka jembatan utama untuk menentukan performa struktur yang paling unggul bagi infrastruktur di daerah tersebut. Penelitian ini tidak hanya mengevaluasi kondisi eksisting jembatan tipe *Warren*, tetapi juga mensimulasikan penerapan tipe *Pratt*, *Howe*, dan *Parker* pada lokasi yang sama dengan parameter teknis yang identik. Hasil akhir dari studi ini akan memberikan perbandingan data angka yang sangat detail mengenai beban maksimum yang mampu ditahan oleh masing-masing tipe rangka jembatan baja. Selain kapasitas beban, penelitian ini juga menyajikan perbandingan nilai *deflection* atau lendutan yang terjadi pada tiap desain untuk menjamin kenyamanan pengguna jembatan saat melintas. Inovasi lainnya adalah adanya estimasi biaya material yang memberikan gambaran mengenai efisiensi anggaran pembangunan antara 1 tipe dengan tipe lainnya secara akurat. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan strategis bagi instansi terkait dalam menentukan pilihan struktur jembatan yang paling optimal dari sisi teknis maupun ekonomis. Kesimpulan yang dihasilkan akan menjadi dasar inovasi dalam pembangunan jembatan masa depan agar lebih kuat, efisien, dan memiliki umur layanan yang maksimal.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode komparatif teknis untuk mengevaluasi performa struktur atas jembatan rangka baja dengan mengambil lokasi studi pada Jembatan Subali di Kabupaten Blitar. Struktur eksisting yang menggunakan tipe *Warren* dibandingkan secara sistematis dengan konfigurasi *Pratt*, *Howe*, dan *Parker* melalui pemodelan komputasi tiga dimensi. Prosedur diawali dengan pengumpulan data teknis berupa gambar kerja atau *as-built drawings* serta spesifikasi material yang merujuk pada regulasi *SNI 1725:2016*. Sebagai instrumen utama, perangkat lunak *Midas Civil* digunakan untuk mensimulasikan berbagai skenario pembebanan kendaraan berdasarkan data *weigh-in-motion (WIM)* mulai dari dua puluh satu hingga lima puluh ton. Parameter fisik jembatan ditetapkan secara seragam dengan bentang total lima puluh meter yang terbagi menjadi sepuluh segmen masing-masing lima meter, serta lebar jalan lima koma tujuh meter untuk dua lajur. Fokus utama dalam tahap awal ini adalah

memastikan bahwa setiap model representatif dalam mencerminkan karakteristik geometri dan mekanika material baja yang akan diuji kinerjanya dalam lingkungan digital secara presisi.

Prosedur analisis berlanjut pada pengolahan data untuk mendapatkan nilai *demand capacity ratio* (DCR) sebagai indikator utama stabilitas struktur jembatan. Instrumen digital ini memungkinkan peneliti mengukur rasio antara beban yang bekerja dengan kapasitas tersedia, di mana nilai melampaui angka satu menandakan kegagalan struktural. Selain kapasitas beban, perangkat lunak tersebut menghasilkan *output* berupa nilai lendutan atau *deflection* maksimum untuk menilai tingkat kekakuan masing-masing tipe rangka saat menerima beban dinamis. Untuk meninjau aspek ekonomis, penelitian ini menghitung estimasi biaya material berdasarkan volume baja dalam satuan kilogram yang dikalikan dengan standar harga satuan barang di Kabupaten Blitar untuk tahun anggaran dua ribu dua puluh lima. Analisis komparatif ini mengintegrasikan variabel kekuatan lawan lendut dengan efisiensi penggunaan material guna mengidentifikasi konfigurasi paling optimal. Melalui simulasi visual dan perhitungan rasio kapasitas, fenomena distribusi tegangan pada batang atas, bawah, diagonal, serta ikatan angin dapat diamati secara mendalam. Pendekatan ini memastikan bahwa setiap rekomendasi teknis didasarkan pada perbandingan kuantitatif yang objektif antara kekuatan struktural dan kelayakan anggaran pembangunan infrastruktur.

Prosedur analisis:

1. Pengumpulan data, data yang diperlukan adalah data teknis jembatan Subali berupa *asbuild drawing* dan data material jembatan, SNI 1725:2016, *weigh-in-motion* (WIM) *bridge* data harga material, observasi dan survey lapangan, dan data dokumentasi lapangan

Tabel 1. Dimensi jembatan Subali dengan tipe Warren

Nama	Keterangan
Bentang jembatan	50 m
Panjang per segmen jembatan	5 m
Jarak antar gelagar melintang	5 m
Tinggi rangka	6,3 m
Lebar total jalan	5,7 m
Jumlah lajur kendaraan	2 lajur

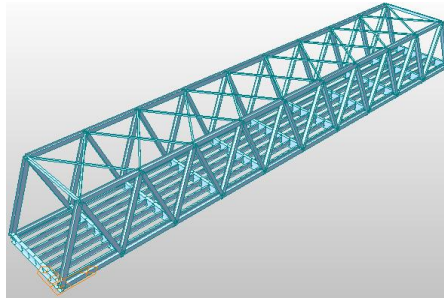
2. Pengolahan data, setelah data yang dibutuhkan terpenuhi maka selanjutnya dilakukan perhitungan beban pemodelan dengan menggunakan *software Midas Civil* untuk menghasilkan nilai beban maksimum yang mampu ditahan oleh setiap tipe jembatan dan nilai lendutan dari setiap tipe jembatan, dan selanjutnya dilakukan perhitungan nilai estimasi biaya material dari setiap tipe jembatan.
3. Analisis nilai *demand capacity ratio*, untuk mengetahui nilai beban maksimum yang mampu ditahan jembatan maka diperlukan nilai *demand capacity ratio* yang merupakan rasio perbandingan antara permintaan kapasitas jembatan dengan kapasitas yang tersedia pada struktur jembatan jika nilai *demand capacity ratio* > 1 maka struktur jembatan tidak mampu menahan beban yang terjadi. *Demand capacity ratio* diperoleh dari hasil analisis *software Midas Civil*.
4. Analisis nilai lendutan, nilai lendutan maksimum diperoleh dari *output* analisis *software Midas Civil*.
5. Analisis nilai estimasi biaya material, estimasi biaya material tiap tipe jembatan dihitung berdasarkan harga satuan barang Kabupaten Blitar tahun anggaran 2025.

HASIL DAN PEMBAHASAN

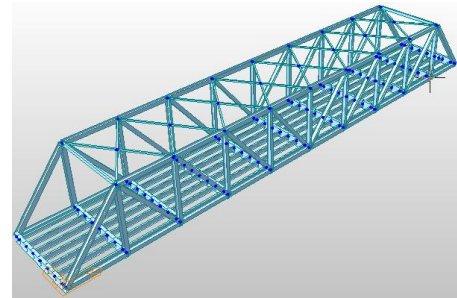
Hasil

1. Pemodelan

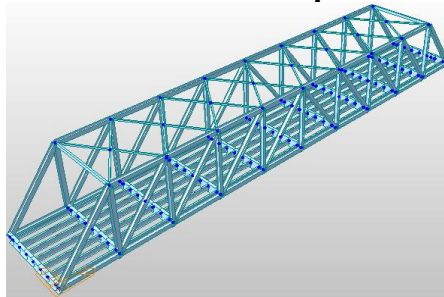
Berikut merupakan hasil pemodelan dengan menggunakan *software Midas Civil*:



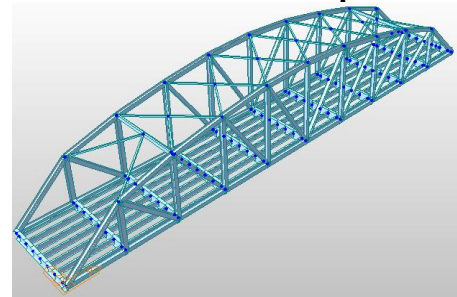
Gambar 1. Jembatan tipe Warren



Gambar 2. Jembatan tipe Pratt



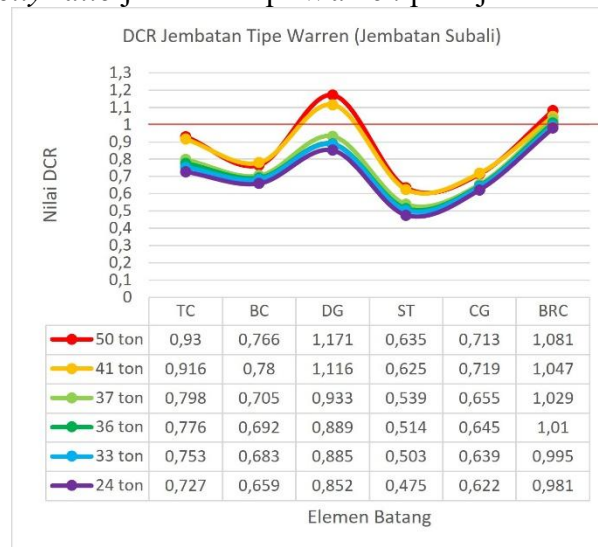
Gambar 3. Jembatan tipe Howe



Gambar 4. Jembatan tipe Parker

2. Hasil analisis *demand capacity ratio*

Nilai *demand capacity ratio* jembatan tipe *Warren* pada jembatan Subali:



Gambar 5. Demand capacity ratio jembatan tipe Warren pada jembatan Subali

Keterangan:

TC : Batang Atas

BC : Batang Bawah

D : Batang Diagonal

G

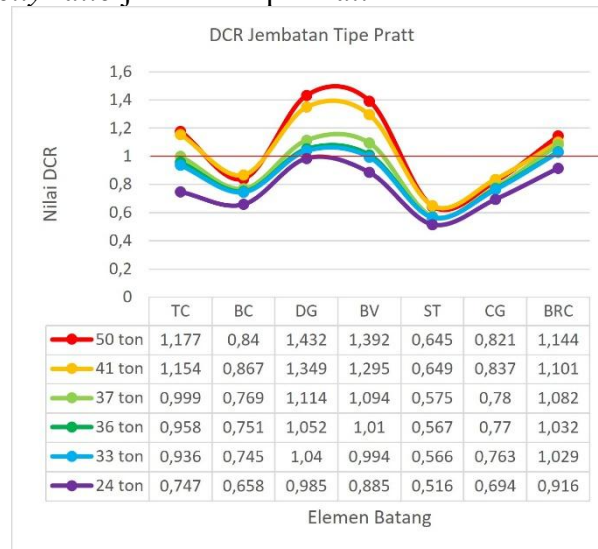
ST : Gelagar Memanjang

CG : Gelagar Melintang

BR : Ikatan Angin

C

Nilai *demand capacity ratio* jembatan tipe Pratt:

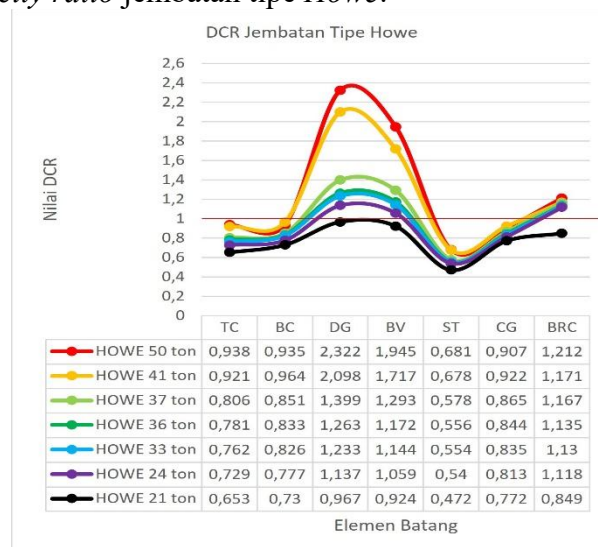


Gambar 6. Demand capacity ratio jembatan tipe Pratt

Keterangan:

TC : Batang Atas	ST : Gelagar Memanjang
BC : Batang Bawah	CG : Gelagar Melintang
D : Batang Diagonal	BR : Ikarang Angin
G	C
B : Batang Vertikal	
V	

Nilai *demand capacity ratio* jembatan tipe Howe:



Gambar 7. Demand capacity ratio jembatan tipe Howe

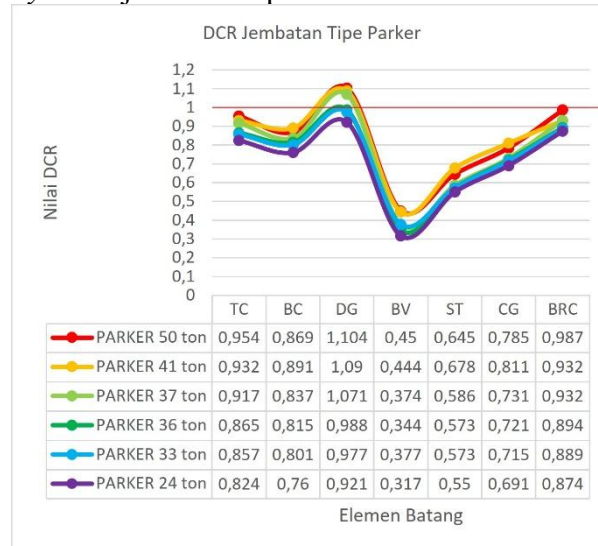
Keterangan:

TC : Batang Atas	ST : Gelagar Memanjang
BC : Batang Bawah	CG : Gelagar Melintang

D : Batang Diagonal
G
B : Batang Vertikal
V

BR : Ikarang Angin
C

Nilai *demand capacity ratio* jembatan tipe Parker:



Gambar 8. Demand capacity ratio jembatan tipe Parker

Keterangan:

TC : Batang Atas
BC : Batang Bawah
D : Batang Diagonal
G
B : Batang Vertikal
V

ST : Gelagar Memanjang
CG : Gelagar Melintang
BR : Ikarang Angin
C

3. Hasil analisis lendutan maksimum

Tabel 2. Lendutan maksimum jembatan

Tipe Jembatan	Lendutan maksimum (m)						Rata-rata (m)
	50 ton	41 ton	37 ton	36 ton	33 ton	24 ton	
Warren (Subali)	0,032	0,029	0,018	0,018	0,016	0,014	0,0211
Pratt	0,036	0,030	0,020	0,019	0,017	0,015	0,0228
Howe	0,037	0,032	0,021	0,020	0,018	0,016	0,024
Parker	0,018	0,016	0,013	0,013	0,012	0,010	0,0136

Tabel 2 memaparkan hasil analisis lendutan maksimum jembatan yang diuji menggunakan empat tipe struktur berbeda berdasarkan beban kendaraan yang bervariasi dari 24 ton hingga 50 ton. Jembatan tipe Howe mencatatkan lendutan tertinggi sebesar 0,037 m pada beban 50 ton dengan nilai rata-rata keseluruhan 0,024 m. Sebaliknya, jembatan tipe Parker menunjukkan performa kekakuan terbaik dengan lendutan rata-rata hanya 0,0136 m dan nilai maksimum 0,018 m. Tipe Warren Subali dan Pratt memiliki nilai rata-rata masing-masing 0,0211 m dan 0,0228 m. Data ini membuktikan

- bahwa konfigurasi rangka Parker memberikan stabilitas struktural paling optimal dalam menahan beban lendutan dibandingkan model struktur jembatan rangka batang lainnya.
4. Hasil perhitungan nilai estimasi biaya material

Tabel 3. Estimasi biaya material jembatan

NO	Tipe Jembatan	Volume (Kg)	Estimasi (Rp.)
1	Warren (Subali)	74022,23	1.893.612.976
2	Pratt	72825,3	1.862.936.874
3	Howe	72825,3	1.862.936.874
4	Parker	74052,6	1.895.359.792

Tabel 3 menyajikan rincian estimasi biaya material untuk pembangunan jembatan berdasarkan volume baja yang dibutuhkan oleh masing-masing tipe rangka jembatan baja tersebut. Jembatan tipe Pratt dan Howe memiliki kebutuhan material yang identik yaitu sebesar 72825,3 kg dengan total perkiraan biaya material mencapai 1.862.936.874 rupiah. Sementara itu, tipe Warren Subali memerlukan volume sedikit lebih besar yakni 74022,23 kg dengan total anggaran 1.893.612.976 rupiah. Angka tertinggi ditemukan pada jembatan tipe Parker yang menghabiskan material sebanyak 74052,6 kg sehingga membutuhkan biaya material sebesar 1.895.359.792 rupiah. Perhitungan ini menunjukkan adanya korelasi langsung antara tingkat kompleksitas desain struktur jembatan dengan kebutuhan volume material serta total investasinya.

Pembahasan

Analisis mendalam terhadap nilai *demand capacity ratio* mengungkapkan perbedaan signifikan dalam kemampuan setiap desain untuk menahan beban maksimal. Struktur jembatan tipe Parker menunjukkan performa sangat unggul dengan kemampuan menahan beban maksimum hingga mencapai tiga puluh enam ton. Capaian ini melampaui kemampuan struktur jembatan tipe Warren pada jembatan Subali yang sanggup menahan beban hingga tiga puluh tiga ton. Selanjutnya model jembatan tipe Pratt hanya dapat menahan beban maksimal dua puluh empat ton. Performa yang paling rendah ditunjukkan oleh struktur jembatan tipe Howe yang hanya mampu menahan beban sebesar dua puluh satu ton. Fakta teknis ini menegaskan bahwa konfigurasi desain rangka jembatan tipe Parker memberikan distribusi gaya mekanik yang sangat optimal dalam meredam beban. Implikasi dari temuan ini mengindikasikan bahwa variasi tipe jembatan sangat krusial dalam menentukan batas aman operasional suatu infrastruktur. Kapasitas beban yang amat tinggi pada tipe Parker menjadikannya opsi paling ideal untuk jalur transportasi logistik berat. Efisiensi geometri sangat menentukan kekuatan keseluruhan sistem struktur jembatan guna menahan tekanan lalu lintas kendaraan niaga tanpa risiko keruntuhan fatal bagi keselamatan publik (Indarto & Suswanto, 2020; Indriyantho et al., 2023; Widyaningsih, 2020).

Evaluasi terhadap parameter lendutan maksimum turut memvalidasi dominasi keandalan mekanik struktur tipe Parker. Hasil kalkulasi membuktikan bahwa model Howe memiliki ketahanan paling buruk terhadap lendutan dengan nilai rerata mencapai nol koma nol dua empat meter. Sebaliknya jembatan tipe Parker memamerkan tingkat kekakuan paling mengesankan dengan nilai rerata lendutan hanya sebesar nol koma nol satu tiga enam meter. Apabila dikonversikan ke dalam bentuk persentase komparatif maka rangka Parker terbukti empat puluh tiga koma nol lima persen lebih kokoh menahan lendutan daripada tipe Howe. Sementara itu struktur Pratt hanya mampu memberikan perlawanan lendutan empat koma delapan enam persen lebih baik dibandingkan Howe. Model jembatan Warren pada bentang Subali mencatatkan performa perlawanan sebelas koma delapan persen lebih unggul dari tipe Howe. Angka persentase ini secara eksplisit menerangkan bahwa desain parametrik jembatan

sangat mempengaruhi seberapa jauh sebuah jembatan akan melengkung saat dilewati kendaraan bermuatan berat. Ketahanan lawan lendut ini amat vital untuk memastikan jembatan penyeberangan tersebut tidak pernah mengalami sedikitpun deformasi struktural secara permanen yang berpotensi merusak komponen material baja utama pada rangka tersebut (Gao et al., 2024; Indriyantho et al., 2023; Pregnotato et al., 2022; Wibawa et al., 2020).

Keistimewaan jembatan tipe Parker dalam menahan beban dan meredam lendutan sejatinya bersumber dari karakteristik anatomi strukturnya. Model ini dirancang menggunakan konfigurasi busur melengkung pada sisi atas yang membuat area bentang tengah memiliki elevasi jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan varian geometri rangka konvensional lainnya. Puncak yang menjulang di bagian tengah ini berperan krusial dalam menyerap regangan mekanis sekaligus mendistribusikan tegangan secara merata ke seluruh elemen penyusun jembatan. Di sisi lain profil ketinggian yang perlahan merendah pada kedua ujung tepi jembatan memberikan efisiensi yang luar biasa hebat. Desain unik ini berhasil mereduksi penggunaan material baja tanpa sedikitpun mengorbankan tingkat kekakuan fondasi utama jembatan tersebut. Prinsip fisika dasar memvalidasi bahwa penambahan dimensi tinggi pada suatu struktur rangka secara otomatis akan melipatgandakan indeks kekakuannya. Implikasi terpenting dari modifikasi lengkungan ini adalah kemampuannya menyeimbangkan antara penyediaan ruang bebas vertikal yang memadai dan penciptaan lintasan yang senantiasa stabil ketika dilewati beban dinamis secara terus menerus sepanjang waktu siang maupun malam hari demi kelancaran mobilitas seluruh warga masyarakat pedesaan serta menopang aktivitas perekonomian wilayah perkotaan tersebut (Abel et al., 2023; Ardian & Purba, 2020; Saleh, 2020).

Analisis ekonomi terkait kalkulasi estimasi pembiayaan pengadaan material menyingkap korelasi sangat menarik antara kerumitan bentuk geometri dengan jumlah bahan baja. Penilaian rinci membuktikan model jembatan Pratt serta Howe menuntut kebutuhan pendanaan paling rendah dengan besaran biaya 1.862.936.874 rupiah. Nilai identik pada kedua tipe ini semata disebabkan oleh total jumlah kebutuhan bahan baja yang persis sama. Perbedaan visual dari kedua jembatan tersebut murni hanya terletak pada orientasi sumbu diagonal penopang yang dibuat saling berbalikan arah. Sebaliknya desain Parker menduduki urutan sebagai konstruksi paling mahal dengan kebutuhan anggaran menyentuh angka 1.895.359.792 rupiah. Meskipun wujud Parker mencatatkan nilai investasi belanja bahan baku tertinggi, selisih nominal tersebut sejatinya sangat kecil bila disandingkan model Warren Subali yang menelan anggaran sebesar 1.893.612.976 rupiah. Fakta besaran pembiayaan proyek ini mengonfirmasi prinsip rasionalitas ekonomi yang amat brilian. Penambahan sedikit biaya pada tahap awal pembangunan guna memilih varian jembatan melengkung tersebut merupakan sebuah keputusan investasi infrastruktur publik jangka panjang paling cerdas demi mengamankan aset vital negara dari potensi kerusakan fatal mekanis di masa depan akibat kelebihan muatan angkutan darat (Asie et al., 2022; Bastian & Rulhendri, 2023; Indriyantho et al., 2023; Sihombing, 2025).

Meskipun pemodelan komputasi ini menyajikan matriks hasil yang sangat menjanjikan bagi rancangan jembatan lengkung, keterbatasan dalam penelitian ini tetap harus diakui secara terbuka. Seluruh pengujian struktur jembatan murni hanya mengandalkan simulasi digital lewat perangkat lunak bernama *Midas Civil* tanpa disertai pengujian laboratorium berskala nyata. Pendekatan simulasi virtual ini belum mengakomodasi variabel lingkungan dinamis seperti fluktuasi suhu ekstrem atau hempasan angin kencang yang berpotensi memicu resonansi. Selain itu degradasi kualitas material akibat paparan korosi cuaca dalam jangka waktu puluhan tahun sama sekali tidak diikutsertakan sebagai faktor pelemah kekuatan struktur. Implikasi holistik

dari studi ini menuntut adanya riset lanjutan yang lebih terperinci. Para perencana infrastruktur disarankan agar tidak hanya berpaku pada perhitungan mekanik teoritis semata. Integrasi antara analisis beban statis melalui program perangkat lunak dengan tinjauan dampak ekologi lapangan akan menghasilkan konstruksi jembatan yang amat sangat kebal terhadap ancaman cuaca alamiah dan sanggup melayani kebutuhan transportasi publik modern secara optimal setiap saat tanpa cemas ataupun khawatir terjadi sebuah tragedi keruntuhan mendadak yang dapat merugikan aspek logistik serta mobilitas jutaan umat manusia secara massal.

KESIMPULAN

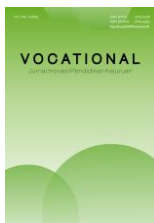
Berdasarkan hasil pemodelan komputasi menggunakan software Midas Civil dan analisis terhadap rasio kapasitas beban atau Demand Capacity Ratio (DCR), penelitian ini menyimpulkan bahwa jembatan rangka baja tipe Parker memiliki keunggulan performa struktural yang paling dominan dibandingkan dengan tipe Warren, Pratt, dan Howe. Kapasitas daya dukung jembatan tipe Parker terbukti mampu menahan beban kendaraan maksimum hingga 36 ton, melampaui kemampuan jembatan eksisting Subali bertipe Warren yang hanya sanggup menahan beban 33 ton. Di sisi lain, jembatan tipe Pratt dan Howe menunjukkan kapasitas yang jauh lebih rendah, yakni masing-masing hanya mampu memikul beban maksimal sebesar 24 ton dan 21 ton. Keunggulan tipe Parker ini tidak hanya terlihat pada daya dukung beban, tetapi juga tervalidasi melalui parameter lendutan maksimum, di mana struktur ini menunjukkan tingkat kekakuan terbaik dengan nilai lendutan rata-rata hanya 0,0136 m. Angka ini membuktikan bahwa konfigurasi melengkung pada jembatan tipe Parker mampu memberikan perlawanan terhadap deformasi hingga 43,05% lebih baik jika dikomparasikan dengan jembatan tipe Howe yang mencatatkan lendutan terburuk sebesar 0,024 m.

Dari perspektif rasionalitas ekonomi, analisis estimasi kebutuhan material baja mengonfirmasi bahwa pembangunan jembatan tipe Parker memang menuntut alokasi anggaran belanja tertinggi yang mencapai Rp. 1.895.359.792, sedikit lebih besar dibandingkan jembatan eksisting tipe Warren yang bernilai Rp. 1.893.612.976. Sebaliknya, jembatan tipe Pratt dan Howe merupakan opsi paling ekonomis dengan estimasi biaya identik sebesar Rp. 1.862.936.874. Meskipun secara nominal tipe Parker membutuhkan investasi finansial terbesar, selisih biaya tersebut dinilai sangat tidak signifikan dan sepenuhnya sepadan dengan peningkatan kapasitas kekuatan serta kekakuan struktur yang dihasilkan. Oleh karena itu, penelitian ini merekomendasikan transisi desain dari tipe Warren menuju tipe Parker sebagai strategi mitigasi jangka panjang yang sangat efektif. Pemilihan konfigurasi Parker terbukti merupakan keputusan investasi infrastruktur yang paling proporsional untuk mengamankan Jembatan Subali dari risiko kelebihan muatan (overload) kendaraan logistik, sekaligus menjamin kelancaran konektivitas di wilayah selatan Kabupaten Blitar pada masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abel, I. A., Purba, A., & Despa, D. (2023). Work method statement spesific pekerjaan soil improvement PVD + PHD + vacuum preloading pada Sta. 48+450 – 48+850 Proyek Kayu Agung – Palembang – Betung Paket II Seksi 2. *Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP)*, 3(1). <https://doi.org/10.23960/snip.v3i1.413>
- Adam, J. M., Makoond, N., Riveiro, B., & Buitrago, M. (2024). Risks of bridge collapses are real and set to rise — here's why. *Nature*, 629(8014), 1001. <https://doi.org/10.1038/d41586-024-01522-6>

- Ardian, M., & Purba, A. M. (2020). Implementasi program percepatan pembangunan wilayah lingkaran luar kota Medan. *JUPIIS: Jurnal Pendidikan Ilmu-Ilmu Sosial*, 12(1), 123. <https://doi.org/10.24114/jupiiis.v12i1.14843>
- Asie, H., Dwimawanti, I. H., Astuti, R. S., & Afrizal, T. (2022). Advokasi kebijakan zero overloading angkutan barang di Kabupaten Lamandau. *PERSPEKTIF*, 11(3), 1050. <https://doi.org/10.31289/perspektif.v11i3.6276>
- Bastian, R. W., & Rulhendri, R. (2023). Perencanaan pelebaran jembatan desa Tamansari. *Jurnal Pengabdian Masyarakat UIKA Jaya SINKRON*, 1(3), 106. <https://doi.org/10.32832/jpmuj.v1i3.1915>
- Gao, Y., Xiong, G., Hu, Z., Chai, C., & Li, H. (2024). Bridge digital twin for practical bridge operation and maintenance by integrating GIS and BIM. *Buildings*, 14(12), 3731. <https://doi.org/10.3390/buildings14123731>
- Indarto, R. O., & Suswanto, B. (2020). Studi analisis perilaku jembatan pejalan kaki dengan sambungan sekrup dan adhesive pada cold-formed steel. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 18(1), 73. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v18i1.5518>
- Indriani, J., & Tarigan, J. (2023). Analysis of earthquake-resistant portal frame structures with ordinary moment frames (OMF), intermediate moment frames (IMF), and special moment frames (SMF) based on SNI 1726:2019. *International Journal of Architecture and Urbanism*, 7(1), 43. <https://doi.org/10.32734/ijau.v7i1.11687>
- Indriyantho, B. R., Susanty, A., Sumardi, S., & Nuroji, N. (2023). Concrete structures evaluation and analysis of the Kalikuto bridge on the Batang Semarang toll road segment. *MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL*, 29(1), 113. <https://doi.org/10.14710/mkts.v29i1.54785>
- Jacob, M., & S, D. B. (2022). Modal analysis of an RCC long span arch bridge using midas Civil - A validation. *Materials Today: Proceedings*, 57, 460. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.185>
- Khalil, M. (2022, June 1). Long span steel structures: Structural typology optimization and enhancement- The conceptual design of an aircraft hangar. *Proceedings of the International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering*. <https://doi.org/10.11159/iccste22.228>
- Manurung, E. H., Prajoko, A., Sitohang, O., & Haryanto, H. (2023). Analisis biaya dan waktu pekerjaan konstruksi struktur rangka atap baja portal frame dan portal truss. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 6(1), 31. <https://doi.org/10.54367/jrkms.v6i1.2557>
- Milić, I., Ivanković, A. M., Syrkov, A., & Skokandić, D. (2021). Bridge failures, forensic structural engineering and recommendations for design of robust structures. *Journal of the Croatian Association of Civil Engineers*, 73(7), 717. <https://doi.org/10.14256/jce.3234.2021>
- Nugraha, W., Sidi, I. D., Suarjana, M., & Zulkifli, E. (2023). The risk of failure assessment in bina marga standard designed prestressed concrete girder bridges under B-WIM load measurement. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 55(5), 558. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2023.55.5.5>
- Pregolato, M., Gunner, S., Voyagaki, E., Risi, R. D., Carhart, N., Gavriel, G., Tully, P., Tryfonas, T., Macdonald, J. H. G., & Taylor, C. R. (2022). Towards Civil Engineering 4.0: Concept, workflow and application of Digital Twins for existing infrastructure. *Automation in Construction*, 141, 104421. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104421>



- Saleh, P. S. (2020). Demonopolisasi PT. KAI (Persero) dan PT. Pelindo (Persero) penguatan sistem ekonomi demokrasi. *Mimbar Hukum - Fakultas Hukum Universitas Gadjah Mada*, 31(3), 309. <https://doi.org/10.22146/jmh.43140>
- Sihombing, P. R. (2025). Optimal capital structure to increase Indonesia firm value. *MONTENEGRIN JOURNAL OF ECONOMICS*, 21(3). <https://doi.org/10.14254/1800-5845/2025.21-3.8>
- Suarjana, M., & Budiharto, P. (2023). Evaluasi kinerja struktur jembatan kabel pancang Pasupati Bandung. *Jurnal Teknik Sipil*, 30(3), 367. <https://doi.org/10.5614/jts.2023.30.3.5>
- Tang, Z., Sun, Q., Gu, Z., Zhao, Y. F., & Zhang, H. (2023). Research on unbalanced weighing experiment of multi-point braced swivel cable-stayed bridge. *Stavebni Obzor*, 33(3), 383. <https://doi.org/10.14311/cej.2023.03.0029>
- Venkatcharyulu, S., Vatter, S., Rajashekhar, T., Raju, V. C. C., Vempada, S. R., Muhamed, H., Pant, R., & Singh, T. N. (2025). Analysis and design of a suspension bridge using Midas Civil. *AIP Conference Proceedings*, 3263, 90004. <https://doi.org/10.1063/5.0262190>
- Wibawa, M. S., Ubay, A. I., Putra, S. A., & Syahrina, A. (2020). Integrasi sistem pengawasan kesehatan jembatan dengan sistem pengawasan lalu lintas. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, 9(2), 138. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v9i2.197>
- Widyaningsih, E. (2020). Evaluasi keandalan jembatan gantung pejalan kaki dengan variasi letak dan jenis beban lalu lintas. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 4(2), 72. <https://doi.org/10.26760/jrh.v4i2.24-34>