



ANALISIS KEKUATAN DAN KESTABILAN KABEL UTAMA JEMBATAN KACA BENDUNGAN SUKAMAHI MENGADOPSI DESAIN ZHANGJIAJIE GLASS BRIDGE

Halisa Afrianti¹, Nawir Rasidi², Aulia Rahman²

Politeknik Negeri Malang¹⁻³

Email: afriantlisa@gmail.com¹, nawir.rasidi@polinema.ac.id², aulia.rahman@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis kekuatan dan kestabilan kabel utama Jembatan Kaca Bendungan Sukamahi dengan mengadopsi konsep desain Zhangjiajie Glass Bridge. Objek analisis berupa sistem wire rope tipe IWRC berdiameter 52 mm dengan 14 strand pada dua sisi, tegangan tarik ultimit 1.770 MPa, modulus elastisitas efektif sekitar $1,2 \times 10^5$ MPa, dan berat per meter sekitar 10,2 kg/m. Pemodelan numerik dilakukan menggunakan SAP2000 berdasarkan data DED, hasil pengujian material, dan pembebanan mengacu pada SNI 1725:2016, SNI 2833:2016, serta Surat Edaran Menteri PUPR No. 02/SE/M/2010. Beban yang ditinjau meliputi beban mati tambahan sebesar 5,52 kN/m, beban hidup pejalan kaki 5 kPa, beban angin dasar 1,3 kN/m² dengan gaya total rangka 1.171 kN, beban temperatur dengan ΔT 20 °C, serta beban gempa dengan PGA 0,354 g, Ss 0,718, S1 0,277, Fa 1,1, Fv 1,52, As 0,3894 g, SDS 0,7898 g, dan SD1 0,42104 g. Hasil analisis menunjukkan distribusi tegangan kabel utama pada kondisi pembebanan umum berada pada rentang 76-304 MPa, sedangkan kondisi paling kritis mencapai $\pm 1.240,39$ MPa. Gaya tarik maksimum sebesar 473,24 kN terjadi pada elemen kabel nomor 823. Dengan kapasitas putus minimum 1.700 kN, faktor keamanan diperoleh sebesar 3,59 sehingga memenuhi kriteria aman ($SF > 2,0$). Hasil ini menunjukkan bahwa adaptasi desain Zhangjiajie pada kondisi lokal Sukamahi secara numerik masih aman dan layak ditinjau lebih lanjut untuk pengembangan jembatan kaca di Indonesia.

Kata kunci : jembatan kaca; wire rope; SAP2000; tegangan; faktor keamanan

ABSTRACT

This study analyzes the strength and stability of the main cable system of the Sukamahi Dam Glass Bridge by adapting the design concept of the Zhangjiajie Glass Bridge. The analyzed object is an IWRC wire rope system with a diameter of 52 mm, 14 strands on both sides, an ultimate tensile strength of 1,770 MPa, an effective elastic modulus of approximately 1.2×10^5 MPa, and a unit weight of about 10.2 kg/m. The numerical model was developed in SAP2000 using DED data, material test results, and load cases based on SNI 1725:2016, SNI 2833:2016, and the Indonesian Ministry of Public Works Circular Letter No. 02/SE/M/2010. The loads considered include an additional dead load of 5.52 kN/m, pedestrian live load of 5 kPa, wind load with a basic pressure of 1.3 kN/m² and a total frame force of 1,171 kN, a temperature variation of ΔT 20 °C, and seismic loading with PGA 0.354 g, Ss 0.718, S1 0.277, Fa 1.1, Fv 1.52, As 0.3894 g, SDS 0.7898 g, and SD1 0.42104 g. The results indicate that the main cable stress distribution under general loading ranged from 76 to 304 MPa, while the most critical case reached approximately $\pm 1,240.39$ MPa. The maximum tensile force was 473.24 kN at cable element 823. With a minimum breaking load of 1,700 kN, the safety factor was 3.59, which satisfies the safety criterion ($SF > 2.0$). These findings show that the Zhangjiajie-based adaptation is numerically safe under local Sukamahi conditions and relevant for further development of glass bridge design in Indonesia.

Keywords : glass bridge; wire rope; SAP2000; stress; safety factor

Article History

Received: Oktober 2026

Reviewed: Oktober 2026

Published: Oktober 2026

Plagiarism Checker No

237.u873247.fh8374

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



1. PENDAHULUAN

Jembatan kaca berkembang sebagai infrastruktur wisata sekaligus elemen rekayasa yang menuntut keseimbangan antara estetika, kenyamanan, dan keselamatan struktural. Pada struktur bentang menengah hingga panjang, sistem kabel utama atau wire rope menjadi komponen penentu karena beban lantai, pengunjung, angin, temperatur, dan gempa disalurkan terutama melalui elemen tarik ini. Oleh sebab itu, kegagalan pada kabel utama akan berdampak langsung terhadap stabilitas global jembatan.

Skripsi ini menempatkan Jembatan Kaca Bendungan Sukamahi sebagai objek kajian dengan pendekatan adaptif terhadap konsep Zhangjiajie Glass Bridge. Adaptasi dilakukan pada aspek geometri, sistem kabel, dan spesifikasi material untuk menyesuaikan kondisi topografi lokal Indonesia. Pada saat yang sama, penelitian menekankan penggunaan pemodelan numerik agar perilaku struktur tidak hanya dibahas secara konseptual, tetapi diuji melalui parameter teknik yang terukur.

Celah penelitian yang ingin diisi adalah terbatasnya kajian lokal yang secara spesifik mengevaluasi sistem wire rope pada jembatan kaca melalui SAP2000. Studi ini diarahkan untuk menilai distribusi tegangan, gaya tarik, dan faktor keamanan kabel utama sehingga dapat menjadi dasar teknis bagi pengembangan jembatan kaca yang aman, efisien, dan relevan dengan kondisi lapangan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-numerik dengan model elemen pada perangkat lunak SAP2000. Data primer yang digunakan meliputi DED jembatan, data beban perencanaan, data hasil pengujian material wire rope, dan data teknis jembatan. Data sekunder mencakup

standar perencanaan yang menjadi acuan, yaitu SNI 1725:2016, SNI 2833:2016, dan Surat Edaran Menteri PUPR No. 02/SE/M/2010.

Objek penelitian ini berada pada lokasi Bendungan Sukamahi, Gadog, Megamendung, Kabupaten Bogor, dengan model struktur memanfaatkan geometri utama jembatan dengan bentang tengah 210 m, bentang kanan 85 m, bentang kiri 50 m, dan lebar steel deck 6-12 m. Sistem kabel utama dimodelkan sebagai IWRC berdiameter 52 mm, sedangkan kabel hanger menggunakan IWRC diameter 40 mm. Pylon 1 dimodelkan sebagai kombinasi beton dan baja, serta pada SAP2000 kabel utama dimodelkan dengan 114 nodal serta Pylon 1 dengan 7 segmen pada struktur baja.

Pada penelitian ini, diterapkan pembebanan yang bekerja pada struktur Jembatan Kaca Bendungan Sukamahi terdiri atas beban hidup, beban mati, beban mati tambahan, beban angin, beban temperatur, serta beban gempa. Dimana dari hasil pembebanan yang diterapkan pada struktur jembatan, dianalisis sehingga menghasilkan evaluasi pada struktur kabel utama melalui parameter distribusi tegangan, gaya tarik pada kabel utama, dan faktor keamanan kabel.

Tabel 1 Komponen Analisis Penelitian

Komponen	Nilai	Keterangan
Kabel utama	IWRC; D = 52 mm; E $\approx 1,2 \times 10^5$ MPa; berat $\approx 10,2$ kg/m	$F_u = 1.770$ MPa; 14 strand x 2 sisi
Kabel hanger	IWRC; D = 40 mm	$F_y = 460$ MPa; $F_u = 550$ MPa
Beban mati tambahan	5,52 kN/m	q kaca 2,40 kN/m; WPC 0,75 kN/m; windcover 1,49

		kN/m; railing 0,88 kN/m
Beban hidup	5 kPa	Diterapkan pada lebar jembatan sesuai data perencanaan
Beban angin	1,3 kN/m ²	Luas rangka 901 m ² ; gaya total 1.171 kN
Beban temperatur	$\Delta T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	T maks 45 $^{\circ}\text{C}$; T min 25 $^{\circ}\text{C}$
Beban gempa	PGA 0,354 g; Ss 0,718; S1 0,277	Fa 1,1; Fv 1,52; As 0,3894 g; SDS 0,7898 g; SD1 0,42104 g

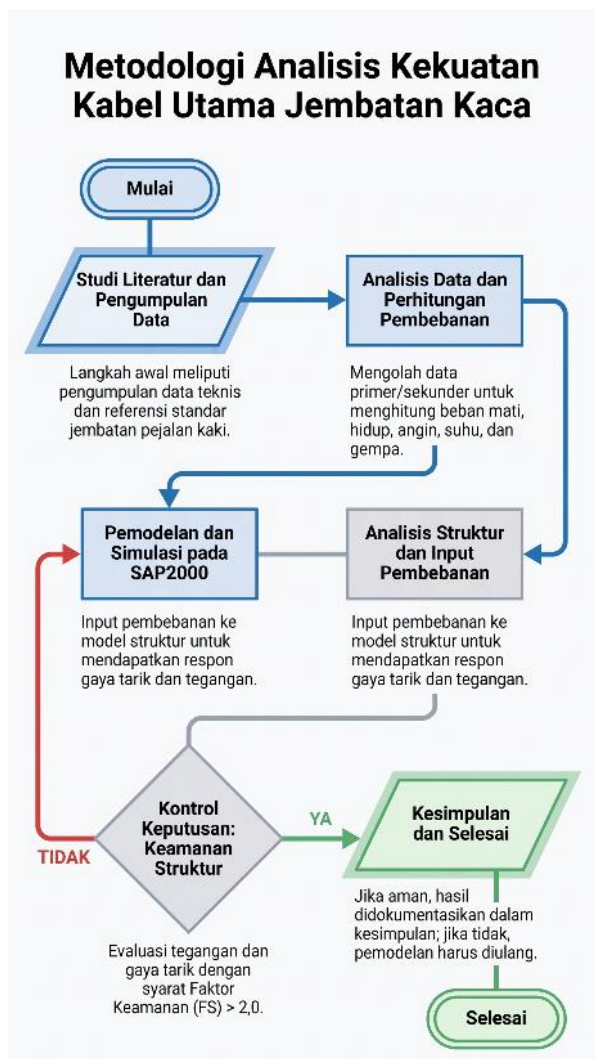
Sumber: Data Spesifikasi Teknis dan Hasil Perhitungan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

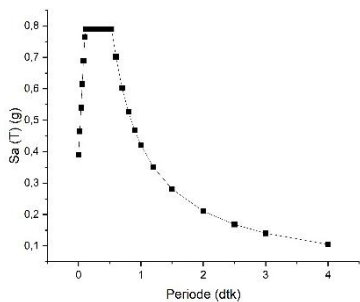
A. Pembebanan dan Pemodelan Jembatan

Beban yang bekerja pada struktur jembatan penelitian ini disesuaikan berdasarkan data beban rencana dengan uraian sebagai berikut:

1. **Beban hidup**
Beban hidup yang merupakan beban pejalan kaki pada jembatan kaca bendungan sukmahi diterapkan nilai 5 kPa. Yang mengacu pada standart sesuai dengan peraturan Surat Edaran Mentri Pekerjaan Umum No. 02/SE/M/2010.
2. **Beban mati**
Beban mati diperoleh dari analisis pada SAP2000.
3. **Beban mati tambahan**
Beban mati tambahan, dihitung dari beberapa utilitas komponen jembatan seperti railing, WPC, lantai kaca, dan wind cover yang seluruh nilai beban mati tambahan dikalkulasi sebesar 5,52 kN/m.
4. **Beban temperatur**
Beban temperatur digunakan nilai selisih temperatur jembatan rata-rata sebesar 20 $^{\circ}\text{C}$.
5. **Beban angin**
Digunakan beban angin dasar untuk struktur jembatan gantung pada kondisi geografis di lokasi objek penelitian sebesar 1,3 kN/m²
6. **Beban gempa**
Beban gempa dihitung dengan output berupa diagram respon spektrum gempa mencapai percepatan 4 detik. Pada objek penelitian, berdasarkan lokasi Jembatan Kaca Bendungan Sukamahi digolongkan pada kategori kelas situs tanah keras dengan nilai PGA = 0,354; Ss = 0,277; Fa = 1,1; Fv = 1,52; As = 0,389; Sds = 0,421; SD1 = 0,421; T0 = 0,107 dan Ts = 0,533.

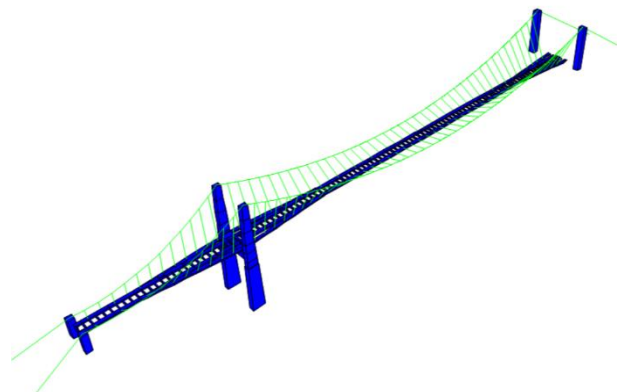


Gambar 1 Alur Penelitian



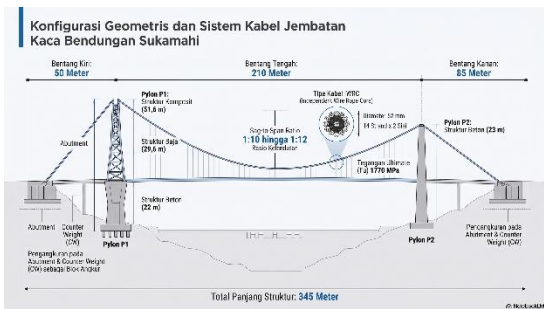
Gambar 2 Diagram Respon Spektrum Gempa

Dari perhitungan pembebanan rencana untuk struktur jembatan, dilakukan pemodelan pada perangkat lunak SAP2000 dengan menggunakan elemen frame dan kabel. Pemodelan ini menggunakan titik koordinat (nodal) untuk setiap elemen kabel utama yang bertujuan untuk mempermudah pemodelan jembatan dan membantu dalam analisis kondisi struktur dalam distribusi tegangan, gaya tarik dan faktor keamanan yang dihasilkan.



Gambar 3 Gambar 3D Struktur Jembatan

B. Konfigurasi Geometris dan Spesifikasi Kabel



Gambar 4 Konfigurasi Geometris Jembatan

Adaptasi desain Zhangjiajie pada Jembatan Kaca Bendungan Sukamahi menunjukkan bahwa konfigurasi utama yang dipakai masih mempertahankan prinsip dasar jembatan gantung, yaitu penyaluran beban melalui sistem tarik pada kabel utama menuju pylon dan anchor block. Perbedaan dimensi utama lebih merupakan penyesuaian terhadap topografi lokal, khususnya pada bentang utama 210 m, panjang total 345 m, lebar 6-12 m, dan variasi tinggi pylon yang disesuaikan dengan kondisi lapangan.

Tabel 2 Konfigurasi Geometris

Parameter	Zhangjiajie	Sukamahi	Keterangan
Panjang bentang utama	430 m	210 m	Sesuai kondisi topografi
Panjang total	385 m	345 m	Sesuai kondisi topografi
Lebar jembatan	6 m	6-12 m	Sesuai kapasitas pengunjung
Tipe struktur	Ground anchored suspension +spatial cable planes	Ground anchored suspension +spatial cable planes	Mempertahankan konfigurasi kabel utama
Sistem kabel	Suspension cables (multi parallel wire)	Suspension cables (IWRC)	Diameter dan jumlah strand disesuaikan
Sag-to-span ratio	1:10 hingga 1:12	Dihitung berdasarkan	Melalui SAP2000

beban

Sumber: Data Perencanaan Proyek

Spesifikasi mekanis wire rope yang digunakan juga mengarah pada kebutuhan kinerja tinggi, karena kabel harus bekerja hanya dalam tarik, tidak memikul tekan, dan memiliki respons yang sensitif terhadap perubahan geometri serta tegangan awal. Penggunaan IWRC dipilih karena inti ini memberikan ketahanan terhadap penekanan dan menjaga geometri kabel ketika menerima beban kerja jangka panjang.



Gambar 5 Spesifikasi Kabel Utama
Sumber: Hasil Analisis

C. Analisis Kekuatan dan Kestabilan Kabel Utama

Pada hasil analisis numerik, distribusi tegangan kabel utama untuk kondisi pembebanan umum berada pada rentang 76-304 MPa. Nilai ini masih jauh di bawah kapasitas tarik ultimit material kabel sebesar 1.770 MPa, sehingga pada kondisi layanan umum kabel belum mendekati batas kekuatan material. Pada kombinasi pembebanan paling kritis, tegangan tercatat mencapai $\pm 1.240,39$ MPa, yang menunjukkan bahwa segmen kabel tertentu mengalami respons yang signifikan akibat kombinasi beban yang paling tidak menguntungkan.

Gaya tarik maksimum yang dihasilkan SAP2000 sebesar 473,24 kN terjadi pada elemen kabel nomor 823 dan ditandai sebagai kondisi tarik (tension). Nilai tersebut menunjukkan bahwa lokasi 823 merupakan bagian paling kritis dari sistem kabel utama karena menerima respon gaya dalam terbesar. Namun, dibandingkan

kapasitas tarik hasil pengujian material sebesar 1.700 kN, gaya tersebut masih berada dalam margin yang aman.

Faktor keamanan dihitung dengan membandingkan kapasitas putus minimum kabel dan gaya tarik maksimum. Hasil perhitungan memberikan $SF = 3,59$. Nilai ini melampaui kriteria minimum aman $SF > 2,0$, sehingga secara numerik sistem kabel utama Jembatan Kaca Bendungan Sukamahi masih memenuhi persyaratan keamanan. Dengan demikian, adaptasi desain Zhangjiajie dapat dinilai layak secara struktural pada kondisi lokal Sukamahi, terutama dari aspek konfigurasi kabel dan kemampuan menahan beban tarik.

Tabel 3 Hasil Analisis

Parameter	Hasil	Interpretasi
Distribusi tegangan umum	76-304 MPa	Masih di bawah F_u 1.770 MPa
Distribusi tegangan kritis	$\pm 1.240,39$ MPa	Segmen paling kritis pada kombinasi pembebanan terburuk
Gaya tarik maksimum	473,24 kN pada elemen 823	Elemen paling kritis dalam sistem kabel utama
Kapasitas tarik material	1.700 kN	Nilai minimum hasil pengujian wire rope
Faktor keamanan	3,59	Memenuhi kriteria aman $SF > 2,0$

Sumber: Hasil Analisis SAP2000



D. Metode Pelaksanaan & K3

Metode pelaksanaan pada pekerjaan pemasangan kabel utama dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Persiapan alat dan bahan

Bahan dan alat seperti wire rope, wire mesh, frame, pulley, winch, bulldog grip perlu dipersiapkan guna mempermudah proses pelaksanaan pekerjaan. Dimana pada setiap alat memiliki fungsi masing-masing sebagai alat bantu.

2. Pemasangan platform kabel utama

Pada tahap awal pemasangan kabel utama, perlu dilakukan pemasangan platform kabel yang dibuat dari sling wire rope dan dilapisi wiremesh dan frame juga kabel lifeline pada bagian atas untuk tempat pengait kabel safety bagi pekerja. Platform ini memiliki peran paling penting pada pekerjaan pemasangan kabel utama karena digunakan sebagai tempat pekerjaan dilakukan.

3. Pemasangan kabel utama

Pekerjaan utama dari metode pelaksanaan pada penelitian ini yaitu pemasangan kabel utama. Dimulai dari pembentangan wire rope secara bertahap dimulai dari CW 1 ke arah CW 2 yang kemudian dilakukan perkuatan dengan angkur block dan pengaturan sagging untuk mencapai tegangan rencana kabel utama.

Pada pekerjaan pemasangan kabel utama ini juga diterapkan K3L yang bertujuan untuk mencapai *zero accident* selama proses kerja berlangsung. Hal ini dilakukan mengingat pekerjaan pemasangan kabel utama sangat berisiko tinggi dikarenakan berada pada lokasi di ketinggian dan melibatkan banyak material yang berat dan berbahaya.

E. Rencana Anggaran Biaya

Dari hasil perhitungan rencana anggaran biaya pada konstruksi Jembatan Kaca Bendungan Sukamahi, diperoleh kebutuhan anggaran sebesar Rp. 180,834,127,105.55 dimana anggaran tersebut sudah diperhitungkan dengan pajak 11%.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis distribusi tegangan, gaya Tarik dan perhitungan nilai factor keamanan (FS) kabel utama menggunakan *software* SAP2000 maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Adaptasi konsep Zhangjiajie Glass Bridge pada Jembatan Kaca Bendungan Sukamahi dapat diterapkan secara teknis melalui penyesuaian bentang utama 210 m, panjang total 345 m, lebar jembatan 6-12 m, serta penggunaan sistem cable IWRC yang disesuaikan dengan kondisi lokal.
2. Analisis SAP2000 menunjukkan distribusi tegangan kabel utama pada kondisi pembebanan umum sebesar 76-304 MPa, tegangan paling kritis $\pm 1.240,39$ MPa, dan gaya tarik maksimum 473,24 kN pada elemen kabel nomor 823. Nilai tersebut masih berada di bawah kapasitas tarik minimum 1.700 kN.
3. Faktor keamanan kabel utama sebesar 3,59 sehingga memenuhi kriteria aman $SF > 2,0$. Dengan demikian, sistem kabel utama Jembatan Kaca Bendungan Sukamahi dinyatakan aman secara numerik dan dapat menjadi dasar pengembangan desain jembatan kaca yang sesuai dengan kondisi Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1725:2016, Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: BSN, 2016
- [2] Direktorat Jenderal Bina Marga, *Dokumen Perencanaan Teknis Jembatan Kaca Bendungan Sukamahi*. Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2024
- [3] Direktorat Jenderal Bina Marga, *Dokumen Perencanaan Teknis Jembatan Kaca Bendungan Sukamahi*. Jakarta: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2024
- [4] Duan, Y., Wei, W., Zhang, R., & Cheng, J. J. R. (2024). Intelligent Tension Correction Method for EME Sensors



- Considering Torsion Effect of Wire Rope Suspender Cables. *Structural Control and Health Monitoring*, 2024(1).
<https://doi.org/10.1155/2024/3417038>
- [5] Kementerian Pekerjaan Umum. (2010). Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 02/SE/M/2010 *tentang pedoman perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jembatan gantung untuk pejalan kaki*. Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- [6] N. Golkar, A. Sadeghpour, and J. Divandari, "Drawing Inspiration From the Spine, Designing a Pedestrian Bridge," *Journal of Architecture and Urbanism*, vol. 45, no. 2, pp. 119-130, 2021.
- [7] Runyang Suspension Bridge Based on Long-Term Monitored Data. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 16(04), 1640019.
<https://doi.org/10.1142/s0219455416400198>
- [8] S. Tian, C. Zhang, S. Jiang, J. Zhang, and W. Duan, "Noncontact Cable Force Estimation With Unmanned Aerial Vehicle and Computer Vision," *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 36,
- [9] W. Tianbao, "Le pont suspendu à tablier de verre du grand canyon de Zhangjiajie," *Routes-Roads*, no. 374, pp. 39-42, 2017.
- [10] Y. Ge and N. Hussain, "Innovation and Creation of Recent Bridge Engineering Under the Direction of IABSE Outstanding Structure Award," in *IABSE Congress Report*, vol. 22, pp. 42-61, 2022.
- [11] Yang, M. (2025). Corrosion Inhibition Characteristics and Mechanical Properties of High-Strength Galvanized Steel Wire in the Presence of N,N'-Dimethylethanolamine. *Engineering Reports*, 7(12).
<https://doi.org/10.1002/eng2.70512>
- [12] Zhou, Y., Xiang, Z., Zhang, X., Wang, Y., Han, D., & Ying, C. (2021). Mechanical State Inversion Method for Structural Performance Evaluation of Existing Suspension Bridges Using 3D Laser Scanning. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 37(5), 650-665.
<https://doi.org/10.1111/mice.12765>