Available online at: http://jtb.ulm.ac.id/index.php/JTB
Volume 15 Nomor 1
ISSN: 2302-8394 (print)

Analisis Deformasi Vertikal dan Tegangan pada *Suspension Bridge*

Annisaturrahmah[1], Ade Yuniati Pratiwi[2]
[1]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Jl. A. Yani KM. 35,5 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714, Indonesia
[2]Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Jl. Brigjend. H. Hasan Basri, Banjarmasin, Kalimantan Selatan, 70123, Indonesia

ABSTRACT

Suspension bridges are characterized by high flexibility, making them susceptible to excessive deflection; consequently, stiffness verification and deformation control are crucial parameters for ensuring structural performance. This study aims to analyze the structural behavior of the Cemara Ujung-Sungai Andai Bridge, featuring an 80 meter main span, with a specific focus on vertical deformation responses and cable stress distribution. Numerical analysis was conducted based on the Finite Element Method using MIDAS Civil 2025 V2.1 software, while loading calculations adhered to the SNI 1725:2016 standard. The analysis results indicate that the maximum vertical deflection occurs at the mid-span, reaching a magnitude of 252.837 mm under the Strength I load combination. This deformation value is verified to remain below the permissible deflection limit of 400 mm. Furthermore, the evaluation of the main cable and hanger elements recorded maximum stresses of 152,9 N/mm² and 52,13 N/mm² respectively, satisfying the material safety requirements of 0.45 fpu. Thus, it is concluded that the structural configuration is adequate, as both the vertical deformation response and cable stresses are verified to comply with the requisite design limits.

Kata kunci: Suspension Bridge, Vertical Deformation, Cable Stress, MIDAS Civil 2025 V2.1

ABSTRAK

Struktur suspension bridge memiliki karakteristik fleksibilitas tinggi yang rentan mengalami lendutan berlebih, sehingga verifikasi kekakuan dan kontrol deformasi menjadi parameter krusial dalam menjamin performa jembatan. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja struktur Jembatan Cemara Ujung-Sungai Andai dengan bentang utama 80 meter, khususnya terkait respons deformasi vertikal dan distribusi tegangan kabel. Analisis numerik dilakukan berbasis metode elemen hingga dengan bantuan perangkat lunak MIDAS Civil 2025 V2.1, di mana perhitungan pembebanan mengacu pada standar SNI 1725:2016. Hasil analisis menunjukkan bahwa lendutan maksimum terjadi di tengah bentang dengan nilai terbesar mencapai 252,837 mm akibat kombinasi pembebanan Kuat I. Nilai deformasi tersebut terverifikasi masih berada di bawah batas izin lendutan sebesar 400 mm. Selain itu evaluasi terhadap elemen main cable dan hangen mencatat tegangan maksimum masing-masing sebesar 152,9 N/mm² dan 52,13 N/mm² yang memenuhi syarat keamanan material ($0{,}45 f_{pu}$). Dengan demikian, disimpulkan bahwa konfigurasi struktur masih mumpuni, di mana respons deformasi vertikal maupun tegangan kabel terverifikasi memenuhi batasan desain yang dipersyaratkan.

Kata kunci: Suspension Bridge, Deformasi Vertikal, Tegangan Kabel, MIDAS Civil 2025 V2.1

Correspondence : Ade Yuniati Pratiwi
Email : ade.pratiwi@ulm.ac.id

1 PENDAHULUAN

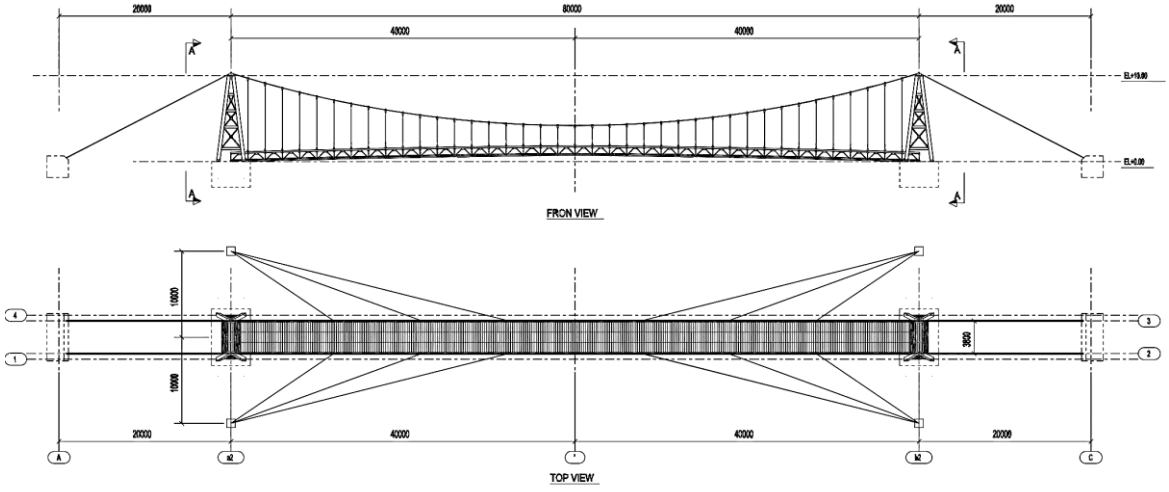
Jembatan merupakan infrastruktur krusial untuk menghubungkan akses transportasi melewati rintangan alam seperti sungai ataupun lembah. Salah satu tipe jembatan yang umum digunakan adalah jembatan gantung (*suspension bridge*) karena kemampuannya menjangkau bentang panjang secara efisien (Zhang *et al*., 2024). Namun, *suspension bridge* memiliki karakteristik berupa kekakuan yang relatif rendah sehingga rentan mengalami deformasi. Deformasi vertikal dan tegangan adalah parameter yang harus dijaga agar tidak melampaui batas aman. Jika tidak dianalisis dengan tepat, deformasi vertikal dan tegangan yang berlebihan berpotensi melampaui batas layan sehingga dapat membahayakan keamanan operasional jembatan (Chen et al., 2018).

Studi kasus dalam penelitian ini difokuskan pada Jembatan Cemara Ujung–Sungai Andai, *suspension bridge* dengan bentang utama 80 meter yang terletak di kawasan padat lalu lintas Banjarmasin Utara. Tingginya intensitas kemacetan di lokasi ini mengakibatkan struktur menerima beban vertikal yang signifikan secara berulang. Oleh karena itu, evaluasi komprehensif terhadap deformasi vertikal dan distribusi tegangan melalui simulasi numerik menjadi langkah krusial untuk memastikan respons struktur masih berada dalam batas layan yang disyaratkan.

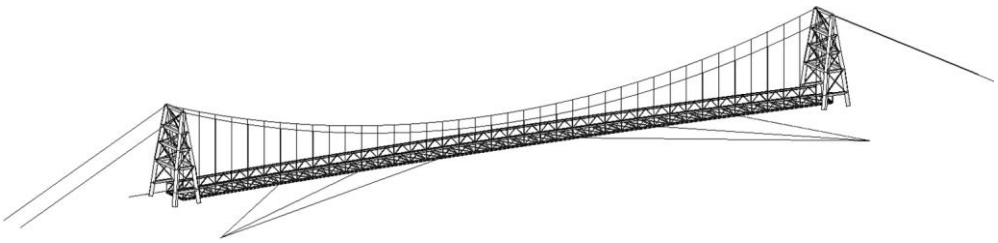
2 METODE PENELITIAN

Suspension bridge dalam penelitian ini adalah *suspension bridge single span* sepanjang 80 meter yang diukur dari *pylon* ke *pylon*. Komponen utama berupa kabel utama (*main cable*), *pylon*, penggantung (*hanger*), *deck* jembatan, dan kabel *windguy*. Untuk keperluan analisis, struktur jembatan dimodelkan menggunakan *software* berbasis *finite element method* (FEM), yaitu MIDAS Civil 2025 V2.1 dengan *suspension bridge wizard*. *Software* analisis struktur ini umum digunakan dalam rekayasa sipil untuk pemodelan dan analisis respons struktur jembatan, termasuk tipe *suspension bridge* (Jacob & Deepa Balakrishnan S, 2022; Li et al., 2021).

Guna merepresentasikan perilaku mekanik setiap komponen secara akurat, pemodelan struktur dilakukan dengan mengadopsi tiga tipe elemen. Elemen tipe *cable* diaplikasikan pada *main cable*, *hanger*, dan *windguy* untuk mengakomodasi perilaku tarik murni (*tension-only*). Sementara itu, elemen *frame* digunakan untuk memodelkan *pylon* dan *deck* yang memiliki kekakuan lentur, serta elemen truss untuk komponen rangka pengaku lainnya (Herdiansah & Nurhuda, 2025). Visualisasi *general layout* dan pemodelan struktur pada MIDAS Civil 2025 V2.1 disajikan berturut-turut dalam Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. *Layout Suspension Bridge*
(Sumber: Detail Engineering Design Jembatan Cemara Ujung – Sungai Andai)



Gambar 2. Permodelan *Suspension Bridge* pada MIDAS Civil 2025 V2.1

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan metodologi yang telah ditetapkan, bab ini menyajikan data hasil perhitungan pembebanan dan simulasi struktur. Analisis dilakukan dengan menerapkan kombinasi beban SNI 1725:2016 untuk mengetahui perilaku jembatan. Mengadopsi pendekatan Herdiansah dan Nurhuda (2025), variabel yang ditinjau pada penelitian ini meliputi deformasi vertikal serta tegangan pada kabel.

3.1 Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan mengacu pada SNI 1725:2016. Dari hasil perhitungan pembebanan, didapat rekapitulasi nilai pembebanan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Perhitungan Pembebanan

Jenis Beban		Nilai Beban
MA		0,5 kN/m
TD	BTR	6,18 kPa
	BGT	68,6 kN/m
TB		0,70313 kN/m
EW_S		4,29268 kN/*joint*
EW_L		1,50171 kN/m

Keterangan:
MA : Beban Mati Tambahan
TD : Beban Lajur
BTR : Beban Terbagi Rata
BGT : Beban Garis Terpusat
TB : Gaya Rem
EW_S : Beban Angin pada Struktur
EW_L : Beban Angin pada Kendaraan

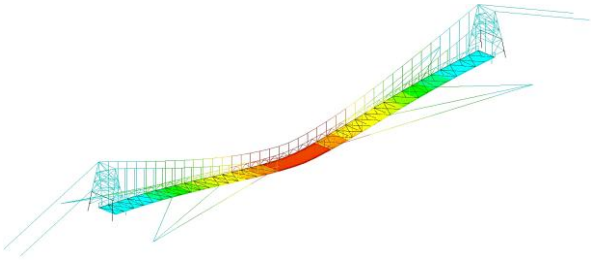
Evaluasi kinerja struktur dilakukan dengan menerapkan kombinasi pembebanan terfaktor yang mengacu pada standar SNI 1725:2016. Peninjauan ini mencakup kondisi batas ultimit, layan, dan ekstrem guna mengantisipasi berbagai skenario kegagalan potensial. Adapun formulasi kombinasi pembebanan yang diaplikasikan dalam analisis numerik adalah sebagai berikut:

Kuat I : MS+MA+1,8TT/TD+1,8TB
Kuat II : MS+MA+1,4TT/TD+1,4TB
Kuat III : MS+MA+1,4EW_S
Kuat IV : MS+MA
Kuat V : MS+MA+0,4EW_S+EW_L
Ekstrem I : MS+MA+0,3TT/TD+0,3TB+ EQ
Ekstrem II : MS+MA+0,5TT/TD+0,5TB
Layan I : MS+MA+TT/TD+TB+0,3EW_S+ EW_L
Layan II : MS+MA+1,3TT/TD+1,3TB
Layan III : MS+MA+0,8TT/TD+0,8TB
Layan IV : MS+MA+0,7 EW_S

Keterangan:
MS : Beban Mati Sendiri
MA : Beban Mati Tambahan
TT : Beban Truk
TD : Beban Lajur
TB : Gaya Rem
EQ : Beban Gempa Horizontal Statis
EW_S : Beban Angin pada Struktur
EW_L : Beban Angin pada Kendaraan

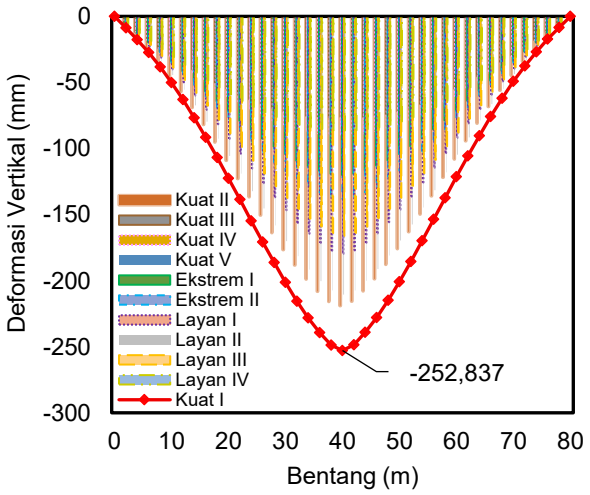
3.2 Hasil Analisis Deformasi

Deformasi vertikal terjadi optimum pada kombinasi pembebanan Kuat I dikarenakan terdiri dari kombinasi beban mati dan beban hidup dengan faktor pengali terbesar. Adapun vertikal *deformed shape* pada *suspension bridge* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Vertikal *Deformed Shape*

Visualisasi *deformed shape* pada Gambar 3 merepresentasikan respons struktur jembatan gantung terhadap kombinasi pembebanan, di mana gradasi warna kontur mengindikasikan magnitudo perpindahan vertikal. Area berwarna biru pada sisi *pylon* menunjukkan stabilitas tumpuan dengan deformasi yang mendekati nol, sedangkan transisi warna menuju merah di tengah bentang menandakan lokasi kritis dengan nilai lendutan maksimum. Pola lengkungan simetris ini mengonfirmasi perilaku mekanika sistem *suspension bridge*, di mana kekakuan vertikal terendah berada pada titik tengah bentang akibat akumulasi beban gravitasi yang ditransfer melalui kabel utama (Liu & Li, 2021). Adapun nilai deformasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Nilai Deformasi Vertikal

Gambar 4 memperlihatkan distribusi deformasi vertikal yang membentuk pola parabola dengan lendutan maksimum terkonsentrasi di tengah bentang, sebuah karakteristik respons lentur yang konsisten dengan studi Ma *et al.* (2026). Kombinasi Kuat I teridentifikasi menghasilkan deformasi terbesar (δ_{max} = 252,837 mm) akibat dominasi faktor beban hidup yang lebih tinggi dibandingkan kombinasi lainnya, sebagaimana diverifikasi oleh Susilo & Nugroho (2024). Kementerian Pekerjaan Umum (2010) menyatakan nilai lendutan izin seperti pada persamaan 1.

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{200} L \quad (1)$$

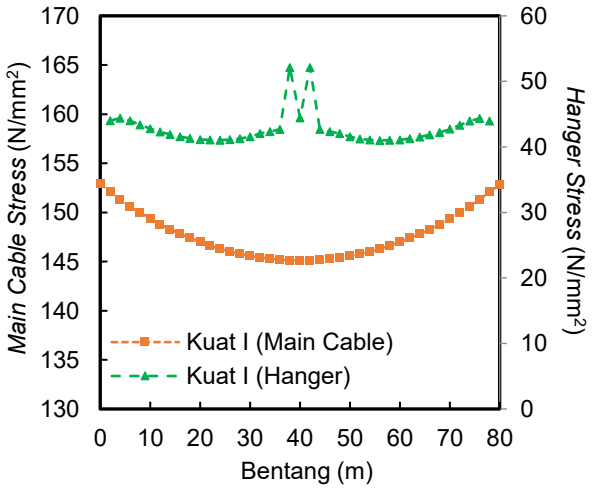
$$\bar{\Delta} = \frac{1}{200} 80000$$

$$\bar{\Delta} = 400\ mm$$

Maka nilai lendutan yang terjadi masih di dalam batas lendutan izin.

3.3 Hasil Analisis Tegangan pada Kabel

Evaluasi integritas struktur *suspension bridge* tidak hanya terbatas pada tinjauan kekakuan global, tetapi juga mencakup verifikasi kapasitas elemen pemikul beban utama. Sebagaimana dijelaskan oleh Sebastian & Supartono (2019), analisis gaya dalam pada *main cable* dan *hanger* sangat krusial untuk memastikan bahwa tegangan yang terjadi akibat kombinasi pembebanan masih berada di bawah batas tegangan izin material dengan faktor keamanan yang memadai. Pada sub-bab ini, disajikan hasil analisis tegangan maksimum pada elemen kabel jembatan kondisi eksisting untuk mengevaluasi potensi risiko kegagalan struktur seperti pada Gambar 5. Data yang ditampilkan difokuskan pada hasil Kombinasi Pembebanan Kuat I karena kombinasi ini menghasilkan tegangan maksimum pada struktur.



Gambar 5. *Main Cable* dan *Hanger Stress*

Evaluasi keamanan elemen kabel mengacu pada standar Surat Edaran Menteri PUPR No. 08/SE/M/2015 yang menetapkan batas tegangan layan sebesar $0{,}45f_{pu}$. Dengan tegangan ultimit kabel (f_{pu}) sebesar 1860 N/mm², maka diperoleh batas tegangan izin sebesar 837 N/mm². Berdasarkan hasil analisis (Gambar 5), tegangan maksimum yang terjadi pada main cable dan hanger masing-masing tercatat sebesar 152,9 N/mm² dan 52,13 N/mm². Kedua nilai tersebut masih berada jauh di bawah batas izin yang ditetapkan, sehingga dapat disimpulkan bahwa elemen kabel aman terhadap kegagalan material.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan analisis numerik pada struktur *suspension bridge* bentang 80 meter menggunakan MIDAS Civil 2025 V2.1, dapat disimpulkan bahwa:

1. Respons deformasi vertikal membentuk pola parabola simetris dengan lendutan maksimum yang terkonsentrasi di tengah bentang (*mid-span*). Kondisi kritis tercatat pada Kombinasi Kuat I akibat dominasi beban hidup lalu lintas, yang menghasilkan deformasi maksimum sebesar 252,837 mm dan nilai tersebut masih berada di bawah ambang batas lendutan izin yaitu 400 mm.
2. Tegangan yang terjadi pada *main cable* (152,9 N/mm²) dan *hanger* (52,13 N/mm²), masih berada dalam batas aman yang diizinkan spesifikasi material ($0{,}45f_{pu}$).
3. Deformasi vertikal yang terjadi serta tegangan pada kabel utama dan *hanger* berada dalam batas aman, sehingga jembatan dinilai mampu melayani beban rencana dengan baik.

5 *ACKNOWLEDGMENTS*

Penelitian ini didukung oleh Midas Indonesia dengan *Education License Version* pada *software* MIDAS Civil 2025 V2.1.

DAFTAR RUJUKAN

Badan Standarisasi Nasional., 2016. SNI 1725:2016. Pembebanan untuk Jembatan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Chen, Q., Jiang, W., Meng, X., Jiang, P., Wang, K., Xie, Y., & Ye, J., 2018. Vertical Deformation Monitoring of the Suspension Bridge Tower Using GNSS : A Case Study of the Forth Road Bridge in the UK. *Remote Sensing*, *10*, 1–19. https://doi.org/10.3390/rs10030364

Herdiansah, Y., & Nurhuda, M. P., 2025. Analisis Karakteristik Dinamik Dan Statik Jembatan Gantung 240 Meter Dengan Wind Cable Untuk Jalur Konveyor. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, *8*(1), 10–19.

Jacob, M., & Deepa Balakrishnan S., 2022. Modal analysis of an RCC long span arch bridge using midas Civil - A validation. *Materials Today: Proceedings*, *57*, 460–463. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.185

Kementerian Pekerjaan Umum., 2010. *Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No . 02 / SE / M / 2010 tentang Pemberlakukan Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Gantung Untuk Pejalan Kaki* (Nomor 02).

Li, Y., Zhao, J., Bao, L., Dong, L., & Wang, Q., 2021. Numerical and theoretical analysis of spatial shear lag effect in through wide box bowstring arch bridge main girder. *Structures*, *33*(January), 141–151. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.04.049

Liu, L., & Li, W., 2021. *Analysis of Dynamic and Static Characteristic of Suspension Bridge with Wind Cables*. *43*, 572–579. https://doi.org/10.14311/CEJ.2021.02.0043

Ma, Z., Zhang, M., Tan, Y., & Xu, F., 2026. A Robust FEM Iterative Method For Determining The Reasonable State Of Long-Span Suspension Footbridges With Wind-Resistant Cable Systems. *Engineering Structures*, *346*(PB), 121687. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2025.121687

Sebastian, I., & Supartono, F. X., 2019. Analisis Struktur Jembatan Gantung Self-

Anchored. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, *2*(1), 169–178.

Susilo, A. B., & Nugroho, M. S., 2024. *Pengaruh Modifikasi Pengaku Lateral Terhadap Perilaku Struktur Jembatan Rangka Baja Pejalan Kaki*. *01*(02), 59–70.

Zhang, W., Tian, G., & Chen, Y., 2024. Evolution of suspension bridge structural systems, design theories, and shape-finding methods: A literature survey. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, *11*(2), 225–244. https://doi.org/10.1016/j.jtte.2024.03.002