

# Verticality and Horizontality Monitoring of Mahakam Bridge Piers Post-Barge Collision Using Geodetic and Structural Instrumentation

Aco Wahyudi Efendi<sup>1</sup>, Novia Safitri<sup>2</sup>, Muh Yusuf<sup>3</sup>, Irwan Faisal Luzan<sup>4</sup>, Azan Zubran<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Civil Engineering, Sebelas Maret University, Surakarta

<sup>2</sup> Civil Engineering, Polytechnic of Samarinda

<sup>3,4,5</sup> Civil Engineering, Geostruk Indonesia, Balikpapan

Email: <sup>1</sup>[acowahyudiefendi@student.uns.ac.id](mailto:acowahyudiefendi@student.uns.ac.id), <sup>2</sup>[noviasftr23@gmail.com](mailto:noviasftr23@gmail.com), <sup>3</sup>[yusufmh19@gmail.com](mailto:yusufmh19@gmail.com),

<sup>4</sup>[Irwanfaisal79@gmail.com](mailto:Irwanfaisal79@gmail.com), <sup>5</sup>[azansubran920@gmail.com](mailto:azansubran920@gmail.com)

## Artikel Informasi

### Riwayat Artikel

Diterima, 30 Januari 2025

Direvisi, 17 Februari 2025

Disetujui, 22 Maret 2025

### Kata Kunci:

Beton;

FEA;

LISA;

Perilaku;

Suhu;

Tegangan

## ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi kestabilan vertikal dan horizontal Pilar 2 dan Pilar 3 Jembatan Mahakam di Samarinda, Kalimantan Timur, yang merupakan infrastruktur vital dengan beban lalu lintas tinggi. Pemantauan dilakukan menggunakan perangkat geodetik presisi tinggi, termasuk Total Station, GPS Geodetik, Digital Level, dan Tiltmeter, untuk mendeteksi pergeseran struktural secara akurat. Data dikumpulkan selama periode 96 jam dan dianalisis menggunakan AutoCAD dan ArcGIS untuk mendapatkan representasi spasial pergerakan. Hasil menunjukkan bahwa Pilar 2 mengalami defleksi lateral antara 0,024%–0,048%, sedangkan Pilar 3 menunjukkan deviasi maksimum sebesar 0,010% secara vertikal dan hingga 0,055% secara horizontal—masih dalam batas toleransi aman. Pola pergeseran menunjukkan kecenderungan linier dan tidak ada perubahan sudut ekstrem. Temuan ini menegaskan bahwa struktur masih stabil dan aman digunakan, namun tetap diperlukan pemantauan berkala, terutama setelah beban puncak atau kondisi cuaca ekstrem. Penelitian ini memberikan dasar kuat bagi pengambilan keputusan teknis dalam pemeliharaan jembatan jangka panjang.

## ABSTRACT

*This study evaluates the vertical and horizontal stability of Piers 2 and 3 of the Mahakam Bridge in Samarinda, East Kalimantan, a vital infrastructure subjected to heavy daily traffic loads. Monitoring was conducted using high-precision geodetic instruments, including Total Station, Geodetic GPS, Digital Level, and Tiltmeter, to accurately detect structural displacements. Data were collected over a 96-hour period and analyzed spatially using AutoCAD and ArcGIS. Results show that Pier 2 experienced lateral deflection ranging from 0.024% to 0.048%, while Pier 3 exhibited a maximum vertical deviation of 0.010% and horizontal shift up to 0.055%—within acceptable safety limits. The displacement patterns were linear and showed no abrupt angular changes. These findings confirm that the structure remains stable and safe for continued use, though periodic monitoring is recommended, especially during peak loads or after extreme weather events. This research provides a robust foundation for long-term bridge maintenance and technical decision-making.*

### Keywords:

Behavior;

Concrete;

FEA;

LISA;

Stress;

Thermal



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

### Penulis Korespondensi:

Aco Wahyudi Efendii

Sebelas Maret University, Surakarta

Email: [acowahyudiefendi@student.uns.ac.id](mailto:acowahyudiefendi@student.uns.ac.id)

## **PENDAHULUAN**

Hasil pemantauan harian diatur dalam bentuk laporan yang merangkum berbagai aspek penting yang terkait dengan stabilitas struktural. Laporan ini mencakup tabel dan diagram yang menggambarkan tren pergeseran vertikal dan horizontal selama periode pengamatan.

Selain itu, perbandingan data yang diamati dan historis terbaru dilakukan untuk mengidentifikasi pola perubahan. Analisis karakteristik Jembatan Mahakam di Kota Samarinda Kalimantan Timur, adalah salah satu infrastruktur strategis yang memainkan peran penting dalam mendukung konektivitas wilayah. Sebagai rute transportasi utama yang dilalui oleh berbagai jenis kendaraan berat maupun ringan, jembatan ini memiliki tingkat beban yang tinggi setiap hari. Oleh karena itu, evaluasi berkala kondisi struktural diperlukan untuk memastikan keamanan jangka panjang, kenyamanan pengguna, dan keandalan jembatan. Penilaian ini dimaksudkan tidak hanya untuk mengidentifikasi potensi kerusakan secepat mungkin, tetapi juga sebagai dasar untuk keputusan teknis yang terkait dengan pemeliharaan, penguatan, atau rehabilitasi struktural, jika diperlukan.

Salah satu aspek penting dari pemantauan kondisi struktur jembatan adalah stabilitas vertikal dan horizontal, terutama pada kolom utama, yang berada pada beban tertinggi di seluruh sistem struktural. Kolom-kolom ini bertindak sebagai elemen beban mati, beban hidup dan kekuatan lateral yang dihasilkan oleh angin, gempa bumi dan getaran lalu lintas. Oleh karena itu, pemantauan rutin posisi dan lokasi kolom jembatan menjadi langkah penting dalam mempertahankan integritas dan stabilitas keseluruhan struktur

Pilar 2 dan Pilar 3 Jembatan Mahakam memiliki peran signifikan karena posisinya yang berada di tengah bentang dan berfungsi dalam menahan beban dinamis maupun statis pada keseluruhan struktur jembatan. Pemantauan terhadap perubahan atau pergeseran posisi vertikal dan horizontal pada kedua pilar ini dapat memberikan indikasi dini terhadap potensi gangguan struktural, sehingga memungkinkan dilakukan pemeliharaan secara proaktif untuk mencegah kerusakan yang lebih serius. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan kajian dan pemantauan secara menyeluruh terhadap kestabilan vertikal dan horizontal Pilar 2 dan Pilar 3 dengan memanfaatkan perangkat pengukuran geodetik dan struktural yang canggih.

## **METODE PENELITIAN**

### **Kerangka Teori**

Vertikalitas merujuk pada susunan komponen struktur yang tegak lurus terhadap permukaan horizontal, di mana gaya gravitasi berperan besar dalam menjaga keselarasan ini. Sementara itu, horizontalitas mengacu pada susunan dalam bidang datar, yang tegak lurus terhadap garis vertikal. Penyimpangan dari posisi ideal ini dapat terjadi akibat penurunan tanah, ekspansi termal, keausan material, ataupun pengaruh beban dinamis (Aco Wahyudi Efendi, 2025).

Instrumen seperti Total Station, Digital Level, GPS Geodetik, Tiltmeter, dan Strain Gauge digunakan untuk mengukur deviasi secara akurat (Doger and Hatami, 2020; Goebbels, 2021). Alat-alat ini memungkinkan pengukuran presisi terhadap pergeseran linear dan sudut.



Gambar 1. Total Station Spectra In Focus 6

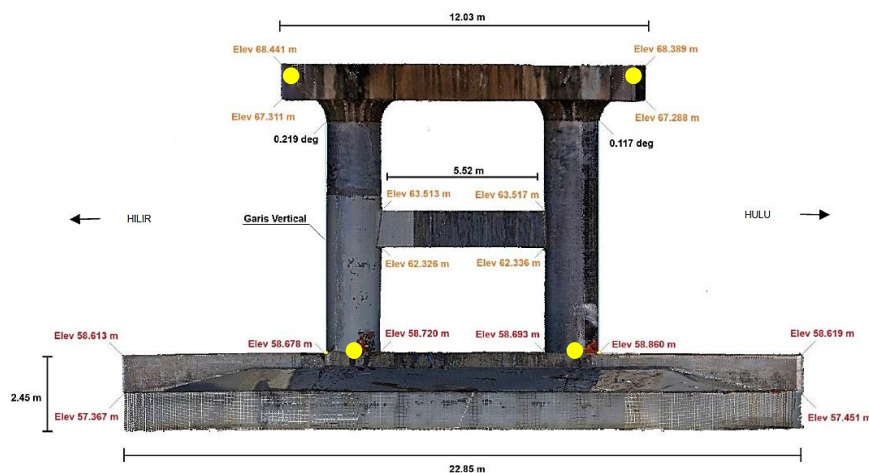


Gambar 2. Prisma Tempel

### Persiapan Survei

Tahap persiapan untuk survei dilakukan sebelum pengukuran lapangan untuk memastikan keakuratan dan konsistensi data. Langkah pertama adalah untuk memeriksa dokumen struktural dan data pemantauan sebelumnya sebagai dasar untuk perbandingan. Selain itu, penentuan dan pemasangan titik kontrol dan tolok ukur di area di sekitar jembatan sebagai referensi tetap untuk pengukuran.

Pemilihan instrument memenuhi tingkat keakuratan yang diperlukan dan pertimbangan kondisi lokasi sekitar. Setelah itu, tepat untuk memasang prisma dan referensi tanda pada baris 2 dan 3. Penempatan alat ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa pergeseran atau perubahan ke posisi diukur selama periode pemantauan (Goebbels, 2021; Aco Wahyudi Efendi, 2025).



Gambar 3. Penempatan Prisma Tempel



**Gambar 4. Lokasi penelitian**

## Teknik Pengukuran

### 1. Pemantauan Pergeseran Horizontal

Survei Total Station: Peralatan ditempatkan pada titik benchmark yang telah ditentukan, dan dilakukan pengukuran sudut terhadap target pada masing-masing pilar. Data pergeseran dihitung dengan membandingkan hasil pengukuran terbaru dengan data historis.



**Gambar 5. Metode Pemantauan Pergeseran Horizontal**

Pengamatan GPS Geodetik: Perangkat GPS ditempatkan di atas dan di sekitar pilar untuk merekam data posisi selama periode waktu tertentu guna meningkatkan akurasi. Perbedaan dengan data sebelumnya digunakan untuk menghitung pergeseran horizontal (Attanayake and Aktan, 2019). (Venglár, Sokol and Ároch, 2018; Gasparini and Buonopane, 2019; Zhang, Xu and Li, 2020; Bianchi et al., 2021; Miri et al., 2021; Schlaich, 2021; Adam and Pamadi, 2023).

Pemasangan Tiltmeter: Sensor kemiringan dipasang pada tiap pilar untuk mendeteksi perubahan sudut secara kontinu, memberikan informasi real-time terkait pergeseran arah horizontal.

### 2. Pemantauan Pergeseran Vertikal

Pemantauan pergeseran vertikal penting untuk menilai performa struktur jembatan dari waktu ke waktu. Dalam penelitian ini, dipasang empat titik prisma secara strategis—dua pada bagian bawah pile cap dan dua pada bagian atas Pilar 3 Jembatan Mahakam. Titik prisma ini berfungsi sebagai referensi untuk menentukan perubahan elevasi akibat beban, pengaruh lingkungan, atau penurunan tanah. Pengukuran dilakukan menggunakan Total Station untuk menjamin ketelitian.



**Gambar 6. Pemasangan Prisma Tempel untuk Pemantauan Vertikal**

Hasil pemantauan menunjukkan adanya pergeseran vertikal secara perlahan namun terukur. Bagian atas Pilar 3 mengalami pergeseran lebih besar dibandingkan pile cap, mengindikasikan pengaruh beban hidup dan potensi perubahan material atau pondasi dalam jangka panjang. Meskipun pergeseran ini masih dalam batas aman, temuan ini mempertegas pentingnya pemantauan berkelanjutan.

### **Analisis Data**

Data pemantauan dianalisis menggunakan perangkat lunak AutoCAD dan ArcGIS untuk mendapatkan presentasi spasial yang akurat. Kedua perangkat lunak ini memungkinkan visualisasi rinci perubahan posisi struktural, sehingga setiap orang dapat berubah dengan jelas, baik secara vertikal maupun horizontal.

Pendekatan spasial ini memungkinkan analisis menyeluruh tren deformasi dan analisis awal pola pergerakan kolom. Ini memberikan keuntungan penting dalam memperkirakan kemungkinan perubahan struktural di masa depan dan sebagai dasar untuk keputusan teknis yang terkait dengan pengurangan jangka panjang atau langkah-langkah pemeliharaan (Chen et al., 2019; Deng et al., 2019; Zhang, Xu and Li, 2020; Zhang, 2021; Zhang et al., 2021; 2022; Cui, Liu and Zhang, 2022)(Zhang & Xu, 2017).

### **Dokumentasi dan Evaluasi**

Hasil pemantauan harian diatur dalam bentuk laporan yang merangkum berbagai aspek penting yang terkait dengan stabilitas struktural. Laporan ini mencakup tabel dan diagram yang menggambarkan tren pergeseran vertikal dan horizontal selama periode pengamatan.

Selain itu, perbandingan data yang diamati dan historis terbaru dilakukan untuk mengidentifikasi pola perubahan. Analisis fitur deformasi dilakukan untuk menilai risiko integritas struktural. Berdasarkan temuan ini, laporan ini juga mencakup strategi pengurangan dan rencana pemantauan post hoc yang diusulkan untuk memastikan kesinambungan pemantauan jembatan dan pemeliharaan jembatan (Ameli et al., 2015; Hebdon, Sherman and Connor, 2018; Siddiqi, Chaudhry and ..., 2019; Bae, Oh and Park, 2020; Yoo, Oh and Ahn, 2021).

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Hasil Pemantauan Vertikalitas**

Pengukuran dilakukan setiap tiga jam, dari pukul tujuh pagi hingga pukul delapan malam WITA. Hasil pemantauan menunjukkan bahwa Pilar 2 mengalami pergeseran vertikal dengan

defleksi lateral 0,024%–0,048% antara 2 mm dan 4 mm, dan Pilar 3 mengalami pergeseran vertikal dengan defleksi lateral maksimum 0,010%.

Pola deformasi yang terbentuk memiliki variasi sudut yang kecil dan cenderung linier. Ini menunjukkan bahwa kedua struktur pilar tetap stabil terhadap beban yang diterima dan dampak lingkungan selama periode pengamatan (Huang et al., 2022).

**Tabel 1. Pemantauan Vertikalitas Kolom Jembatan Mahakam**

<i>VERTIKALITY</i>							
Lokasi Pengukuran	Posisi Pilar	Posisi Pengukuran	Nilai Veritikalitas Bagian Atas (mm)	Tinggi Pengukuran Kolom (mm)	Defleksi Lateral Kolom	Arah Kemiringan	Tipikal Bentuk
Pier 2	Hilir	Melintang	2	8310	0.024%	Relatif Tegak	Mendekati Linier
	Hulu	Melintang	4	8310	0.048%	Relatif Tegak	Mendekati Linier
Pier 3	Hilir	Melintang	1	9980	0.010%	Relatif Tegak	Mendekati Linier
	Hulu	Melintang	1	9980	0.010%	Relatif Tegak	Mendekati Linier

### Hasil Pemantauan Horizontalitas

Pilar 2 dan Pilar 3 Jembatan Mahakam menunjukkan penyimpangan lateral yang masih berada dalam batas toleransi, dengan penyimpangan horizontal 3 mm dan nilai defleksi lateral 0,027% hingga 0,041%.

Pilar 3 juga menunjukkan penyimpangan horizontal sebesar 2 mm hingga 4,1 mm dan defleksi lateral sebesar 0,027% hingga 0,055%. Nilai-nilai ini dianggap aman berdasarkan standar toleransi untuk pilar beton bertulang yang mampu menahan beban serupa (Cheng et al., 2020), jadi struktur dianggap stabil dalam keadaan saat ini.

**Tabel 2. Pemantauan Horizontalitas Kolom Jembatan Mahakam**

<i>HORIZONTALITY</i>							
Lokasi Pengukuran	Posisi Pilar	Posisi Pengukuran	Nilai Horizontalitas Bagian Bawah (mm)	Lebar Pengukuran Kolom (mm)	Defleksi Vertikal	Arah Kemiringan	Tipikal Bentuk
Pier 2	Hilir	Melintang	2	7400	0.027%	Relatif Datar	Mendekati Linier
	Hulu	Melintang	3	7400	0.041%	Relatif Datar	Mendekati Linier
Pier 3	Hilir	Melintang	2	7400	0.027%	Relatif Datar	Mendekati Linier
	Hulu	Melintang	4.1	7400	0.055%	Relatif Datar	Mendekati Linier

### Kondisi Cuaca dan Observasi

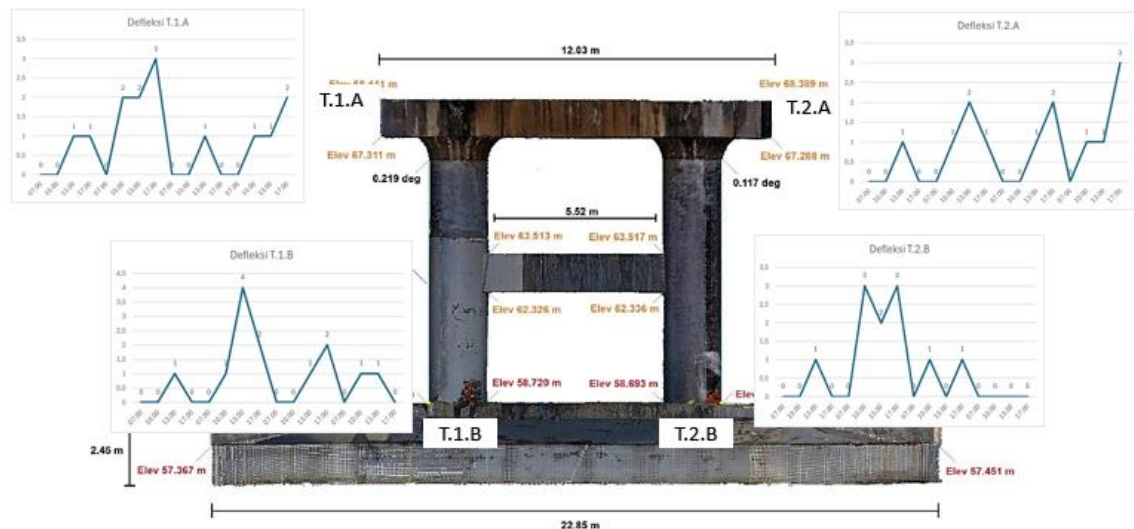
Selama periode pemantauan 96 jam, kondisi cuaca di sekitar lokasi Jembatan Mahakam umumnya didominasi oleh hujan ringan, yang menyebabkan sinar matahari sesekali. Meskipun cuaca bervariasi, tidak ada hambatan lingkungan yang signifikan yang dapat mempengaruhi proses pengukuran atau keakuratan data yang diperoleh.

Semua 64 titik pengamatan - terdiri dari 32 poin pada kolom 2 dan 32 poin pada kolom 3 - dipantau secara menyeluruh sesuai dengan jadwal yang ditentukan. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa pengamatan dilakukan dengan lancar dan konsisten, menyediakan database yang berguna untuk menganalisis stabilitas vertikal dan horizontal dari struktur jembatan.

## Data Visual

Visualisasi grafis dan hasil profil tinggi menunjukkan bahwa struktur jembatan Mahakam, terutama pada pilar 2 dan 3, memiliki kinerja yang konsisten selama periode pemantauan. Pola pergeseran yang diamati dikontrol secara linier dan tidak ada indikasi penyimpangan yang signifikan.

Perubahan sudut ekstrem atau perubahan mendadak tidak setelah kesimpulan bahwa struktur masih dalam keadaan stabil. Ini menunjukkan efektivitas sistem pengawasan untuk mengamati perilaku struktural secara keseluruhan (Mendez et al., 2023).



Gambar 7. Pemasangan Prisma Tempel untuk Pemantauan Vertikal

## KESIMPULAN

Evaluasi terhadap posisi vertikal dan horizontal Pilar 2 dan 3 Jembatan Mahakam menunjukkan bahwa keduanya masih berada dalam batas pergerakan yang dapat diterima. Pergeseran kecil yang diamati merupakan respons wajar terhadap beban dan kondisi lingkungan. Penggunaan alat seperti Total Station, GPS, Waterpass, dan Tiltmeter telah memberikan hasil pemantauan yang komprehensif dan akurat.

Disarankan agar pemantauan dilakukan dua kali dalam setahun, terutama pada periode beban puncak atau setelah terjadi kejadian cuaca ekstrem. Pemantauan geodetik lanjutan akan sangat mendukung dalam menjaga keandalan struktur jangka panjang dari jalur transportasi strategis ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aco Wahyudi Efendi, 2025. Structural Assessment of Mahakam Bridge Geometry Using Geodetic GPS and Terrestrial Laser Scanner. *Jurnal Sainstech Nusantara*, 2(1), pp.53–65.
- Adam, A.I. and Pamadi, M., 2023. Methods of Piling Work on Long Span Bridges: A Review. ... : *Civil Engineering and Architecture Journal*. [online] Available at: <<https://journal.uib.ac.id/index.php/leader/article/view/8075>>.

- Ameli, M.J., Parks, J.E., Brown, D.N. and Pantelides, C.P., 2015. Seismic evaluation of grouted splice sleeve connections for reinforced precast concrete column-to-cap beam joints in accelerated bridge construction. *PCI journal*. [online] Available at: <[https://www.pci.org/PCI/Publications/PCI\\_Journal/Issues/2015/March-April/Seismic\\_evaluation\\_of\\_grouted\\_splice\\_sleeve\\_connections\\_for\\_reinforced\\_precast\\_concrete\\_column\\_to\\_ca.aspx](https://www.pci.org/PCI/Publications/PCI_Journal/Issues/2015/March-April/Seismic_evaluation_of_grouted_splice_sleeve_connections_for_reinforced_precast_concrete_column_to_ca.aspx)>.
- Attanayake, U. and Aktan, H., 2019. Procedures and guidelines for design of lateral bridge slide activities. *Journal of Bridge Engineering*. [online] [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001476](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001476).
- Bae, Y.M., Oh, D.C. and Park, Y.G., 2020. Joint Displacement Resistance Evaluation of Waterproofing Material in Railroad Bridge Deck. *Journal of the Korea Academia ...* [online] Available at: <<https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO202034465346872.page>>.
- Bianchi, E., Abbott, A.L., Tokekar, P. and ..., 2021. COCO-bridge: Structural detail data set for bridge inspections. *Journal of Computing in ...* [online] <https://doi.org/10.1061/%28ASCE%29CP.1943-5487.0000949>.
- Chen, L., Jiang, L., Li, R., Li, Q., Zhang, M. and ..., 2019. A feasible vibration measurement and active control method of reinforced concrete lightweight pier railway bridges for heavy-haul monorail trains. *European Journal of ...* [online] <https://doi.org/10.1080/19648189.2019.1663267>.
- Cui, W., Liu, J. and Zhang, Y., 2022. Structural Response Analysis of Bridge Piers Under Ship Collision Using Finite Element Modeling. *Engineering Structures*, 252.
- Deng, T., Zhang, J., Li, S. and Wang, Y., 2019. Anti-overturning stability coefficient of curved girder bridges considering seismic action. *Journal of Vibroengineering*. [online] Available at: <<https://www.jvejournal.com/article/20798>>.
- Doger, R. and Hatami, K., 2020. Influence of Facing on the Performance of GRS Bridge Abutments. *International Journal of Geosynthetics and Ground ...* [online] <https://doi.org/10.1007/s40891-020-00225-y>.
- Gasparini, D.A. and Buonopane, S.G., 2019. Navier's 1823 Memoire: Analyses of Displacements, Stiffness, and Vibration of Suspension Bridges. *Journal of Bridge Engineering*. [online] [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0001436](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001436).
- Goebels, S., 2021. 3D Reconstruction of Bridges from Airborne Laser Scanning Data and Cadastral Footprints. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*. [online] <https://doi.org/10.1007/s41651-021-00076-9>.
- Hebdon, M.H., Sherman, R.J. and Connor, R.J., 2018. Hardness variation in driven rivets for bridge evaluation. *Journal of Materials in Civil ...* [online] [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002429](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002429).
- Miri, A., Thambiratnam, D., Chan, T.H.T. and ..., 2021. Transition Zones of Steel Bridges as Hotspots for Track Buckling. *Journal of Performance ...* [online] <https://doi.org/10.1061/%28ASCE%29CF.1943-5509.0001587>.
- Schlaich, M., 2021. The Bridges of Eduardo Torroja. *Journal of the International Association for Shell ...* [online] Available at: <<https://www.ingentaconnect.com/contentone/iass/jiass/2021/00000062/00000004/art00006>>.
- Siddiqi, Z.A., Chaudhry, M.A. and ..., 2019. Field Testing and Strength Evaluation of Khushhal Garh Rail cum Road Bridge. ... *Journal of Engineering and ...* [online] Available at: <<https://theskyjournal.net/journals/pakjet/article/view/73>>.
- Venglár, M., Sokol, M. and Ároch, R., 2018. Ambient vibration measurements of steel truss bridges. *Journal of Measurements in ...* [online] Available at: <<https://www.jvejournal.com/article/20419>>.
- Yoo, H., Oh, J. and Ahn, S., 2021. Field Evaluation of Load Bearing Capacity and Embedment Depth of Existing Ballastless Plate Girder Bridge Foundations. *Journal of the ...*
- Zhang, H., 2021. Key Construction Steps of A Half-Through Basket-Type Tied-Arch Bridge with Unequal Spans and Multiple Arches. *Journal of Physics: Conference Series*. [online] <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1802/2/022036>.
- Zhang, H., Xu, W. and Li, P., 2020. Structural Vulnerability Analysis of Bridges under Accidental Load Scenarios. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 34(5).



- Zhang, K., Li, D., Shen, X., Hou, W., Li, Y. and ..., 2021. Research on strengthening stone arch bridge with CFRP rebars. *International Journal of ...* [online] <https://doi.org/10.1108/IJBPA-07-2021-0097>.
- Zhang, X., Guan, J., Chen, X., Pei, W., Yu, S. and ..., 2022. Effect of Permafrost on Seismic Performance of Railway Bridge Pile Foundation with Elevated Cap. *International Journal ...* [online] <https://doi.org/10.1142/S0219455422410024>.