



Terbit *online* pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Kajian Kapasitas Struktur Atas Jembatan Rangka Baja Eksisting Berdasarkan Standar Pembebanan SNI 1725:2016 Menggunakan MIDAS Civil (Studi Kasus: Jembatan Sungai Kembang Luar Kecamatan Bantan)

Dedi Enda^a, Roma Dearni^b, Yessy Susanti^c

^{a,b,c}Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Bengkalis, Jl. Bathin Alam, Sungai Alam, Bengkalis, Riau - Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 11 Juni 2026

Revisi Akhir: 29 Juni 2026

Diterbitkan Online: 29 Juni 2026

KATA KUNCI

Jembatan Rangka Baja

Kapasitas Struktur

SNI 1725:2016

Lendutan

MIDAS *Civil*

KORESPONDENSI

Telepon: -

E-mail: romadearni@polbeng.ac.id

ABSTRACT

Jembatan Kembang Luar merupakan sarana transportasi penting yang menghubungkan Desa Pambang dengan Desa Teluk Lancar di Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau. Jembatan rangka baja yang dibangun pada tahun 2003 ini memerlukan evaluasi berkala untuk memastikan kapasitas dan kelayakan strukturalnya masih memadai. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kapasitas dan kinerja daya layan struktur Jembatan Rangka Baja Sungai Kembang Luar berdasarkan kondisi eksisting, mengacu pada SNI 1725:2016 dan klasifikasi jalan yang berlaku. Material baja diasumsikan bertipe BJ-55 dengan tegangan leleh 460 MPa karena tidak tersedia data pengujian aktual maupun dokumen as-built. Pemodelan dan pengecekan kapasitas dilakukan menggunakan MIDAS *Civil* dengan metode LRFD, mencakup beban mati, beban hidup (lajur "D" dan truk "T" 9 ton), beban angin, dan beban gempa. Hasil analisis lendutan akibat beban truk 9 ton menunjukkan nilai 87,06 mm (Daya Layan 1), 98,43 mm (Daya Layan 2), 93,04 mm (Daya Layan 3), dan 83,01 mm (Daya Layan 4), seluruhnya melampaui batas izin $L/800 = 75$ mm. Pengecekan kapasitas penampang menunjukkan sejumlah elemen menghasilkan rasio demand/capacity (R_{max}) $> 1,000$. Disimpulkan bahwa jembatan tidak memenuhi persyaratan batas daya layan (*serviceability limit state*) ditinjau dari lendutan, dan terdapat elemen yang tidak memenuhi kapasitas penampang berdasarkan SNI 1725:2016. Diperlukan evaluasi lanjutan, perbaikan struktural, dan pengujian material aktual.

1. PENDAHULUAN

Jembatan Kembang Luar adalah satu dari beberapa jenis transportasi sebagai penghubung antara Desa Pambang menuju Desa Teluk Lancar di Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau. Jembatan ini memudahkan akses transportasi antara desa, yang sebelumnya hanya bisa dijangkau melalui transportasi laut. Jembatan Kembang Luar yang terletak di sungai kembang kecamatan Bantan di bangun pada tahun 2003.

Kondisi aktual Jembatan Sungai Kembang Luar menunjukkan indikasi kerusakan visual pada elemen struktur utama, seperti korosi pada profil baja, deformasi

lokal pelat lantai, serta kehilangan ketebalan material akibat pengaruh lingkungan. Selain itu, keterbatasan riwayat pemeliharaan dalam lima tahun terakhir dan tingginya volume kendaraan berat yang melebihi beban rencana menegaskan perlunya evaluasi kapasitas dan kinerja daya layan struktur secara komprehensif melalui pemodelan numerik. Penurunan kualitas jembatan salah satunya akibat beban kendaraan yang berlebih sehingga menyebabkan kerusakan pada elemen struktur jembatan. Kelebihan beban (*overloading*) merupakan faktor dominan yang berkontribusi terhadap percepatan kerusakan dan kegagalan struktural pada jembatan [1]. Oleh sebab itu, evaluasi kapasitas dan kinerja daya layan struktur jembatan

perlu dilakukan secara berkala guna memastikan bahwa jembatan tetap mampu beroperasi secara optimal serta memenuhi persyaratan keselamatan. Dalam pelaksanaannya, analisis kapasitas dan kinerja daya layan dilakukan melalui pemodelan struktur jembatan dengan menerapkan berbagai jenis pembebanan, termasuk pembebanan standar berdasarkan SNI 1725:2016 serta pembebanan yang disesuaikan dengan kelas jalan yang berlaku [2].

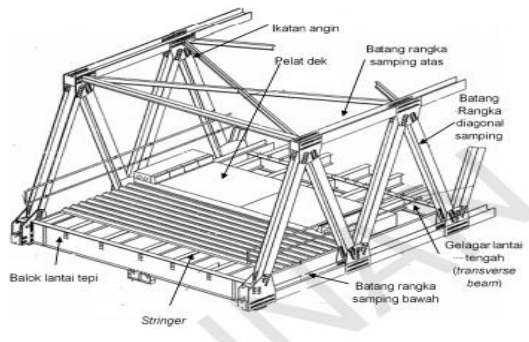
Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kapasitas dan kinerja daya layan struktur Jembatan Kembang Luar berdasarkan kondisi eksisting, sesuai ketentuan pembebanan Standar Nasional Indonesia 1725:2016 serta pembebanan berdasarkan kelas jalan yang berlaku, menggunakan perangkat lunak MIDAS *Civil*. Melalui analisis tersebut, dapat diperoleh informasi mengenai besarnya lendutan yang terjadi terhadap batas izin lendutan layan (*serviceability limit state*) serta kecukupan kapasitas penampang elemen struktur jembatan eksisting dalam menahan kombinasi beban yang bekerja.

Dalam penelitian ini, mutu material baja pada struktur jembatan diasumsikan mengacu pada standar baja rangka bangunan atas jembatan kelas B karena tidak tersedia data hasil pengujian material aktual maupun dokumen as-built, sehingga nilai kuat leleh dan kuat tarik yang digunakan merupakan parameter asumsi untuk keperluan analisis. Hal ini menjadi salah satu batasan dalam penilaian kinerja daya layan dan kapasitas penampang yang dihasilkan penelitian ini.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Jembatan Rangka

Truss bridge merupakan salah satu jenis jembatan yang memanfaatkan sistem rangka berbentuk segitiga, umumnya terbuat dari material baja, untuk menahan beban dan menjaga stabilitas struktur. Struktur ini terdiri atas sejumlah batang yang saling terhubung melalui pelat buhul (*gusset plate*) dengan menggunakan paku keling, baut, maupun sambungan las. Batang-batang penyusun rangka tersebut berfungsi sebagai elemen utama yang menerima dan menyalurkan gaya aksial berupa gaya tarik maupun gaya tekan.



Gambar 1. Komponen-komponen struktur jembatan rangka batang standar.
(Sumber: SNI 1725:2016)

Dalam studi Peningkatan Kapasitas Jembatan Tipe Struktur Baja Berdasarkan Evaluasi Situasi yang ada hasil pengamatan lapangan, Jembatan Kuala Sambo yang termasuk dalam kategori jalan kelas C sering dilintasi oleh kendaraan dengan muatan yang melebihi batas beban yang diizinkan untuk kelas jalan tersebut [3]. Selain itu, ditemukan beberapa indikasi kerusakan pada struktur jembatan, antara lain keretakan pada bagian abutmen serta korosi yang terjadi pada sebagian elemen ikatan angin di bagian bawah jembatan. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya dilakukan evaluasi dan analisis struktur jembatan menggunakan perangkat lunak SAP2000 dengan menerapkan pembebanan sesuai ketentuan SNI 1725:2016 guna menilai kapasitas dan kinerja struktur terhadap beban yang bekerja [2].

Evaluasi kinerja struktur jembatan rangka baja difokuskan pada pemenuhan kapasitas elemen terhadap gaya dalam yang bekerja serta pemenuhan kriteria batas layanan, khususnya lendutan. Pembebanan jembatan dalam penelitian ini mengacu pada ketentuan SNI 1725:2016, yang mengatur beban mati, beban lalu lintas, serta kombinasi pembebanan untuk kondisi layan dan ultimit, di mana batas lendutan pada kondisi layan dibatasi sebesar $L/800$ untuk menjamin kenyamanan dan keamanan pengguna jembatan [2].

Penerapan standar pembebanan terbaru sering menunjukkan peningkatan tuntutan beban dibandingkan standar sebelumnya, sehingga jembatan rangka baja eksisting perlu dievaluasi ulang untuk memastikan kapasitas dan kinerja strukturnya masih memenuhi persyaratan. Penelitian oleh Karin Amalia dan Nugroho menunjukkan bahwa pada jembatan rangka baja eksisting dengan intensitas kendaraan berat yang tinggi, beberapa batang diagonal mengalami rasio tegangan melebihi batas aman, sehingga diperlukan penguatan struktur [4]. Sementara itu, Saputra melaporkan bahwa evaluasi jembatan rangka baja menggunakan metode *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) dengan pembebanan SNI 1725:2016 menunjukkan kinerja struktur masih memenuhi persyaratan kapasitas dan batas lendutan yang diizinkan [5].

Dalam penelitian Analisis Kemampuan Jembatan Rangka Baja Austria Tipe A60 Menggunakan Perangkat Lunak MIDAS *Civil* (Studi Kasus Jembatan Pintu Air Sepuluh) menganalisis kapasitas struktur Jembatan Pintu Air Sepuluh yang merupakan jembatan baja dengan sistem rangka tipe Austria A60. Meningkatnya volume lalu lintas, terjadinya kemacetan pada ruas jembatan, serta adanya kendaraan dengan muatan yang melebihi kapasitas rencana menimbulkan kekhawatiran terhadap kinerja dan keamanan struktur jembatan. Oleh karena itu, dilakukan evaluasi terhadap kondisi struktur melalui pemodelan dan analisis menggunakan perangkat lunak MIDAS *Civil*. Pemodelan tersebut digunakan untuk menilai kemampuan

struktur dalam menahan beban yang bekerja serta mengevaluasi tingkat keamanan jembatan terhadap kondisi operasional yang ada [6].

Pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak analisis struktur seperti MIDAS Civil dan SAP2000 merupakan pendekatan yang umum digunakan dalam evaluasi jembatan rangka baja eksisting. Pemodelan dilakukan dengan merepresentasikan geometri struktur, properti material, kondisi perletakan, serta pembebanan sesuai standar yang berlaku untuk memperoleh gaya aksial, rasio tegangan elemen, dan lendutan struktur sebagai dasar penilaian kinerja struktur terhadap kondisi layan dan ultimit [5], [7].

2.2. Pembebanan Jembatan

Penentuan beban pada jembatan merupakan bagian penting dalam analisis struktur untuk mengevaluasi gaya-gaya yang bekerja, di mana jenis dan besarnya bergantung pada sistem struktur, pengaruh lingkungan, serta tuntutan fungsi dan tingkat pelayanan jembatan.

2.2.1. Beban Mati

Beban permanen yang bekerja pada jembatan mencakup kontribusi jumlah berat seluruh elemen penyusun struktur, baik elemen struktural maupun elemen nonstruktural. Besarnya beban yang ditimbulkan oleh masing-masing elemen diperoleh berdasarkan hasil perkalian massa jenis material dengan nilai percepatan gravitasi. Parameter kerapatan massa dan berat isi berbagai material yang digunakan sebagai dasar perhitungan dicantumkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai berat satuan material dalam analisis beban permanen

No	Bahan	Berat isi (kN/m ³)	Kerapan massa (kN/m ³)
1	Lapis permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,0	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8-22,7	1920-2315
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25-19,6	1250-2000
7	Beton $f'_c < 35$ MPa	22,0-25,0	2320
	$35 < f'_c < 105$ MPa	$22 + 0,022 f'_c$	$2240 + 2,29 f'_c$
8	Baja (<i>steel</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

(Sumber : SNI 1725:2016)

a. Beban Sendiri

Beban sendiri merupakan komponen beban permanen yang berasal dari berat seluruh elemen penyusun struktur jembatan beserta komponen lain yang secara langsung ditopang oleh struktur tersebut. Beban ini mencakup kontribusi berat material, elemen utama struktur, serta komponen nonstruktural permanen yang terintegrasi dengan sistem struktur. Ketentuan mengenai faktor beban

untuk berat sendiri mengacu pada nilai yang dicantumkan dalam Tabel 2

Tabel 2. Nilai faktor beban pada berat sendiri struktur

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ^S)MS		Keadaan Batas Ultimit (γ^U)MS	
	Bahan	Biasa	Terkurangi	
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

(Sumber : SNI 1725:2016)

b. Beban mati tambahan/utilitas (MA)

Beban mati tambahan didefinisikan sebagai beban permanen yang berasal dari elemen nonstruktural pada jembatan. Nilainya dapat berubah selama umur pelayanan struktur akibat penambahan, penggantian, atau penurunan kondisi komponen. Faktor beban untuk beban mati tambahan mengacu pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai faktor beban pada beban mati tambahan

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ^S)MA		Keadaan Batas Ultimit (γ^U)MA	
	Keadaan	Biasa	Terkurangi	
Tetap	Umum	1,00(1)	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

Catatan (1): faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat ultinitas (Sumber : SNI 1725:2016)

c. Beban akibat pengaruh pelaksanaan

Beban akibat pelaksanaan konstruksi adalah beban yang muncul selama proses pembangunan jembatan sebagai akibat dari metode dan tahapan pekerjaan yang diterapkan. Dalam analisis struktur, beban ini dikombinasikan dengan beban lainnya menggunakan faktor pembebanan yang sesuai. Ketentuan faktor beban tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai faktor beban akibat pelaksanaan pekerjaan

Tipe beban	Faktor beban (γ_{PL})		
	Keadaan Batas Layan (γ^S) _{PL}		Keadaan Batas Ultimit (γ^U) _{PL}
		Biasa	Terkurangi
Tetap	1,00	1,00	1,00

(Sumber : SNI 1725:2016)

d. Beban akibat penyusutan dan rangkakan

Tabel 5. Nilai faktor beban untuk efek susut dan rangkakan menurut SNI 1725:2016

Tipe beban	Faktor Beban	
	Keadaan batas layan	Keadaan batas ultimit
Tetap	1,0	0,5

walaupun susut dan rangkakan bertambah lambat menurut waktu, tetapi pada akhirnya akan mencapai nilai yang konstan

(Sumber : SNI 1725:2016)

2.2.1. Beban Lalu lintas

Menurut SNI 1725:2016, pembebanan lalu lintas pada jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban kendaraan "T". Beban lajur "D" merepresentasikan pengaruh lalu lintas yang bekerja merata pada seluruh lebar jalur kendaraan, sedangkan beban kendaraan "T" dimodelkan sebagai kendaraan berat tiga gandar yang ditempatkan

pada posisi kritis untuk menghasilkan respons struktur maksimum [2].

a. *Beban lajur "D"*

Beban lajur "D" terdiri atas Beban Terbagi Rata (BTR) dan Beban Garis Terpusat (BGT), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pembebanan lajur "D" dalam analisis struktur menggunakan faktor beban yang nilainya tercantum pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai faktor beban pada pembebanan lajur "D"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban γ_{TD}	
		Keadaan Batas Layan (γ^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ^U)
Transien	Beton		1,80
	Boks Girder Baja		2,00

(Sumber : SNI 1725:2016)

Nilai q ditetapkan berdasarkan panjang total bentang (L) yang mengalami pembebanan.

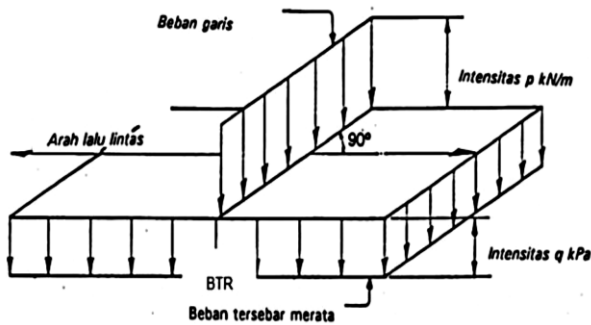
$$L \leq 30 \text{ m} : q = 9,0 \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$L > 30 \text{ m} : q = 9,0 (0,5 + 15/L) \text{ kPa} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

Q = nilai intensitas pembebanan merata yang bekerja searah dengan sumbu memanjang jembatan.

L = panjang total jembatan yang dibebani (m).



Gambar 2. Distribusi Pembebanan pada Lajur "D" (Sumber : SNI 1725:2016)

b. *Faktor Beban Dinamis*

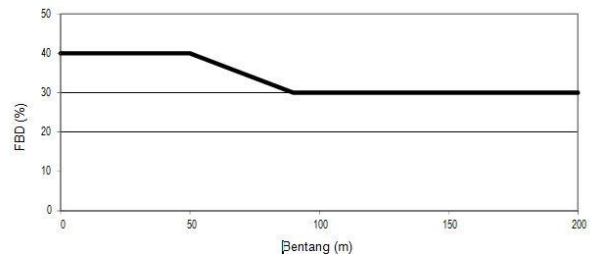
Faktor Beban Dinamis (FBD) adalah beban tambahan akibat interaksi dinamis antara kendaraan dan struktur jembatan, yang direpresentasikan sebagai beban statis ekuivalen dalam perencanaan. FBD diterapkan pada Beban Garis Terpusat (BGT) lajur "D" dan beban roda truk "T" sebagai tambahan terhadap beban statis, baik untuk kondisi batas layan maupun kondisi batas ultimit, sedangkan Beban Terbagi Rata (BTR) tidak diperhitungkan dalam penentuan FBD.

Nilai FBD ditujukan pada beban lajur "D" ditentukan berdasarkan panjang bentang ekuivalen. Pada bentang tunggal, nilai tersebut sama dengan panjang bentang aktual, sedangkan pada bentang menerus dihitung menggunakan persamaan yang telah ditetapkan :

$$L_E = \sqrt{L_{av} L_{max}}$$

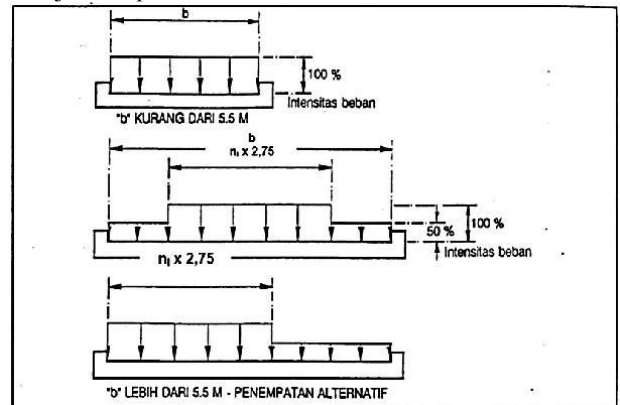
Keterangan :

- L_E panjang bentang ekuivalen (m)
- L_{av} panjang bentang rata-rata pada kelompok bentang yang terhubung secara menerus.
- L_{max} panjang bentang terpanjang dalam kelompok bentang yang disambungkan secara menerus.



Gambar 1. Faktor Beban Dinamis (FBD) pada Pembebanan Truk "T" dan Beban Lajur "D" (Sumber : SNI 1725:2016)

Momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus diperoleh dengan menempatkan BGT kedua yang identik pada posisi tertentu di bentang lainnya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.

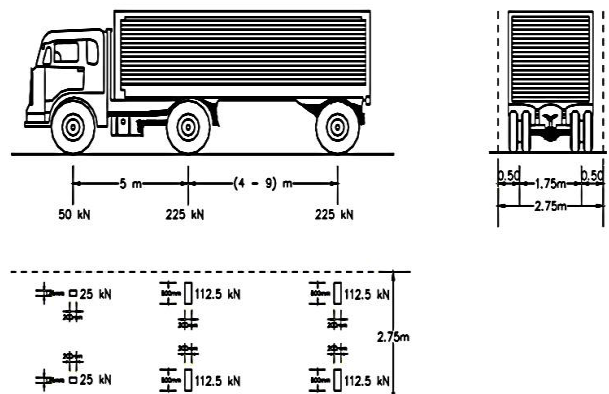


Gambar 2. Penyebaran pembebanan pada arah melintang (Sumber : SNI 1725:2016)

c. *Beban Truk "T"*

Selain beban lajur "D", perencanaan jembatan juga menggunakan beban truk "T" yang diterapkan secara terpisah. Pembebanan ini digunakan untuk mengevaluasi kapasitas struktur lantai jembatan terhadap kendaraan berat, dengan faktor beban yang tercantum pada Tabel 7. Tabel 7. Nilai faktor beban pada pembebanan truk "T"

Tipe beban	Jembatan	Faktor beban	
		Keadaan Batas Layan (γ^S)TT	Keadaan Batas Ultimit (γ^U)TT
Transien	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00



Gambar 3. Ilustrasi Pembebanan Truk "T" Total 500 kN (Sumber : SNI 1725:2016)

Beban truk "T" direpresentasikan sebagai kendaraan semi-trailer dengan konfigurasi dan besaran beban gandar yang telah ditetapkan. Beban pada setiap gandar didistribusikan menjadi dua beban merata yang menggambarkan bidang kontak antara roda kendaraan dan permukaan lantai jembatan. Jarak antar gandar dapat divariasikan dalam rentang 4,0 m hingga 9,0 m untuk menghasilkan kondisi pembebanan yang paling kritis terhadap struktur.

d. *Gaya Akibat Rem (TB)*

Besarnya gaya rem dalam perencanaan ditentukan berdasarkan nilai terbesar antara 25% berat gandar truk rencana dan 5% berat truk rencana yang ditambah dengan Beban Terbagi Rata (BTR). Gaya rem tersebut dimodelkan sebagai gaya horizontal ekuivalen yang bekerja searah sumbu memanjang jembatan akibat pengereman maupun traksi kendaraan. Analisis dilakukan untuk kedua arah lalu lintas dengan asumsi gaya bekerja pada elevasi 1.800 mm di atas permukaan jalan, sedangkan kondisi yang memberikan pengaruh paling tidak menguntungkan terhadap struktur digunakan sebagai kondisi rencana.

e. *Gaya Gempa*

Jembatan dirancang untuk meminimalkan risiko keruntuhan akibat gempa, meskipun kerusakan struktural dan gangguan layanan masih dapat terjadi. Beban gempa dinyatakan sebagai gaya horizontal yang dihitung dari perkalian koefisien respons elastik (C_{sm}) dan berat struktur ekuivalen, kemudian dimodifikasi dengan faktor respons (R) untuk memperoleh gaya gempa rencana. Persamaan yang digunakan ditunjukkan sebagai berikut:

$$EQ = \frac{C_{sm}}{R_d} \cdot W_t$$

Keterangan:

EQ adalah gaya gempa horizontal static (KN)

C_{sm} adalah koefisien respon gempa elastis

R_d adalah factor modifikasi respon

W_t adalah berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup yang sesuai.

2.2.3. *Beban Akibat Aksi Lingkungan*

a. *Umum*

SNI 1725:2016 menetapkan kecepatan angin dasar rencana sebesar 90–126 km/jam. Beban angin diasumsikan terdistribusi secara *uniform* pada seluruh komponen struktur yang terpapar angin dan dihitung berdasarkan luas bidang yang tegak lurus terhadap arah angin. Arah pembebanan perlu divariasikan untuk memperoleh kondisi yang menghasilkan pengaruh paling kritis terhadap struktur jembatan..

b. *Beban angin pada struktur (E_{ws})*

Perencana dapat menggunakan kecepatan angin dasar rencana yang berbeda untuk kombinasi beban tanpa pengaruh angin pada kendaraan. Arah angin diasumsikan horizontal, kecuali ditentukan lain dalam Pasal 9.6.3. Jika data rinci tidak tersedia, tekanan angin rencana dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$PD = PB \times \frac{VDZ}{VB}$$

Keterangan :

PB menyatakan tekanan angin dasar yang ditentukan sesuai nilai pada Tabel 8.

Tabel 8. 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

Beban angin harus menghasilkan gaya minimum sebesar 4,4 kN/mm pada sisi tekan, 2,2 kN/mm pada sisi hisap untuk struktur rangka dan pelengkung, serta 4,4 kN/mm untuk balok atau gelagar..

c. *Gaya angin pada kendaraan (E_{W1})*

Tekanan angin rencana harus diperhitungkan pada struktur jembatan dan kendaraan yang melintas. Gaya angin pada kendaraan diasumsikan sebesar 1,46 N/mm yang bekerja tegak lurus pada ketinggian 1.800 mm di atas permukaan jalan. Untuk arah angin yang tidak tegak lurus terhadap struktur, komponen gaya ditentukan berdasarkan Tabel 9 sesuai sudut serang kendaraan.

Tabel 9. Komponen tekanan angin 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)

Tabel 10. Kecepatan angin rencana (VW)

Keadaan Batas	Lokasi	
	Sampai 5 km dari pantai	>5 km dari pantai
Daya layan	30 m/s	25 m/s
Ultimit	35 m/s	30 m/s

(Sumber : SNI 1725:2016)

d. *Beban akibat gempa bumi*

Pengaruh gempa rencana hanya diperhitungkan pada kondisi batas ultimit. Besarnya beban gempa rencana minimum ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

TEQ = Gaya geser dasar total dalam arah yang ditinjau (KN)

Kh = Koefisien beban gempa horizontal

C = Koefisien geser dasar untuk daerah, waktu dan kondisi setempat yan sesuai

I = Faktor kepentingan

S = Faktor tipe bangunan

WT = Berat total nominal bangunan yang mempengaruhi percepatan gempa, diambil sebagai beban mati ditambah beban mati tambahan (KN).

2.3. *Kombinasi Pembebanan*

Aksi rencana dibedakan menjadi Beban tetap dan beban sementara, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 6, Kombinasi pembebanan umumnya disusun berdasarkan berbagai kemungkinan jenis aksi yang bekerja secara simultan pada struktur. Aksi rencana ditentukan berdasarkan hasil perkalian antara aksi nominal dan faktor beban yang sesuai.. Semua dampak dari rencana aksi harus mempertimbangkan faktor beban yang serupa, baik itu

dapat dilakukan atau diminimalkan. Di sini situasi yang paling berbahaya harus dihadapi.

2.3.1. Kombinasi beban pada keadaan batas layan

Kondisi batas daya layan digunakan dalam perencanaan struktur guna mengendalikan besaran tegangan, lendutan, dan lebar retak pada saat pembebanan layan, sehingga kinerja jembatan tetap memenuhi persyaratan fungsional sepanjang masa layan rencana.

2.3.2. Kombinasi beban rencana

Besarnya gaya total terfaktor untuk perencanaan struktur dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \sum \eta_i \gamma_i Q_i$$

Keterangan:

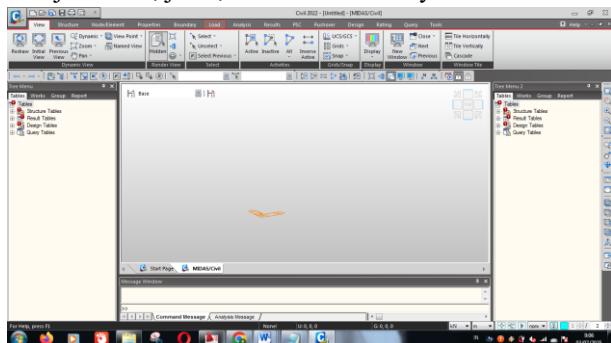
η_i = adalah faktor pengubah respon sesuai Persamaan 2 atau 3 pada SNI 1725:2016

γ_i = adalah faktor beban

Q_i = adalah gaya atau beban yang bekerja

2.4. Aplikasi MIDAS Civil

MIDAS *Civil* merupakan perangkat lunak analisis dan desain struktur yang digunakan dalam perencanaan berbagai infrastruktur sipil. Dengan berbagai fitur pemodelan dan analisis yang tersedia, perangkat lunak ini membantu insinyur sipil dalam merancang serta mengevaluasi struktur secara efektif dan akurat. Selain itu, MIDAS *Civil* menyediakan pemodelan infrastruktur sipil dalam konteks BIM (*Building Information Modeling*), memungkinkan pengguna merancang model 3D yang rinci dari jembatan, jalan, dan struktur lainnya.



Gambar 6. Aplikasi MIDAS *Civil*
(Sumber: SNI 1725:2016)

3. METODOLOGI

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan lokasi penelitian pada Jembatan Sungai Kambung di Kecamatan Bantan, Kabupaten Bengkulu.



Gambar 7. Lokasi jembatan kambung luar
(Sumber: Google Earth)



Gambar 8. Tampak jembatan kambung luar
(Sumber: Dokumentasi lapangan 2025)

3.2. Tahapan Penelitian

3.2.1. Studi literatur

Sebelum analisis dilakukan, terlebih dahulu perlu dilaksanakan studi literatur untuk memahami teori pembebanan jembatan serta ketentuan yang tercantum dalam SNI 1725:2016 [2].

3.2.2. Pengambilan data lapangan

Pengambilan data lapangan dilakukan untuk memperoleh data geometri dan kondisi aktual Jembatan Sungai Kambung Luar sebagai dasar pemodelan struktur pada MIDAS *Civil*, meliputi panjang bentang, lebar jembatan, tinggi rangka, dimensi profil baja (tinggi, lebar sayap, serta tebal badan dan sayap), dan tebal pelat lantai. Pengukuran dilakukan melalui survei langsung menggunakan meteran baja, *digital caliper*, dan *laser distance meter* pada elemen yang dapat diakses, dengan jumlah pengukuran minimal dua titik untuk setiap tipe elemen utama guna memastikan konsistensi data, hal ini dapat dilihat pada gambar 9 pengukuran dimensi jembatan. Data pendukung berupa kelas jalan dan karakteristik lalu lintas diperoleh melalui observasi lapangan dan dokumen resmi, sehingga data geometri dan kondisi struktur yang digunakan dalam analisis memiliki tingkat keandalan yang memadai.



Gambar 9. Pengukuran Dimensi Rangka Atas
(Sumber: Dokumentasi lapangan)

3.2.3. Pemodelan Struktur di MIDAS Civil

Pada tahap ini, pemodelan struktur atas jembatan rangka baja mengikuti langkah-langkah berikut ini:

a. Pendefinisian Material

Pada langkah ini, Pemodelan struktur jembatan pada MIDAS *Civil* dilakukan dengan mengasumsikan elemen rangka baja sebagai frame element yang bekerja dominan menahan gaya aksial, sambungan buhul dimodelkan sebagai sendi, dan perletakan berupa kombinasi sendi-rol

sesuai kondisi lapangan, dengan pembagian elemen yang memadai untuk menangkap respons struktur secara akurat. Analisis yang digunakan adalah analisis statik linier dengan pembebanan mengacu pada SNI 1725:2016, sedangkan properti material baja didefinisikan sebagai material isotropik berdasarkan parameter standar, dan evaluasi kapasitas struktur dilakukan melalui pemeriksaan batas lendutan layanan serta rasio tegangan pada kondisi batas ultimit.

b. Pendefinisian Section, Nodal, Element, Boundary

Langkah ini terdiri dari beberapa bagian utama:

- 1) **Section:** Mendefinisikan bentuk dan ukuran penampang struktur, misalnya balok, kolom, pelat, atau dinding. Penampang ini dapat berupa penampang persegi panjang, I-beam, atau bentuk lainnya yang sesuai. Pemasukan section untuk pengukuran penampang struktur.
- 2) **Nodal:** Mendefinisikan posisi titik simpul atau nodal dalam struktur. Nodal adalah titik tempat pertemuan elemen-elemen struktur. Membuat node yang akan menjadi titik awal dan akhir elemen.
- 3) **Element:** Menyusun elemen-elemen yang menghubungkan nodal. Elemen-elemen ini bisa berupa balok, kolom, pelat, dan sebagainya, yang menggambarkan komponen-komponen struktural. Pembuatan elemen yang dapat menghubungkan untuk membentuk elemen pelat.
- 4) **Boundary:** Menentukan kondisi batas pada struktur. *Boundary condition* yang digunakan dalam pemodelan MIDAS Civil ditetapkan untuk merepresentasikan kondisi perletakan aktual jembatan. Perletakan jepit diterapkan pada ujung abutmen tetap dengan mengekang seluruh derajat kebebasan translasi (D_x , D_y , D_z) dan rotasi (R_x , R_y , R_z). Perletakan sendi diterapkan pada tumpuan ujung jembatan dengan mengekang seluruh translasi (D_x , D_y , D_z) namun membebaskan semua rotasi (R_x , R_y , R_z), sehingga struktur dapat berotasi bebas di titik tumpuan. Perletakan rol diterapkan pada tumpuan ujung jembatan di sisi berlawanan dengan mengekang translasi vertikal (D_z) dan lateral (D_y), namun membebaskan translasi longitudinal (D_x) dan seluruh rotasi (R_x , R_y , R_z), sehingga struktur dapat bergerak bebas ke arah memanjang akibat beban lalu lintas maupun pengaruh temperatur sesuai kondisi lapangan.

c. Penerapan Beban pada Struktur Jembatan Rangka Baja di Aplikasi MIDAS Civil

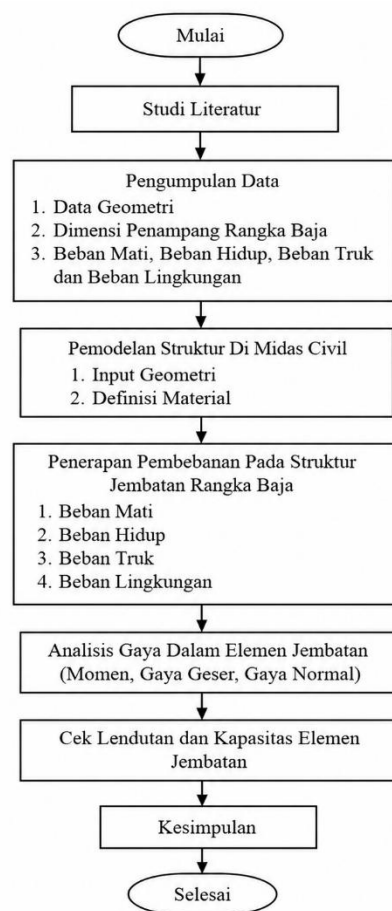
Pada tahap ini dilakukan perhitungan pembebanan jembatan berdasarkan SNI 1725:2016 yang dikorelasikan dengan kelas jalan yang direncanakan. Beban-beban yang akan diterapkan pada struktur selanjutnya diinput ke dalam model (*input load*), contohnya sebagai berikut:

- 1) **Beban mati (dead load),** yaitu beban yang berasal dari berat sendiri struktur.

- 2) **Beban hidup (live load),** yaitu beban yang bersifat berubah-ubah, seperti beban manusia, peralatan, perabot, maupun kendaraan.
- 3) **Beban truk,** yaitu pembebanan yang merepresentasikan pengaruh kendaraan berat terhadap struktur.
- 4) **Beban lingkungan,** yang mencakup beban angin, gempa, serta beban lain yang relevan.
- 5) **Pengguna harus menentukan jenis beban, pola distribusi beban, serta lokasi penerapan beban pada struktur** agar kondisi pembebanan dapat direpresentasikan secara akurat.

d. Analisis Gaya dalam, Cek Lendutan dan Cek Kapasitas pada Struktur Jembatan Rangka Baja di Aplikasi MIDAS Civil.

Setelah semua data dimasukkan, analisis struktur dijalankan menggunakan metode *finite element analysis* (FEA) pada MIDAS Civil untuk menghitung respons struktur terhadap beban yang diterapkan. Hasil analisis meliputi gaya dalam elemen (momen, gaya geser, dan gaya normal), deformasi struktur, serta tegangan, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja daya layan dan kapasitas penampang elemen jembatan.



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

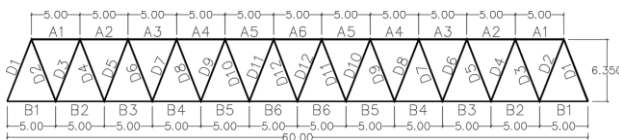
4.1. Pengumpulan data

4.1.1. Pengukuran geometri jembatan

Struktur geometri atas (jembatan rangka baja) memanfaatkan data pengukuran geometris yang diperoleh di lokasi. Geometri jembatan yang diukur dan dikonfirmasi mencakup ukuran, bentuk, serta posisi relatif dari berbagai komponen struktural jembatan. Informasi teknis yang ada mengenai jembatan adalah sebagai berikut:

- a. Panjang total jembatan : 60 meter
- b. jumlah jalur : 2 jalur
- c. lebar lantai kendaraan : 6.8 meter
- d. lebar trotoar : 50 cm
- e. tinggi trotoar : 25 cm
- f. tipe jembatan utama : rangka baja
- g. tinggi rangka jembatan : 6.35 meter
- h. lebar total bersih jembatan : 7.6 meter
- i. jarak antara gelagar memanjang : 1.5 meter
- j. jarak antara gelagar melintang : 5 meter

1) Pengukuran rangka samping



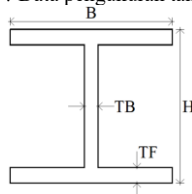
Gambar 11. Rangka Samping

(Sumber : Data pengukuran tahun 2025)



Gambar 12. Pengukuran Dimensi Rangka Samping

(Sumber : Data pengukuran tahun 2025)



Gambar 13. Profil Rangka Baja

(Sumber : Data pengukuran tahun 2025)

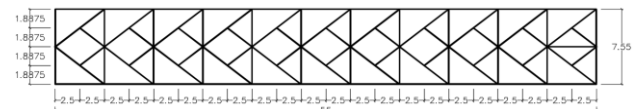
Tabel 11. Dimensi rangka samping (satuan mm)

Profil	H	B	TF	TB
End breasing	456	190	13,9	10,4
A1	401	400	13,1	13,3
A2	400	401	17,7	13,6
A3	402	402	22,8	15,9
A4	404	403	26,4	13,6
A5	401	403	25,5	13,6
A6	405	402	26	13
D1	400	350	36,8	14,4

Profil	H	B	TF	TB
D2	404	302	12,7	13,7
D3	402	299	16,6	14,2
D4	401	301	12,7	13
D5	404	300	13,2	13,5
D6	401	300	10,5	11,6
D7	401	300	11	11,6
D8	403	301	10,8	10,8
D9	404	300	11	11
D10	403	300	11	11
D11	404	300	11	11,6
D12	400	300	11	11,4
B1	403	400	16	14
B2	399	399	13	13,5
B3	402	398	21	13,9
B4	403	402	26	16,3
B5	403	400	29,5	22,6
B6	403	402	28,8	21

(Sumber : Data pengukuran tahun 2025)

2) Pengukuran rangka atas



Gambar 14. Rangka atas

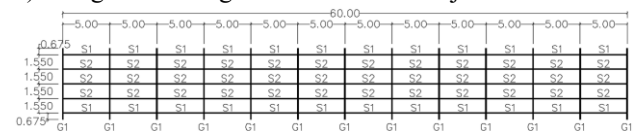
(Sumber : Data pengukuran tahun 2025)

Tabel 12. Data dimensi rangka atas (satuan mm)

Profil	H	B	TF	TB
Bresing M B1	260	145	9,5	5
Bresing silang	9,15	141,4	9,9	11,4
Bresing M B2	259	145	9,3	15
Bresing silang	101,4	149,4	11	9
Bresing M B3	260	146	10,9	31
Bresing silang	100,9	147,2	10	11
Bresing M B4	260	146	10	20
Bresing silang	100	151,6	9,6	10

(Sumber : Data pengukuran tahun 2025)

3) Pengukuran rangka bawah dan lantai jembatan



Gambar 15. Rangka Bawah Jembatan

(Sumber : Data pengukuran tahun 2025)

Tabel 13 Data dimensi rangka bawah (satuan mm)

Profil	H	B	TF	TB
G1	75,4	24,35	2,63	1,09
S1	415	201	8,8	9,5
S2	423	201	11,9	9

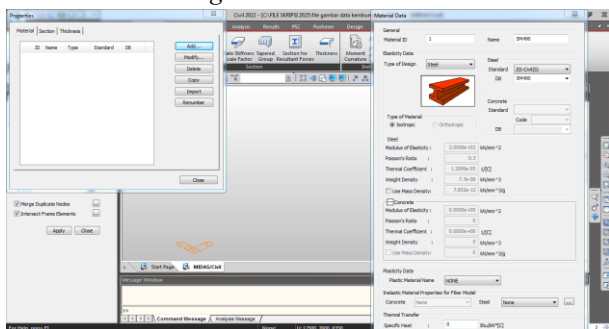
(Sumber : Data pengukuran tahun 2025)

4) Mutu baja

Kualitas material baja pada rangka baja jembatan di lapangan dianggap setara dengan kualitas baja standar rangka bangunan atas jembatan kelas B dari Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah Direktorat Bina Teknik No: 7/BM/2005. Seluruh elemen utama struktur jembatan menggunakan baja mutu SM 490 BJ55. Batang rangka, gelagar memanjang dan melintang, dek pelat gelombang, serta batang ikatan angin memiliki kuat tarik ultimit (f_u) sebesar 550 MPa dan kuat leleh (f_y) sebesar 460 MPa, sedangkan elemen batang lainnya menggunakan baja dengan (f_u) 510 MPa dan (f_y) 355 MPa.

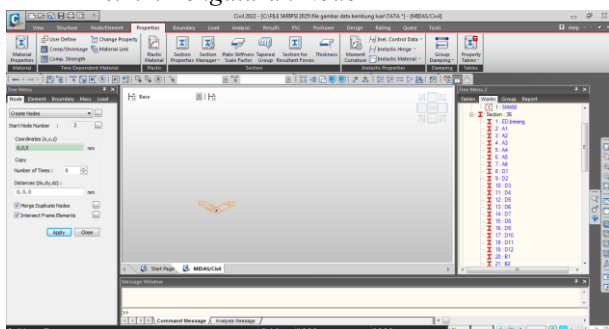
4.2. Pemodelan Struktur Rangka Baja Existing di Aplikasi Midas

4.2.1. Pengaturan Material dan Section



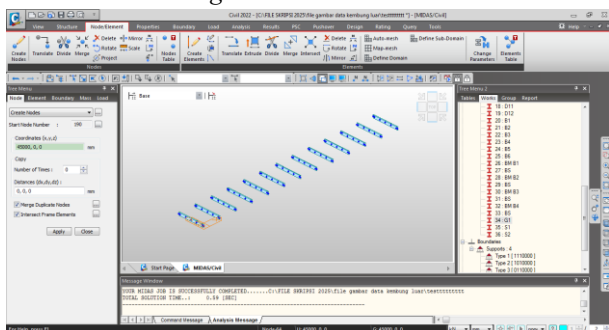
Gambar 16. Properties Material dan Section
(Sumber: Pengolahan Data 2025)

4.2.2. Pengaturan Node



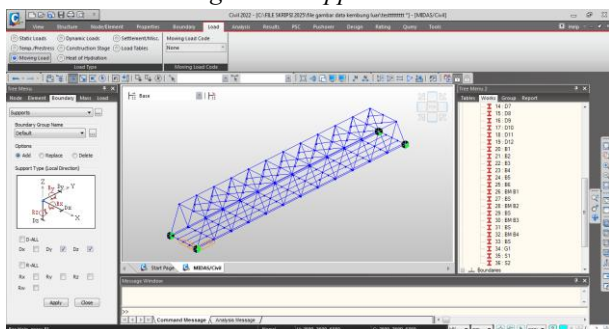
Gambar 17. Pengaturan node
(Sumber: Pengolahan Data 2025)

4.2.3. Pengaturan Elemen



Gambar 18. pengaturan elemen
(Sumber: Pengolahan Data 2025)

4.2.4. Pengaturan support



Gambar 19. Pengaturan Support
(Sumber: Pengolahan Data 2025)

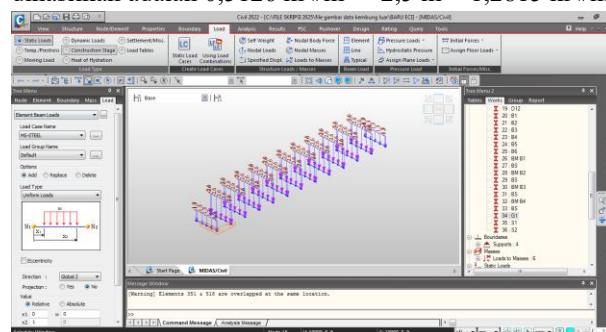
4.3. Perhitungan Pembebanan Existing

4.3.1. Beban mati (MS)

a. Beban mati (MS-Steel)

Faktor pengali Steel deck = 1,1
 Tebal steel deck(t) = 4,5 mm
 Berat/m² = 51,26 kg/m²
 = 0,5126 kN/m²

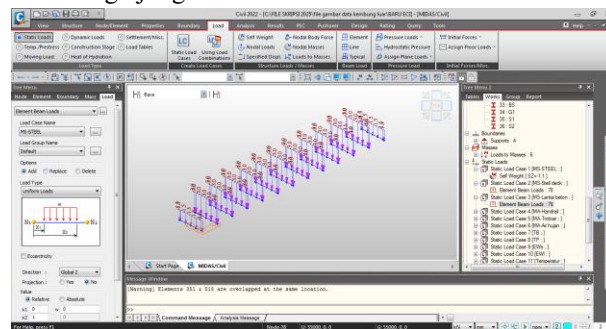
Untuk dimasukkan ke dalam model struktur sebagai beban garis pada gelagar, nilai tersebut dikalikan dengan lebar tributari masing-masing gelagar. Pada gelagar melintang tengah, lebar tributari yang bekerja sebesar 5,0 m, sehingga beban garis dihitung sebagai 0,5126 kN/m² × 5,0 m = 2,563 kN/m. Pada gelagar melintang ujung, lebar tributari yang bekerja sebesar 2,5 m, sehingga beban garis yang dihasilkan adalah 0,5126 kN/m² × 2,5 m = 1,2815 kN/m.



Gambar 20. Pembebanan steel deck
(Sumber: Pengolahan Data 2025)

b. Berat mati (MS-lantai beton)

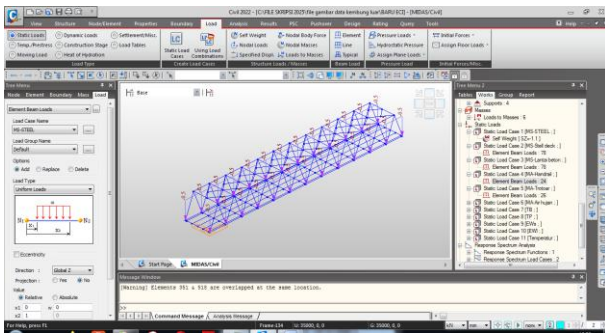
Berat jenis beton bertulang = 24 kN/m
 Tebal tepi = 22 cm
 Tebal tengah = 28 cm
 Tebal plat lantai (t) rata rata = 25 m
 Input MS-lantai beton pada gelagar di MIDAS melintang tengah = 24 kN/m
 melintang ujung = 12 kN/m



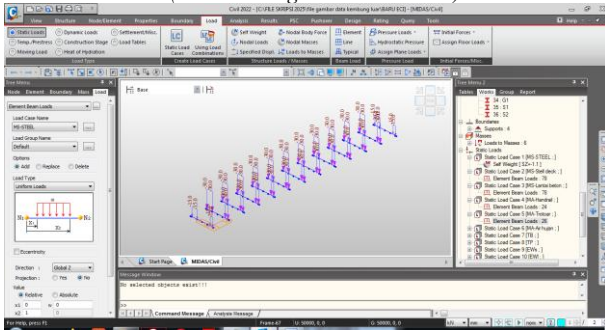
Gambar 21. penginputan beban lantai beton
(Sumber: Pengolahan Data 2025)

4.3.2. Beban mati nonstruktural

Handrail input pada gelagar memanjang ujung = 25,30 Kg/m
 = 0,253 kN/m
 Trotoar tinggi trotoar = 0,25 m
 Lebar trotoar = 0,50 m
 Input MA-Handrail pada gelagar di MIDAS Input pada gelagar melintang tengah = 30 kN/m
 Input pada gelagar melintang ujung = 15 kN/m



Gambar 22. pembebanan MA-Handrail
(Sumber: Pengolahan Data 2025)



Gambar 23. Pembebanan MA-trottoir
(Sumber: Pengolahan Data 2025)

4.3.3. Beban mati tambahan "MA"

Beban air hujan

Berat jenis air = 9,807 kN/m³

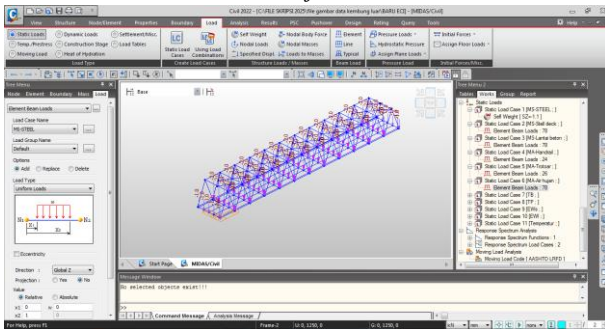
Tinggi rencana genangan air = 0,05 m

Input Beban (MA) pada gelagar di MIDAS

melintang tengah = 2,451 kN/m

melintang ujung = 1,225 kN/m

a. Pembebanan air hujan



Gambar 24. Pembebanan MA-air hujan
(Sumber: Pengolahan Data 2025)

4.3.4. Beban lajur "D" TD

Pengaruh beban

a. Beban terbagi rata (BTR)

Penentuan beban terbagi rata (BTR) didasarkan pada luas daerah pengaruh pembebanan yang ditetapkan dari jarak antar gelagar sebagai lebar tributari. Selain itu, besarnya beban BTR juga dipengaruhi oleh panjang bentang struktur jembatan. Formulasi matematis yang digunakan untuk menghitung beban terbagi rata dalam analisis ditunjukkan pada persamaan berikut:

1) Untuk bentang ($L_b \leq 30$ m, nilai q ditetapkan sebesar 9 kPa.

2) Untuk bentang ($L_b > 30$ m, nilai q dihitung dengan persamaan $q = 9 (0,5 + 15/L_b)$ kPa

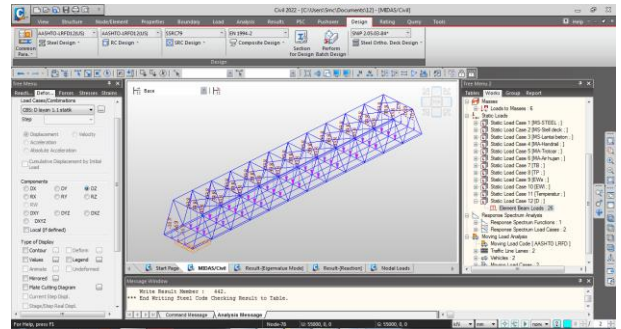
Karena bentang jembatan 60m, maka Beban terbagi rata, Q_{btr}

$$= 6,75 \text{ kPa}$$

Input BTR pada gelagar di MIDAS

melintang tengah = 33,75 kN/m

melintang ujung = 16,87 kN/m



Gambar 25. Pembebanan Lajur D
(Sumber: Pengolahan Data 2025)

b. Beban garis terpusat (BGT)

Beban lajur "D" terdiri atas BGT sebesar 49 kN/m yang dikombinasikan dengan Faktor Beban Dinamis (FBD), seperti berikut.:

Faktor beban dinamis FBD = 40 %

Beban garis = 49 kN/m

Beban garis pada 1 girder = 6,75

Input MIDAS moving load W = 24 kN/m

Input MIDAS moving load PL = 172 kN

4.3.5. Beban truk "TT"

Selain beban "D", digunakan pula beban truk "T" yang diterapkan secara terpisah. Pada MIDAS Civil, beban truk tersebut dimodelkan sesuai kelas jalan menuju jembatan dengan kapasitas beban sebesar 9 ton.

4.3.6. Beban Rem "TB"

a. 25% dari berat gandar truk desain diambil berdasarkan nilai berat gandar maksimum, dan dalam perhitungan ini digunakan beban pada gandar belakang.:

Berat gandar truk desain $W_T = 225$ kN

$TB_1 = 0,25 \times W_T = 56 \text{ kN} = 0,938 \text{ kN/m}$

b. 5% dari berat truk rencana ditambahkan terhadap beban lajur yang terdistribusi secara merata (BRT)

Beban satu truk rencana $P_T = 500$ kN

$TB_2 = 0,05 [P_T + Q_{BTR}] = 25 \text{ kN} = 0,422 \text{ kN/m}$

Diambil terbesar = 56,3 kN

Gaya REM = $TB_1 / \text{jumlah girder melintang}$

= 4,33 kN

Jumlah join pada gelagar = 5 join

Maka gaya rem yang bekerja pada join gelagar

= 0,86 kN

Gelagar Melintang Tengah

TB_{long} input pada gelagar melintang long
= 14,06 3 kN

MTB_{cross} input midas momen arah cross (My)
= 14,076 kN/m

Eccentricity = 1,8 m

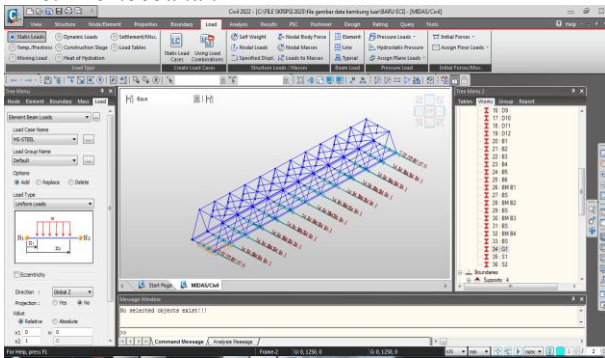
Gelagar Melintang Tepi

TB_{long} input pada gelagar melintang long
= 7,031 kN

MTB_{cross} input midas momen arah cross (My)
= 7,038 kN/m

Eccentricity = 1,8

c. Pembebanan TB



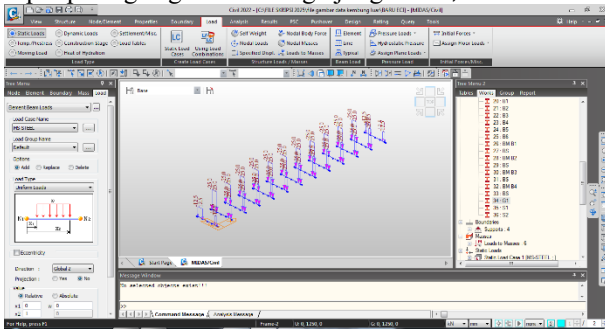
Gambar 26. Pembebanan TB
(Sumber: Pengolahan Data 2025)

4.3.7. Beban Pejalan kaki "TP"

Berat pejalan kaki = 5

Input pada gelagar melintang tengah = 25 kN/m

Input pada gelagar melintang ujung = 12,5 kN/m



Gambar 27. Pembebanan TP (Pejalan kaki)
(Sumber: Pengolahan Data 2025)

4.3.8. Beban angin

a. Hitung kecepatan angin rencana pada elevasi rencana

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B}\right) \ln \left(\frac{V}{V_0}\right)$$

Nilai kecepatan gesekan angin (v₀) serta panjang kekasaran/gesekan di area sekitar jembatan (z₀) diperoleh dari data yang disajikan pada tabel di bawah ini:

Tabel 14. Kondisi

kondisi	Lahan terbuka	Sur urban	kota
V ₀	13,2	17,6	19,2
Z ₀	70	1000	2500

Lokasi pembangunan jembatan termasuk dalam kawasan sub-urban sehingga

Kecepatan gesekan angin v₀ = 13,2 kph

Panjang gesekan di hulu jembatan z₀ = 70 mm

Elevasi struktur dari permukaan tanah z = 1000 mm

Kecepatan angin pada elevasi vb = 126 kph

1000 mm di atas permukaan tanah v₁₀ = 126 kph

$$V_{DZ} = 2,5 V_0 \left(\frac{V_{10}}{V_B}\right) \ln \left(\frac{V}{V_0}\right) = 163,741 \text{ kph}$$

b. Hitung beban tekanan angin (pb)

$$PD = PB \cdot \left(\frac{V_{DZ}}{V_B}\right)^2$$

Nilai tekanan angin dasar (pd) dapat diambil dari dibawah ini:

Tabel 15. Nilai Tekanan angin

Komponen bangunan atas	Angin tekan (Mpa)	Angin hisap (Mpa)
Rangka, pilar, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Gelagar	0,0024	N/A
Permukaan	0,0019	N/A

Pada struktur jembatan tipe rangka baja, nilai pb digunakan sebesar 0,0024 MPa.

Tekanan angin dasar pb = 0,0024 Mpa

Angin hisap dasar pb = 0,0012 Mpa

Tinggi rangka bawa jembatan hb = 1000 mm

Tinggi barrier hbr = 0 mm

Bentang rangka baja Lb = 60 m

Maka, diambil nilai beban angin (pb) adalah :

$$PD = Pb \cdot \left(\frac{V_{DZ}}{V_B}\right)^2 = 0,004 \text{ Mpa}$$

$$= 4,053 \text{ kN/m}$$

Maka, diambil nilai angin hisap (pb) adalah :

$$PD = Pb \cdot \left(\frac{V_{DZ}}{V_B}\right)^2 = 0,002 \text{ Mpa}$$

$$= 20,26 \text{ kN/m}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, tekanan angin rencana yang diperoleh berada di bawah 4,4 kN/m. Oleh karena itu, beban angin yang diterapkan dalam analisis struktur ditentukan sebesar 4,053 kN/m pada sisi tekan dan 20,26 kN/m pada sisi hisap.

4.3.9. Pembebanan Angin pada Titik Sambungan (Joint) Rangka Jembatan

Beban angin tekan = Ewx tekan L. = 264 kN/m

Jumlah join girder (n) = 25 join

Beban angin tekan perjoint rangka = 10,56 kN

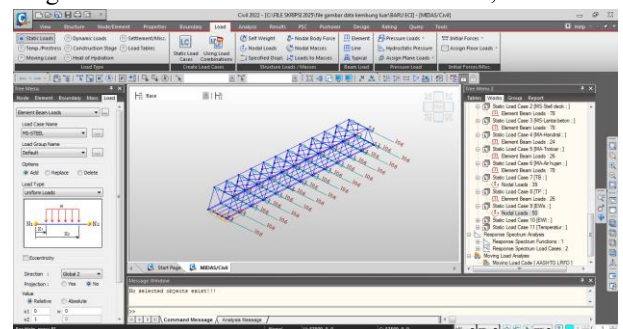
Beban angin hisap = Ewx tekan L. = 132 kN/m

Jumlah join rangka (n) = 25 join

Beban angin tekan perjoint rangka = 5,28 kN

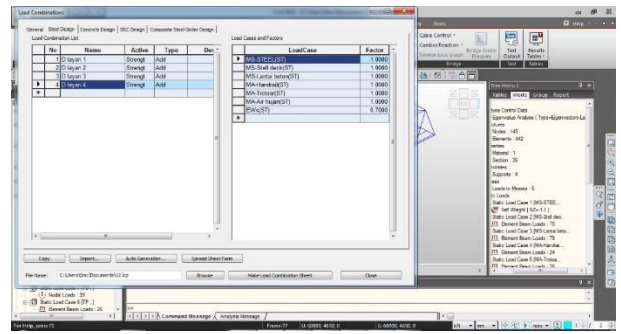
Maka, diambil nilai beban angin = 10,56 kN/titik

Angin tekan = 5,28 kN/titik



Gambar 28. Pembebanan EWs
(Sumber: Pengolahan Data 2025)

AN					
TT (Truk)	1	1.3	0.8	-	0.75
TD (Lajur)	1	1.3	0.8	-	0.75
TB (Rem)	1	1.3	0.8	-	0.75
TR (Sentrifugal)	1	1.3	0.8	-	0.75
TP (Pejalan Kaki)	1	1.3	0.8	-	0.75
EU (Arus dan Hanyutan)	1	1	1	1	-
BF (Friksi)	1	1	1	1	-
EUn (Temperatur Seragam)	1.00/1.2	1.00/1.2	1.00/1.2	1.00/1.2	-
EQ (Gempa)	-	-	-	-	-
TC (Tumbukan Kapal)	-	-	-	-	-
TV (Tumbukan Kendaraan)	-	-	-	-	-
TG (Gradien Temperatur)	<i>Extream Tidak ada Beban hidup</i>	0	-	0	-
ES (Penurunan)	1	1	1	1	-



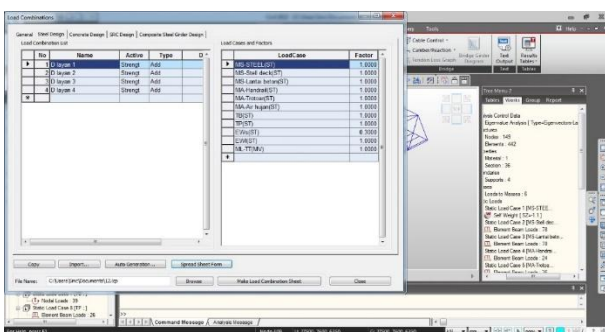
Gambar 35. Pengaturan Kombinasi Pembebanan Layan 4 (Sumber: Pengolahan Data 2025)

4.5. Kontrol Lentutan

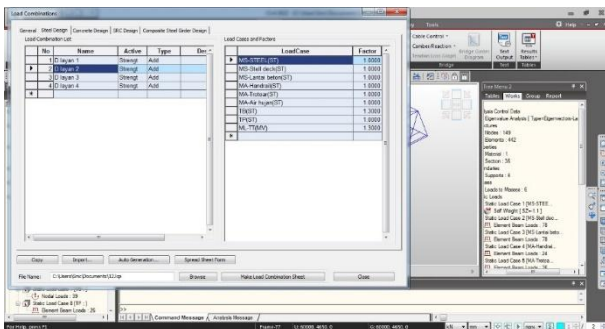
Pengukuran lendutan dilakukan untuk mengetahui lendutan yang muncul akibat beban < dari lendutan maksimum yang diizinkan ($< L/800$). Lendutan yang muncul akibat pembebanan T dengan beban maksimum 9 ton dapat dilihat pada tabel serta gambar berikut ini.

Tabel 18. Nilai Lendutan pada Jembatan Rangka Eksisting

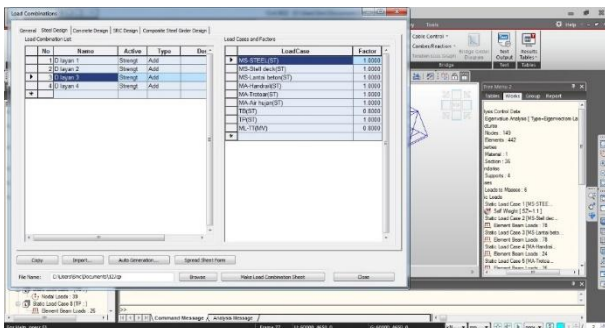
No	Penerapan Beban Truk	Lendutan (mm)	Keterangan
1	Daya Layan 1 (9 ton)	87,058	>75 mm
2	Daya Layan 2 (9 ton)	98,43	>75 mm
3	Daya Layan 3 (9 ton)	93,04	>75 mm
4	Daya Layan 4 (9 ton)	83,01	>75 mm



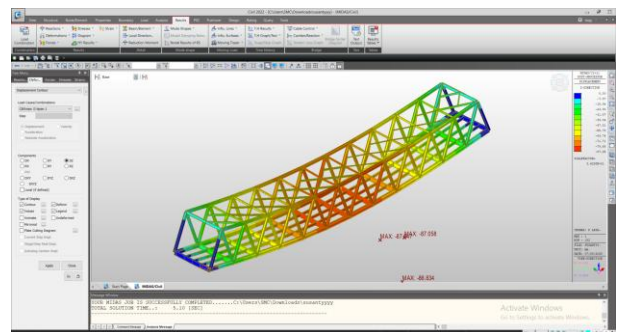
Gambar 32. Pengaturan Kombinasi Pembebanan Layan 1 (Sumber: Pengolahan Data 2025)



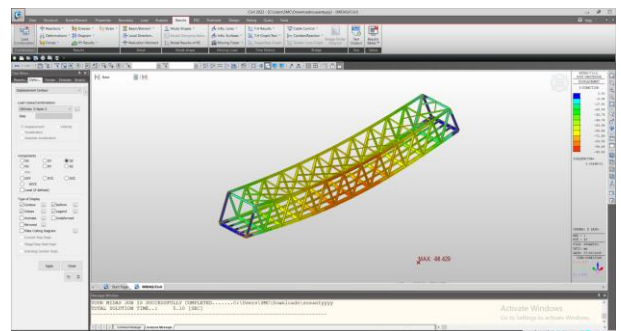
Gambar 33. Pengaturan Kombinasi Pembebanan Layan 2 (Sumber: Pengolahan Data 2025)



Gambar 34. Pengaturan Kombinasi Pembebanan Layan 3 (Sumber: Pengolahan Data 2025)



Gambar 36. Lendutan akibat daya layan 1 truk mak 9 ton (Sumber: Pengolahan Data 2025)

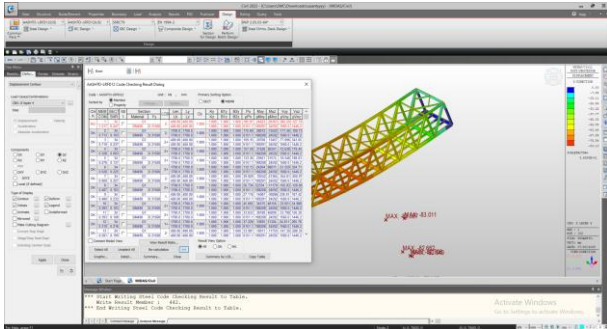


Gambar 37. Lendutan akibat daya layan 2 truk mak 9 ton (Sumber: Pengolahan Data 2025)

Berdasarkan Tabel 18, Gambar 36, dan Gambar 37, lendutan yang terjadi pada layanan 1–4 jembatan melebihi batas izin lendutan layan ($< L/800 = 75$ mm), sehingga struktur tidak memenuhi persyaratan kelayanan (*serviceability*). Kondisi ini menunjukkan perlunya evaluasi lanjutan terhadap kapasitas elemen struktur untuk menilai keamanan struktural secara menyeluruh.

4.6. Pengecekan Kapasitas Penampang Existing

Pengecekan kapasitas penampang dilakukan melalui aplikasi Midas Civil, seperti yang ditampilkan pada gambar 38 sampai gambar 44.



Gambar 38. Kontrol akibat kombinasi layan truk mak 9 ton
(Sumber: Pengolahan Data 2025)

Preview Window
Memb No: 1

1. Design Information

Design Code: AASHTO-LRFD12
Unit System: kN, mm
Member No: 1
Material: SM490 (No:1)
($F_y = 0.31500$, $E_s = 200.000$)
Section Name: G1 (No:34)
(Built-up Section)
Member Length: 400.000

2. Member Forces

Axial Force	$F_{ax} = 185.972$ (LCB: 2-, POS:1)	Depth: 754.000	Web Thick: 10.0000
Bending Moments	$M_y = 246234$, $M_z = -263639$	Top Flange: 243.000	Top Flange Thick: 28.3000
End Moments	$M_y(1) = 246234$, $M_y(2) = 280128$ (for Lb)	Bot Flange: 243.000	Bot Flange Thick: 28.3000
	$M_y(1) = 246234$, $M_y(2) = 280128$ (for Ly)	Area: 20989.3	Area: 8218.90
	$M_z(1) = -263639$, $M_z(2) = -109910$ (for Lz)	Q _{web} : 27597	Q _{web} : 7411.33
Shear Forces	$F_{yy} = -385.59$ (LCB: 2-, POS:1/2)	I _{yy} : 2002183874	I _{zz} : 63387980
	$F_{zz} = -167.12$ (LCB: 1-, POS:1)	Y _{bar} : 121.760	Z _{bar} : 377.000
		R _{yy} : 8383026	R _{zz} : 820473
		r _y : 313.880	r _z : 89.8228

3. Design Parameters

Unbraced Lengths: $L_y = 400.000$, $L_z = 400.000$, $L_b = 400.000$
Effective Length Factors: $K_y = 1.00$, $K_z = 1.00$
Moment Factor / Bending Coefficient: $C_{my} = 1.00$, $C_{mz} = 1.00$, $C_b = 1.00$

4. Checking Results

Slenderness Ratio: $L/r = 7.2 < 200.0$ (LCB: 3+) OK

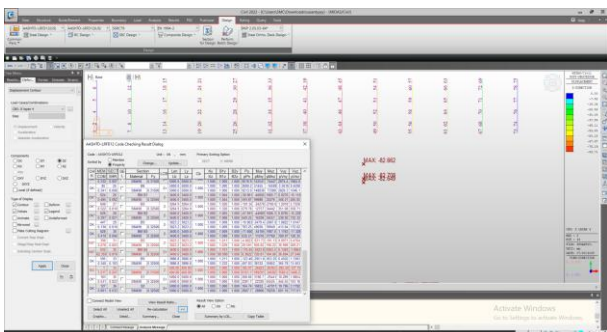
Axial Strength: $P_u/rhP_n = 185.97/6151.19 = 0.030 < 1.000$ OK

Bending Strength: $M_u/rhM_y = 246234/1892919 = 0.130 < 1.000$ OK
 $M_u/rhM_z = 263639/245923 = 1.072 > 1.000$ N.G

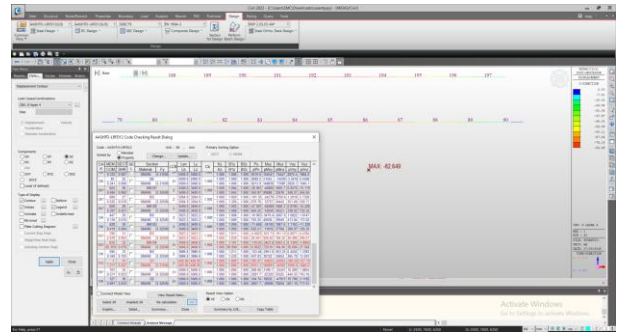
Combined Strength (Tension+Bending): $R_{max} = P_u/(2rhP_n) + [M_u/rhM_y + M_u/rhM_z] = 1.217 > 1.000$ N.G

Shear Strength: $V_u/rhV_y = 0.247 < 1.000$ OK
 $V_u/rhV_z = 0.116 < 1.000$ OK

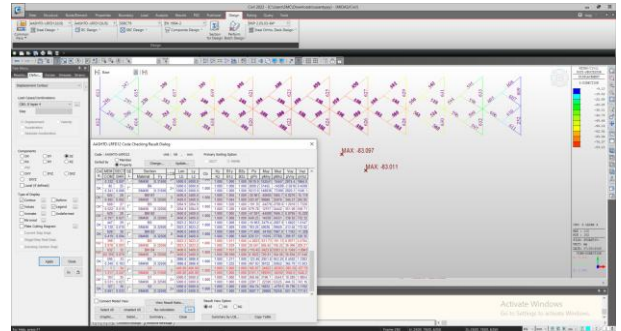
Gambar 39. Kontrol penampang elemen
(Sumber: Pengolahan Data 2025)



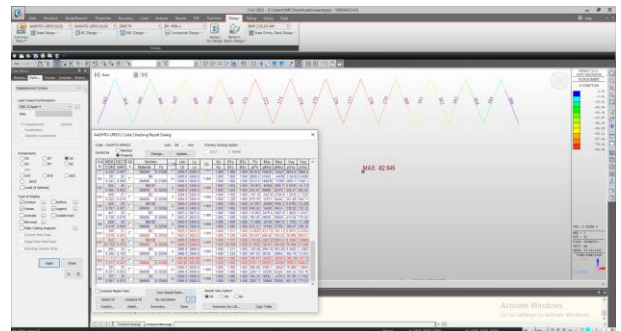
Gambar 40. Kontrol penampang elemen rangka bawah
(Sumber: Pengolahan Data 2025)



Gambar 41. Kontrol penampang elemen rangka samping atas dan bawah
(Sumber: Pengolahan Data 2025)



Gambar 42. Kontrol penampang elemen rangka atas
(Sumber: Pengolahan Data 2025)



Gambar 43. Kontrol penampang elemen rangka samping diagonal
(Sumber: Pengolahan Data 2025)

Dari evaluasi kapasitas struktural jembatan kembang luar dengan menerapkan pembebanan yang sesuai dengan standar SNI 1725:2016 dan berdasarkan kelas jalan, sejumlah elemen pada jembatan *existing* tidak mampu mendukung beban yang telah dikombinasikan melalui kombinasi beban layan, sehingga kelayakan struktural jembatan *existing* dinyatakan tidak aman dan perlu perbaikan jembatan yang ada.

Tabel 20. Ringkasan Hasil Pengecekan Kapasitas

Penampang Elemen Struktur Jembatan Eksisting

No	Jenis Elemen	Nama Penampang	$Pu/\phi P_n$	$Mu_y/\phi M_n$	$Mu_z/\phi M_n$	$Vu_y/\phi V_n$	$Vu_z/\phi V_n$	Rmax	Status
1	Gelagar Memanjang (G1)	WF 400×200×8×13	0,030	0,130	1,072	0,247	0,116	1,217	N.G.
2	Gelagar Melintang (S1)	WF 400×200×8×13	0,030	0,130	1,072	0,247	0,116	1,217	N.G.
3	Gelagar Melintang (S2)	WF 400×200×8×13	0,030	0,130	1,072	0,247	0,116	1,217	N.G.
4	Rangka Atas (A1–A6)	Built-up H 405×402×26×13	—	—	—	—	—	< 1,000	OK
5	Rangka Bawah (B1–B6)	Built-up H 403×400×29,5×22,6	—	—	—	—	—	< 1,000	OK
6	Diagonal (D1–D12)	Built-up H 400×350×36,8×14,4	—	—	—	—	—	< 1,000	OK

Berdasarkan Tabel 20 di atas, elemen rangka atas (A1–A6), rangka bawah (B1–B6), dan diagonal (D1–D12) seluruhnya dinyatakan lulus (OK) pengecekan kapasitas penampang berdasarkan AASHTO-LRFD12. Sebaliknya, elemen gelagar memanjang (G1) dan gelagar melintang (S1, S2) menunjukkan nilai $R_{max} = 1,217 > 1,000$ dengan nilai penentu pada rasio momen lentur sumbu lemah $Mu_z/\phi M_n = 1,072 > 1,000$, sehingga dinyatakan tidak lulus (N.G.). Ketidakpenuhan kapasitas penampang ini terjadi pada elemen gelagar, sedangkan elemen rangka utama masih dalam batas aman. Perlu dicatat bahwa hasil ini didasarkan pada asumsi material BJ-55 ($f_y = 460$ MPa) dan perlu diverifikasi dengan pengujian material aktual di lapangan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Melalui tahapan analisis yang telah ditempuh, dapat dirumuskan simpulan sebagai berikut:

- Jembatan Kembang Luar tidak memenuhi persyaratan batas daya layan (serviceability limit state) ditinjau dari aspek lendutan. Hasil analisis menggunakan MIDAS Civil menunjukkan lendutan akibat beban truk 9 ton pada masing-masing kombinasi beban layan sebesar 87,06 mm (Daya Layan 1), 98,43 mm (Daya Layan 2), 93,04 mm (Daya Layan 3), dan 83,01 mm (Daya Layan 4). Seluruh nilai tersebut melampaui batas izin lendutan layan $L/800 = 75$ mm sesuai SNI 1725:2016, sehingga jembatan dinyatakan tidak memenuhi syarat kinerja daya layan.
- Pengecekan kapasitas penampang elemen struktur menunjukkan hasil yang berbeda antara elemen rangka dan elemen gelagar. Elemen rangka atas (A1–A6), rangka bawah (B1–B6), dan diagonal (D1–D12) seluruhnya dinyatakan memenuhi persyaratan

kapasitas penampang dengan nilai $R_{max} < 1,000$ (OK). Sebaliknya, elemen gelagar memanjang (G1) dan gelagar melintang (S1, S2) menghasilkan nilai $R_{max} = 1,217 > 1,000$ dengan nilai penentu pada rasio momen lentur sumbu lemah $Mu_z/\phi M_n = 1,072 > 1,000$, sehingga dinyatakan tidak memenuhi persyaratan kapasitas penampang (N.G.) berdasarkan kombinasi beban layan yang diterapkan sesuai SNI 1725:2016. Evaluasi dalam penelitian ini dibatasi pada penilaian kinerja daya layan struktur. Pernyataan mengenai keamanan struktural secara menyeluruh memerlukan analisis lebih lanjut, termasuk pengujian material aktual dan evaluasi kapasitas ultimit, mengingat parameter material dalam penelitian ini merupakan nilai asumsi berdasarkan standar baja BJ-55 ($f_y = 460$ MPa).

2. Saran

- Disarankan untuk melakukan pengujian material aktual (uji tarik dan uji kekerasan) guna memperoleh nilai kuat leleh dan kuat tarik yang representatif, serta melanjutkan analisis kapasitas ultimit (*strength limit state*) agar diperoleh gambaran menyeluruh mengenai tingkat keamanan struktural jembatan.
- Apabila hasil evaluasi lanjutan mengonfirmasi ketidakcukupan kapasitas, diperlukan perencanaan perkuatan atau rehabilitasi struktural disertai pembatasan beban kendaraan sesuai kelas jalan yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- J. Smith, A. Brown, and M. Johnson, "Impact of vehicle overloading on bridge deterioration and structural failure," *Journal of Bridge Engineering*, vol. 25, no. 4, pp. 04020015-1–04020015-10, 2020.
- Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1725:2016 – Standar Pembebanan untuk Jembatan*, Jakarta, 2016.
- A. Putra, "Evaluasi perilaku struktur jembatan rangka baja tipe Warren," *Jurnal Teknik Sipil*, 2021.
- K. Amalia and A. Nugroho, "Peningkatan kapasitas jembatan tipe struktur baja berdasarkan evaluasi kondisi eksisting," *Jurnal Teknik Sipil*, 2021.
- R. Saputra, "Kajian kapasitas struktur atas jembatan rangka baja berdasarkan SNI 1725:2016," Skripsi, 2023.
- W. Agung, "Analisis Kapasitas Jembatan Rangka Baja Austria Tipe A60 dengan Menggunakan Software MIDAS Civil (Studi Kasus Jembatan Pintu Air Sepuluh)," *E-Journal Matriks Teknik Sipil*, vol. 2, no. 2, pp. 155–163, 2014.
- MIDAS Information Technology Co., *MIDAS Civil User Manual*, 2020.