

# Evaluasi Perbandingan Struktur Jembatan Akibat Beban Lalu Lintas Standar dan Kendaraan Angkutan Barang *Over Dimension Over Load (ODOL)* pada Jembatan KCM Wisma Asri Bekasi

Cut Adinda Nathasia<sup>1\*</sup>, Ataline Muliastari<sup>2</sup>, Selenia Ediyani P<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Jenderal Sudirman 51 Jakarta 12930

<sup>2</sup>Program Studi Transportasi Darat (Politeknik Transportasi Darat Indonesia – STTD)

## Article Info

## Abstract

### Article history:

Received  
18 November 2025

Accepted  
19 December 2025

Keywords: *Over Dimension Over Load (ODOL), Maximum Deflection, Design Life, Structural Failure.*

*Every day, the KCM Wisma Asri Bridge is traversed by dozens of soil transport vehicles, specifically CWE 280 type dump trucks, which have a maximum payload capacity of 18 tons but are frequently overloaded up to 33 tons. While the Gross Vehicle Weight (GVW) of these vehicles is 26 tons, the total weight of the soil transport vehicles crossing the KCM Wisma Asri Bridge reaches 59 tons. The structural evaluation comparing Standard Traffic Loads and Over Dimension Over Load (ODOL) vehicles was conducted using manual structural mechanics formulas for a single-span bridge. The analysis concludes that the bridge deflection due to ODOL loads increased significantly, rising from 10.7 mm to 21.1 mm. Although this value remains below the allowable deflection limit of 87.5 mm, the daily frequency of these loads increases the risk of permanent deformation. With more than 20 ODOL vehicles passing per day, the structure undergoes a significant repetitive loading cycle (approximately 7,300 cycles per year). This accelerates the deterioration of the prestressed concrete, leading to cracking, tendon corrosion, and a reduction in structural stiffness.*

## Info Artikel

## Abstrak

### Histori Artikel:

Diserahkan:  
18 November 2025

Diterima:  
19 Desember 2025

Kata Kunci: *Over Dimension Over Load, Maximum Deflection, Umur Rencana, Kegagalan Struktur.*

Jembatan KCM Wisma Asri saat ini setiap harinya dilalui puluhan kendaraan angkutan tanah berupa *dump truck* tipe CWE 280 dengan berat maksimal muatan 18 ton, tetapi melakukan overload sampai dengan 33 ton. Sementara *gross vehicle weight* kendaraan tersebut adalah 26 ton, sehingga dapat diketahui bahwa berat total kendaraan pengangkut tanah yang melintas jembatan KCM Wisma Asri mencapai 59 ton. Evaluasi perbandingan struktur jembatan akibat beban lalu lintas standar dan kendaraan angkutan barang *Over Dimension Over Load (ODOL)* ini dilakukan dengan menggunakan rumus manual mekanika struktur untuk jembatan bentang tunggal. Dari hasil analisis disimpulkan bahwa lendutan jembatan akibat ODOL meningkat signifikan (dari 10,7 mm menjadi 21,1 mm), meskipun masih di bawah batas izin (87,5 mm). Namun, dengan frekuensi beban berulang setiap hari, risiko deformasi permanen akan semakin tinggi. Jumlah kendaraan ODOL yang melintas lebih dari 20 per hari menyebabkan siklus pembebanan berulang yang signifikan ( $\pm 7.300$  siklus per tahun). Hal ini mempercepat kerusakan beton prategang berupa retak, korosi tendon, dan penurunan kekakuan struktur.

\*Corresponding author. Cut Adinda Nathasia  
Email address: [adindanathasia@gmail.com](mailto:adindanathasia@gmail.com)

## 1. PENDAHULUAN

Perekonomian wilayah yang diwujudkan dalam bentuk fungsi produksi seluruh sektor memerlukan input yang memadai pada aspek infrastruktur (Purwanto A., 2018). Pembangunan infrastruktur secara agregat terbukti memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi regional maupun nasional (Soeharto, R., 2015), (Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. AASHTO, 2020), (Nugraha, W., Sidi, I. D., Suarjana, M., & Zulkifli, E., 2024). Pembangunan infrastruktur cenderung dipahami sebagai proses perencanaan, konstruksi, dan pemeliharaan sistem dasar fisik yang meliputi jaringan jalan, jembatan, sistem kelistrikan dan komunikasi, dan sistem air bersih. Salah satu pembangunan infrastruktur utama yang merupakan aspek vital dalam mendukung konektivitas dan pertumbuhan ekonomi suatu wilayah adalah jalan dan jembatan. Infrastruktur jembatan berperan penting sebagai pembuka akses antar daerah karena kondisi geografis Indonesia memiliki hambatan alami seperti sungai yang dapat menjadi kendala bagi konektivitas darat tidak terkecuali di wilayah Bekasi.

Di Indonesia, jembatan umumnya dirancang berdasarkan Standar Pembebanan Jembatan (Badan Standardisasi Nasional, 2016) yang mendefinisikan batas beban rencana (beban lalu lintas standar) untuk menjamin keamanan dan umur layanan struktur (SNI 1725:2016). Namun, realitas di lapangan menunjukkan maraknya praktik *Over Dimension Over Load* (ODOL) pada kendaraan angkutan barang. Kendaraan ODOL membawa muatan melebihi batas yang diizinkan, baik dari segi dimensi maupun berat total kendaraan (gross vehicle weight), jauh melampaui beban rencana standar. Keberadaan kendaraan ODOL menimbulkan tekanan berlebih dan gaya geser yang ekstrem pada elemen-elemen struktural jembatan, seperti pelat lantai, balok *girder*, dan sambungan jembatan (Widi Nugraha, 2017). Beban dinamis berulang yang melebihi kapasitas desain ini dapat menyebabkan kerusakan dini yaitu retak pada pelat lantai dan beton penopang, serta penurunan pada sambungan *girder* (*deck slab crack*, *girder settlement*) (Widi Nugraha, 2017). Penurunan umur layanan yaitu kerusakan yang dipercepat akibat kelelahan (*fatigue*) material, sehingga secara signifikan mengurangi umur rencana jembatan yang seharusnya mencapai puluhan tahun (Standar beban rencana, 2016) dan risiko kegagalan struktur, peningkatan risiko kegagalan struktur fatal, bahkan ambruk, jika dilalui secara terus-menerus (Widi Nugraha, 2017).

Kementerian Perhubungan saat ini tengah memerangi kendaraan angkutan barang yang melakukan *Over Dimension Over Load* (ODOL). Hal ini perlu dilakukan karena banyak menimbulkan permasalahan keselamatan lalu lintas serta kerusakan infrastruktur jalan dan jembatan. Kerusakan jalan yang ditimbulkan oleh beban kendaraan ODOL mengakibatkan terjadinya retakan, lubang serta deformasi (jalan bergelombang). Kondisi ini tentunya menyebabkan terjadinya penurunan umur layanan jalan. Sementara untuk kerusakan jembatan terjadi karena suatu jembatan dibangun dengan desain untuk beban maksimal tertentu. Kendaraan angkutan barang yang melakukan (ODOL) akan mempercepat kelelahan struktur (*fatigue*) yang dapat memicu keruntuhan. Kerusakan jalan dan jembatan yang disebabkan ODOL akan membebani anggaran negara untuk pemeliharaan, yang semestinya dapat digunakan untuk pembangunan jalan dan jembatan baru. Kerugian akibat kerusakan infrastruktur jalan dan jembatan oleh ODOL di Indonesia diperkirakan mencapai puluhan triliun Rupiah setiap tahunnya, membebani Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN) dan daerah (Moshiri, M., & Montufar, J., 2025).

Jembatan KCM Wisma Asri merupakan salah satu infrastruktur penting yang menghubungkan Kecamatan Bekasi Utara, Kota Bekasi dengan Kecamatan Babelan,

Kabupaten Bekasi. Jembatan ini membentang di atas Kali Bekasi dan menjadi jalur strategis karena berada di kawasan dengan kepadatan penduduk tinggi serta aktivitas pembangunan yang pesat di wilayah Bekasi Utara. Fungsi jembatan ini sangat vital dalam menunjang mobilitas masyarakat dan distribusi barang, sehingga lalu lintas yang melintas cenderung padat, termasuk kendaraan berat angkutan barang. Struktur jembatan dengan lebar 6 meter ini dirancang dengan beton prategang serta elemen baja untuk dua lajur kendaraan. Jembatan ini merupakan jembatan dengan bentang tunggal tanpa pier di tengah sungai sepanjang 70 meter dapat dilalui kendaraan dengan berat maksimal 30 ton. Meskipun jembatan ini telah dirancang untuk menahan beban lalu lintas standar sesuai peraturan yang berlaku, belum diketahui secara pasti sejauh mana dampak aktual dan sisa kapasitas struktur jembatan tersebut akibat paparan kumulatif beban ODOL.

Kondisi lalu lintas yang melintas pada jembatan KCM Wisma Asri sangat padat pada pagi dan sore hingga malam hari terutama untuk kendaraan mobil penumpang dan sepeda motor. Tetapi, sejak 5 tahun terakhir, pada area Bekasi Utara dan Babelan terdapat proses pembangunan yang memerlukan urugan tanah. Aktivitas pembangunan infrastruktur dan pengadaan lahan untuk beberapa proyek besar tersebut memerlukan mobilisasi tanah cukup tinggi. Oleh sebab itu puluhan kendaraan angkutan tanah berupa dump truck tipe CWE 280 dengan berat maksimal muatan 18 ton, tetapi melakukan *overload* sampai dengan 33 ton melintas setiap harinya. Sementara tercatat bahwa *gross vehicle weight* kendaraan tersebut adalah 26 ton, sehingga dapat diketahui bahwa berat total kendaraan pengangkut tanah yang melintas jembatan KCM Wisma Asri mencapai 59 ton. Kondisi struktur jembatan KCM Wisma Asri direncanakan dapat dilalui kendaraan melintas dengan berat muatan maksimal 30 ton. Tetapi setiap harinya dilalui kendaraan pengangkut tanah dengan berat total mencapai 59 ton. Hal ini tentunya sangat berbahaya. Kondisi ini akan semakin berbahaya apabila kondisi lalu lintas padat (macet) dan kendaraan di atasnya berjalan lambat bahkan berhenti karena beban terpusat akan bertahan lebih lama dibandingkan dengan kendaraan yang melaju. Sehingga, beban yang cukup lama ini akan memberikan tekanan yang lebih besar pada struktur terutama dititik tumpuan atau ditengah bentang Jembatan KCM Wisma Asri.

Oleh karena itu, evaluasi perbandingan struktur jembatan akibat beban lalu lintas standar dan kendaraan angkutan barang *Over Dimension Over Load* (ODOL) pada Jembatan KCM Wisma Asri Bekasi menjadi sangat penting. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan respons struktural (tegangan, regangan, lendutan, dan faktor kapasitas) pada Jembatan KCM Wisma Asri ketika menerima beban standar dan ketika dianalisis terhadap skenario beban ODOL. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan data ilmiah mengenai tingkat kerentanan jembatan, serta menjadi dasar rekomendasi teknis bagi pihak berwenang di Bekasi untuk penentuan kebijakan pembatasan beban, perkuatan struktur, atau program pemeliharaan preventif guna menjaga keamanan dan keberlanjutan fungsi jembatan.

## 2. METODE PELAKSANAAN

Evaluasi perbandingan struktur jembatan akibat beban lalu lintas standar dan kendaraan angkutan barang *Over Dimension Over Load* (ODOL) pada Jembatan KCM Wisma Asri Bekasi ini dilaksanakan dengan memperhatikan landasan teori dan selanjutnya dilakukan Pengolahan data dengan menggunakan rumus manual mekanika struktur untuk jembatan bentang tunggal. Proses pengolahan data ini tentunya perlu didukung oleh data data yang relevan, dengan melakukan inspeksi lapangan yang meliputi pendataan spesifikasi teknis dari jembatan tersebut yang meliputi panjang bentang jembatan, lebar jembatan, elemen

struktur jembatan, dan kendaraan terberat yang melintas. Proses ini dilakukan dengan mencoba menemukenali beberapa hal yaitu identifikasi tipe struktur jembatan, pemeriksaan kondisi visual (retak, korosi, lendutan), dan penentuan titik pengukuran yang representatif. Sementara peran profesional insinyur dalam penelitian ini diperlukan dalam proses identifikasi sistem struktur, penentuan asumsi pembebanan, serta validasi hasil analisis agar sesuai dengan kaidah rekayasa struktur.

### **2.1. Landasan Teori dan Pengembangan Hipotesis**

Perencanaan sampai dengan proses pembangunan suatu jembatan mengacu pada standar perencanaan dari SNI, dan AASHTO. Setiap jembatan secara umum memikul dua jenis beban yaitu beban mati dan beban hidup (Purwanto A, 2018). Beban mati jembatan (*dead load*) yang bersifat permanen terdiri dari berat sendiri konstruksi jembatan, berat lapisan perkerasan diatas jembatan dan berat perlengkapan jembatan seperti pagar, trotoar, lampu, dan saluran drainase. Sementara beban hidup (*live load*) merupakan suatu beban yang berubah ubah tergantung pada kondisi lalu lintas. Beban hidup ini terdiri dari beban kendaraan yang harus sesuai dengan standar perencanaan berat maksimal kendaraan seperti truk, bus, dan mobil penumpang. Beban ODOL ini merupakan beban hidup yang melebihi batas maksimal kendaraan melintas sesuai dengan perencanaan pembangunan jembatan tersebut. Selain beban mati dan beban hidup, proses pembangunan suatu jembatan juga perlu mempertimbangkan beban lingkungan yang dipengaruhi oleh faktor alam seperti angin yang sangat mempengaruhi gaya horizontal pada suatu bangunan jembatan yang tinggi. Beban lingkungan yang lain yang juga tidak dapat disepelekan adalah beban gempa, temperatur, dan aliran air. Setiap kendaraan yang melintas pada suatu jembatan akan menimbulkan beberapa gaya diantaranya tumbukan gaya kendaraan bergerak ke pilar atau abutmen, gaya pengereman kendaraan (*longitudinal load*), gaya sentrifugal apabila pada jembatan tersebut terdapat tikungan, dan getaran akibat resonansi dari lalu lintas berulang (Soeharto, R., 2015). Berdasarkan beberapa acuan perencanaan pembangunan jembatan tersebut, maka dapat dipahami bahwa beban paling dominan yang mempengaruhi keamanan jembatan terkait ODOL adalah beban hidup karena sering melebihi kapasitas desain yang dapat menimbulkan fatigue, retak, bahkan keruntuhan dini. Pengoperasian suatu jembatan yang dapat dilalui oleh kendaraan dengan berat muatan yang tinggi perlu memperhatikan beberapa hal diantaranya strength limit state yang menjamin jembatan memiliki kekuatan cukup untuk menahan beban maksimum baik beban mati maupun beban hidup. Selain itu juga perlu diperhatikan *serviceability limit state* sebagai kontrol kenyamanan dan fungsi jembatan untuk digunakan sehari hari dengan lendutan yang aman terhadap retak pada beton (Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. AASHTO, 2020).

Dalam standar pembebanan jembatan SNI 1725:2016 ditetapkan faktor beban dinamis (FBD) adalah 30-40% tergantung panjang bentang jembatan. Seiring perkembangan teknologi pengukuran beban kendaraan, yaitu menggunakan *Bridge Weigh-in-Motion* (B-WIM), FBD ini dapat diperhitungkan untuk setiap kendaraan yang melintas (Soeharto, R., 2015). Jembatan adalah infrastruktur yang mengalami beban yang bersifat dinamis dan berulang. Efek dari sifat beban ini pada elemen jembatan khususnya elemen baja pada Jembatan tipe komposit adalah terjadinya siklus tegangan kemudian relaksasi secara berulang seiring kendaraan melintas selama masa layan jembatan, yang dapat berakibat pada kegagalan fatik (Widi Nugraha, 2017). Jembatan komposit yang direncanakan berdasarkan standar pembebanan jembatan dimana kondisi fatik ini dapat dievaluasi terhadap tahanan fatik nominal selama masa layan (Bridge Design Specifications, American Association of

State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. AASHTO, 2020), (Widi Nugraha, 2017), (Standar beban rencana, 2016).

Penelitian tentang *Existing Bridge Formulas for Truck-Weight Regulation from International Jurisdictions and Resulting Load Stresses on Single-Span Bridges* menyampaikan bahwa *bridge* formula merupakan metode pengaturan berat dan ukuran kendaraan truk dengan mempertimbangkan konfigurasi sumbu, metode desain jembatan, serta kriteria beban rencana. Setiap wilayah dapat memiliki formula yang berbeda tingkat ketatannya, sehingga berpengaruh pada besar beban yang diizinkan maupun tegangan yang timbul pada jembatan bentang tunggal (Moshiri, M., & Montufar, J., 2025). Penerapan rumus yang tidak sesuai dengan karakteristik armada kendaraan dan infrastruktur dapat menimbulkan masalah, seperti terjadinya tegangan berlebih, pembatasan jarak sumbu yang tidak efektif, maupun dampak negatif terhadap kinerja jembatan. Oleh karena itu, *bridge* formula perlu dievaluasi dan diperbarui secara berkala agar tetap relevan dengan kondisi transportasi dan infrastruktur yang terus berkembang (Moshiri, M., & Montufar, J., 2025).

Penelitian tentang metode pencatatan retak, deformasi, kerusakan beton dan sambungan baja pada suatu jembatan, dilaksanakan dengan menempatkan kendaraan *truck* dengan beban sesuai standar pada beberapa posisi di suatu jembatan. Pada proses ini dilakukan pengukuran defleksi, lendutan, atau regangan. Hasilnya ditemukan beberapa kerusakan minor seperti retak permukaan, *spalling*, atau korosi tulangan. Dari hasil uji beban ditunjukkan bahwa defleksi aktual masih dalam batas aman, dan jembatan masih layak digunakan (Dewi, R. K., & Hidayat, R., 2018).

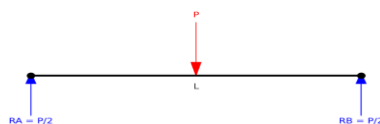
Sementara itu, penelitian dengan mengevaluasi kapasitas beban jembatan dibangun puluhan tahun lalu dengan standar lama, sementara lalu lintas dan beban kendaraan terus meningkat. Penelitian ini dilakukan dengan mengevaluasi kapasitas beban jembatan menggunakan *Load and Resistance Factor Rating* (LRFR). Hasilnya didapatkan bahwa jembatan yang telah berusia puluhan tahun tersebut sudah tidak layak menahan beban lalu lintas saat ini, sehingga diperlukan pembatasan beban kendaraan atau perkuatan jembatan (Pradana A & Setiawan A, 2019).

Penelitian tentang lendutan jembatan *girder* beton bertulang menggunakan uji beban statis, menyampaikan bahwa dengan bertambahnya usia dan peningkatan volume lalu lintas pada sebuah jembatan, perlu dilakukan evaluasi kinerja struktur, salah satunya melalui pengukuran lendutan dengan uji beban statis yang terbukti efektif sebagai metode evaluasi kondisi jembatan (Yulianto, R., & Prasetyo, H, 2020).

## 2.2. Reaksi Tumpuan

Reaksi tumpuan merupakan gaya atau momen yang bekerja pada titik perletakan (tumpuan) jembatan karena adanya beban mati dan beban hidup (lalu lintas). Beban tersebut akan disalurkan ke struktur dan selanjutnya diteruskan ke tumpuan/abutmen/pilar. Perhitungan reaksi tumpuan ini penting dilakukan agar dapat diketahui apakah abutmen, *bearing*, dan fondasi masih mampu menahan beban (Hibbeler, R.C, 2017).

### 2.2.1. Beban Terpusat di Tengah Bentang



**Gambar 1.**

Beban Terpusat di Tengah Bentang

Jembatan KCM Wisma Asri merupakan jembatan dengan bentang tunggal, sehingga beban terpusat berada ditengah tengah bentang sebagaimana terlihat pada Gambar 1. Perhitungan beban terpusat ditengah bentang dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

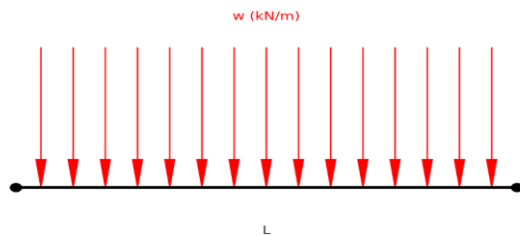
$$R_A = R_B = \frac{P}{2} \dots\dots\dots (1)$$

dimana :

$R_A$  dan  $R_B$  = Reaksi tumpuan kiri dan kanan

$P$  = Beban terpusat (Beban *Truck*)

### 2.2.2. Beban Terbagi Merata



**Gambar 2.**  
Beban Terbagi Merata

Gambar 2 tersebut menunjukkan beban terbagi merata (*uniformly distributed load*) yang bekerja sepanjang bentang jembatan dengan panjang  $L$ . Beban ini dinyatakan dengan intensitas  $w$  (kN/m), yang berarti setiap satu meter panjang jembatan menerima beban yang sama besar. Pada struktur jembatan, beban terbagi merata umumnya digunakan untuk merepresentasikan berat sendiri struktur jembatan, seperti gelagar, pelat lantai, dan lapisan perkerasan, dan beban mati tambahan, misalnya trotoar, pagar, dan utilitas. Penentuan beban terbagi rata tersebut dapat dilakukan dengan memanfaatkan rumus sebagai berikut:

$$R_A = R_B = \frac{\omega \cdot L}{2} \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

$\omega$  = beban merata (kN/m)

$L$  = panjang bentang (m)

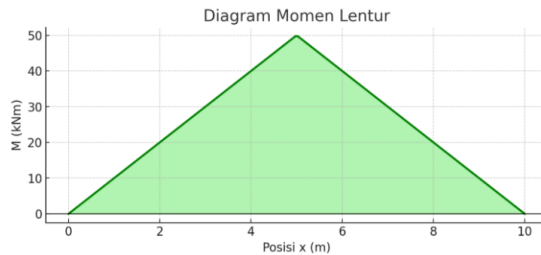
### 2.2.3. Momen Lentur Maksimum

Momen lentur maksimum (*maximum bending moment*) pada suatu jembatan merujuk pada nilai momen lentur terbesar yang terjadi pada struktur jembatan akibat beban yang bekerja. Momen lentur adalah ukuran seberapa besar suatu struktur (seperti balok atau elemen struktur jembatan) mengalami kecenderungan untuk melengkung atau membengkok akibat beban (Soeharto, R., 2015), (Hibbeler, R.C., 2017). Faktor faktor yang mempengaruhi momen lentur maksimum adalah:

- a. Beban  
Beban lalu lintas (kendaraan), beban mati (berat struktur sendiri), beban angin, dan beban lainnya dapat mempengaruhi besarnya momen lentur.
- b. Geometri Struktur  
Bentuk dan ukuran penampang struktur jembatan mempengaruhi distribusi momen lentur.
- c. Kondisi Tumpuan  
Bagaimana jembatan ditopang (sendi, rol, jepit) mempengaruhi distribusi momen lentur.

Pada penelitian ini, perhitungan momen lentur maksimum dilakukan pada beban terpusat ditengah bentang dan beban terbagi merata dengan rumus sebagai berikut:

a. Beban Terpusat di Tengah Bentang

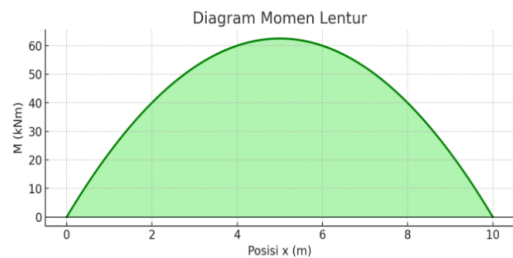


**Gambar 3.**  
Beban Terpusat di Tengah Bentang

Gambar 3 tersebut menunjukkan diagram momen lentur pada jembatan bentang sederhana yang menerima beban terpusat di tengah bentang. Beban terpusat ini bekerja pada satu titik tertentu, tepat di tengah bentang jembatan, yang umumnya merepresentasikan beban roda kendaraan berat atau beban terfokus akibat lalu lintas. Terkait dengan hal tersebut diatas, maka nilai beban terpusat di tengah bentang dapat dilakukan dengan memanfaatkan rumus tersebut dibawah ini:

$$M_{max} = \frac{P.L}{4} \dots\dots\dots (3)$$

b. Beban Terbagi Merata



**Gambar 4.**  
Beban Terbagi Rata

Gambar 4 tersebut diatas menunjukkan diagram momen lentur pada jembatan bentang sederhana yang menerima beban terbagi merata sepanjang bentang jembatan. Beban terbagi merata ini bekerja dengan intensitas yang sama pada setiap satuan panjang bentang dan umumnya digunakan untuk merepresentasikan beban mati struktur serta beban lalu lintas yang terdistribusi secara merata. Penentuan beban terbagi rata tersebut dapat dilakukan dengan memanfaatkan rumus sebagai berikut:

$$M_{max} = \frac{w.L^2}{8} \dots\dots\dots (4)$$

**2.2.4. Lentutan Maksimum**

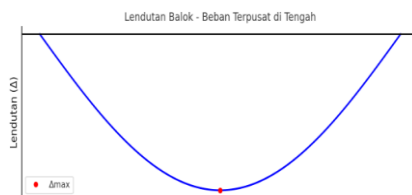
Lentutan maksimum (*maximum deflection*) pada suatu jembatan merujuk pada besarnya perpindahan atau perubahan posisi vertikal maksimum yang dialami oleh struktur jembatan akibat beban yang bekerja (Soeharto, R., 2015), (Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. AASHTO, 2020).

Faktor- faktor yang mempengaruhi lendutan adalah sebagai berikut:

- a. Beban  
Beban lalu lintas, beban mati, dan beban lainnya dapat menyebabkan lendutan.
- b. Kekakuan Struktur  
Modulus elastisitas material dan momen inersia penampang mempengaruhi kekakuan dan lendutan.
- c. Panjang Bentang  
Semakin panjang bentang, potensi lendutan bisa lebih besar jika tidak didesain dengan cukup kekakuan.
- d. Kondisi Tumpuan  
Jenis tumpuan (jepit, sendi, rol) mempengaruhi perilaku lendutan.

Pada penelitian ini, perhitungan lendutan maksimum dilakukan pada beban terpusat ditengah bentang dan beban terbagi merata dengan rumus sebagai berikut:

- a. Beban Terpusat di Tengah



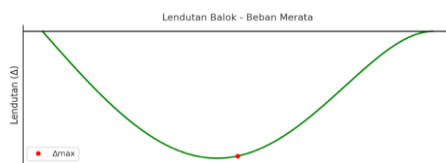
**Gambar 5.**

Lendutan Balok (Beban Terpusat di Tengah)

Gambar 5 menunjukkan bentuk lendutan balok pada jembatan bentang sederhana yang menerima beban terpusat di tengah bentang. Kurva lendutan berbentuk parabola simetris, yang mencerminkan respons struktur terhadap beban yang bekerja pada satu titik tertentu.

$$\Delta_{\max} = \frac{P.L^3}{48.E.I} \dots\dots\dots (5)$$

- b. Beban Merata



**Gambar 6.**

Lendutan Balok (Beban Merata)

Gambar 6 tersebut menunjukkan kurva lendutan balok sederhana yang diberikan beban merata di seluruh panjangnya, dimana nilai lendutan maksimal dapat dilakukan dengan menggunakan rumus tersebut dibawah ini:

$$\Delta_{\max} = \frac{5\omega.L^4}{348.E.I} \dots\dots\dots (6)$$

dimana:

$\Delta_{\max}$  = lendutan maksimum

E = modulus elastisitas beton prategang (30.000 – 35.000 Mpa)

I = momen inersia penampang girder

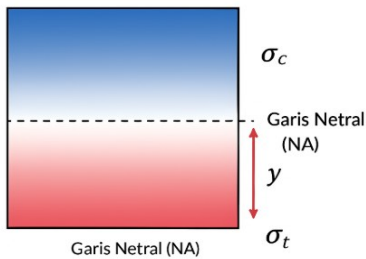
**2.2.5. Tegangan Lentur**

Tegangan lentur (*bending stress*) adalah tegangan yang terjadi pada suatu elemen struktur ketika mengalami momen lentur, menyebabkan bagian struktur mengalami tarik (*tension*) pada satu sisi dan tekan (*compression*) pada sisi lainnya. Faktor faktor yang mempengaruhi adalah beban (penyebab momen lentur), geometrik penampang (bentuk dan ukuran yang mempengaruhi distribusi tegangan, dan sifat material seperti modulus elastisitas dan kekuatan tarik/tekan (Soeharto, R., 2015), (Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. AASHTO, 2020), (Hibbeler, R.C., 2017). Perhitungan tegangan lentur ini menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{M_{max} \cdot y}{I} \dots\dots\dots (7)$$

dimana :

- $\sigma$  = tegangan (Mpa)
- $M_{max}$  = momen maksimum (kNm)
- $y$  = jarak dari netral ke serat terjauh (m)
- $I$  = momen inersia (m<sup>4</sup>)



**Gambar 7.**  
Tegangan Lentur (*Bending Stress*)

Gambar 7 tersebut merupakan visualisasi dari tegangan lentur (*bending stress*) yang terjadi pada penampang melintang sebuah balok (seperti *girder* jembatan) saat menerima beban.

**2.2.6. Kriteria Bebas**

Pada penelitian ini kriteria batas dilakukan pada lendutan ijin dan tegangan ijin. Hal ini dilakukan agar struktur tetap berfungsi baik tanpa menimbulkan ketidaknyamanan dan kerusakan selama umur rencana.

Alasan utama untuk pembatasan lendutan ijin meskipun struktur jembatan masih kuat secara kapasitas, tetapi besarnya lendutan dapat menyebabkan masalah terhadap kenyamanan pengguna yang disebabkan oleh getaran atau lendutan berlebih saat dilewati kendaraan. Selain itu, akan terjadi kerusakan non struktural seperti pada aspal, sambungan, railing, dan utilitas lain yang menyebabkan keretakan atau deformasi berlebih. Sementara untuk efek jangka panjang, besarnya lendutan berulang dapat menyebabkan degradasi material (Elsupandi, E. S., 2024).

Untuk mendapatkan nilai lendutan ijin tersebut, proses perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$\Delta_{ijin} = L/800 \text{ sampai dengan } L/1000. \text{ Untuk } L = 70 \text{ meter, maka:}$$

$$\Delta_{izin} \approx 87,6 \text{ mm}$$

Sementara untuk tegangan ijin beton Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. AASHTO, 2020) diketahui bahwa beton tekan  $\leq 0,45f_c'$  pada saat layanan, dan beton tarik tidak boleh signifikan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Jembatan KCM Wisma Asri Bekasi

Reaksi tumpuan merupakan gaya atau momen yang bekerja pada titik perletakan Jembatan KCM Wisma Asri Bekasi merupakan jembatan lama dan berusia lebih dari 20 tahun yang menghubungkan antara Kecamatan Bekasi Utara Kota Bekasi, dan Kecamatan Babelan Kabupaten Bekasi. Kondisi saat itu, tata guna lahan disekitarnya belum sepadat saat ini. Dengan semakin pesatnya pembangunan diwilayah Bekasi Utara, maka jumlah penduduk disekitarnya meningkat signifikan. Hal ini tentunya semakin meningkatkan pergerakan lalu lintas pada jembatan tersebut.

Di Indonesia, Standar Operasional Prosedur (SOP) dan kriteria teknis untuk perencanaan, pembebanan, serta pemeliharaan jembatan diatur dalam beberapa regulasi utama yang diterbitkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR : SNI 1725:2016 (Pembebanan untuk Jembatan)). Secara mekanika, beban berlebih akibat kemacetan ini memicu distribusi tegangan lentur (bending stress) pada penampang balok sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 7. Akibat lendutan yang besar, serat bawah balok mengalami tegangan tarik yang maksimal. Mengingat usia jembatan yang telah melebihi 20 tahun, terdapat risiko bahwa tegangan tarik tersebut melampaui kapasitas izin beton lama, yang secara teknis berpotensi menyebabkan retak fatik pada struktur bawah jembatan. Gambar 8 berikut menunjukkan gambaran lalu lintas jembatan KCM Wisma Asri Bekasi.



**Gambar 8.**

Tegangan Lentur (*Bending Stress*)

#### 3.2. Kendaraan Terberat yang Melintas

Kendaraan terberat yang melintas di Jembatan KCM Wisma Asri Bekasi saat ini merupakan kendaraan angkutan barang berupa *Dump Truck Hino Index 28* Kubik (IndotamaLog, 2024). Spesifikasi teknis kendaraan ini tercatat bahwa GVW (*Gross Vehicle Weight*) nya adalah 14.000 kg atau 14 ton. *Payload* resmi untuk angkutan tanah galian adalah 20 ton (tidak penuh). Kondisi dilapangan, kendaraan ini mengangkut tanah (penuh dan

berlebih / ODOL) hingga mencapai 45 ton. Sehingga total kendaraan dan muatannya apabila memenuhi persyaratan melintas pada Jembatan KCM Wisma Asri sebesar 30 ton, dan 59 ton apabila melakukan ODOL. Berikut gambar kondisi *dump truck* pengangkut tanah galian tersebut.



**Gambar 9.**

Kendaraan Berat yang Melintas di Jembatan KCM Wisma Asri Bekasi

### 3.3. Perbandingan Struktur Jembatan Akibat Beban Lalu Lintas Standar dan Kendaraan Angkutan Barang Over Dimension Over Load (ODOL)

Perbandingan struktur jembatan akibat beban lalu lintas baik untuk yang standar maupun yang ODOL dilakukan dengan menghitung momen lentur maksimum, tegangan lentur, dan lendutan maksimum sesuai dengan data sebagai berikut:

Bentang jembatan 70m (tanpa pier di tengah bentang), dengan berat kendaraan maksimal yang melintas 30 ton. Beban angkutan barang terberat yang melintas  $P=30$  ton (sesuai standar) dan  $P=59$  ton (ODOL) sebagai berikut:

- Letak beban (kritis) berada di tengah bentang.
- Material beton prategang  $E_c \approx 30.000 \text{ Mpa} = 30.000 \text{ N/mm}^2$ .
- Penampang *girder*.
- Tinggi 2 m.
- Lebar efektif 1 m.
- Momen inersia  $I \approx bh^3/12 = (1000 \times 10^{11})$ .

Berdasarkan data tersebut diatas maka dilakukan perhitungan momen lentur maksimum, tegangan lentur, dan lendutan maksimum sesuai dengan rumus yang terdapat pada metode penelitian, sehingga didapatkan hasil untuk berat standar dan ODOL sebagai berikut:

**Tabel 1.**

Perbandingan Momen, Tegangan, dan Lendutan

Parameter	Standar 30 ton	ODOL 59 ton	Catatan
Momen Maksimum	5.250 kNm	10.325 kNm	ODOL 2x lebih besar
Tegangan lentur	7,87 Mpa	15,5 MPa	ODOL mendekati tegangan ijin
Lendutan maksimum	10,7 mm	21,1 mm	Masih < 87,5 mm tetapi meningkat 2x dari standar

Dari hasil perhitungan tersebut, maka diketahui bahwa jembatan mungkin masih berdiri, tetapi bekerja diluar kapasitas rencana. Untuk jangka panjang, ODOL ini akan mempercepat kerusakan beton prategang berupa retakan, kehilangan gaya prategang, dan korosi tendon.

### 3.4. Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis struktur jembatan KCM Wisma Asri dengan bentang tunggal 70 m, diperoleh perbandingan respon struktur akibat beban lalu lintas standar (30 ton) dan beban kendaraan ODOL (59 ton). Perhitungan dilakukan menggunakan pendekatan

balok sederhana dengan beban terpusat di tengah bentang, yang mewakili kondisi kritis dari pembebanan dengan hasil sebagai berikut:

a. Momen Lentur

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa momen lentur maksimum akibat beban standar adalah sebesar 5.250 kNm, sedangkan akibat beban ODOL mencapai 10.325 kNm. Hal ini menunjukkan peningkatan momen hampir dua kali lipat dibandingkan kondisi desain awal. Peningkatan momen yang signifikan ini berpotensi mempercepat kerusakan elemen girder jembatan, terutama pada zona tarik beton prategang.

b. Tegangan Lentur

Berdasarkan perhitungan tegangan lentur, beban standar menghasilkan tegangan sebesar 7,87 MPa, sedangkan ODOL menghasilkan 15,5 MPa. Nilai tegangan akibat ODOL mendekati batas tegangan izin beton tarik yang diatur dalam SNI 2833:2016. Kondisi ini berisiko menimbulkan retak pada beton di bagian bawah girder, yang dalam jangka panjang dapat mempercepat proses degradasi struktur, termasuk korosi baja prategang.

c. Lendutan

Lendutan maksimum akibat beban standar tercatat 10,7 mm, sedangkan akibat beban ODOL mencapai 21,1 mm. Jika dibandingkan dengan lendutan izin sebesar 87,5 mm ( $L/800$ ), nilai lendutan aktual masih berada dalam batas aman. Namun demikian, adanya peningkatan lendutan hampir dua kali lipat menunjukkan bahwa kinerja kekakuan jembatan tertekan lebih berat daripada yang direncanakan. Apabila kondisi ODOL berlangsung terus menerus, lendutan kumulatif dan deformasi permanen berpotensi muncul.

Dari hasil analisis terlihat bahwa meskipun lendutan akibat beban ODOL masih dalam batas izin, namun momen lentur dan tegangan yang timbul menunjukkan beban berlebih yang signifikan. Hal ini berimplikasi pada penurunan umur layan jembatan dan peningkatan risiko kerusakan dini. Dengan kondisi kendaraan ODOL yang melewati jembatan setiap hari, umur layan jembatan diperkirakan akan berkurang drastis dibandingkan umur rencana.

Apabila kendaraan ODOL dengan berat 59 ton yang melintas hanya sesekali, maka struktur masih dapat bertahan karena sifatnya bebannya sementara. Tapi jika lebih dari 20 kendaraan ODOL per hari, kondisinya akan menjadi jauh lebih kritis. Terkait dengan hal tersebut maka beberapa hal yang akan terjadi adalah sebagai berikut:

a. Kumulatif Beban Lelah (*Fatigue*)

Kumulatif beban Lelah (*fatigue cumulative load*) merupakan konsep dalam mekanika material yang menjelaskan penurunan kekuatan elemen pembebanan berulang (*cyclic loading*) sepanjang umur layanan (Herusiswoyo, M. A., & Ma'ruf, B., 2023). Beberapa kemungkinan yang akan terjadi adalah:

- Elemen struktur baja, beton dan sambungan las, apabila dibebani berulang-ulang meskipun dengan gaya yang lebih kecil dari kekuatan ultimitnya, semakin lama akan mengalami retak mikro yang berkembang menjadi retak lelah.
- Setiap siklus beban menambah tingkat kerusakan yang bersifat akumulatif (*cumulative damage*).
- Jika jumlah siklus dan besar tegangan melampaui batas kelelahan material, struktur akan gagal meskipun beban tidak pernah melebihi kapasitas desain awalnya.

b. Peningkatan Lendutan Jangka Panjang (*Long-Term Deflection*)

Lendutan jangka panjang adalah penambahan deformasi (susut) pada elemen struktur yang terjadi seiring waktu akibat kombinasi beban, sifat material, dan kondisi lingkungan. Pada beton bertulang/prategang, lendutan tidak hanya muncul saat pertama kali dibebani,

tetapi akan bertambah perlahan selama umur layan struktur ( Baskoro Abdi Praja Dkk, 2016). Pada Jembatan KCM Wisma Asri Bekasi, beberapa hal yang akan terjadi adalah:

- Lendutan sesaat akibat ODOL ( $\approx 21,1$  mm) mungkin masih aman.
- Tapi jika dilewati 20 kali per hari  $\times 365$  hari =  $\pm 7.300$  siklus per tahun, maka lendutan permanen (residual deflection) akan muncul.
- Dalam 5–10 tahun, bisa terjadi deformasi permanen yang melebihi batas izin (87,5 mm).

c. Retak dan Degradasi Beton

Beton pada dasarnya kuat menahan tekan, tetapi lemah menahan tarik. Karena itu, pada kondisi lapangan, beton mudah mengalami retak jika tegangan tarik melampaui kapasitasnya. Retak ini seiring waktu bisa berkembang menjadi bentuk degradasi (penurunan mutu dan kinerja beton) (Fitria Handayani, 2017). Potensi terjadinya retak dan degradasi beton pada Jembatan KCM Wisma Asri Bekasi adalah sebagai berikut:

- Tegangan tarik akibat ODOL (15,5 MPa) mendekati batas izin beton, jika hal ini terjadi ribuan kali, maka retak rambut akan muncul pada serat bawah *girder*.
- Retak ini membuka jalan bagi air dan klorida, yang mempercepat korosi pada baja. Hal ini cukup berbahaya karena akan menyebabkan beberapa hal yaitu:
  - Hilangnya gaya prategang (*prestress loss*) di mana korosi akan mengurangi luas penampang baja, sehingga kapasitas daya Tarik baja tersebut akan menurun. Selain itu, akan berakibat juga terhadap menurunnya gaya prategang efektif, sehingga beton beton akan mengalami percepatan retak tarik.
  - Retak dan *spalling* pada beton. Hal ini terjadi karena produk baja yang berkarat (oksida besi) volumenya akan membesar 6–10 kali dari baja aslinya. Dorongan ini menyebabkan beton di sekitar baja retak dan terkelupas (*spalling*).
  - Akselerasi degradasi yang berupa retakan *spalling* akan menjadi jalur masuk air dan ion klorida yang akan mempercepat korosi lebih parah yaitu dari korosi lokal hingga menjadi patah total tendon.
  - Penurunan kapasitas struktur karena baja adalah “urat nadi” struktur prategang. Jika sebagian baja gagal, maka distribusi gaya internal berubah drastis. Sehingga kapasitas lentur, geser, dan daya dukung jembatan berkurang signifikan.
  - Kegagalan mendadak (*brittle failure*). Kegagalan pada baja karena korosi bisa tiba-tiba tanpa tanda peringatan jelas.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1. Kesimpulan

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menilai apakah kondisi struktur jembatan saat ini masih memenuhi standar keamanan yang ditetapkan dalam regulasi (SOP) jembatan nasional, mengingat usia jembatan yang sudah lebih dari 20 tahun, dan kendaraan yang melintas saat ini telah melebihi kapasitas berat muatan jembatan, maka dari hasil analisis dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Beban kendaraan ODOL (59 ton) hampir dua kali lipat dari kapasitas desain jembatan (30 ton). Hal ini menyebabkan momen lentur dan tegangan lentur yang bekerja pada girder meningkat hampir 2 kali lipat, sehingga struktur bekerja di luar batas perencanaan.
- b. Lendutan jembatan akibat ODOL meningkat signifikan (dari 10,7 mm menjadi 21,1 mm), meskipun masih di bawah batas izin (87,5 mm). Namun, dengan frekuensi beban berulang setiap hari, risiko deformasi permanen akan semakin tinggi.

- c. Jumlah kendaraan ODOL yang melintas lebih dari 20 per hari menyebabkan siklus pembebanan berulang yang signifikan ( $\pm 7.300$  siklus per tahun). Hal ini mempercepat kerusakan beton prategang berupa retak, korosi tendon, dan penurunan kekakuan struktur.
- d. Umur layan jembatan berkurang drastis. Dari umur rencana 50 tahun, umur aktual diperkirakan hanya sekitar 25 tahun jika ODOL melintas 20 kali per hari. Jika intensitas ODOL lebih tinggi, maka umur jembatan dapat turun menjadi kurang dari 20 tahun.
- e. Dengan kondisi ini, keselamatan dan keandalan jembatan KCM Wisma Asri terancam. Jika tidak dilakukan pembatasan tonase kendaraan dan langkah perkuatan, maka risiko kerusakan dini atau bahkan kegagalan struktur akan meningkat dalam jangka menengah.

#### 4.2. Saran

- a. Perlu ada ketegasan pembatasan beban maksimal kendaraan yang melintas agar momen lentur, dan tegangan lentur yang bekerja pada *girder* bekerja sesuai rencana.
- b. Mengurangi frekuensi kendaraan angkutan barang yang melintas, sehingga dapat mengurangi risiko deformasi permanen yang semakin tinggi.
- c. Perlu adanya pemeriksaan kondisi struktur jembatan secara berkala untuk menghindari terjadinya hal hal yang tidak diinginkan demi keselamatan pengguna jalan dan jembatan di area tersebut.
- d. Perlu direncanakan penguatan struktur dengan beberapa pilihan metode diantaranya:
  - Penambahan plat baja atau *carbon fiber* (FRP) karena metode ini sangat efektif untuk mengatasi masalah tegangan tarik yang berlebih pada serat bawah balok.
  - Penambahan eksternal prategang (*External Post-Tensioning*) karena jembatan ini menggunakan beton prategang, sehingga penambahan kabel prategang eksternal adalah solusi yang cukup kuat.
  - Penambahan gelagar baru (*Girder Strengthening*), karena hasil evaluasi menunjukkan bahwa momen inersia penampang saat ini dinilai terlalu kecil untuk menahan beban merata yang baru, maka diperlukan intervensi fisik pada struktur pendukung.

Terkait beberapa pilihan tersebut diatas, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut strategi penguatan struktur yang paling efektif diantara beberapa pilihan tersebut diatas.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
2. Baskoro Abdi Praja, Dr.-Ing. Ir. Andreas Triwiyono, Akhmad Aminullah S.T., M.T., Ph.D. (2016). *Perilaku rangkai susut struktur jembatan terhadap variasi durasi jangka panjang*. Repository UGM, Universitas Gadjah Mada.
3. D.C. AASHTO (2020), *Bridge Design Specifications, American Association of State Highway and Transportation Officials*. Washington : AASHTO
4. Dewi, R. K., & Hidayat, R. (2018). Evaluasi kondisi struktur jembatan menggunakan metode inspeksi visual dan uji beban. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, Universitas Brawijaya.
5. Elsupandi, E. S. (2024). Deteksi kerusakan pada struktur jembatan integral beton bertulang dengan menggunakan mode shape data base indicator (MSDBI). *Jurnal Teknik Sipil*, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
6. Fitria Handayani. (2017). Perilaku Struktur Jembatan Bersudut (Skew Bridge) Menggunakan Beton Mutu Normal. *Jurnal Teknologi Berkelanjutan*, 6(2).
7. Herusiswoyo, M. A., & Ma'ruf, B. (2023). Analisis uji beban jembatan menggunakan total station. *Journal of Geospatial Information Science and Engineering (JGISE)*

8. Hibbeler, R. C. (2017). *Structural Analysis*. New York: Pearson.
9. IndotamaLog. 2024. Mengenal 9 Tipe Dump Truck. IPL Logistic.
10. Moshiri, M., & Montufar, J. (2025). Existing bridge formulas for truck-weight regulation from international jurisdictions and resulting load stresses on single-span bridges. *ASCE Library*.
11. Nugraha, W., Sidi, I. D., Suarjana, M., & Zulkifli, E. (2024) Pengukuran Faktor Beban Dinamis Struktur Jembatan Menggunakan Bridge WIM pada Jembatan Bentang Pendek di Indonesia. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 30(2): 209-216. <https://doi.org/10.5614/jts.2023.30.2.8>
12. Pradana, A., & Setiawan, A. (2019). Evaluasi kapasitas beban jembatan berdasarkan metode LRFR. *Jurnal Jalan Jembatan*, Pusjatan Kementerian PUPR.
13. Purwanto A (2018), Struktur Jembatan, Yogyakarta : UII Press
14. Soeharto, R. (2015) Teknik Jembatan. Jakarta: Erlangga (2015)
15. Widi Nugraha. (2017). Evaluasi Umur Fatik Elemen Baja Jembatan Standar Tipe Komposit Menggunakan Data Wim (Fatigue Lifetime Evaluation Of Composite Standard Bridge Steel Element Using Wim Data). *Jurnal Jalan Jembatan PUPR*, 34 (1). <http://orcid.org/0000-0002-0225-5627>
16. Yulianto, R., & Prasetyo, H. (2020). Studi Lendutan Jembatan Girder Beton Bertulang Menggunakan Uji Beban Statis. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26(1): 23–32.