



Analisis Uji Beban Jembatan Menggunakan *Total station*

(*Analysis of The Bridge Loading Test Using Total Station*)

Moh Arief Herusiswoyo¹, Bilal Ma'ruf²

¹ Alumni Sarjana Teknik Geodesi FT Universitas Gadjah Mada

² Staf Pengajar Departemen Teknik Geodesi FT Universitas Gadjah Mada

Penulis Korespondensi: Bilal Ma'ruf | Email: bilalmaruf@ugm.ac.id

Diterima (*Received*): 21/Feb/2022 Direvisi (*Revised*): 25/May/2023 Diterima untuk Publikasi (*Accepted*): 29/May/2023

ABSTRAK

Uji beban jembatan dimaksudkan untuk mengetahui jembatan berfungsi dengan baik dalam menahan beban baik beba di atas jembatan maupun beban jembatan itu sendiri. Uji beban dapat memberikan informasi mengenai respon jembatan terhadap beban yang diberikan. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan besar, arah, dan pola lendutan akibat uji beban jembatan. Besar, arah, dan pola lendutan diamati menggunakan *total station* Sokkia series iM-50. Lendutan diamati pada tiga kombinasi pembebanan, yaitu kondisi sebelum terbebani, saat terbebani, dan setelah terbebani. Truk bermuatan 11 ton dijadikan sebagai beban pada uji beban tersebut. Studi kasus penelitian ini dilakukan pada jembatan tipe pelengkung baja jembatan Situ Gintung yang terletak di Kabupaten Purbalingga, Jawa Tengah. Tahapan penelitian dimulai dari perencanaan dan pengukuran titik kontrol, perencanaan dan pemasangan titik-titik objek pengamatan pada jembatan, pembebanan jembatan dan pengukuran, serta perhitungan dan analisis lendutan. Terdapat empat titik kontrol yang dipasang, satu titik di sisi utara jembatan, satu titik di sisi selatan jembatan, dan dua titik masing-masing dipasang di timur dan barat bawah jembatan. Sebanyak 32 titik pengamatan dipasang di jembatan yang terbagi menjadi tiga bagian pada sisi barat dan timur yaitu, lima titik di bagian *hanger*, tujuh titik di bagian *slab* lantai dan empat titik di pilar jembatan. Perhitungan lendutan dihitung dari permukaan awal ke posisi setelah terjadinya lendutan. Pengamatan lendutan menggunakan *total station* mampu mendeteksi lendutan jembatan. Namun besarnya lendutan yang terjadi masih memenuhi batas ijin lendutan yang ditetapkan oleh yang RSNI T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan. Dengan kata lain, jembatan ini sudah lolos uji beban.

Kata Kunci: jembatan, lendutan, uji beban statis, *total station*, waterpass

ABSTRACT

The bridge load test is carried out to obtain information on the stress and deformation conditions that occur in the bridge. The purpose of this study is to obtain the magnitude, direction, and pattern of deflection due to the bridge load test. The magnitude, direction, and pattern of deflection will be observed using a total station and a spirit level. Observations on the bridge will be carried out in conditions before being loaded, when it is loaded, and after being loaded by trucks. This research was conducted on a steel arch type bridge, the Situ Gintung bridge located in Purbalingga Regency, Central Java. The research stage starts from planning and measuring control points, planning and installing observation points on the bridge, loading and measuring bridges, calculating and analyzing deflections. The instruments are used the total station Sokkia series iM50 and the automatic level Topcon series DL-503. There are installed four control points, one point on the north side of the bridge, one point on the south side of the bridge, and 2 points each installed on the east and west bottom of the bridge. There are installed 36 points of observation object on the bridge, 16 points on the east side, 16 points on the west side and four points along the bridge axle. The load used is a truck with a load of 11 tons. The deflection calculation is calculated from the original surface to the position after the deflection occurs. The Observations of deflection using the total station and the automatic level able to detect bridge deflection. The amount of deflection that occurs still meets the allowable deflection limit set by the RSNI T-03-2005 concerning Steel Structure Design for Bridges, which is 75 mm for long spans and 37.5 mm for short spans. It can be concluded that this bridge has passed the load test.

Keywords: bridge, deflection, static load test, *total station*, waterpass

1. Pendahuluan

Jembatan merupakan suatu konstruksi yang berfungsi untuk meneruskan jalan yang melalui rintangan atau halangan yang lebih rendah seperti jalan, sungai, dan jurang (Struyk & Veen, 1984). Melihat pentingnya fungsi dari suatu jembatan maka pembuatan jembatan harus memenuhi berbagai macam standar yang ada. Adanya uji beban jembatan dimaksudkan untuk mengetahui jembatan berfungsi dengan baik dalam menahan beban baik beban di atas jembatan maupun beban jembatan itu sendiri. Uji beban jembatan harus memberikan informasi mengenai kondisi tegangan dan lendutan yang terjadi pada jembatan. Studi kasus penelitian ini dilakukan pada jembatan tipe pelengkung baja jembatan Situ Gantung yang terletak di Kabupaten Purbalingga, Jawa Tengah. Jembatan ini dibangun di atas Sungai Gantung yang menghubungkan Desa Tegalpingen, Kecamatan Pengadegan dengan Desa Pepedan, Kecamatan Karangmoncol. Jembatan yang berlokasi di Kabupaten Purbalingga memiliki panjang bentang 140 m dan lebar 7 m. Jembatan ini dibangun sejak tahun 2017 dan diselesaikan pada tahun 2019. Pembangunan jembatan ini mengalami banyak hambatan yang disebabkan beberapa hal. Hingga tahun 2020, jembatan ini belum resmi difungsikan.

Terdapat beberapa metode uji beban jembatan, salah satunya yaitu uji beban statik. Tujuan dilakukan uji beban statik yaitu untuk mendapatkan besar lendutan dan regangan struktur jembatan secara terukur dan terkendali (Setiati & Surviyanti, 2013). Pemberian beban truk dilakukan setelah menutup lalu lintas jembatan. Prediksi lendutan maksimum ditentukan dengan analisis teoritis berdasarkan standar pembebanan yang berlaku. Uji beban statik meliputi pemberian beban truk pada jembatan selama kurun waktu tertentu kemudian diukur lendutan yang dihasilkan pada kondisi tersebut. Pengukuran lendutan sendiri dapat dilakukan dengan bantuan beberapa instrumentasi pengukuran dan metode pengukuran.

Besar perpindahan antara struktur awal dan setelah dibebani disebut lendutan. Menurut Kuang (1996), Perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda atau materiil disebut deformasi. Berdasarkan definisi tersebut deformasi dapat diartikan sebagai perubahan kedudukan atau pergerakan suatu titik pada suatu benda secara absolut maupun relatif. Oleh karena itu, lendutan sendiri dapat diartikan sebagai deformasi karena berkaitan dengan perubahan atau pergeseran posisi. Dalam penelitian ini, lendutan jembatan didapatkan berdasarkan perubahan posisi titik pengamatan akibat beban yang diberikan pada jembatan.

Pengamatan geodetik yang dilakukan untuk mendapatkan besar pergeseran dari suatu objek dapat menggunakan beberapa metode, diantaranya pengukuran GNSS, pengukuran *waterpass*, pengukuran *total station*, dan pengukuran *Terrestrial Laser Scanner*

(TLS). Najamuddin et al. (2012), melakukan pengamatan deformasi pada Jembatan Kali Babon di Semarang, Jawa Tengah menggunakan metode GNSS kinematik. Metode ini dilakukan dengan mengamati tiga titik kontrol yang diletakkan pada jembatan yang memungkinkan akan mengalami deformasi akibat beban yang melintasinya. Pada tahun 2013 di lokasi yang sama, Rizal et al. (2013) melakukan pengamatan pengamatan deformasi kembali pada jembatan tersebut. Kali ini, metode yang digunakan adalah metode TLS dengan mengamati tujuh titik sepanjang bentang panjang jembatan. Pada metode ini, pemantauan deformasi dilakukan *scanning* sebanyak 11 kali untuk mendapatkan lendutan maksimal yang terjadi pada jembatan. Setiati dan Surviyanti (2013), melakukan uji beban statik dan dinamis pada jembatan Sinapeul di Bandung Barat, Jawa Barat. Pada penelitian ini digunakan alat *strain gauge* dan *deflectometer* untuk mengukur regangan dan lendutan pada jembatan sedangkan *total station* digunakan untuk mengukur pergerakan horizontal jembatan.

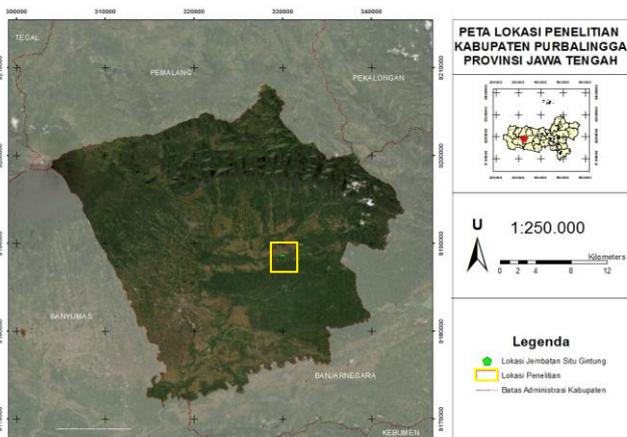
Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan dalam pengamatan deformasi pada jembatan, hasil lendutan didapatkan secara post-processing (sesudah pengamatan) sedangkan dalam uji beban jembatan sendiri, nilai lendutan harus didapatkan pada saat uji beban dilakukan atau secara *real time*. Selain itu, pengamatan lendutan dan pergerakan dengan TLS, GNSS, *total station*, *strain gauge*, dan *deflectometer* mampu mendeteksi lendutan jembatan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui dan mengamati respon jembatan secara langsung berdasarkan nilai lendutan saat uji beban jembatan. Metode pengukuran *waterpass* dan *total station* dinilai Pada penelitian ini digunakan pengamatan lendutan dengan *total station* karena dianggap lebih efektif dan mudah. Selain itu, nilai lendutan didapatkan berdasarkan hasil pengukuran yang didapatkan pada saat itu.

Analisis pembebanan jembatan akan mengacu RSNI T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan. Standar ini berpedoman pada standar yang dikeluarkan *Bridge Management System* (1992). Standar perencanaan tersebut dipilih sebagai acuan dalam standar kelayakan uji beban dikarenakan standar ini ditunjukkan untuk perencanaan jembatan jalan raya dengan bentang tidak lebih dari 100 m. Selain itu, standar ini juga ditunjukkan untuk jembatan dengan struktur baja. Hal ini sejalan dengan tujuan penelitian ini yang menganalisis standar kelayakan jembatan struktur baja berdasarkan uji beban. Dimana, jembatan Situ Gantung merupakan jembatan tipe pelengkung dengan struktur baja yang memiliki bentang maksimal 60 m. Oleh karena itu, penelitian ini berusaha mengkaji besar, arah, dan pola lendutan akibat uji beban jembatan. Besar, arah, dan pola lendutan diamati menggunakan *total station*.

2. Data dan Metodologi

2.1 Data dan Lokasi

Kegiatan dilaksanakan Jembatan Situ Gantung yang menghubungkan Desa Tegalpingen, Kecamatan Pengadegan dengan Desa Pepedan, Kecamatan Karangmoncol. Jembatan ini dibangun di atas Sungai Gantung yang berada di Kabupaten Purbalingga seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Data yang digunakan berupa data primer yang diperoleh dari pengamatan langsung, yaitu koordinat titik kontrol, koordinat titik pengamatan yang diperoleh dari pengukuran *total station*, dan beda tinggi yang diperoleh dari pengukuran *levelling* dengan *waterpass*. Peralatan yang digunakan untuk pengamatan lendutan, yaitu *total station* Sokkia seri iM-50.



Gambar 1. Peta lokasi kegiatan

2.2 Metodologi

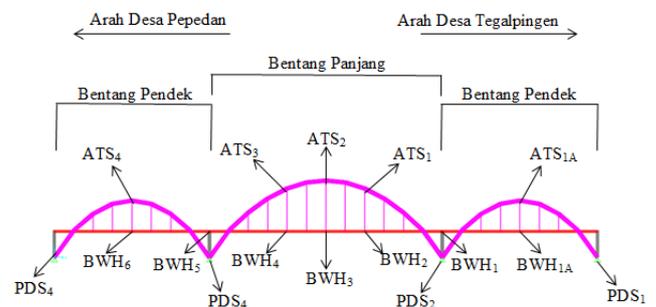
2.2.1 Perencanaan Titik Kontrol dan Titik Pengamatan

Titik kontrol digunakan sebagai titik referensi baik posisi horizontal maupun vertikal (elevasi). Titik pengamatan digunakan sebagai titik yang diamati perubahan posisi dan besar lendutannya. Titik kontrol berjumlah empat titik dengan pembagian satu titik kontrol digunakan sebagai titik *fixed* dalam pengukuran GPS dan dua titik kontrol sebagai titik referensi pada pengukuran posisi dengan *total station*. Rencana titik kontrol ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rencana titik kontrol

Gambar 2. menunjukkan titik kontrol untuk *total station* yaitu titik TS_1 dan TS_2 sementara WP_1 merupakan titik kontrol sebagai referensi ketinggian. Titik WP_2 sebagai titik *fixed* dalam pengukuran GPS. Penempatan titik pengamatan pada jembatan untuk *total station* dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian bawah jembatan pada bagian lantai pilar jembatan. Bagian kedua, titik pengamatan diletakkan pada bagian slab lantai jembatan yaitu pada bagian gelagar memanjang utama. Bagian ketiga, titik pengamatan diletakkan pada bagian atas jembatan tepatnya pada bagian hanger jembatan. Penempatan titik pengamatan dengan posisi pada $\frac{1}{2}$ bentang pendek, $\frac{1}{4}$ bentang panjang, dan $\frac{1}{2}$ bentang panjang. Semua titik pengamatan diletakkan pada posisi yang dapat dibidik oleh *total station*. Total titik pengamatan sebanyak 32 buah yang terbagi di sisi kanan dan kiri jembatan. Masing-masing titik pengamatan dipasang *reflector sheet* dengan ukuran 3 x 3 cm. Sebaran titik-titik pengamatan disajikan pada Gambar 3.



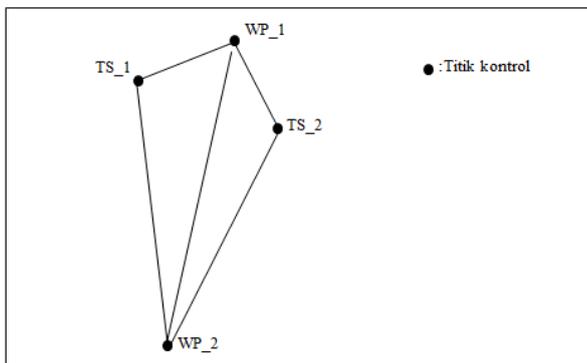
Gambar 3. Sebaran titik-titik pengamatan untuk *total station*

2.2.2 Pengukuran Titik Kontrol

Global Navigation Satellite System (GNSS) yaitu sistem navigasi dan penentuan posisi berbasis satelit yang digunakan untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti serta informasi waktu secara kontinyu di seluruh dunia (Abidin et. al, 2002). Pada penelitian ini digunakan metode penentuan posisi secara statik diferensial. Metode ini menggunakan prinsip penentuan posisi suatu titik ditentukan terhadap titik lainnya yang sudah diketahui, dimana penentuan posisi menggunakan minimal dua *receiver* GNSS yang mengamati satelit secara simultan (Abidin, 2007).

Titik kontrol diukur dengan penentuan posisi GPS metode statik diferensial. GPS yang digunakan yaitu GPS Geodetik Topcon GR5 sebanyak empat titik yang membentuk jaring. Pengukuran GPS dilakukan pada waktu yang bersamaan dengan lama pengamatan 6 jam untuk mencapai ketelitian orde 1 mengacu SNI 19-6724-2002. Pengukuran dilakukan secara statik dengan *logging rate* 15 detik dan *elevation mask* 10°. Data pengukuran selanjutnya diolah dengan metode jaring

untuk mendapatkan ketelitian yang tinggi (Abidin et. al, 2002). Nilai koordinat titik kontrol yang dihasilkan mengacu pada sistem proyeksi koordinat *Universal Transverse Mercator* (UTM) WGS 84 pada zona 49S. Desain jaring GPS pada pengukuran titik kontrol disajikan pada Gambar 4.



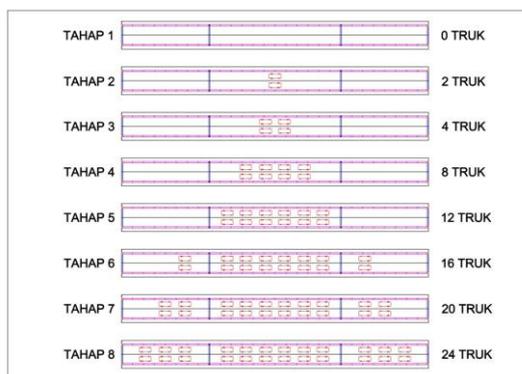
Gambar 4. Desain jaring GPS

2.2.3 Pengujian Beban Jembatan

Pengujian beban pada jembatan bertujuan untuk mengevaluasi respon struktur jembatan dengan membandingkan respon struktur uji dengan respon teoritis (*American Association of State Highway and Transportation Officials*, 2000). Pada penelitian ini, pengujian beban jembatan yang dilakukan berupa uji beban statis. Uji beban statik sendiri berupa pengukuran lendutan dan regangan struktur saat dilakukan pemberian beban secara terkendali dan terukur.

Berdasarkan Manual Pelaksanaan Pengujian Jembatan yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum, pengujian dilakukan secara bertahap sesuai perencanaan dengan pemberian beban dilakukan dari pemberian beban minimal (0 truk) hingga beban maksimal (24 truk) kemudian kembali pengurangan hingga beban minimal (0 truk). Hal ini dimaksudkan agar dapat dilihat pengaruh beban serta perilaku jembatan.

Uji beban statik dilakukan dengan menggunakan beban berupa dump truk yang berisikan muatan dengan berat 11 ton. Total truk yang digunakan dalam pengujian ini sebanyak 24 truk. Total beban didistribusikan ke dalam sejumlah titik pembebanan sehingga dapat mewakili beban lalu lintas sebenarnya. Alur masuk dan keluar truk dilakukan pada sisi Utara dan Selatan jembatan dengan pembagian 12 truk pada masing – masing sisi. Lama jeda waktu antara pemberian beban satu ke beban berikutnya, yaitu ± 10 menit. Selama jeda waktu tersebut dilakukan pengamatan lendutan. Setiap tahap selalu dicatat kondisi lendutan secara simultan dan realtime. Prosedur pembebanan jembatan dilakukan secara berulang untuk tiap Pemberian beban pada jembatan diberikan secara bertahap diilustrasikan pada Gambar 5. dan Gambar 6. di bawah ini:



Gambar 5. Pemberian beban truk



Gambar 6. Pengurangan beban truk

2.2.4 Pengamatan Lendutan

Pengamatan jembatan dilakukan pada saat pengujian beban jembatan dengan prinsip pengukuran posisi dengan *total station*. Pengukuran dilakukan dengan menargetkan titik pengamatan pada saat dilakukan pengujian beban. Pengukuran titik pengamatan dilakukan pada tiap tahap uji beban dengan tiga kombinasi pembebanan yaitu kondisi sebelum diberi beban, kondisi saat diberi beban, dan kondisi setelah diberi beban.

Prinsip pengukuran posisi dengan *total station* menggunakan sudut dan jarak (Basuki, 2011). Pengukuran ini membutuhkan koordinat titik kontrol sebagai koordinat titik berdiri alat (Maulidin, 2016). Data pengukuran *total station* berupa data koordinat titik yang mencakup komponen *Easting*, *Northing*, dan elevasi (E, N, Z) (Maulidin, 2016). Pengukuran ini menggunakan dua *total station* (Sokkia iM-50 Series), dua statif dan dua prisma. Pengukuran titik pengamatan menggunakan *reflector sheet*. Titik kontrol TS_1 dan TS_2 masing-masing menjadi titik berdiri alat sekaligus titik backsight.

Prinsip penentuan posisi dengan *total station* pada penelitian ini menggunakan metode *tachymetri*. Dimana metode ini menggunakan metode polar (sudut dan jarak) untuk penentuan posisi horizontal dan metode *trigonometri* untuk posisi vertikal (Basuki, 2011).

Ketepatan dan kecepatan metode ini lebih unggul dibandingkan metode *offset* (Maulidin, 2016).

2.2.5 Perhitungan Lendutan

Perhitungan lendutan hasil pengukuran posisi dengan *total station* berupa nilai pergerakan horizontal dan lendutan vertikal serta arah lendutannya. Pergerakan horizontal dihitung dengan menerapkan hitungan vektor pergerakan dari koordinat horizontal titik pengamatan pada posisi awal jembatan (sebelum diberi beban) dan koordinat horizontal titik pengamatan pada posisi setelah diberi beban maupun setelah beban dihilangkan seperti pada persamaan (1).

$$\Delta_H = \sqrt{(E' - E)^2 + (N' - N)^2} \quad (1)$$

Dalam hal ini

- Δ_H : vektor pergerakan horizontal setelah diberi beban,
- E : nilai *Easting* pada kondisi netral,
- E' : nilai *Easting* pada kondisi setelah diberi beban,
- N : nilai *Northing* pada kondisi netral,
- N' : nilai *Northing* pada kondisi setelah diberi beban.

Lendutan vertikal dihitung dari selisih nilai elevasi titik pengamatan pada posisi awal jembatan (sebelum diberi beban) dengan nilai elevasi titik pengamatan pada posisi setelah diberi beban maupun setelah beban dihilangkan seperti pada persamaan (2).

$$\Delta_h = h' - h \quad (2)$$

Dalam hal ini :

- Δ_h : vektor lendutan vertikal setelah diberi beban,
- h : nilai elevasi pada kondisi netral,
- h' : nilai elevasi pada kondisi setelah diberi beban,

Arah pergerakan horizontal dihitung dengan nilai sudut azimuth berdasarkan vektor pergerakan seperti persamaan (3).

$$\alpha = \arctan \frac{(E' - E)}{(N' - N)} \quad (3)$$

Dalam hal ini :

- α : arah vektor pergerakan horizontal setelah diberi beban,
- E : nilai *Easting* pada kondisi netral,
- E' : nilai *Easting* pada kondisi setelah diberi beban,
- N : nilai *Northing* pada kondisi netral,
- N' : nilai *Northing* pada kondisi setelah diberi beban.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Koordinat Titik Kontrol

Berdasarkan hasil pengukuran GPS didapatkan koordinat titik kontrol dalam sistem koordinat kartesian 3D (x,y,z) dan sistem koordinat geografis WGS84. Selanjutnya Sistem koordinat geografis

ditransformasikan menjadi sistem koordinat UTM zona 49S. Distribusi empat titik kontrol tersebar merata di sekitar area pengukuran. Nilai koordinat titik kontrol serta ketelitiannya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Koordinat titik kontrol dalam Sistem Koordinat UTM 49S

Titik	<i>Easting</i> (m)	σ_E (mm)	<i>Northing</i> (m)	σ_N (mm)	Elevasi (m)	σ_h (mm)
WP_1	330032,2861	1,4	9188700,3721	1,0	124,8941	3,6
WP_2	329994,9103	0,9	9188557,9672	1,0	126,7942	2,5
TS_1	329984,9574	0,5	9188680,7822	0,4	114,1172	1,2
TS_2	330060,9957	0,0	9188658,4693	0,0	114,1274	0,0

3.2 Besar, Arah, dan Pola Lendutan dari Pengukuran *Total station*

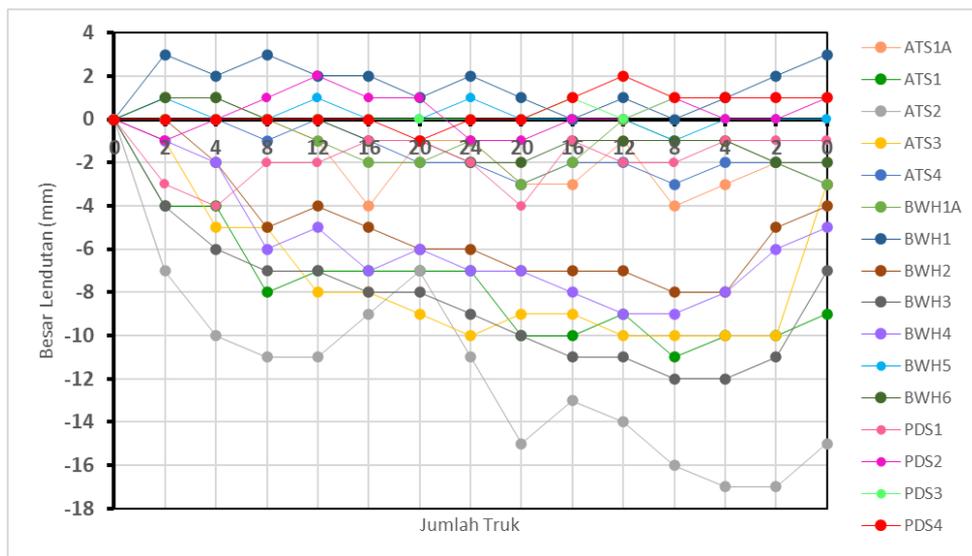
Besar, arah, dan pola lendutan didapatkan berdasarkan pengukuran dengan *total station* terhadap 32 titik pengamatan berupa koordinat UTM (E, N, Z). Distribusi titik pengamatan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian atas di *hanger* jembatan, bagian tengah di gelagar memanjang utama, dan bagian bawah di pilar tumpuan. Pengamatan lendutan dilakukan sesuai dengan skema uji beban jembatan. Besar dan arah lendutan baik horizontal maupun vertikal dihitung berdasarkan persamaan (1) dan (2). Arah lendutan vertikal ke arah bawah dinotasikan dengan tanda (-) dan ke arah atas dinotasikan dengan tanda (+). Arah lendutan horizontal ditunjukkan dengan sudut azimuth dari vektor pergerakannya. Besar dan arah lendutan baik vertikal maupun horizontal mengacu pada posisi titik pengamatan sebelum diberi beban. Besar dan arah lendutan vertikal disajikan pada Gambar 7. dan Gambar 8. Besar dan arah lendutan horizontal disajikan pada Tabel 2. dan Tabel 3.

Berdasarkan Gambar 7. dan Gambar 8., besar lendutan selalu mengalami perubahan terhadap beban yang diberikan baik sisi barat maupun timur jembatan. Masing-masing titik pengamatan memiliki respon yang berbeda terhadap beban yang diberikan. Hal ini ditunjukkan dari pola yang terbentuk untuk masing-masing titik pengamatan. Titik ATS1, ATS2, ATS3, BWH2, BWH3, dan BWH4 memiliki pola yang hampir sama yaitu lendutan terus bergerak ke bawah hingga mencapai lendutan maksimal. Selanjutnya, lendutan kembali bergerak ke atas menuju nilai 0,0 mm. Terlihat juga bahwa tidak semua titik kembali ke elevasi semula seperti titik ATS1, ATS2, ATS3, BWH2, BWH3, dan BWH4 Titik-titik tersebut terletak di tengah bentang panjang dan bentang pendek.

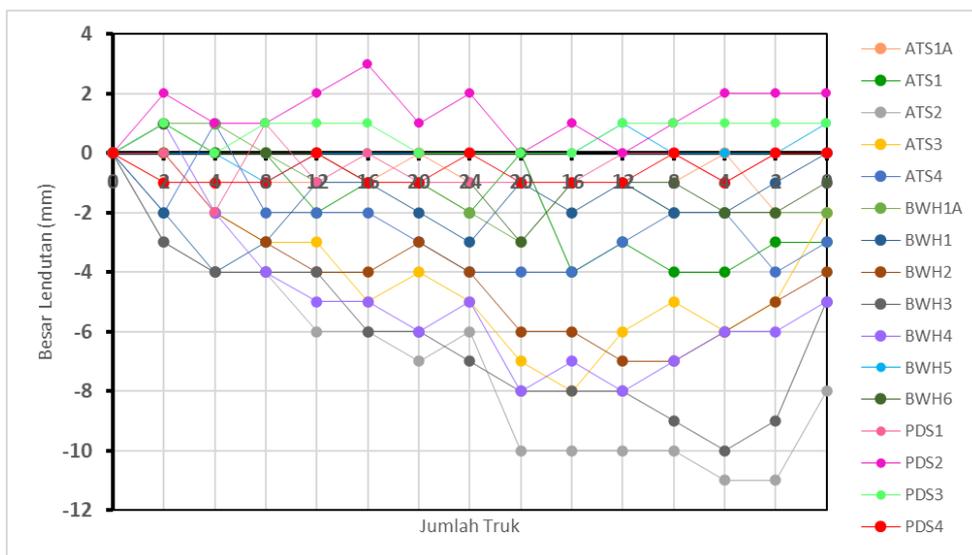
Berbeda halnya dengan titik-titik pengamatan yang terletak di bentang pendek baik di bagian *hanger* maupun *slab*. Pola lendutan pada bagian ini memiliki pola yang acak. Meskipun demikian besar lendutan masih dalam fraksi millimeter. Besarnya lendutan masih bervariasi untuk titik pengamatan di kedua bagian

tersebut sedangkan titik pengamatan yang terletak di pilar jembatan (PDS1, PDS2, PDS3, dan PDS4) menunjukkan besar dan pola lendutan yang bervariasi juga. Hal ini mengartikan pemberian beban sangat berpengaruh terhadap respon jembatan. Hal ini ditunjukkan dari respon jembatan pada bagian *hanger*, *slab*, dan pilar yang berbeda-beda. Selain itu, panjang bentang jembatan juga mempengaruhi besar lendutan yang terjadi akibat pemberian beban. Terlihat pada tengah bentang panjang menunjukkan besar lendutan yang lebih besar dibanding bentang pendek.

Walaupun pola lendutan di bentang pendek menunjukkan pola yang acak. Adapun, pemberian beban terhadap jembatan tidak selalu menyebabkan penurunan. Hal tersebut perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai kebenaran dari besar lendutan. Sebab besar lendutan tersebut bisa disebabkan pengaruh pemberian beban ataukah disebabkan varian baik dari ketelitian alat maupun dari ketelitian pengukuran sehingga besar lendutan tersebut belum signifikan. Selain itu, perlu dilakukan kajian pembandingan dengan hasil pengukuran dari alat uji beban yang lain seperti *LVDT*, *tiltmeter*, *strain gauge*, dan *vibrator meter*.



Gambar 7. Grafik besar lendutan vertikal di titik pengamatan sisi timur jembatan



Gambar 8. Grafik besar lendutan vertikal di titik pengamatan sisi barat jembatan

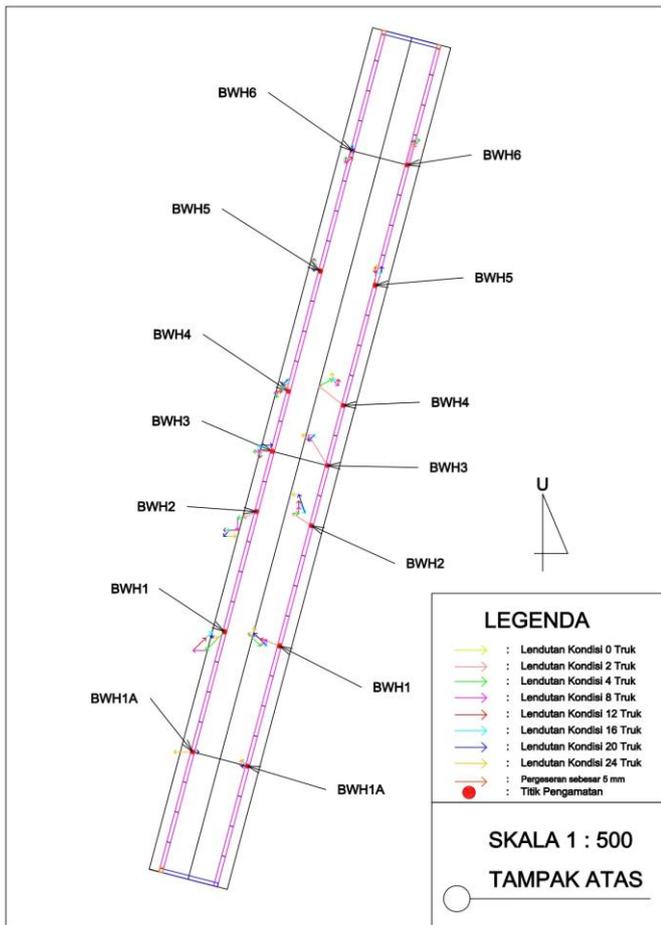
Tabel 2. Besar pergerakan horizontal di titik pengamatan sisi timur jembatan

Jumlah truk Jumlah truk	Besar lendutan (mm)															
	ATS1A	ATS1	ATS2	ATS3	ATS4	BWH1A	BWH1	BWH2	BWH3	BWH4	BWH5	BWH6	PDS1	PDS2	PDS3	PDS4
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	2,0	6,7	3,2	3,2	1,4	5,4	3,6	5,8	5,0	3,0	4,1	8,6	5,4	3,0	4,1
4	0,0	3,0	9,4	1,0	4,5	1,4	3,0	2,8	5,8	4,5	3,0	4,5	6,4	4,1	3,0	4,1
8	0,0	8,2	11,4	1,0	2,0	1,4	2,2	2,2	5,0	3,2	3,0	3,2	7,2	3,6	3,0	1,4
12	0,0	7,1	10,2	2,0	2,2	1,0	3,2	2,8	5,0	4,1	2,0	3,2	6,4	3,2	3,0	3,6
16	0,0	6,3	7,0	1,4	2,2	0,0	2,0	1,0	5,4	4,5	2,2	3,2	7,2	4,5	3,0	2,8
20	3,2	6,1	6,1	1,0	4,2	1,0	4,5	3,6	5,0	4,5	3,2	4,1	7,8	4,5	3,0	3,6
24	5,0	6,0	7,3	2,0	3,6	1,4	5,0	4,2	6,4	5,4	3,0	3,2	8,6	4,5	3,0	5,0
20	4,1	5,8	12,1	5,8	2,8	2,0	4,1	4,5	6,7	5,4	3,0	4,1	10,8	5,4	5,1	3,6
16	3,6	8,1	10,8	3,2	2,8	3,0	5,1	4,2	6,7	5,4	3,0	4,1	10,0	4,5	4,0	4,5
12	5,0	5,1	10,8	4,5	2,8	3,6	6,3	7,3	6,7	5,4	3,0	4,1	11,4	6,3	6,1	5,0
8	5,0	6,4	13,4	2,8	3,6	4,1	7,2	5,0	6,7	6,3	4,1	4,1	11,4	6,3	5,1	3,6
4	4,5	4,2	11,4	5,0	2,8	4,1	5,8	6,3	6,7	5,8	4,0	4,1	13,0	8,6	5,1	4,5
2	5,4	5,4	12,0	6,7	3,6	4,5	5,4	5,0	6,7	5,4	3,0	4,1	11,4	5,8	4,0	5,0
0	5,8	8,0	12,2	7,0	2,8	4,5	6,4	5,8	8,5	6,3	3,0	4,1	11,4	7,2	4,0	3,6

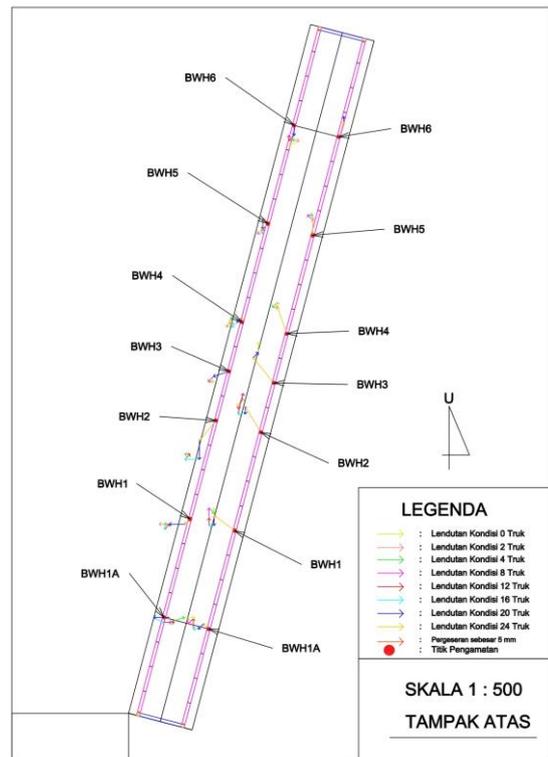
Tabel 3. Besar pergerakan horizontal di titik pengamatan sisi barat jembatan

Jumlah truk Jumlah truk	Besar lendutan (mm)															
	ATS1A	ATS1	ATS2	ATS3	ATS4	BWH1A	BWH1	BWH2	BWH3	BWH4	BWH5	BWH6	PDS1	PDS2	PDS3	PDS4
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	8,2	1,0	4,1	2,0	0,0	0,0	2,2	2,0	1,4	0,0	2,2	5,1	1,0	1,0	2,2
4	0,0	3,0	1,4	1,0	1,0	0,0	4,2	3,2	3,0	2,2	1,4	1,4	2,2	4,1	2,2	2,2
8	0,0	11,7	5,4	3,0	1,4	0,0	5,8	4,2	2,0	2,0	1,0	2,2	5,1	4,1	0,0	2,2
12	0,0	9,2	6,7	6,3	1,0	0,0	3,2	2,2	2,2	1,0	1,0	1,0	4,1	4,1	1,0	3,2
16	0,0	9,2	7,3	2,0	4,2	0,0	2,0	1,4	2,2	2,0	2,2	1,0	5,1	1,0	1,4	1,4
20	3,2	16,2	6,7	7,2	3,6	1,0	2,2	2,8	1,0	1,4	1,4	0,0	3,2	1,0	1,4	1,4
24	3,6	11,3	6,3	4,5	2,8	3,0	1,4	2,0	0,0	1,0	2,2	0,0	2,2	0,0	1,0	0,0
20	4,0	26,0	5,0	5,0	2,0	6,0	4,1	3,2	3,2	1,0	1,0	2,0	5,4	3,2	1,0	2,2
16	5,0	9,5	5,8	3,6	4,1	4,1	5,4	5,8	3,2	2,2	1,4	2,0	6,3	4,1	0,0	4,1
12	4,1	20,2	5,8	11,2	2,2	2,2	4,1	4,5	3,2	2,0	1,0	3,2	3,6	3,2	0,0	4,5
8	5,1	17,5	5,0	10,2	4,0	3,2	4,1	4,5	4,5	2,0	2,2	2,2	5,4	3,2	1,4	2,8
4	5,1	12,4	2,0	4,1	2,0	6,0	5,1	5,4	3,6	2,2	2,2	3,0	3,6	4,1	1,0	4,5
2	7,0	15,0	2,2	8,1	7,1	6,0	6,1	5,1	4,5	3,2	2,2	3,2	7,1	5,1	2,2	5,0
0	6,1	12,0	3,6	15,1	4,5	4,0	6,1	5,1	3,6	2,0	1,0	4,1	8,2	4,1	2,2	4,5

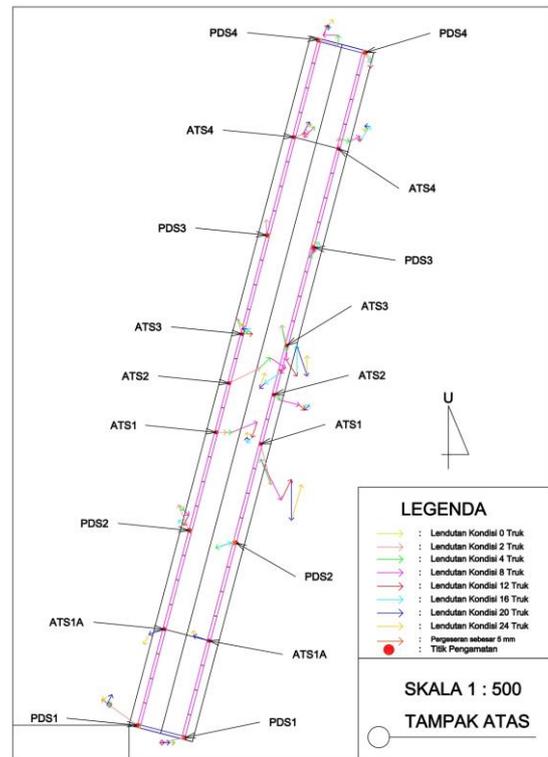
Berbeda halnya dengan pergerakan horizontal yang ditampilkan pada Tabel 2. dan Tabel 3. Besar pergerakan horizontal di semua titik pengamatan memiliki nilai dan pola yang bervariasi. Walaupun begitu pola yang terbentuk adalah pemberian beban menyebabkan pengaruh terhadap pergerakan horizontal di masing-masing bagian jembatan. Titik pengamatan yang terletak di bagian *hanger* dan *slab* memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan bagian yang lain. Terutama pada bagian tengah bentang panjang. Selanjutnya, visualisasi pergerakan horizontal dibuat untuk menunjukkan arah pergerakannya. Visualisasi disajikan pada Gambar 9. s.d. 12.



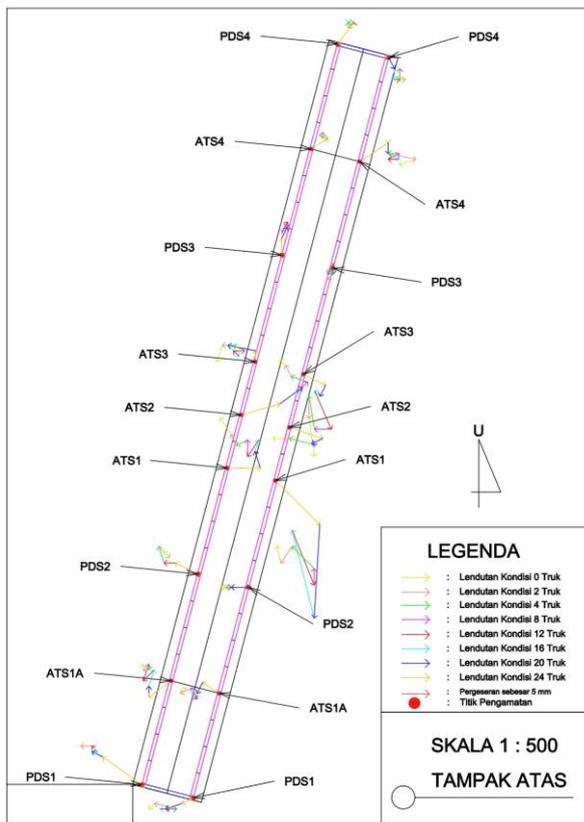
Gambar 9. Visualisasi pergerakan horizontal di titik BWH1A-BWH6 kondisi pemberian beban.



Gambar 10. Visualisasi pergerakan horizontal di titik BWH1A-BWH6 kondisi pengurangan beban



Gambar 11. Visualisasi pergerakan horizontal di titik ATS1A-PDS4 kondisi pemberian beban



Gambar 12. Visualisasi pergerakan horizontal di titik ATS1A-PDS4 kondisi pengurangan beban

Berdasarkan Gambar 9. s.d. 12, menunjukkan tiap titik pengamatan memiliki besar dan arah pergerakan horizontal yang berbeda. Walaupun begitu arah yang dihasilkan akibat uji beban relatif sama. Berdasarkan visualisasi tersebut, bagian slab jembatan yang diwakili oleh titik BWH1A-BWH6 bergerak ke arah barat selatan jembatan pada kondisi pemberian beban. Berbeda halnya pada bagian *hanger* jembatan yang diwakili oleh titik ATS1A-ATS4 bergerak ke arah timur selatan jembatan. Terutama pada titik yang berada di bentang panjang jembatan. Pada bagian pilar jembatan tidak menunjukkan perubahan yang besar. Perbedaan arah gerakan pada titik-titik tersebut menunjukkan jembatan mengalami respon untuk menyeimbangkan bebannya.

3.3 Batas Ijin Lentutan

Berdasarkan lendutan vertikal yang didapatkan, selanjutnya dilakukan analisis standar kelayakan jembatan mengacu RSNi T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan. Mengacu standar tersebut, kelayakan jembatan didapatkan dengan cara membandingkan lendutan terukur dan lendutan ijin. Batas ijin lendutan dihitung dengan persamaan (4).

$$\Delta = \frac{L}{800} \quad (4)$$

Dimana, L merupakan panjang bentang. Jembatan Situ Gantung memiliki dua jenis bentang, yaitu bentang panjang dengan panjang 60 m berjumlah satu titik dan bentang pendek dengan panjang 30 m berjumlah dua titik. Berdasarkan persamaan (4) dihitung batas ijin lendutannya sehingga didapatkan batas ijin lendutan bentang panjang dan pendek yaitu masing-masing sebesar 75 mm dan 35 mm. Batas ijin lendutan tersebut menjadi batas toleransi jembatan Situ Gantung.

Tabel 4. Besar lendutan vertikal pada titik pengamatan di bentang panjang

Titik	Timur	Keterangan	Barat	Keterangan	Batas Ijin Lendutan (m)
	ΔV (m)		ΔV (m)		
ATS1	-0,0090	Memenuhi	-0,0030	Memenuhi	0,0750
ATS2	-0,0150	Memenuhi	-0,0080	Memenuhi	0,0750
ATS3	-0,0030	Memenuhi	-0,0020	Memenuhi	0,0750
BWH2	-0,0040	Memenuhi	-0,0040	Memenuhi	0,0750
BWH3	-0,0070	Memenuhi	-0,0050	Memenuhi	0,0750
BWH4	-0,0050	Memenuhi	-0,0050	Memenuhi	0,0750

Tabel 5. Besar lendutan vertikal pada titik pengamatan di bentang pendek

Titik	Timur	Keterangan	Barat	Keterangan	Batas Ijin Lendutan (m)
	ΔV (m)		ΔV (m)		
ATS1A	-0,0030	Memenuhi	-0,0020	Memenuhi	0,0375
ATS4	-0,0030	Memenuhi	-0,0030	Memenuhi	0,0375
BWH1A	-0,0030	Memenuhi	-0,0020	Memenuhi	0,0375
BWH1	0,0030	Memenuhi	0,0000	Memenuhi	0,0375
BWH5	0,0000	Memenuhi	0,0010	Memenuhi	0,0375
BWH6	-0,0020	Memenuhi	-0,0010	Memenuhi	0,0375
PDS1	-0,0010	Memenuhi	0,0000	Memenuhi	0,0375
PDS2	0,0010	Memenuhi	0,0020	Memenuhi	0,0375
PDS3	0,0010	Memenuhi	0,0010	Memenuhi	0,0375
PDS4	0,0010	Memenuhi	0,0000	Memenuhi	0,0375

Berdasarkan pengamatan lendutan baik dengan *waterpass* maupun *total station*, jembatan Situ Gantung tidak kembali ke posisi semula. Berdasarkan pengukuran dengan *total station* juga terdeteksi mengalami deformasi pada titik-titik pengamatan yang besar dan arahnya juga bervariasi. Tabel 2. dan Tabel 3.

disajikan besar lendutan vertikal pada 32 titik pengamatan yang terbagi pada bentang panjang dan bentang pendek.

Berdasarkan Tabel 4. dan Tabel 5. dapat dilihat besar lendutan vertikal terukur memenuhi standar kelayakan. Hal ini ditunjukkan dari besar lendutan terukur yang lebih kecil dari lendutan ijin. Begitu juga berdasarkan pengamatan dengan *waterpass*, lendutan terukur pada titik $\frac{1}{4}$ L, $\frac{1}{2}$ L, $\frac{3}{4}$ L dan tumpuan sudah memenuhi standar kelayakan sehingga dapat dikatakan jembatan Situ Gantung lolos uji beban.

4. Kesimpulan

Pengamatan lendutan dengan *total station SOKKIA iM 50* mampu mendeteksi pergerakan lendutan baik vertikal maupun horizontal. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil pengamatan lendutan mulai dari kondisi jembatan tanpa beban (0 truk) hingga pemberian beban 24 truk. Metode dan peralatan tersebut juga mampu mendeteksi lendutan saat kondisi pengurangan beban dari 24 truk hingga 0 truk. Selain itu, jembatan Situ Gantung terdeteksi mengalami deformasi disebabkan posisi jembatan yang tidak kembali ke posisi semula setelah dilakukan pembebanan.

Meskipun jembatan Situ Gantung mengalami deformasi. Akan tetapi, besarnya lendutan tidak melebihi batas ijin lendutan yang mengacu RSNI T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan. Oleh karena itu, jembatan Situ Gantung masih memenuhi standar kelayakan uji beban jembatan.

5. Pernyataan Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam artikel ini (*The authors declare no competing interest*)

6. Referensi

- Abidin, H.Z. (2007). *Penentuan posisi dengan GPS dan aplikasinya*. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- Abidin, H.Z., Jones, A., dan Kahar, J. (2002). *Survei dengan GPS*. Penerbit Pradnya Paramita. Jakarta.
- American Association of State Highway and Transportations Officials (AASHTO). (2000). *Manual for Condition Evaluation of Bridges* (2nd Edition). Washington DC.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *Jaring kontrol horizontal (SNI 19-6724-2002)*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2005). *Perencanaan Struktur Baja (RSNI T-03-2005)*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Basuki, S. (2011). *Ilmu Ukur Tanah*, Edisi Revisi. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2012). *Manual Pelaksanaan Pengujian Jembatan*. Manual Konstruksi dan Bangunan. Jakarta.
- Hou, T.C. dan Lynch, J.P. (2006). *March. Rapid-to-deploy Wireless Monitoring Systems for Static and Dynamic Load Testing of Bridges: Validation on the Grove Street Bridge*. In *Nonintrusive Inspection, Structures Monitoring, and Smart Systems for Homeland Security*. Vol. 6178. 61780D, <https://doi.org/10.1117/12.658902>
- Kleinhans, D.D., J.J.Myers., dan A. Nanni. (2007). *Assessment of Load Transfer and Load Distribution in Bridges Utilizing FRP Panels*, *Journal of Composites for Construction*, Vol. 11(5), 545-552.
- Kuang, S. (1996). *Geodetic Network Analysis and Optimal Design: Concepts and Applications*. Ann Arbor Press Inc. Chelsea, Michigan.
- Maulidin, R. F. (2016). *Studi Penentuan Volume dengan Total Station dan Terrestrial Laser Scanner*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Najamuddin., Kahar, S., & Sabri, L. (2012). *Pengamatan Lendutan Vertikal Jembatan Kali Babon dengan Metode GNSS Kinematik*. *Jurnal Geodesi Undip*, 1(1). <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/2249>
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 41 tahun 2015 tentang Penyelenggaraan Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan.
- Pratama, R. A., Kahar, S., & Suprayogi, A. (2013). *Pengamatan Lendutan Vertikal Jembatan Kali Babon dengan Metode Terrestrial Laser Scanner*. *Jurnal Geodesi Undip*, 2(4). <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/3710>
- Setiati, N. R., & Surviyanto, A. (2013). *Analisis Uji Beban Kendaraan Terhadap Jembatan Integral Penuh (Loading Test Analysis Of Full Integral Bridge)*. *Jurnal Jalan-Jembatan*, 30(3), 190-204.
- Struyk, J. H., dan Van Der Veen, W. C. H. K. (1984). alih bahasa Soemargono. *Jembatan*, Penerbit Pradnya Paramita, Jakarta.
- Transportation Research Board. (1998). *Manual for Bridge Rating through Load Testing*, HRD 234, Washington, DC.