PERENCANAAN STRUKTUR JEMBATAN DAWAS DENGAN STEEL BOX GIRDER MENGGUNAKAN MIDAS CIVIL

Muhamad Nur Arifin[1], Ir. Ester Priskasari[2], dan Hadi Surya Wibawanto Sunarwadi[3]

[1]*Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Desa Serang, Panggungrejo, Blitar*
Email: muhamadnurarifin250203@gmail.com

[2]*Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Malang*
Email: ester_priskasari@ymail.com

[3]*Jurusan Teknik Sipil, ITN Malang, Jl. Bendungan Sigura-gura No.2 Malang*
Email: hadiwibawanto@lecturer.itn.ac.id

ABSTRACT

The development of toll road infrastructure in Indonesia requires bridge structures that are capable of carrying high traffic volumes while maintaining structural safety, stiffness, and long-term serviceability. One of the strategic bridges on the Betung–Tempino–Jambi Toll Road Section 1B is the Dawas Bridge, which has a main span of 60 m requiring an efficient and reliable superstructure system. This study proposes an alternative design of a composite steel box girder as the bridge superstructure to improve torsional resistance, structural efficiency, and construction feasibility. The bridge design refers to SNI 1725:2016 for bridge loading, SNI 2833:2016 for seismic design, SNI 1729:2020, RSNI T-03-2005, RSNI T-12-2004, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, and relevant guidelines issued by the Ministry of Public Works and Housing. Structural analysis is performed using MIDAS Civil software to evaluate internal forces, deflection, and structural performance under various loading combinations. The design process includes deck slab design, steel box girder dimensioning, diaphragm configuration, connection design, and bearing selection. The expected outcome of this research is an alternative steel box girder bridge design that satisfies structural strength, stiffness, and serviceability requirements while providing practical recommendations for the implementation of steel box girder systems in medium-span toll road bridges in Indonesia.

Keywords: Steel Box Girder, Composite Bridge, MIDAS Civil, Toll Bridge, Structural Design

ABSTRAK

Pembangunan jalan tol di Indonesia memerlukan struktur jembatan yang mampu memberikan kinerja optimal terhadap beban lalu lintas yang tinggi, serta memenuhi aspek kekuatan, kekakuan, stabilitas, dan umur layan. Salah satu jembatan yang direncanakan pada Proyek Jalan Tol Betung–Tempino–Jambi Seksi 1B adalah Jembatan Dawas dengan bentang utama sepanjang 60 meter yang membutuhkan sistem struktur atas yang efisien dan memiliki ketahanan torsi yang tinggi. Penelitian ini bertujuan menyusun alternatif perencanaan struktur atas menggunakan sistem steel box girder komposit sebagai solusi terhadap kebutuhan struktur jembatan bentang menengah. Perencanaan dilakukan berdasarkan ketentuan SNI 1725:2016, SNI 2833:2016, SNI 1729:2020, RSNI T-03-2005, RSNI T-12-2004, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, serta pedoman teknis dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Analisis struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak MIDAS Civil untuk memperoleh respons struktur terhadap kombinasi pembebanan yang meliputi beban mati, beban lalu lintas, beban angin, dan beban gempa. Tahapan penelitian mencakup perencanaan pelat lantai kendaraan, penentuan dimensi steel box girder, analisis lendutan, perencanaan diafragma, sambungan baut dan las, serta perencanaan perletakan (bearing). Hasil penelitian diharapkan menghasilkan alternatif desain struktur steel box girder yang memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, stabilitas, dan lendutan sesuai standar perencanaan jembatan yang berlaku. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan desain struktur atas jembatan baja pada proyek jalan tol di Indonesia.

Kata kunci: Steel Box Girder, Jembatan Komposit, MIDAS Civil, Jembatan Jalan Tol, Perencanaan Struktur

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur transportasi merupakan salah satu strategi utama dalam meningkatkan konektivitas antarwilayah, memperlancar distribusi logistik, serta mendorong pertumbuhan ekonomi nasional. Salah satu program strategis pemerintah adalah pembangunan Jalan Tol Trans Sumatra yang menghubungkan berbagai pusat pertumbuhan ekonomi di Pulau Sumatra. Pada ruas Jalan Tol Betung–Tempino–Jambi Seksi 1B direncanakan beberapa jembatan yang berfungsi melintasi sungai maupun kawasan dengan kondisi topografi tertentu sehingga diperlukan sistem struktur atas yang memiliki kapasitas, stabilitas, dan keandalan yang tinggi.

Jembatan Dawas merupakan salah satu struktur penting pada ruas tol tersebut yang memiliki bentang utama sepanjang 60 meter dengan panjang total jembatan sekitar 204,20 meter. Pada umumnya, perencanaan jembatan bentang menengah di Indonesia didominasi oleh penggunaan gelagar beton prategang (Prestressed Concrete I-Girder/PCI Girder) atau gelagar baja profil I konvensional. Namun, untuk panjang bentang tunggal yang mencapai 60 meter, struktur gelagar konvensional tersebut menghadapi tantangan berupa dimensi penampang yang sangat tinggi, berat sendiri struktur atas yang masif, serta kerentanan terhadap stabilitas lateral akibat beban angin dan getaran. Karakteristik geometris dan operasional jalan tol yang menuntut lendutan minimal dan distribusi lajur yang lebar memerlukan tinjauan sistem struktur alternatif yang lebih optimal dari aspek mekanika dan metode pelaksanaan.

Steel box girder merupakan salah satu alternatif struktur atas yang banyak digunakan pada jembatan bentang menengah hingga panjang. Penampang berbentuk kotak memiliki kekakuan torsi yang lebih tinggi dibandingkan gelagar tipe I sehingga lebih efektif dalam mendistribusikan beban eksentris dan meningkatkan stabilitas struktur. Selain itu, sistem komposit baja–beton mampu mengurangi berat sendiri struktur, mempercepat proses konstruksi, serta meningkatkan efisiensi penggunaan material. Keunggulan tersebut menjadikan steel box girder sebagai salah satu solusi yang sesuai untuk diterapkan pada Jembatan Dawas.

Perencanaan struktur atas pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode Load and Resistance Factor Design (LRFD) dengan mengacu pada SNI 1725:2016, SNI 2833:2016, SNI 1729:2020, RSNI T-03-2005, dan AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. Analisis struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak MIDAS Civil sehingga diperoleh alternatif desain steel box girder yang memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, stabilitas, dan kemampuan layan sesuai standar yang berlaku.

Identifikasi Masalah

1. Belum dilakukan evaluasi dan perencanaan kembali mengenai kapasitas struktur Jembatan Dawas yang menggunakan sistem *steel box girder* komposit.
2. Diperlukan analisis struktur untuk memastikan bahwa dimensi steel box girder memenuhi persyaratan kekuatan, lendutan, dan stabilitas sesuai metode LRFD.

Rumusan Masalah

1. Bagaimana evaluasi dan alternatif perencanaan ulang struktur atas Jembatan Dawas menggunakan sistem steel box girder komposit?
2. Bagaimana hasil analisis struktur menggunakan perangkat lunak MIDAS Civil terhadap kombinasi pembebanan yang bekerja pada jembatan?
3. Apakah struktur steel box girder yang direncanakan telah memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan kemampuan layan berdasarkan standar perencanaan yang berlaku?

Tujuan Penelitian

1. Menganalisis respons struktur terhadap kombinasi pembebanan menggunakan perangkat lunak MIDAS Civil.
2. Mengevaluasi kekuatan, kekakuan, lendutan, serta stabilitas struktur berdasarkan metode Load and Resistance Factor Design (LRFD) dan ketentuan standar yang berlaku.

2. TINJAUAN PUSTAKA

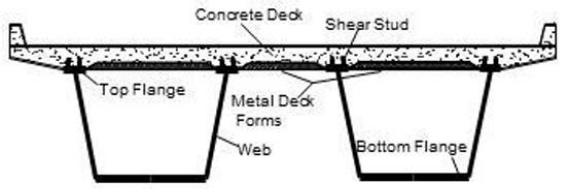
Jembatan Steel Box Girder

Jembatan steel box girder merupakan salah satu jenis jembatan baja yang menggunakan gelagar utama berpenampang kotak terbuka bagian atas (steel tub box girder). Penampang tersebut memiliki kekakuan torsi yang tinggi sehingga mampu mendistribusikan beban secara lebih merata serta meningkatkan stabilitas struktur terhadap pembebanan eksentris. Oleh karena itu, steel box girder banyak digunakan pada jembatan bentang menengah hingga panjang, terutama pada jalan tol dan jembatan layang.

Pada perkembangannya, jembatan steel box girder umumnya dirancang sebagai struktur komposit, yaitu dengan menghubungkan gelagar baja dan pelat lantai beton menggunakan shear connector. Sistem ini memberikan beberapa keuntungan, antara lain meningkatkan kapasitas lentur, mengurangi lendutan, mempercepat pelaksanaan konstruksi, serta menghasilkan struktur yang lebih efisien dibandingkan sistem gelagar konvensional.

Dalam penelitian ini, sistem steel box girder komposit dipilih sebagai alternatif struktur atas Jembatan Dawas pada Proyek Jalan Tol Betung–

Tempino–Jambi Seksi 1B. Pemilihan sistem tersebut didasarkan pada kebutuhan struktur yang memiliki kekakuan tinggi, efisiensi material, dan kemampuan menahan gaya torsi sesuai dengan karakteristik bentang jembatan.



Gambar 1. Penampang Melintang Jembatan Steel Tub Box Girder Komposit

(Sumber: Steel Bridge Design Handbook Chapter 13, hal. 56)

Pembebanan Jembatan Berdasarkan SNI 1725:2016

Pembebanan merupakan salah satu aspek utama dalam perencanaan struktur jembatan karena berpengaruh terhadap dimensi dan kapasitas setiap elemen struktur. Pada penelitian ini, pembebanan mengacu pada SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan, yang mengatur jenis beban serta kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perencanaan jembatan di Indonesia.

Beban yang diperhitungkan meliputi beban mati, beban mati tambahan, beban lalu lintas, beban angin, beban gempa, gaya rem, serta pengaruh temperatur. Seluruh beban tersebut dikombinasikan sesuai metode Load and Resistance Factor Design (LRFD) untuk memperoleh kondisi pembebanan yang paling kritis terhadap struktur. Hasil analisis pembebanan selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perencanaan steel box girder, pelat lantai, diafragma, sambungan, dan sistem perletakan.

Nama	Kombinasi Beban
Kuat I	1,1MS + 2,0MA + 1,8TT + 1,8TD + 1,8TB + 1,8TP
Kuat II	1,1MS + 2,0MA + 1,4TT + 1,4TD + 1,4TB + 1,4TP
Kuat III	1,1MS + 2,0MA + 1,4EWs
Kuat IV	1,1MS + 2,0MA
Kuat V	1,1MS + 2,0MA + 0,4 EWs
Ekstrem I	1,1MS + 2,0MA + 0,5TT + 0,5TD + 0,5TB + 0,5TP + 1EQ
Ekstrem II	1,1MS + 2,0MA + 0,5TT + 0,5TD + 0,5TB + 0,5TP
Daya Layan I	1,0MS + 1,0MA + 1,0TT + 1,0TD + 1,0TB + 1,0TP + 0,3EWs
Daya Layan II	1,0MS + 1,0MA + 1,3TT + 1,3TD + 1,3TB + 1,3TP
Daya Layan III	1,0MS + 1,0MA + 0,8TT + 0,8TD + 0,8TB + 0,8TP
Daya Layan IV	1,0MS + 1,0MA + 0,7EWs

Tabel 1. Kombinasi dan Faktor Pembebanan

(Sumber: SNI 1725-2016, hal. 11)

Dasar Perhitungan Pembebanan Jembatan

Beberapa jenis beban lalu lintas dan beban lingkungan pada SNI 1725:2016 dihitung menggunakan persamaan berikut. Beban terbagi rata (BTR) lajur "D" untuk bentang lebih dari 30 m dihitung dengan:

$$q = 9{,}0 \times (0{,}5 + 15/L)$$

Beban garis terpusat (BGT) diperbesar dengan faktor beban dinamis (FBD) sebagai berikut:

$$BGT = p \times (1 + FBD)$$

Gaya rem (TB) ditentukan dari nilai terbesar antara dua persamaan berikut:

$$TB_1 = 25\% \times (\text{beban gandar truk desain})$$

$$TB_2 = 5\% \times (\text{berat truk rencana} + BTR)$$

Tekanan angin pada struktur (EWs) dihitung dengan persamaan:

$$EWs = PBt \times (VDZ/VB)^2 \times d$$

Dimana:

q = intensitas beban terbagi rata (BTR) lajur "D" (kN/m²)
L = panjang bentang jembatan (m)
BGT = beban garis terpusat (kN/m)
p = intensitas dasar BGT, yaitu 49,0 kN/m
FBD = faktor beban dinamis
TB = gaya rem (kN)
EWs = tekanan angin pada struktur (kN/m)
PBt = tekanan angin dasar (kN/m²)
VDZ = kecepatan angin rencana (km/jam)
VB = kecepatan angin dasar, yaitu 100 km/jam
d = tinggi permukaan struktur yang terpapar angin (m)

Analisis Struktur Menggunakan MIDAS Civil

Analisis struktur pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak MIDAS Civil, yaitu program analisis berbasis metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM) yang dirancang khusus untuk perencanaan jembatan. MIDAS Civil mampu memodelkan struktur tiga dimensi serta menganalisis respons struktur terhadap berbagai kondisi pembebanan secara akurat.

Dalam penelitian ini, MIDAS Civil digunakan untuk memodelkan struktur atas Jembatan Dawas, menganalisis gaya dalam, lendutan, deformasi, serta reaksi perletakan akibat kombinasi pembebanan. Hasil analisis tersebut menjadi dasar dalam menentukan dimensi steel box girder dan mengevaluasi kinerja struktur berdasarkan persyaratan yang berlaku.

Metode Load and Resistance Factor Design (LRFD)

Metode Load and Resistance Factor Design (LRFD) merupakan metode perencanaan yang menggunakan faktor beban dan faktor reduksi kekuatan untuk menjamin tingkat keamanan struktur. Prinsip dasar metode ini adalah memastikan bahwa kapasitas

rencana struktur lebih besar daripada efek beban terfaktor yang bekerja.

Pada penelitian ini, metode LRFD digunakan dalam evaluasi kapasitas struktur steel box girder terhadap momen lentur, gaya geser, lendutan, serta stabilitas struktur. Penerapan metode ini mengacu pada ketentuan AASHTO LRFD Bridge Design Specifications dan standar nasional yang berlaku sehingga hasil perencanaan memenuhi aspek keamanan dan kemampuan layan.

Dasar Perhitungan Kapasitas Penampang Komposit

Kapasitas penampang komposit steel box girder dievaluasi berdasarkan SNI 1729:2020 dan SE Bina Marga No. 02/M/BM/2021. Rasio modulus elastisitas antara baja dan beton dihitung dengan:

$$n = Egirder / Eslab$$

Lebar efektif pelat beton komposit merupakan penjumlahan lebar efektif pada gelagar interior dan eksterior:

$$bef = bef_1 + bef_2$$

Pada kondisi lentur positif, gaya plastis pada masing-masing elemen penampang dihitung dengan:

$$Ps = 0{,}85 \times f'c \times Ac$$

$$Pc = fy \times As \quad (sayap\ atas)$$

$$Pw = fy \times As \quad (badan)$$

$$Pt = fy \times As \quad (sayap\ bawah)$$

Letak sumbu netral plastis (PNA) pada badan profil ditentukan dengan:

$$Y = (D/2) \times [(Pt - Pc - Ps)/Pw + 1]$$

Kapasitas momen nominal (Mn) ditentukan dari kondisi momen plastis (Mp) sebagai berikut:

$$Mn = Mp, \quad jika\ Dp \leq 0{,}1Dt$$

$$Mn = Mp \times (1{,}07 - 0{,}7\ Dp/Dt), \quad jika\ Dp > 0{,}1Dt$$

Kekuatan lentur penampang dikontrol dengan syarat:

$$\varphi Mn \geq Mu$$

Kapasitas geser badan (web) profil dihitung melalui gaya geser plastis dan tahanan geser nominal:

$$Vp = 0{,}85 \times fy \times D \times tw$$

$$Vn = Vp\ [C + 0{,}87(1 - C) / \sqrt{(1 + (do/D)^2)}]$$

Kekuatan geser penampang dikontrol dengan syarat:

$$\varphi Vn \geq Vu$$

Lendutan maksimum struktur dikontrol terhadap batas lendutan izin berdasarkan RSNI 03-2005 sebagai berikut:

$$f\ ijin = (1/800) \times L$$

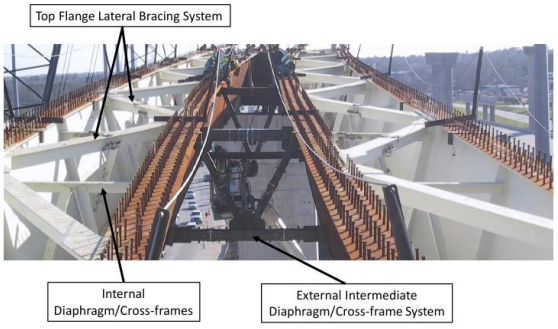
Dimana:

n = rasio modulus elastisitas baja terhadap beton
$Egirder, Eslab$ = modulus elastisitas baja gelagar dan pelat beton
bef = lebar efektif total pelat beton komposit (mm)
Ps, Pc, Pw, Pt = gaya plastis pada pelat beton, sayap atas, badan, dan sayap bawah (N)
$f'c$ = kuat tekan beton (MPa)
Ac = luas efektif pelat beton (mm²)
fy = tegangan leleh baja (MPa)
As = luas elemen penampang baja yang ditinjau (mm²)
Y = jarak sumbu netral plastis (PNA) dari tepi atas badan (mm)
D = tinggi badan (web) profil baja (mm)
Dp, Dt = jarak PNA dan tinggi total penampang komposit (mm)
Mn, Mp, Mu = momen nominal, momen plastis, dan momen terfaktor (kN·m)
φ = faktor reduksi kekuatan
Vp, Vn, Vu = gaya geser plastis, tahanan geser nominal, dan gaya geser terfaktor (N)
C = rasio tahanan tekuk terhadap tahanan leleh geser
do = jarak antar pengaku transversal pada badan (mm)
L = panjang bentang jembatan (mm)

Komponen Pendukung Steel Box Girder

Selain gelagar utama, kinerja jembatan steel box girder dipengaruhi oleh komponen pendukung seperti diafragma, sambungan, dan bearing. Diafragma berfungsi meningkatkan kekakuan melintang dan menjaga stabilitas struktur, sambungan berperan dalam meneruskan gaya antar elemen baja, sedangkan bearing berfungsi meneruskan beban dari struktur atas ke struktur bawah sekaligus mengakomodasi pergerakan akibat beban maupun perubahan temperatur.

Perencanaan komponen-komponen tersebut dilakukan sesuai ketentuan standar yang berlaku agar seluruh elemen mampu bekerja secara terpadu dalam mendukung kinerja struktur jembatan.



Gambar 2. Jenis-jenis Diafragma pada Steel Tub Box Girder

(Sumber: Steel Bridge Design Handbook Chapter 13, hal. 57)

Dasar Perhitungan Sambungan Baut dan Las

Perencanaan sambungan baut mengacu pada SNI 1729:2020 dan RSNI T-03-2005. Kekuatan tarik atau geser desain baut dihitung dengan:

$$Rn = fn \times Ab$$

Kekuatan tumpu desain baut pada lubang dihitung dengan:

$$Rn = 2{,}4 \times d \times t \times fu$$

Keruntuhan geser blok ditinjau dengan persamaan:

$$Rn = 0{,}6 \times fu \times Anv \times Ubs \times fu \times Ant \leq 0{,}60 \times fy \times Agv + Ubs \times fu \times Ant$$

Kekuatan slip-kritis sambungan tipe friksi dihitung dengan:

$$Rn = \mu \times Du \times hf \times Tb \times ns$$

Jumlah baut yang dibutuhkan pada sambungan dihitung dengan:

$$n = Pu / \varphi Rn$$

Kekuatan baut dikontrol terhadap gaya tarik dan gaya geser terfaktor:

$$\varphi Rnt \geq Rut \quad dan \quad \varphi Rnv \geq Ruv$$

Untuk sambungan las sudut, kuat nominal sambungan las dihitung berdasarkan SNI 1729:2020 pasal J2.4.b dengan:

$$Rn = Fnw \times Awe$$

dan dikontrol terhadap beban terfaktor sebagai berikut:

$$\varphi Rn \geq Pu$$

Dimana:

φ = faktor reduksi kekuatan, diambil 0,75 untuk kondisi DFBT
Rn = kekuatan/tahanan nominal sambungan
fn = tegangan tarik nominal baut (MPa)
Ab = luas bruto penampang baut (mm²)
fu, fy = tegangan tarik minimum dan tegangan leleh material yang disambung (MPa)
d, t = diameter baut nominal dan tebal material yang disambung (mm)
Anv, Ant, Agv = luas netto elemen pemikul geser, luas netto elemen pemikul tarik, dan luas bruto elemen pemikul geser (mm²)
Ubs = faktor tegangan tarik, 1 jika merata dan 0,5 jika tidak merata
μ = koefisien slip rata-rata (0,30 untuk kelas A; 0,50 untuk kelas B)
Du, hf, Tb, ns = rasio pratarik baut (1,13), faktor filler, gaya tarik minimum baut, dan jumlah bidang geser
Pu = beban terfaktor yang bekerja pada sambungan
Rut, Ruv = beban tarik dan geser terfaktor pada baut
Fnw = tegangan nominal las, yaitu 0,60 FEXX (1,0 + 0,50 $\sin^{1{,}5}\theta$)
$FEXX$ = kekuatan klasifikasi logam pengisi las (MPa)
Awe = luas efektif las (mm²)
θ = sudut pembebanan terhadap sumbu longitudinal las

3. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Objek penelitian ini adalah Jembatan Dawas yang merupakan bagian dari Proyek Pembangunan Jalan Tol Betung–Tempino–Jambi Seksi 1B. Jembatan direncanakan menggunakan alternatif struktur atas berupa steel box girder dengan bentang utama sepanjang 60 m. Perencanaan dilakukan berdasarkan data geometrik, spesifikasi material, serta dokumen perencanaan yang diperoleh dari proyek sebagai dasar analisis struktur.



Gambar 3. Lokasi Jembatan Dawas

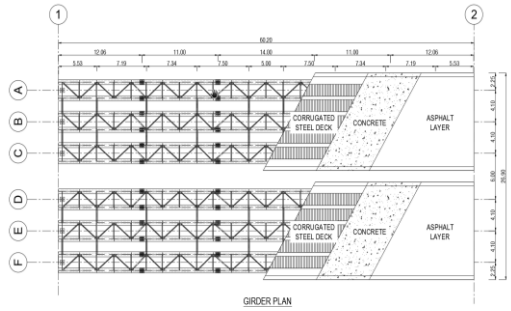
(Sumber: Google Earth)

Data Perencanaan

Data yang digunakan dalam penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer meliputi geometri jembatan, dimensi awal struktur, mutu material, dan konfigurasi bentang. Data sekunder berupa standar perencanaan, literatur ilmiah, serta referensi teknis yang digunakan sebagai dasar analisis dan desain.

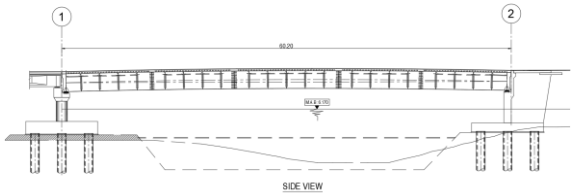
Tabel 2. Data Umum Jembatan

Parameter	Nilai
Nama Jembatan	Dawas
Lokasi	Jalan Tol Betung–Tempino–Jambi Seksi 1B
Bentang Utama	60 m
Panjang Total	204,20 m
Tipe Struktur	Steel Box Girder
Metode Analisis	MIDAS Civil



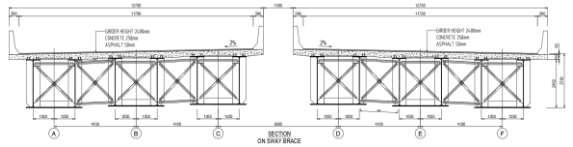
Gambar 4. Tampak Atas Preliminary Design Jembatan

(Sumber: Data Gambar Shop Drawing Struktur)



Gambar 5. Tampak Samping Preliminary Design Jembatan

(Sumber: Data Gambar Shop Drawing Struktur)



Gambar 6. Potongan Preliminary Design Jembatan

(Sumber: Data Gambar Shop Drawing Struktur)

Data Material

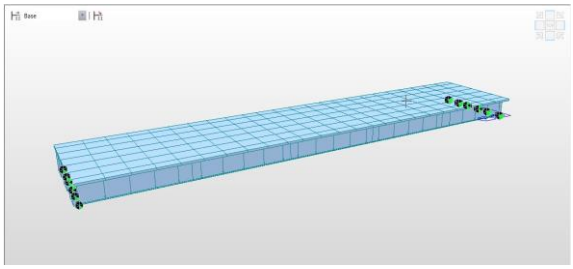
Tabel 3. Data Material

Material	Spesifikasi
Baja Box Girder	SM490YB JIS G3106
Diafragma	SS400 JIS G3101
Steel deck	550 MPa
Mutu Beton Slab	fc’ 30 MPa
Tulangan	BJTP 24 (Polos); BJTD 52 (Ulir)
Baut, Mur, Ring	ASTM A490B
Shear connector	ISO 13918
	Fy 350 Mpa Fu 450 Mpa

Pemodelan Struktur pada MIDAS Civil

Model struktur dikembangkan menggunakan perangkat lunak MIDAS Civil dalam bentuk model tiga dimensi. Pemodelan meliputi pelat lantai beton, steel box girder, diafragma/bracing, serta sistem perletakan (pot bearing) sesuai kondisi aktual Jembatan Dawas. Elemen girder dan diafragma dimodelkan sebagai elemen frame, sedangkan pelat lantai dimodelkan sebagai elemen shell (plate), sehingga interaksi komposit antara pelat beton dan gelagar baja dapat direpresentasikan secara lebih akurat.

Setelah model tiga dimensi selesai dibuat, dilakukan pendefinisian mutu material, properti penampang non-komposit dan komposit (n dan 3n), kondisi batas (boundary condition) berupa perletakan sendi dan rol, serta input pembebanan sesuai SNI 1725:2016 dan SNI 2833:2016. Kombinasi pembebanan yang didefinisikan pada MIDAS Civil mencakup kombinasi Kuat I–V, Ekstrem I–II, Daya Layan (MD1, MD2, dan MLL Layan), kombinasi Kuat I dengan beban truk (Kuat I TD), serta kombinasi Fatik I. Hasil analisis berupa gaya dalam (momen, geser, aksial, dan torsi), tegangan pada elemen shell pelat lantai, deformasi, lendutan, serta reaksi perletakan diekstrak dari MIDAS Civil untuk setiap kombinasi tersebut dan digunakan sebagai dasar perencanaan setiap elemen struktur atas.

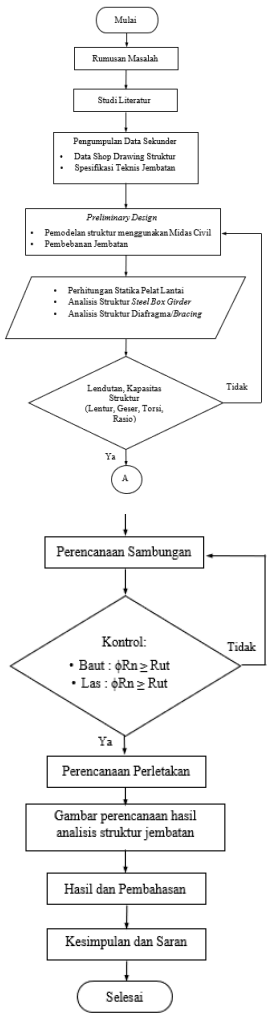


Gambar 7. Model 3D Struktur Atas Jembatan Dawas pada MIDAS Civil

(Sumber: Hasil Pemodelan Penulis, MIDAS Civil)

Tahap Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara bertahap mulai dari pengumpulan data hingga evaluasi hasil perencanaan. Tahapan penelitian disusun secara sistematis untuk memastikan bahwa proses analisis dan desain steel box girder memenuhi ketentuan standar yang berlaku. Secara umum tahapan penelitian meliputi studi literatur, pengumpulan data, penentuan dimensi awal, pemodelan struktur, analisis pembebanan, analisis struktur, perencanaan elemen struktur atas, serta evaluasi hasil desain.



Gambar 8. Bagan Alir Perencanaan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rekapitulasi Analisis Pembebanan

Berdasarkan persamaan pembebanan yang telah diuraikan pada bagian Tinjauan Pustaka, diperoleh besaran beban rencana yang bekerja pada struktur atas Jembatan Dawas untuk bentang utama 60 m, sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Analisis Pembebanan

Jenis Beban	Notasi	Nilai
Beban mati tambahan merata	qMA	5,836 kN/m²
Beban mati tambahan (barier)	qMA	11,408 kN/m
Beban terbagi rata lajur "D"	BTR (q)	6,743 kN/m²
Beban garis terpusat	BGT	67,620 kN/m
Gaya rem rencana	TB	332,75 kN
Tekanan angin struktur	EWs	14,578 kN/m

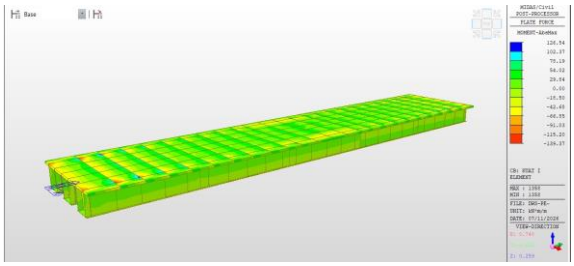
Seluruh beban tersebut dikombinasikan sesuai Tabel 1 dan diinput ke dalam model tiga dimensi pada MIDAS Civil sebagaimana diuraikan pada bagian Metodologi Penelitian.

Hasil Analisis Gaya Dalam pada MIDAS Civil

Hasil running analysis pada MIDAS Civil untuk kombinasi Kuat I menghasilkan gaya dalam envelope maksimum pada gelagar (Tabel 5). Nilai-nilai ini merupakan output langsung dari MIDAS Civil yang selanjutnya menjadi dasar evaluasi kapasitas penampang steel box girder.

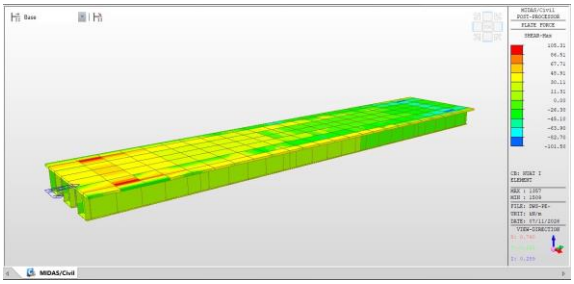
Tabel 5. Gaya Dalam Envelope Hasil MIDAS Civil

Gaya Dalam Envelope Kuat I	Nilai (Output MIDAS Civil)
Momen lentur terfaktor maksimum (Mu)	30561,01 kN·m
Gaya geser terfaktor maksimum (Vu)	3107,75 kN
Gaya aksial terfaktor maksimum (Pu)	22891,48 kN
Kombinasi kritis	Kuat I



Gambar 9. Distribusi Momen (Mmax) Kombinasi Kuat I pada MIDAS Civil

(Sumber: Hasil Analisis Penulis, MIDAS Civil)



Gambar 10. Distribusi Gaya Geser (Vmax) Kombinasi Kuat I pada MIDAS Civil

(Sumber: Hasil Analisis Penulis, MIDAS Civil)

Kontrol Kapasitas Lentur dan Geser Penampang

Kapasitas lentur dan geser penampang komposit steel tub box girder dievaluasi menggunakan persamaan (6) hingga (19) pada bagian Tinjauan Pustaka, dengan Dp = 962,82 mm dan Dt = 2.650 mm sehingga Dp > 0,1Dt dan momen nominal (Mn) dihitung menggunakan persamaan interpolasi Mp. Rekapitulasi hasil kontrol disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kontrol Kapasitas Lentur dan Geser Penampang Steel Box Girder

Parameter Kontrol Lentur dan Geser	Nilai
Momen plastis, Mn	76884,65 kN·m
Faktor reduksi lentur, φ (SNI 1729:2020 Bab F1)	0,90
Kuat lentur nominal terreduksi, φMn	69196,18 kN·m
Momen terfaktor, Mu (output MIDAS Civil)	40223,36 kN·m
Rasio Mu/Mn	0,58
Kontrol φMn ≥ Mu	OK (aman)
Gaya geser plastis, Vp	12045,15 kN
Rasio tekuk-leleh geser, C	0,505
Tahanan geser nominal, Vn	8280,04 kN
Faktor reduksi geser, φ (SNI 1729:2020 Bab G2)	1,00
Kuat geser terreduksi, φVn	8280,04 kN
Gaya geser terfaktor, Vu (output MIDAS Civil)	442,16 kN
Kontrol φVn ≥ Vu	OK (aman)

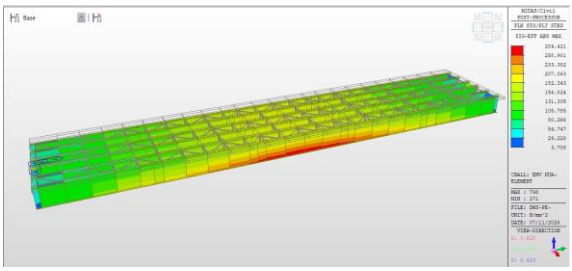
Nilai rasio Mu/Mn sebesar 0,58 menunjukkan bahwa penampang steel tub box girder yang direncanakan masih memiliki cadangan kapasitas lentur yang cukup besar terhadap momen terfaktor hasil analisis MIDAS Civil. Kuat geser terreduksi (φVn) juga jauh lebih besar dibandingkan gaya geser terfaktor (Vu), sehingga penampang dinyatakan aman terhadap kombinasi Kuat I.

Kontrol Keadaan Batas Layan dan Fatik

Pemeriksaan pada keadaan batas layan dilakukan terhadap kelelehan lentur sayap dan ketahanan tekuk lentur pelat badan berdasarkan output tegangan dari MIDAS Civil pada kombinasi Layan II, sedangkan pemeriksaan fatik dilakukan berdasarkan kombinasi Fatik I. Hasil kontrol disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kontrol Keadaan Batas Layan dan Fatik

Kontrol Keadaan Batas Layan	Hasil
Tegangan sayap atas, ffc	100,96 MPa ≤ 337,25 MPa — OK
Tegangan sayap bawah, fft	70,12 MPa ≤ 337,25 MPa — OK
Tegangan tekan pelat badan, fc	221,29 MPa ≤ fcrw = 355 MPa — OK (rasio 0,623)
Kontrol fatik (Fatik I)	fDL ≥ fLL — kontrol fatik tidak diperlukan



Gambar 11. Distribusi Tegangan Efektif (Sig-Eff) Envelope Kombinasi Kuat pada MIDAS Civil

(Sumber: Hasil Analisis Penulis, MIDAS Civil)

Karena tegangan akibat beban mati tak terfaktor pada sayap atas dan bawah lebih besar dibandingkan tegangan akibat beban truk terfaktor (fDL ≥ fLL), maka penampang tidak memerlukan pemeriksaan lebih lanjut terhadap keretakan fatik.

Perencanaan Shear Connector

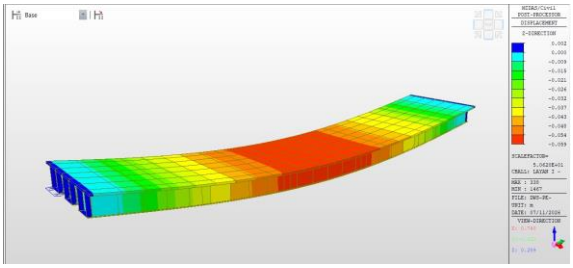
Shear connector tipe headed stud direncanakan untuk menyalurkan gaya geser horizontal antara pelat beton dan gelagar baja sesuai SNI 1729:2020 Pasal I8. Hasil perencanaan disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Perencanaan Shear Connector

Parameter Shear Connector	Nilai
Diameter stud, dsa	22 mm (7/8 inci)
Panjang stud, Ls	125 mm
Kapasitas geser nominal per stud, Qn	102.583,8 N
Jumlah stud dibutuhkan sepanjang bentang	268 buah
Jarak arah transversal	125 mm (4 baris)
Jarak arah longitudinal	180 mm

Kontrol Lendutan

Kontrol lendutan struktur dilakukan berdasarkan persamaan lendutan izin pada bagian Tinjauan Pustaka, yaitu f ijin = (1/800) × L. Lendutan maksimum struktur dibaca dari kontur perpindahan arah Z hasil analisis MIDAS Civil pada kombinasi Layan I, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Lendutan Struktur Akibat Kombinasi Layan I pada MIDAS Civil

(Sumber: Hasil Analisis Penulis, MIDAS Civil)

Tabel 9. Kontrol Lendutan Struktur

Parameter Kontrol Lendutan	Nilai
Lendutan maksimum, f (output kontur MIDAS Civil, kombinasi Layan I)	≈ 59 mm
Batas lendutan izin, f ijin = L/800 = 60.000/800	75 mm
Kontrol f ≤ f ijin	OK (aman, rasio ≈ 0,78)

Lendutan maksimum yang terjadi pada bentang utama masih berada di bawah batas lendutan izin, dengan rasio (≈ 0,78). Hal ini menunjukkan bahwa kekakuan struktur steel tub box girder pada kondisi layan terpenuhi dan aman.

Perencanaan Diafragma dan Bracing

Elemen diafragma dan bracing dievaluasi terhadap kombinasi gaya tarik dan tekan hasil analisis MIDAS Civil. Rekapitulasi kontrol kapasitas penampang disajikan pada Tabel 9.

Tabel 10. Kontrol Kapasitas Diafragma dan Bracing

Elemen	Gaya Tarik (kN)	Gaya Tekan (kN)	Kontrol
Bracing 2L 100x100x10	487,67	93,61	OK (φRn 674,3 & 634,7 kN)
Bracing L 100x100x10	201,11	42,21	OK (φRn 342,0 & 288,9 kN)
Diafragma	142,72	78,80	OK (φRn 342,0 & 293,4 kN)
Diafragma Lateral Atas	123,77	159,40	OK (φRn 342,0 & 234,6 kN)

Seluruh elemen diafragma dan bracing memenuhi kontrol penampang terhadap tarik maupun tekan, dengan kapasitas tahanan (φRn) yang lebih besar dibandingkan gaya terfaktor yang bekerja.

Perencanaan Sambungan Girder

Sambungan steel box girder direncanakan sebagai sambungan tipe slip-kritis menggunakan persamaan (20) hingga (27) pada bagian Tinjauan Pustaka. Gaya dalam pada titik sambungan yang ditinjau serta hasil perencanaan jumlah baut disajikan pada Tabel 10.

Tabel 11. Hasil Perencanaan Sambungan Girder

Parameter Sambungan Girder	Nilai
Momen terfaktor pada titik sambungan, Mu	40223,36 kN·m
Gaya geser terfaktor pada titik sambungan, Vu	23113,11 kN
Mutu baut	ASTM A490, Ø 25,4 mm (1 inci)
Tebal pelat penyambung	15 mm
Kuat slip-kritis per baut, Rn	321,68 kN
Kuat tarik desain baut, φRnt	296,27 kN (menentukan)
Kuat geser desain baut, φRnv	356,29 kN
Kuat tumpu lubang baut, φRn	336,04 kN
Jumlah baut sayap atas	32 buah (4 baris)
Jumlah baut sayap bawah	48 buah (4 baris)
Jumlah baut pelat badan (web)	80 buah (4 baris)
Kontrol geser blok & pelat penyambung	OK, seluruh rasio < 1

Dari keempat kontrol kekuatan baut (slip-kritis, tarik desain, geser desain, dan tumpu lubang), kuat tarik desain baut (φRnt = 296,27 kN) merupakan nilai terkecil sehingga digunakan sebagai dasar perhitungan jumlah baut pada sambungan. Sambungan pada diafragma dan bracing luar juga telah dievaluasi menggunakan kombinasi baut dan las sudut, dengan seluruh kontrol geser blok dan pelat penyambung menghasilkan rasio kurang dari 1 (aman).

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan perencanaan yang telah dilakukan menggunakan MIDAS Civil, sistem steel tub box girder komposit dinyatakan layak dan aman digunakan sebagai alternatif struktur atas Jembatan Dawas pada bentang utama 60,20 m. Kuat lentur nominal terreduksi (φMn = 69196,18 kN·m) dan kuat geser terreduksi (φVn = 8280,04 kN) penampang jauh lebih besar dibandingkan gaya dalam terfaktor hasil

analisis MIDAS Civil (Mu = 40223,36 kN·m dan Vu = 442,16 kN), dengan rasio pembebanan terhadap kekuatan sebesar 0,58. Penampang juga memenuhi persyaratan keadaan batas layan dan tidak memerlukan pemeriksaan fatik lebih lanjut.

Seluruh elemen diafragma dan bracing memenuhi kontrol kapasitas tarik dan tekan, sedangkan perencanaan shear connector menghasilkan 268 buah stud berdiameter 22 mm dengan jarak 125 mm arah transversal dan 180 mm arah longitudinal. Kontrol lendutan menunjukkan bahwa lendutan maksimum pada kombinasi Layan I (≈ 59 mm) masih berada di bawah batas lendutan izin (75 mm). Sambungan girder direncanakan menggunakan baut ASTM A490 berdiameter 1 inci dengan 32 buah pada sayap atas, 48 buah pada sayap bawah, dan 80 buah pada pelat badan, dengan kuat tarik desain baut sebagai kondisi yang menentukan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komponen utama struktur atas steel box girder Jembatan Dawas — meliputi penampang gelagar, diafragma dan bracing, shear connector, lendutan, dan sambungan — memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, dan kemampuan layan berdasarkan metode Load and Resistance Factor Design (LRFD) serta hasil analisis struktur menggunakan MIDAS Civil.

6. DAFTAR PUSTAKA

AASHTO Committee on Bridges and Structures. (2024). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 10th Edition 2024.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2021). Surat Edaran No. 02/SE/M/2021 tentang Pedoman Perencanaan Jembatan dengan Gelagar Komposit Baja-Beton.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2021). Surat Edaran No. 06/SE/Db/2021 tentang Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). Surat Edaran No. 10/SE/M/2015 tentang Pedoman Perencanaan Bantalan Elastomer untuk Perletakan Jembatan.

RSNI T-03-2005. (2005). Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan.

RSNI T-12-2004. (2004). Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan.

Setiawan, A. (2008). Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD Berdasarkan SNI 03-1729-2002. Penerbit Erlangga.

SNI 1725:2016. (2016). Pembebanan untuk Jembatan. Badan Standardisasi Nasional.

SNI 1729:2020. (2020). Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Badan Standardisasi Nasional.

SNI 2833:2016. (2016). Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa. Badan Standardisasi Nasional.

Steel Bridge Design Handbook, Chapter 13. (2025). Strength Behavior and Design of Steel Compatible with the AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 10th Edition. National Steel Bridge Alliance.

Vinitha, P., Ajay, V., & Senthil Pandian, M. (2017). Comparative Behavioural Study of Curved Composite Steel Box and I Girder Using Midas. International Journal of Civil Engineering and Technology, 8(4), 1268–1278.

Walujodjati, E., & Qurthubi, S. S. A. (2023). Analisis Struktur Gelagar Jembatan Steel Box Girder Tipe Komposit Baja-Beton. Jurnal Konstruksi, 21(2), 156–165.