

PERENCANAAN STRUKTUR ATAS JEMBATAN BENTANG 50 M MENGGUNAKAN RANGKA BAJA TIPE WARREN TRUSS: STUDI KASUS JEMBATAN TUA KALI METRO KEPANJEN

Senda Maulia Wardani¹, Kharisma Nur Cahyani², Deni Putra Arystianto³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang³

Email: sendamw05l@gmail.com¹, kharismanurcahyono@polinema.ac.id², deniputra@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Jembatan Tua Kali Metro Kepanjen merupakan salah satu infrastruktur transportasi yang memiliki peran penting sebagai penghubung antarkawasan di Kabupaten Malang. Seiring bertambahnya usia layanan jembatan dan meningkatnya intensitas lalu lintas, diperlukan perencanaan ulang struktur atas untuk menjamin keamanan, kenyamanan, serta keberlanjutan fungsi jembatan. Penelitian ini bertujuan merencanakan kembali struktur atas Jembatan Tua Kali Metro Kepanjen menggunakan sistem rangka baja tipe *Warren Truss* serta menyusun Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan struktur atas. Perencanaan dilakukan pada jembatan bentang tunggal sepanjang 50 m dengan lebar 9 m. Analisis pembebanan mengacu pada SNI 1725:2016, sedangkan perencanaan struktur baja mengacu pada RSNI T-03-2005. Pemodelan dan analisis struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak STAAD.Pro V8i. Selanjutnya, penyusunan Rencana Anggaran Biaya mengacu pada Peraturan Menteri PUPR Nomor 8 Tahun 2023 dan Peraturan Bupati Malang Nomor 10 Tahun 2025 mengenai Standar Harga Satuan Tahun Anggaran 2026. Hasil perencanaan menunjukkan bahwa struktur atas jembatan menggunakan gelagar memanjang WF 700.300.18.34, gelagar melintang WF 700.300.13.24, batang utama rangka WF 400.400.13.21, ikatan angin WF 250.250.14.14, serta ikatan angin ujung WF 400.400.20.35. Estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan struktur atas Jembatan Tua Kali Metro Kepanjen sebesar Rp16.150.000.000,00.

Kata kunci: Struktur Baja; *Warren Truss*; Jembatan.

ABSTRACT

The Old Kali Metro Bridge in Kepanjen is an essential transportation infrastructure that serves as a vital connection between regions in Malang Regency. Due to its prolonged service life and the continuous increase in traffic demand, redesigning the bridge superstructure is necessary to ensure structural safety, serviceability, and long-term performance. This study aims to redesign the superstructure of the Old Kali Metro Bridge using a Warren truss steel system and to prepare the corresponding Cost Estimate (Rencana Anggaran Biaya/RAB) for the superstructure construction. The proposed bridge consists of a single span measuring 50 m in length and 9 m in width. Structural loading was determined in accordance with SNI 1725:2016, while the steel structural design followed the provisions of RSNI T-03-2005. Structural modeling and analysis were carried out using STAAD.Pro V8i. Furthermore, the cost estimation was prepared based on the Regulation of the Minister of Public Works and Public Housing (PUPR) No. 8 of 2023 and the Regent Regulation of Malang No. 10 of 2025 concerning the 2026 Standard Unit Prices. The redesign results indicate that the bridge superstructure utilizes WF 700×300×18×34 sections for the longitudinal girders, WF 700×300×13×24 for the transverse girders, WF 400×400×13×21 for the main truss members, WF 250×250×14×14 for the lateral bracing, and WF 400×400×20×35 for the end bracing. The estimated construction cost for the bridge superstructure is IDR 16,150,000,000.00.

Keywords : Steel; *Warren Truss*; Bridge.

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Jembatan Tua Kali Metro adalah jembatan yang berlokasi di Kecamatan Kepanjen, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Jembatan ini berperan sebagai penghubung antara dua kawasan yang dipisahkan oleh Sungai Metro, yaitu wilayah Kepanjen dan Sumberpucung, dengan bentang sepanjang 41 m. Jembatan Kali Metro di Kepanjen, Kabupaten Malang, merupakan peninggalan masa kolonial Belanda yang dahulu dikenal dengan nama *Een Oude Brug De Kali Metro* yang telah berdiri sekitar tahun 1912 dan telah dilakukan perbaikan struktur atas oleh Kementerian PUPR pada tahun 1942. Hingga saat ini jembatan tersebut masih berfungsi sebagai penghubung utama lalu lintas, sehingga keberadaannya sangat vital bagi mobilitas masyarakat.

Peningkatan volume lalu lintas, bertambahnya usia jembatan, dan meningkatnya beban kendaraan menyebabkan Jembatan Kali Metro memerlukan perencanaan ulang struktur atas guna menjamin keamanan, kenyamanan, dan kesesuaiannya terhadap standar perencanaan jembatan yang berlaku. Pemilihan sistem struktur menjadi salah satu tahapan penting dalam perencanaan jembatan. Pada penelitian ini digunakan rangka baja tipe *Warren Truss* karena konfigurasi batang segitiganya mampu mendistribusikan gaya secara efisien, menghasilkan berat struktur yang relatif ringan, serta sesuai untuk jembatan dengan bentang menengah hingga panjang. Tipe rangka ini memiliki susunan batang diagonal yang membentuk pola segitiga sama sisi atau mendekati sama sisi sehingga distribusi gaya pada elemen struktur menjadi lebih merata.

Tujuan

Tujuan utama dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyusun perencanaan ulang struktur atas Jembatan Tua Kali Metro Kepanjen dengan menerapkan sistem rangka baja tipe *Warren Truss*.
2. Menentukan dimensi elemen struktur atas hasil perencanaan.
3. Mengetahui Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada pelaksanaan pekerjaan struktur atas Jembatan Metro Kepanjen.

Dasar – Dasar Peraturan Perencanaan Jembatan

Perencanaan struktur atas pada penelitian ini disusun berdasarkan standar dan regulasi yang berlaku di Indonesia. Ketentuan yang digunakan meliputi SNI 1725:2016 sebagai acuan pembebanan jembatan, RSNI T-03-2005 sebagai pedoman perencanaan struktur baja, SE/DB/2021 sebagai panduan teknis perencanaan jembatan, serta Surat Edaran Menteri PUPR Nomor 07/SE/M/2015 sebagai pedoman

persyaratan umum perencanaan jembatan. Seluruh peraturan tersebut menjadi landasan dalam proses analisis dan perancangan struktur atas Jembatan Tua Kali Metro.

Berdasarkan Peraturan Kementerian PUPR No. 07/SE/M/2015 penentuan tipe jembatan berdasarkan bentang jembatan disajikan dalam Tabel 1

Tabel 1. Pedoman Umum Penentuan Bentang Ekonomis

No	Tipe Bangunan Atas	Bentang Ekonomis (m)
1	Pelat Beton Bertulang	0 – 15
2	Gelagar Beton T	10 – 18
3	Mod Gelagar Beton T	18 – 25
4	Gelagar Boks Beton Bertulang	25 – 40
5	Gelagar I Beton Pratekan	25 – 40
6	Gelagar Boks Baja	40 – 300
7	Rangka Baja (<i>Steel Truss</i>)	40 – 200
8	Pelengkung Baja (<i>Steel Arch</i>)	150 – 400
9	Beruji Kabel (<i>Cable Stayed</i>)	200 – 500
10	Gantung (<i>Suspension</i>)	300 - 2000

Sumber: Peraturan Kementerian PUPR No. 07/SE/M/2015

Mengacu pada ketentuan bentang ekonomis yang tercantum dalam Peraturan Kementerian PUPR Nomor 07/SE/M/2015, jembatan dengan panjang bentang 50 m berada dalam kisaran penggunaan struktur rangka baja (*steel truss*), yaitu 40–200 m. Dengan demikian, penerapan rangka baja tipe *Warren Truss* sebagai struktur atas pada perencanaan ulang Jembatan Tua Kali Metro telah memenuhi rekomendasi bentang ekonomis yang ditetapkan dalam peraturan tersebut.

Pembebanan Jembatan Berdasarkan SNI 1726:2016

Analisis pembebanan merupakan tahapan penting dalam perencanaan struktur jembatan karena menjadi dasar dalam penentuan dimensi elemen struktur serta pemenuhan aspek keselamatan. Pada penelitian ini, seluruh ketentuan pembebanan mengacu pada SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan.

Beban Mati

1. Berat Sendiri (MS)

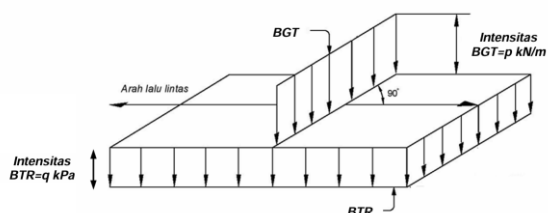
Berat sendiri (MS) adalah beban mati yang merupakan bagian dari jembatan, seperti gelagar, pelat lantai jembatan, rangka jembatan, diafragma serta perkuatan struktur lainnya.

2. Beban Mati Tambahan (MA)

Selain berat sendiri struktur, perencanaan juga memperhitungkan beban mati tambahan yang berasal dari elemen nonstruktural yang terpasang secara permanen pada jembatan. Beban ini meliputi lapisan perkerasan, trotoar, utilitas, pagar pengaman, dan komponen pelengkap lainnya yang tetap bekerja selama umur layan jembatan.

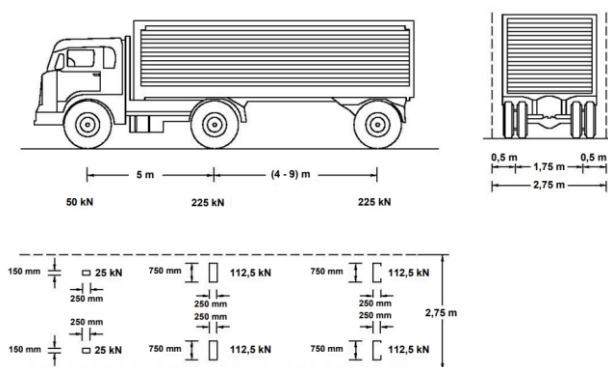
Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas diperhitungkan sebagai representasi pengaruh kendaraan yang melintas di atas jembatan. Berdasarkan SNI 1725:2016, pembebanan lalu lintas terdiri atas beban lajur D dan beban truk T, yang digunakan untuk memperoleh kondisi pembebanan paling kritis terhadap struktur. Analisis dilakukan dengan menerapkan kedua jenis pembebanan tersebut sesuai ketentuan standar.



Gambar 1. Beban Lajur "D"

Sumber: SNI 1725:2016



Gambar 2. Pembebanan Truk (500 kN)

Sumber: SNI 1725:2016

Beban Rem (TB)

Dalam penelitian ini, pengaruh gaya rem diperhitungkan sebagai salah satu beban horizontal yang bekerja pada struktur jembatan akibat proses perlambatan atau penghentian kendaraan. Analisis beban rem mengacu pada ketentuan SNI 1725:2016, dengan asumsi gaya bekerja pada seluruh lajur rencana yang memiliki arah lalu lintas yang sama. Untuk jembatan satu arah, seluruh lajur dibebani secara bersamaan sehingga diperoleh kondisi pembebanan yang paling kritis. Besarnya gaya rem ditentukan

berdasarkan nilai terbesar sesuai ketentuan dalam standar, kemudian digunakan dalam analisis struktur.

Beban Pejalan Kaki (TP)

Beban pejalan kaki diperhitungkan pada elemen trotoar sebagai representasi beban hidup yang berasal dari aktivitas pengguna jembatan. Dalam penelitian ini, perhitungan beban pejalan kaki mengacu pada SNI 1725:2016, yang mensyaratkan trotoar dengan lebar lebih dari 600 mm direncanakan mampu menahan beban sebesar 5 kPa. Beban tersebut bekerja secara bersamaan dengan pembebanan lalu lintas kendaraan sehingga seluruh elemen yang mendukung trotoar tetap memenuhi persyaratan perencanaan.

Aksi Lingkungan

1. Tekanan Angin Horizontal

Tekanan angin diasumsikan disebabkan oleh angin rencana dengan kecepatan dasar (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10 m diatas permukaan tanah atau air, kecepatan angin rencana (V_{DZ}) harus dihitung dengan persamaan berikut:

$$(V_{DZ}) = 2,5 V_o \left(\frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left(\frac{Z}{Z_o} \right) \quad (3)$$

Dimana:

V_{DZ} = Kecepatan elevasi rencana pada elevasi rencana (km/jam)

V_{10} = Kecepatan angin pada ketinggian 10 m di atas permukaan tanah atau di atas muka air rencana, dinyatakan dalam km/jam.

V_B = Kecepatan angin dasar yang direncanakan, berada pada rentang 90–126 km/jam

Z = Elevasi struktur yang diukur dari permukaan tanah atau permukaan air dengan ketentuan $Z > 10$ m

V_o = Kecepatan gesekan angin (km/jam)

Z_o = Panjang karakteristik gesekan permukaan jembatan (mm)

Nilai kecepatan angin rencana (V_{10}) ditentukan berdasarkan data survei di lokasi pembangunan jembatan serta mengacu pada grafik kecepatan angin dasar yang sesuai dengan kondisi wilayah. Apabila data hasil survei tidak tersedia, maka nilai V_{10} dapat diasumsikan sama dengan kecepatan angin dasar (V_B) pada kisaran 90–126 km/jam. Selanjutnya, parameter V_o dan Z_o digunakan dalam proses perhitungan beban angin sesuai dengan ketentuan SNI 1725:2016, dengan mempertimbangkan

karakteristik permukaan di bagian hulu sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai V_0 Dan Z_0 Untuk Berbagai Variasi Kondisi Permukaan Hulu

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

Sumber: SNI 1725:2016

Pada penelitian ini, pemilihan nilai V_0 dan Z_0 disesuaikan dengan karakteristik lingkungan di sekitar Jembatan Tua Kali Metro sebagai dasar dalam analisis pembebanan angin sesuai ketentuan SNI 1725:2016.

2. Beban Angin pada Struktur (EW_S)

Penentuan besarnya beban angin rencana dilakukan menggunakan persamaan berikut sesuai dengan ketentuan perencanaan yang berlaku:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad (3)$$

Dimana:

P_B adalah tekanan angin dasar yang ditentukan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Tekanan Angin Dasar

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

Sumber: SNI 1725:2016

Pada penelitian ini, nilai tekanan angin dasar pada Tabel 3 digunakan sebagai acuan dalam menghitung beban angin yang bekerja pada struktur atas Jembatan Tua Kali Metro, sehingga analisis pembebanan dapat dilakukan sesuai ketentuan SNI 1725:2016.

3. Gaya Angin pada Kendaraan (EW_L)

Selain beban lalu lintas, pengaruh tekanan angin pada kendaraan juga harus diperhitungkan dalam perencanaan jembatan. Tekanan angin dimodelkan sebagai beban kontinu sebesar 1,46 N/mm yang bekerja tegak lurus terhadap struktur dengan titik kerja pada ketinggian 1.800 mm dari permukaan perkerasan. Dalam kondisi arah angin membentuk sudut tertentu terhadap struktur, nilai sudut serang yang digunakan mengikuti ketentuan pada Tabel 4.

Tabel 4. Komponen Beban Angin Yang Bekerja Pada Kendaraan

Sudut Derajat	Komponen Tegak Lurus (N/mm)	Komponen Sejajar (N/mm)
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

Sumber: SNI 1725:2016

Berdasarkan Tabel 4, besar komponen beban angin yang bekerja pada kendaraan dipengaruhi oleh sudut datang angin. Semakin besar sudut datang angin, komponen gaya tegak lurus cenderung menurun, sedangkan komponen gaya sejajar meningkat.

4. Beban Temperatur

Batas temperatur jembatan rata-rata nominal minimum dan maksimum berdasarkan tipe bangunan atasnya dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Temperatur Jembatan Rata-rata Nominal

Tipe Bangunan Atas	Temperatur Jembatan Rata-rata Minimum (1)	Temperatur Jembatan Rata-rata Maksimum
Lantai beton di atas gelagar atau boks beton	15°C	40°C
Lantai beton di atas gelagar, boks atau rangka baja	15°C	40°C
Lantai pelat baja di atas gelagar, boks atau rangka baja	15°C	45°C

Catatan (1) Temperatur jembatan rata-rata minimum bisa dikurangi 5°C untuk Lokasi yang terletak pada ketinggian lebih besar dari 500 m di atas permukaan laut.

Sumber : SNI 1725:2016

Nilai temperatur jembatan rata-rata nominal pada Tabel 5 digunakan sebagai acuan dalam analisis beban temperatur sehingga pengaruh pemuaian dan penyusutan struktur dapat diperhitungkan sesuai ketentuan SNI 1725-2016.

Faktor Kombinasi Beban

Dalam analisis struktur, faktor kombinasi beban berfungsi sebagai koefisien yang mengatur proporsi masing-masing beban pada setiap kondisi pembebanan. Kombinasi beban

yang diterapkan pada penelitian ini mengacu pada SNI 1725:2016 dan dirangkum pada Tabel 6.

Tabel 6. Kombinasi Pembebanan dan Faktor Beban

Keadaan Batas	MS	TT	Gunakan Salah Satu									
	MA TA PR PL SH	TD TB TR TP	EU	EW_S	EW_L	BF	EU_n	TG	ES	EQ	TC	TV
Kuat I	Y_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	Y_{TG}	Y_{ES}	-	-	-
Kuat II	Y_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	Y_{TG}	Y_{ES}	-	-	-
Kuat III	Y_p	-	1,00	1,4	-	1,00	0,50/1,20	Y_{TG}	Y_{ES}	-	-	-
Kuat IV	Y_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	Y_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	Y_{TG}	Y_{ES}	-	-	-
Ekstrem I	Y_p	Y_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	1,00	-	-
Ekstrem II	Y_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00
Layan I	1,00	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00/1,20	Y_{TG}	Y_{ES}	-	-	-
Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	-	-	-	-	-
Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	1,00/1,20	Y_{TG}	Y_{ES}	-	-	-
Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	1,00/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik	-	0,75	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sumber : SNI 1725:2016

Kombinasi pembebanan tersebut digunakan sebagai dasar dalam analisis struktur untuk memperoleh kondisi pembebanan yang menghasilkan respons paling kritis pada setiap elemen struktur atas jembatan. Hasil analisis dari setiap kombinasi selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam proses perencanaan dan evaluasi kinerja struktur.

2. METODE

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui survei langsung pada Jembatan Metro Kepanjen yang berlokasi di Kabupaten Malang. Survei lapangan bertujuan untuk memperoleh data kondisi eksisting jembatan sebagai dasar dalam perencanaan ulang struktur atas. Data yang dikumpulkan meliputi dimensi geometrik jembatan, panjang bentang, lebar jembatan, kondisi struktur eksisting, serta dokumentasi lapangan. Selain itu, dilakukan pengamatan terhadap lingkungan sekitar jembatan untuk mendukung proses perencanaan dan analisis struktur.

Analisis Data

Analisis data dilakukan untuk memperoleh desain struktur atas jembatan yang memenuhi persyaratan kekuatan, stabilitas, dan efisiensi biaya. Tahap analisis diawali dengan pengumpulan data primer melalui survei lapangan pada Jembatan Metro Kepanjen untuk memperoleh informasi mengenai kondisi eksisting, dimensi geometrik, dan

lingkungan sekitar jembatan. Data sekunder diperoleh melalui studi literatur, peraturan, standar perencanaan, serta referensi teknis yang berkaitan dengan struktur jembatan.

Data hasil pengumpulan digunakan sebagai dasar dalam penyusunan *preliminary design* untuk menentukan dimensi awal setiap elemen struktur atas jembatan, yang terdiri atas gelagar memanjang (*stringer*), gelagar melintang (*cross beam*), rangka utama (*truss*), dan ikatan angin. Setelah dimensi awal ditetapkan, analisis pembebanan dilakukan berdasarkan ketentuan SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan.

Pemodelan struktur tiga dimensi kemudian dibuat menggunakan perangkat lunak STAAD.Pro V8i untuk menganalisis respons struktur terhadap kombinasi pembebanan yang bekerja. Hasil analisis digunakan sebagai dasar dalam menentukan dimensi elemen struktur atas yang memenuhi ketentuan perencanaan berdasarkan RSNI T-03-2005. Apabila hasil evaluasi belum memenuhi persyaratan, dilakukan penyesuaian dimensi hingga diperoleh desain yang aman.

Tahapan berikutnya merupakan penyusunan gambar detail struktur atas yang mencakup konfigurasi rangka, dimensi setiap elemen struktur, serta detail sambungan. Hasil desain akhir tersebut kemudian dijadikan acuan dalam menghitung volume masing-masing item pekerjaan. Berdasarkan hasil

perhitungan volume tersebut, selanjutnya disusun Rencana Anggaran Biaya (RAB) dengan mengacu pada Peraturan Menteri PUPR Nomor 8 Tahun 2023 serta Peraturan Bupati Malang Nomor 10 Tahun 2025 mengenai Standar Harga Satuan Tahun Anggaran 2026.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Preliminary Design

Penelitian ini membahas perencanaan ulang struktur atas Jembatan Tua Kali Metro dengan menerapkan sistem rangka baja tipe Warren Truss. Struktur direncanakan sebagai jembatan bentang tunggal dengan panjang bentang sebesar 50 m, lebar 9 m, dan tinggi struktur 6 m. Tahapan awal perencanaan dimulai dengan melakukan preliminary design sebagai dasar dalam menentukan dimensi awal elemen-elemen struktur atas jembatan. Berikut perhitungan *Preliminary Design* struktur atas Jembatan Tua Kali Metro:

$$\begin{aligned} \text{Panjang jembatan (P)} &= 50 \text{ m} \\ \text{Lebar jembatan} &= 9 \text{ m} \\ \text{Tinggi jembatan (H)} &= 6 \text{ s/d } 8 \text{ m, digunakan } 6 \text{ m} \\ \text{Segmen (S)} &= 8 \\ \text{Panjang segmen (L)} &= \frac{P}{S} \\ &= \frac{50}{8} \\ &= 6,25 \text{ m} \\ l &= \sqrt{6^2 + 3,125^2} \\ &= 6,8 \text{ m} \end{aligned}$$

a. Balok Memanjang / Stringer

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{10} \times L \\ &= \frac{1}{10} \times 6250 \\ &= 625 \text{ mm} \\ &(\text{WF } 700.300.13.24) \end{aligned}$$

b. Balok Melintang / Cross Beam

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{10} \times \text{Lebar jembatan} \\ &= \frac{1}{10} \times 900 \\ &= 90 \text{ mm} \\ &(\text{WF } 900.300.16.28) \end{aligned}$$

c. Rangka / Truss :

$$\begin{aligned} \frac{k \times l}{i} &< 120 \\ i &> \frac{1 \times 676,503}{120} \\ i &> 5,638 \text{ cm} \\ &(\text{WF } 400.400.13.21) \end{aligned}$$

d. Ikatan Angin / Wind Bress

$$\begin{aligned} \frac{k \times l}{i} &< 200 \\ i &> \frac{k \times l}{200} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i &> \frac{1 \times 548}{200} \\ i &> 2,74 \text{ cm} \\ &(\text{WF } 250.250.14.14) \end{aligned}$$

e. Ikatan Angin Ujung

$$\begin{aligned} \frac{k \times l}{i} &< 200 \\ i &> \frac{k \times l}{200} \\ i &> \frac{1 \times 900}{200} \\ i &> 4,5 \text{ cm} \\ &(\text{WF } 400.400.20.35) \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan preliminary design, diperoleh profil struktur sebagai berikut:

Balok Memanjang / Stringer	: WF 700.300.13.24
Balok Melintang / Cross Beam	: WF 900.300.18.34
Rangka / Truss	: WF 400.400.13.21
Ikatan Angin / Wind Bress	: WF 250.250.14.14
Batang Ikatan Angin Ujung	: WF 400.400.20.35

Pembebanan Struktur Atas Jembatan

a. Beban mati sendiri (MS)

Pada penelitian ini, beban mati sendiri akan secara otomatis terhitung oleh perangkat lunak STAAD.Pro V8i berdasarkan dimensi elemen yang dimodelkan.

b. Beban mati tambahan (MA)

$$\begin{aligned} \text{Trotoar} &= 464 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Aspal} &= 112,5 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Air hujan} &= 50 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

c. Beban lajur "D"

$$\begin{aligned} 1) \text{ BTR} \\ \text{Stringer 1} &= 1260 \text{ kg/m} \\ \text{Stringer 2} &= 1260 \text{ kg/m} \\ \text{Stringer 3} &= 1350 \text{ kg/m} \\ 2) \text{ BGT} \\ p &= 6860 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

d. Beban truk "T"

$$\begin{aligned} \text{Ban depan truk} &= 3568,95 \text{ kg/roda} \\ \text{Ban Tengah truk} &= 16060,28 \text{ kg/roda} \\ \text{Ban belakang truk} &= 16060,28 \text{ kg/roda} \end{aligned}$$

e. Beban pedestrian (TP)

$$q = 500 \text{ kg/m}^2$$

f. Beban rem (TB)

$$M_{TB} = 45749,23 \text{ kg.m}$$

g. Beban angin (Ew)

$$\begin{aligned} P_{D-\text{Tekan}} &= 7358,595 \text{ kg/buhul} \\ P_{D-\text{Hisap}} &= 3679,298 \text{ kg/buhul} \end{aligned}$$

h. Beban angin pada kendaraan (EWi)

$$EWi = 730 \text{ kg/titik}$$

i. Beban temperature

$$\Delta T = 25^{\circ}\text{C}$$

Perencanaan struktur atas Jembatan Tua Kali Metro Kepanjen dilaksanakan dengan berpedoman pada SNI 1725:2016 sebagai acuan pembebanan jembatan dan RSNI T-03-2005 sebagai pedoman perencanaan struktur baja jembatan. Berdasarkan ketentuan tersebut, ditentukan dimensi serta spesifikasi setiap elemen pada sistem rangka baja tipe Warren Truss. Elemen yang dirancang meliputi pelat lantai, gelagar memanjang, gelagar melintang, rangka utama, ikatan angin, detail sambungan, dan komponen pendukung lainnya. Uraian mengenai hasil perencanaan masing-masing elemen disampaikan pada bab hasil dan pembahasan.

Perencanaan Pelat Lantai

Pelat lantai jembatan direncanakan sebagai elemen yang berfungsi menerima beban kendaraan dan menyalurkannya ke gelagar memanjang. Berdasarkan hasil perencanaan diperoleh spesifikasi pelat lantai sebagai berikut.

Tebal pelat	: 200 mm
Mutu beton	: f_c' 30 MPa
Mutu baja	: f_y 400 MPa
Tulangan pokok	: D13-100
Tulangan susut	: D13-200

Perencanaan Gelagar Memanjang

Gelagar memanjang (*stringer*) berfungsi menyalurkan beban dari pelat lantai menuju gelagar melintang. Berdasarkan hasil perencanaan, diperoleh dimensi dan spesifikasi gelagar memanjang sebagai berikut.

Profil	: WF 700.300.13.24
Mutu baja	: BJ37
L	: 6,8 m
Lebar efektif pelat	: 2250 mm
Shear connector	: Ø16-210 mm

Perencanaan Gelagar Melintang

Gelagar melintang (*cross beam*) berfungsi meneruskan beban dari gelagar memanjang menuju rangka utama. Hasil perencanaan gelagar melintang sebagai berikut.

Profil	: WF 900.300.18.34
Mutu baja	: BJ37
L	: 9 m

Perencanaan Rangka Utama

Rangka utama (*main truss*) merupakan komponen utama yang berfungsi menahan dan mendistribusikan beban menuju sistem tumpuan. Berdasarkan hasil perencanaan, profil yang digunakan pada setiap elemen rangka sebagai berikut.

Batang struktur atas	: WF 400.400.13.21
Batang struktur bawah	: WF 400.400.13.21

Batang diagonal	: WF 400.400.13.21
Ikatan angin	: WF 250.250.14.14
Ikatan angin ujung	: WF 400.400.20.35
Mutu baja	: BJ37

Perencanaan Sambungan

Perencanaan sambungan baut dilakukan untuk memastikan setiap elemen struktur baja terhubung secara aman dan mampu menyalurkan gaya sesuai dengan beban rencana. Spesifikasi sambungan baut yang digunakan pada masing-masing elemen struktur disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7 Perencanaan Sambungan Baut

Elemen	Mutu Baut	Diameter Baut	Tebal Pelat buhul	Jumlah Baut
Batang struktur atas	A325	30 mm	20 mm	44 buah
Batang struktur bawah	A325	30 mm	20 mm	34 buah
Batang diagonal	A325	30 mm	20 mm	20 buah
Ikatan angin	A325	20 mm	20 mm	4 buah
Ikatan angin ujung	A325	20 mm	20 mm	4 buah

Berdasarkan Tabel 7, seluruh elemen struktur menggunakan baut mutu A325 dengan spesifikasi yang disesuaikan terhadap kebutuhan masing-masing elemen. Perbedaan jumlah baut pada setiap sambungan menunjukkan variasi kebutuhan kapasitas sambungan dalam menyalurkan gaya yang bekerja, sehingga sambungan yang direncanakan diharapkan mampu memenuhi persyaratan kekuatan dan kinerja struktur.

Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) disusun untuk memperkirakan total biaya yang diperlukan dalam pelaksanaan pekerjaan perencanaan ulang struktur atas Jembatan Tua Kali Metro. Perhitungan RAB dilakukan berdasarkan volume pekerjaan, analisis harga satuan pekerjaan (AHSP), serta harga satuan bahan, upah, dan peralatan yang berlaku. Komponen pekerjaan yang dihitung meliputi pekerjaan pembongkaran, pekerjaan persiapan, pekerjaan struktur baja, pekerjaan struktur beton, dan pekerjaan perkerasan aspal. Selain itu, perhitungan juga mencakup pajak pertambahan nilai (PPN) sehingga diperoleh total biaya konstruksi yang direncanakan. Hasil perhitungan RAB disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Rencana Anggaran Biaya

No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan	Jumlah Harga	No	Uraian Pekerjaan	Satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan	Jumlah Harga
1	PEKERJAAN BONGKARAN					2	Baja Tulangan	kg	15609	Rp 20.188,99	Rp 315.129.905,89
1	Pembongkaran Beton Struktur Eksisting	m3	104,06	Rp 194.837,50	Rp 20.274.790,25	3	Beton Lantai Jembatan F'c 30 MPa	m3	90	Rp 2.343.880,00	Rp 210.949.200,00
2	Bongkaran Keluar Lokasi	m3	104,06	Rp 57.310,00	Rp 5.963.678,60	4	Beton Trotoar Jembatan F'c 20 MPa	m3	20	Rp 2.126.740,00	Rp 42.534.800,00
										Jumlah	Rp 570.629.026,14
					Jumlah						
					Rp 26.238.468,85						
I	PEKERJAAN PERSIAPAN					V	PEKERJAAN PERKERASAN ASPAL				
1	Mobilisasi dan Demobilisasi Alat Berat	LS	1	Rp24.349.500,00	Rp 24.349.500,00	1	Lapis Resap Perekat - Aspal Emulsi (Tack Coat)	Liter	122,5	Rp 113.551,90	Rp 13.910.107,75
2	Komponen Rangka Baja Utama	LS	1	Rp34.685.000,00	Rp 34.685.000,00	2	Laston Lapis Aus (AC-WC)	Ton	40,25	Rp 1.432.857,25	Rp 57.672.504,31
3	Pengukuran Kembali & Pemasangan As (Setting Out)	m'	50	Rp 93.450,00	Rp 4.672.500,00					Jumlah	Rp 71.582.612,06
4	Pembersihan Lapangan & Pembuatan Stockyard	m2	500	Rp 19.325,00	Rp 9.662.500,00	A	Jumlah Harga Konstruksi				Rp 14.534.960,09
					Jumlah	B	Pajak Pertambahan Nilai (PPN)				Rp 1.598.845.610,44
					Rp 73.369.500,00	C	Total Biaya Konstruksi (A+B)				Rp 16.133.805.705,40
I	PEKERJAAN STRUKTUR BAJA					D	Dibulatkan				Rp 16.150.000,00
1	Pengadaan Baja WF 700.300.13.24	Kg	46250	Rp 71.225,00	Rp 3.294.156.250,00						
2	Pengadaan Baja WF 900.300.18.34	Kg	23166	Rp 71.225,00	Rp 1.649.998.350,00						
3	Pengadaan Baja WF 400.400.13.21	Kg	60870,8	Rp 71.225,00	Rp 4.335.522.730,00						
4	Pengadaan Baja WF 250.250.14.14	Kg	11047,68	Rp 71.225,00	Rp 786.871.008,00						
5	Pengadaan Baja WF 400.400.20.35	Kg	5094	Rp 71.225,00	Rp 362.820.150,00						
6	Upah Pemasangan / Ereksi Rangka Baja	Kg	14642,84	Rp 12.210,00	Rp 1.787.891.740,80						
7	Pengadaan & Pemasangan Baut Mutu Tinggi D30	Buah	3600	Rp 106.192,63	Rp 382.293.450,00						
8	Pengadaan & Pemasangan Baut Mutu Tinggi D20	Buah	224	Rp 92.189,63	Rp 20.650.476,00						
9	Pengadaan & Pemasangan Pelat Sambung (Gusset)	Kg	25103,148	Rp 40.654,63	Rp 1.020.559.080,38						
10	Pengecatan Akhir Lapangan (Touch-Up Coating)	m2	2233,28	Rp 68.230,25	Rp 152.377.252,72						
					Jumlah						Rp 13.793.140.487,90
I	PEKERJAAN STRUKTUR BETON										
1	Pengadaan dan Pemasangan Shear Connector/Stud	Buah	65	Rp 31.001,85	Rp 2.015.120,25						

Berdasarkan Tabel 8, diperoleh total biaya konstruksi untuk pekerjaan perencanaan ulang struktur atas Jembatan Tua Kali Metro sebesar Rp16.150.000.000,00 setelah memperhitungkan seluruh komponen pekerjaan dan Pajak Pertambahan Nilai (PPN). Dari hasil perhitungan tersebut diketahui bahwa pekerjaan struktur baja merupakan komponen dengan nilai biaya terbesar, diikuti oleh pekerjaan struktur beton, perkerasan aspal, persiapan, dan pembongkaran.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perencanaan ulang struktur atas Jembatan Tua Kali Metro Kepanjen menggunakan rangka baja tipe *Warren Truss*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Struktur atas Jembatan Tua Kali Metro Kepanjen berhasil direncanakan ulang menggunakan sistem rangka baja tipe *Warren Truss* dengan bentang 50 m, lebar 9 m, dan tinggi rangka 6 m.
2. Berdasarkan hasil *preliminary design*, struktur atas Jembatan Tua Kali Metro profil yang digunakan terdiri dari balok memanjang (*stringer*) WF 700.300.13.24, balok melintang (*cross beam*) WF 900.300.18.34, rangka utama (*truss*) WF 400.400.13.21, ikatan angin WF 250.250.14.14, dan ikatan angin ujung WF 400.400.20.35. Dimensi dan konfigurasi tersebut telah

memenuhi ketentuan perencanaan struktur baja jembatan yang berlaku.

3. Berdasarkan hasil perhitungan volume pekerjaan, Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP), dan Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) Kabupaten Malang Tahun Anggaran 2026, diperoleh Rencana Anggaran Biaya (RAB) pekerjaan struktur atas Jembatan Tua Kali Metro sebesar Rp16.150.000.000,00 (enam belas miliar seratus lima puluh juta rupiah). Nilai tersebut merupakan estimasi biaya yang diperlukan untuk pelaksanaan pekerjaan struktur atas jembatan sesuai dengan desain yang telah direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Alvien Saher Gaza Provanda, Nawir Rasidi, Wahiddin, 2024. Perencanaan Struktur Jembatan Prategang Profil I Girder Pada Jembatan Lembah Dieng Kota Malang. JOS-MRK, Volume 5, pp. 110-117.
- 2) Badan Standarisasi Nasional, 2005. RSNI T-03-2005 Perencanaan struktur baja untuk jembatan. Jakarta: BSN.
- 3) Badan Standarisasi Nasional, 2016. SNI 1725:2016 Pembebanan untuk jembatan. Jakarta: BSN.
- 4) Badan Standarisasi Nasional, 2016. SNI 2833:2016 Pembebanan jembatan terhadap beban gempa. Jakarta: BSN.
- 5) Direktorat Jenderal Bina Konstruksi, 2023. Tata Cara Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. s.l.:s.n.
- 6) Direktorat Jenderal Bina Marga, 1992. Tata Cara Perencanaan Teknik Jembatan. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- 7) Fadillah, F., 2024. Komparasi Perencanaan Jembatan Rangka Baja Tipe Warren Dengan Standar Jembatan Rangka No. 07/BM/2005. JURNAL TEKNOLOGI SIPIL, Volume 8, p. 2.
- 8) Fathurahman, 2022. Perencanaan Jembatan Kiringan Menggunakan Rangka Baja Tipe Warren. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia .
- 9) Ketchum, M. S., 1949. Design of Highway Bridges. New York: Hill Book Company.
- 10) Kusuma, 2020. Perencanaan Struktur Jembatan Rangka Baja Bentang 60. Jakarta: Universitas Gunadarma.
- 11) Manu, A. I., 1995. In: Dasar-Dasar Perencanaan Jembatan. Yogyakarta: Beta Offset, p. 9.
- 12) Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat , 2023. No. 8 Tahun 2023 Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. s.l.:s.n.
- 13) Perbup No. 10 Tahun 2025, 2025. Standar Harga Satuan Tahun Anggaran 2026. Kabupaten Malang, Jawa Timur: s.n.
- 14) Struyk, J. V. D. V., 1984. Jembatan. Jakarta: Pradnya Paramita.
- 15) Supriyadi, B., 2007. Jembatan. Yogyakarta: Beta Offset.
- 16) Syaidinai, 2023. Perencanaan Struktur Jembatan Rangka Baja dengan Bentang 62 Meter Tebat Gheban Kota Pagar Alam. Bering's, Volume 8.