



## ANALISIS UJI BEBAN JEMBATAN MENGGUNAKAN METODE *LEVELLING*

Bilal Ma'ruf<sup>1</sup>, Akhmad Aminullah<sup>2</sup>, Moh Arief Herusiswoyo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dosen Teknik Geodesi FT UGM, <sup>2</sup>Dosen Teknik Sipil FT UGM, <sup>3</sup>Mahasiswa Teknik Geodesi FT UGM  
Jl. Grafika Bulaksumur No.2, Senolowo, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa  
Yogyakarta 55281 Telp./Faks: (0274) 520226.  
e-mail: bilal.maruf@ugm.ac.id

### ABSTRAK

Berdasarkan Permen PUPR No. 41 tahun 2015 tentang Penyelenggaraan Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan, jembatan yang sudah selesai tahap konstruksi, sebelum operasional harus disertifikasi oleh Komisi Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan (KKJTJ). Salah satu pengecekan yang harus dilakukan tim KKJTJ adalah uji beban. Penelitian ini berusaha mengkaji bagaimana melakukan uji beban statis terhadap jembatan menggunakan metode *levelling* dengan alat sipat datar untuk mendapatkan nilai lendutan jembatan pada saat sebelum terbebani, saat terbebani dan sesudah terbebani. Tahapan yang dilakukan pada kegiatan ini meliputi perencanaan titik kontrol dan titik objek, pembebanan jembatan, pengamatan jembatan, dan perhitungan nilai lendutan. Penelitian ini dilakukan di Jembatan Situ Gintung Kabupaten Purbalingga, Jawa Tengah. Alat yang digunakan adalah Waterpass Topcon DL503 dengan ketelitian 1 mm. Titik pengamatan yang digunakan sebanyak 4 buah yang terletak di  $\frac{1}{4}$  bentang panjang,  $\frac{1}{2}$  bentang panjang,  $\frac{3}{4}$  bentang panjang, dan pilar tumpuan jembatan. Beban yang digunakan berupa truk yang diberi muatan 11 ton. Pembebanan dan pengamatan lendutan dilakukan dengan 16 tahap dimulai dari kondisi tanpa truk, 2 truk, 4 truk, 8 truk, 12 truk, 16 truk, 20 truk, dan 24 truk. Kemudian dilakukan pengurangan beban secara bertahap hingga kembali ke kondisi tanpa truk. Nilai lendutan akan didapatkan dari perubahan posisi titik pengamatan untuk tiap kondisi. Pengukuran beda tinggi metode *levelling* dengan alat sipat datar mampu mendeteksi lendutan jembatan. Hasil pengukuran dengan metode *levelling* tersebut terhadap 4 buah titik pengamatan mendapatkan nilai lendutan maksimal jembatan sebesar -3.5 mm pada  $\frac{1}{4}$  bentang panjang, -6.1 mm pada  $\frac{1}{2}$  bentang panjang, -5,2 mm pada  $\frac{3}{4}$  bentang panjang, dan 2,8 mm pada tumpuan.

**Kata kunci :** jembatan, lendutan, uji beban statis, waterpass

### ABSTRACT

*Based on the PUPR Ministerial Decree No. 41 of 2015 concerning the Implementation of Road Bridge and Tunnel Safety, bridges that have completed the construction phase, before being operational, must be certified by the Bridge and Road Tunnel Safety Commission (KKJTJ). One of the checks that the KKJTJ team must carry out is a load test. This study seeks to examine how to do a static load test on a bridge using the method leveling with a waterpass to get the deflection value of the bridge before it is loaded, when it is loaded and after it is loaded. The stages carried out in this activity include planning control points and object points, loading bridges, observing bridges, and calculating deflection values. This research was conducted at the Situ Gintung Bridge, Purbalingga Regency, Central Java. The tool used is the Topcon DL503 Waterpass with an accuracy of 0.1 mm. There are 4 observation points that are used, which are located in long span, long span, long span, and bridge piers. The load used is a truck that is loaded with 11 tons. The loading and deflection observations were carried out in 16 stages starting from the conditions without trucks, 2 trucks, 4 trucks, 8 trucks, 12 trucks, 16 trucks, 20 trucks, and 24 trucks. Then the load is reduced gradually until it returns to the no-truck condition. The deflection value will be obtained from changes in the position of the observation point for each condition. The measurement of the height difference using the method leveling with a waterpass is able to detect bridge deflection. The measurement results using the method leveling on 4 observation points get the maximum bridge deflection value of -3.5 mm at  $\frac{1}{4}$  long span, -6.1 mm at  $\frac{1}{2}$  long span, -5.2 mm at  $\frac{3}{4}$  long span, and 2.8 mm on the bridge piers.*

**Keywords :** bridge, deflection, static loading test, waterpass

## 1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan salah satu sarana transportasi yang sangat penting dalam menunjang aktivitas manusia. Adanya jembatan memungkinkan suatu jalan melintasi sungai/saluran air, lembah atau melintasi jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya dan juga memungkinkan pengguna untuk dapat menghemat waktu dan biaya dalam menempuh suatu perjalanan. Melihat pentingnya fungsi dari suatu jembatan maka pembuatan jembatan harus memenuhi berbagai macam standar yang ada. Salah satunya adalah ketahanan jembatan dalam menahan beban baik manusia maupun kendaraan.

Jembatan Situ Gintung dibangun di atas Sungai Gintung yang menghubungkan Desa Tegalpingen, Kecamatan Pengadegan dengan Desa Pepedan, Kecamatan Karangmoncol. Jembatan yang berlokasi di Kabupaten Purbalingga memiliki panjang bentang 140 meter dan lebar 7 meter. 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.

Berdasarkan Permen PUPR No. 41 tahun 2015 tentang Penyelenggaraan Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan, jembatan yang sudah selesai tahap konstruksi, sebelum operasional harus disertifikasi oleh Komisi Keamanan Jembatan dan Terowongan Jalan (KKJTJ). Salah satu pengecekan yang harus dilakukan tim KKJTJ adalah uji beban.

Uji beban jembatan harus memberikan informasi mengenai kondisi tegangan dan deformasi yang terjadi pada jembatan. Daya dukung beban jembatan harus dicerminkan melalui uji beban jembatan. Selain itu, tujuan adanya uji beban jembatan untuk menjamin pelayanan yang aman dari jembatan sehingga pengujian yang dilakukan tidak boleh menyebabkan kehancuran atau kerusakan pada struktur jembatan. Oleh karena itu, uji beban sangatlah penting guna menyakinkan bahwa jembatan berfungsi dengan baik.

Untuk mencapai tujuan itu, terdapat beberapa metode, antara lain uji beban statik dan dinamik jembatan. Uji beban static berupa pengukuran lendutan dan regangan struktur jembatan saat dilakukan pemberian beban pada jembatan secara terkendali dan terukur. Beban yang diberikan minimal sama dengan beban layan jembatan sesuai spesifikasi. Lendutan yang terjadi pun tidak boleh melampaui batasan yang ditetapkan. Sedangkan uji beban dinamik berupa perekaman dan pemantauan perilaku jembatan saat menerima beban dinamik.

Uji beban 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. Data yang dihasilkan berupa nilai lendutan pada saat kondisi jembatan belum terbebani, saat terbebani, dan setelah terbebani.

Pengamatan geodetik yang dilakukan untuk mendapatkan besar pergeseran dari suatu objek dapat menggunakan beberapa metode, diantaranya pengukuran GNSS, pengukuran *waterpass*, pengukuran *Total Station*, pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* (TLS), dan sebagainya. Najamuddin dkk (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 dkk (2013) melakukan 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.

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 *real time*. Hal ini dilakukan guna mengetahui dan mengamati respon jembatan secara langsung berdasarkan nilai lendutan saat uji beban jembatan. Sehingga metode pengukuran *waterpass* lebih efektif, teliti dan mudah, karena nilai lendutan didapatkan berdasarkan hasil pengukuran yang didapatkan pada saat itu.

Pengukuran dan analisis lendutan jembatan pada uji beban jembatan menggunakan metode levelling masih jarang dikaji. Sedangkan pada Manual Pelaksanaan Pengujian Jembatan yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum (2012) tidak menjelaskan secara spesifik prosedur pengukuran lendutan menggunakan *waterpass*. Oleh karena itu, penelitian ini berusaha mengkaji bagaimana melakukan uji beban jembatan untuk mendapatkan nilai lendutan menggunakan pengukuran *waterpass*.

## 2. METODELOGI PENELITIAN

### 2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan Jembatan Situ Gantung yang menghubungkan Desa Tegalpingen, Kecamatan Pengadegan dengan Desa Pepedan, Kecamatan Karangmoncol seperti yang terlihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Lokasi penelitian (Google Earth, 2020)

### 2.2. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat keras dan perangkat lunak.

1. Perangkat Keras
  - a. Satu unit *Waterpass* Topcon Seri DL-503 dengan ketelitian 0.1 mm.
  - b. Empat unit *receiver double* frekuensi GPS Geodetik Topcon GR5.
  - c. Empat unit rambu ukur *barcode* dengan ketelitian 0.1 mm.
  - d. Empat unit statif.
  - e. Empat unit tripod untuk rambu ukur *barcode*.
  - f. Satu unit laptop.
2. Perangkat Lunak
  - a. Microsoft Office untuk pengolahan data dan penulisan hasil.
  - b. Geogenius 1.0 untuk pengolahan hasil pengukuran GNSS.
  - c. Topcon Link untuk unduh data hasil pengukuran *waterpass*.

### 2.3. Pelaksanaan

#### 2.3.1. Persiapan

Pada tahap ini dilakukan persiapan berupa pengecekan alat yang akan digunakan dalam penelitian. Pengecekan alat dimulai dari pengecekan ketelitian *waterpass* dalam mengamati perubahan elevasi, pengecekan GPS geodetik dapat melakukan pengukuran, perekaman, dan pengunduhan. Terakhir, dilakukan pengecekan seluruh kondisi dan kesiapan alat yang lain.

### 2.3.2. Perencanaan Titik Kontrol Dan Titik Pengamatan

Perencanaan awal akan terfokuskan pada perencanaan untuk menentukan penempatan titik kontrol dan titik pengamatan. Titik kontrol akan digunakan sebagai titik referensi baik posisi horizontal maupun vertikal (elevasi). Sedangkan titik pengamatan digunakan sebagai titik yang akan diamati perubahan posisi dan besar lendutannya.



**Gambar 2.** Desain jaringan kontrol dan titik pengamatan. (Google Earth, 2020)

Pada **Gambar 2**, terlihat empat buah titik kontrol yang tersebar di sekitar lokasi penelitian. Titik WP\_1 akan dijadikan sebagai titik referensi ketinggian dalam pengukuran *levelling* dengan *waterpass* pada uji beban jembatan. Titik kontrol akan diukur dengan penentuan posisi statif diferensial GNSS metode jaringan.

Sedangkan titik pengamatan yang digunakan sebagai titik target *waterpass* diletakkan pada tengah jembatan dengan posisi di  $1/2L$ ,  $1/4L$ ,  $3/4L$ , dan tumpuan jembatan. Pada titik pengamatan akan didirikan rambu ukur *barcode* menggunakan tripod seperti yang terlihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** Instalasi rambu ukur *barcode* di empat titik pengamatan

Pada **Gambar 3**, terlihat empat buah rambu ukur *barcode* diletakkan pada tengah jembatan dengan posisi rambu ukur dalam satu garis lurus. Akan tetapi, antara satu rambu ukur dengan rambu

ukur lainnya tidak saling terhalangi saat pengukuran *levelling* dengan *waterpass*.

### 2.3.3. Pengukuran Titik Kontrol

Pengukuran titik kontrol dilakukan terhadap titik kontrol atau titik dasar pemetaan yang letaknya merata di seluruh area studi dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Pengukuran ini bertujuan untuk memperoleh nilai koordinat definitif dari setiap titik kontrol referensi. Hasil dari pengukuran tersebut kemudian dijadikan bahan untuk pengukuran-pengukuran selanjutnya.

Global Navigation Satellite System (GNSS) adalah sistem navigasi dan penentuan posisi berbasis satelit yang dapat digunakan oleh banyak orang sekaligus dalam segala cuaca, serta didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti, dan juga informasi waktu secara kontinyu di seluruh dunia (Abidin, 2000).

Prinsip dasar penentuan posisi secara absolut adalah melakukan penentuan posisi sebuah titik tanpa bergantung pada titik lainnya. Metode ini hanya menggunakan satu *receiver*. Sehingga ketelitian yang dihasilkan bergantung pada tingkat ketelitian data serta geometri dari satelit.

Ketelitian penentuan posisi secara absolut dapat ditingkat lagi dengan menggunakan penentuan posisi secara diferensial atau relatif. Prinsip penentuan posisi ini adalah posisi suatu titik ditentukan secara relatif terhadap titik lainnya yang telah diketahui koordinatnya. Penentuan posisi relatif menggunakan minimal dua *receiver* GNSS yang mengamati satelit secara simultan (waktu pengamatan sama). Titik-titik stasiun yang diamati dapat berupa titik stasiun bergerak (kinematik) maupun tidak bergerak (statik). Untuk memperoleh ketelitian yang lebih tinggi, pengolahan data dilakukan secara *post-processing* (Abidin dkk, 2002).

Pada penelitian ini, pengukuran titik kontrol dilakukan dengan penentuan posisi GNSS statif differensial menggunakan GPS Geodetik. Alat GPS yang digunakan adalah GPS Geodetik Topcon GR5 sebanyak empat buah yang membentuk jaring GPS. Pengukuran GPS dilakukan pada waktu yang bersamaan dengan lama pengamatan 6 jam, *logging rate* diatur setiap 15 detik, dan *mask angle* 10°. Data pengukuran selanjutnya diolah menggunakan metode jaring dengan *software* Geogenius. Nilai koordinat titik kontrol yang dihasilkan mengacu pada sistem proyeksi koordinat UTM pada zona 49S. Desain jaring kontrol GNSS disajikan pada **Gambar 2**.

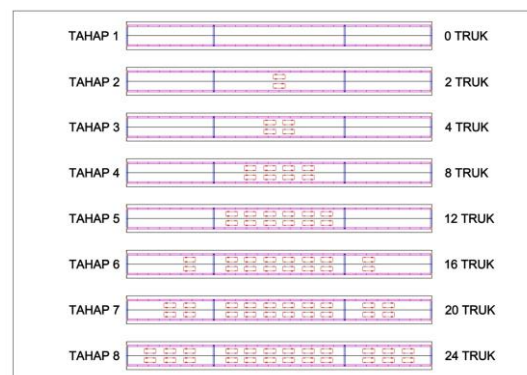
### 2.3.4. Pengujian Beban Jembatan

Pengujian beban pada jembatan bertujuan untuk mengevaluasi respon struktur jembatan dengan membandingkan respon struktur uji dengan respon teoritis (American Association of State Highway and Transportations Officials, 2000). Tahapan yang biasanya dilakukan dalam pengujian beban mencakup penentuan tujuan pembebanan, konfigurasi beban, pemilihan dan penempatan instrumentasi, penerapan teknik analisis dan evaluasi yang tepat, perbandingan hasil tes dengan hasil analisis (Kleinhans, 2007).

Pada penelitian ini, pengujian beban jembatan yang dilakukan berupa uji beban statis dan uji beban dinamik. Uji beban statik sendiri berupa pengukuran lendutan dan regangan struktur saat dilakukan pemberian beban secara terkendali dan terukur. Sedangkan uji beban dinamik berupa perekaman perilaku beban jembatan saat menerima beban dinamik.

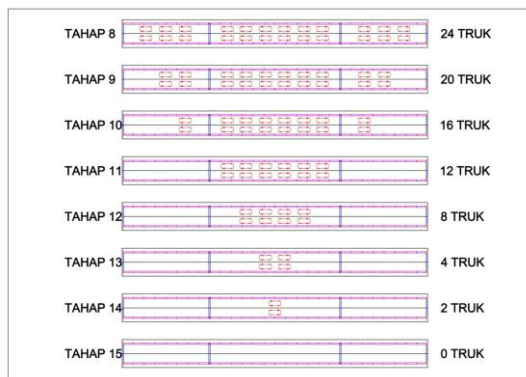
Berdasarkan Manual Pelaksanaan Pengujian Jembatan yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum, pengujian dilakukan secara bertahap sesuai perencanaan dengan pemberian beban dilakukan dari pemberian beban minimal (0 truk) hingga beban maksimal (24 truk) kemudian kembali 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. Pemberian beban pada jembatan diberikan secara bertahap diilustrasikan pada **Gambar 4**. dan **Gambar 5**. di bawah ini:



**Gambar 4.** Pemberian beban truk





**Gambar 5.** Pengurangan beban truk

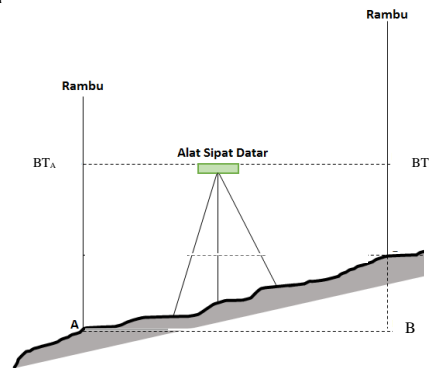
Skema pemberian beban dimulai dengan jembatan dalam kondisi tanpa beban. Kemudian pada tahap selanjutnya, diberikan dua buah truk sebagai beban yang diposisikan pada tengah bentang panjang jembatan. Alur masuk dan keluar truk dilakukan pada sisi Utara dan Selatan jembatan dengan pembagian 12 truk pada masing – masing sisi. Pada tahap pemberian beban selanjutnya, truk akan masuk secara bersamaan pada masing-masing sisi sesuai tahapan pada **Gambar 5**. Antara tahap pemberian beban satu ke beban berikutnya diberi jeda waktu selama  $\pm 10$  menit. Pada jeda waktu tersebut akan dilakukan pengukuran titik pengamatan menggunakan *waterpass*. Pengukuran akan dilakukan setelah truk tidak bergerak atau posisi diam selama  $\pm 2$  menit. Setiap tahap selalu dicatat kondisi lendutan secara simultan dan *realtime*. Prosedur pembeban jembatan dilakukan secara berulang untuk tiap pemberian beban truk hingga beban 24 truk. Untuk prosedur pengurangan beban mengikuti prosedur tersebut. Pengurangan beban dapat dilihat pada **Gambar 6**. Pengurangan beban dilakukan bertahap dari beban 24 truk hingga beban 0 truk.

### 2.3.5. Pengamatan Lendutan Jembatan

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

Pengukuran beda tinggi/*levelling* dapat ditentukan dengan tiga metode, yaitu metode sipat datar/*waterpass*, metode *trigonometris* dan metode *barometris*. Tingkat ketelitian yang paling tinggi

dari ketiga metode tersebut adalah dengan metode pengukuran sipat datar, kemudian *trigonometris* dan terakhir adalah *barometris* (Basuki, 2011). Pada prinsipnya ketiga metode tersebut layak dipakai bergantung pada situasi dan kondisi lapangan, namun karena mempertimbangkan faktor ketelitian yang didapatkan dari ketiga metode tersebut maka metode pengukuran sipat datar merupakan metode yang digunakan dalam penelitian ini.



**Gambar 6.** Prinsip pengukuran *levelling* dengan *waterpass*

Prinsip pengukuran *levelling* dengan *waterpass* ditunjukkan pada **Gambar 6**. Pada gambar tersebut, alat *waterpass* diletakkan di antara dua rambu yang berdiri vertikal. Kedua rambu akan diletakkan pada posisi titik yang akan dicari beda tingginya. Pada gambar tersebut, rambu didirikan pada titik A dan B. Sehingga perbedaan tinggi antara titik A dan B dapat ditentukan berdasarkan garis bidik *waterpass* yang ditunjukkan pada rambu yang vertikal (Basuki, 2011). Jika pada rambu A dan B diukur jarak vertikal dari titik A dan B ke garis bidik *waterpass*, dalam hal ini adalah garis datar 1. Maka beda tinggi dapat dicari dengan menggunakan pengurangan antara bacaan tengah rambu A dan B. Bacaan tengah rambu A ditunjukkan dengan jarak vertikal dari titik A pada garis datar 1 ke titik A pada garis datar 3 (AA1). Sedangkan bacaan tengah rambu B dari titik B pada garis datar 1 ke titik B pada garis datar 2 (BB1). Selanjutnya, bacaan benang tengah rambu A disebut bacaan benang tengah rambu belakang ( $BT_A$ ) dan bacaan benang tengah rambu B disebut bacaan benang tengah rambu depan ( $BT_B$ ). Sehingga beda tinggi titik A ke B dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta H_{AB} = BT_A - BT_B \quad (1)$$

Dimana,

$\Delta H_{AB}$  : Beda tinggi titik A dan B

$BT_A$  : Bacaan benang tengah rambu A

$BT_B$  : Bacaan benang tengah rambu B

Berdasarkan **Gambar 6**, persamaan beda tinggi antara titik A ke titik B dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta H_{AB} = H_B - H_A \quad (2)$$

Dimana,

$\Delta H_{AB}$  : Beda tinggi titik A dan B

$H_A$  : Tinggi titik A

$H_B$  : Tinggi titik B

Pengukuran *levelling* dapat menggunakan pengukuran secara terbuka dan tertutup. Pengukuran *levelling* terbuka adalah pengukuran yang titik awal dan titik akhirnya tidak saling bertemu. Pengukuran ini dilakukan untuk mendapatkan tinggi titik lainnya dengan mengetahui tinggi dari titik-titik referensi. Jenis pengukuran yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini adalah pengukuran beda tinggi terbuka karena hanya memiliki satu titik referensi atau titik acuan.

Selanjutnya prinsip pengukuran *levelling* terbuka dengan metode *waterpass* akan diterapkan pada pengamatan lendutan saat dilakukan uji beban jembatan. Pada pengamatan lendutan, alat *waterpass* akan diletakkan pada posisi antara dua rambu ukur, dimana satu rambu ukur akan diletakkan pada titik kontrol sedangkan satu rambu lainnya diletakkan pada titik pengamatan yang berada pada jembatan. Titik kontrol akan digunakan sebagai titik referensi ketinggian sedangkan titik pengamatan akan menjadi titik yang dicari beda tingginya. Selama uji beban jembatan, baik posisi alat *waterpass* maupun rambu ukur di titik pengamatan tidak pernah pindah atau diam.

Pengukuran *levelling* dimulai dari pengukuran pada rambu *backsight* di titik kontrol WP\_1. Kemudian dilakukan pengukuran pada rambu *foresight* di titik pengamatan.. Hal ini seperti yang terlihat pada **Gambar 7**, dan **Gambar 8**.



**Gambar 7.** Pengukuran *levelling* di titik WP\_1

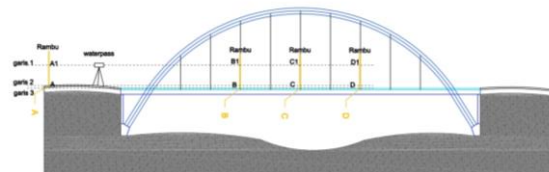


**Gambar 8.** Pengukuran *levelling* di empat titik pengamatan

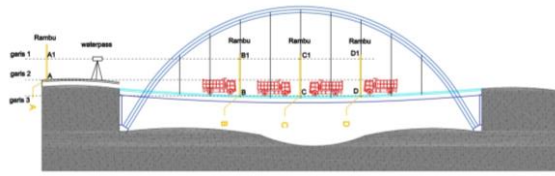
### 2.3.6. Perhitungan Nilai Lendutan

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang,1996). Sebuah jembatan mencirikan dua macam deformasi yang berbeda, yaitu gerakan jangka panjang yang disebabkan oleh pondasi, dek jembatan dan tekanan regangan dan gerakan jangka pendek yg disebabkan oleh angin, suhu, pasang surut, gempa bumi dan lalu lintas. Tidak seperti deformasi jembatan jangka panjang, yang tidak dapat kembali kebentuk aslinya, deformasi jembatan jangka pendek disebut dengan defleksi (*deflection*). Disebut defleksi atau lendutan dikarenakan objek yang terdeformasi akan kembali ke posisi dan bentuknya semula jika terlepas dari seluruh muatannya. (Meng, 2002).

Perhitungan lendutan dihitung dari dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadinya lendutan. Pada penelitian ini tinggi permukaan netral awal menggunakan tinggi koordinat hasil pengukuran *levelling* dengan *waterpass* pada kondisi jembatan sebelum diberi beban. Pada penelitian ini dihitung besar lendutan ke arah atas dan ke arah bawah dari tinggi permukaan netralnya. Prinsip pengukuran *levelling* pada uji jembatan disajikan pada **Gambar 9**, dan **Gambar 10**.



**Gambar 9.** Prinsip pengukuran uji beban jembatan tanpa beban



**Gambar 10.** Prinsip pengukuran uji beban jembatan saat diberi beban

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Pengukuran Titik Kontrol

Hasil dari pengukuran GNSS pada titik kontrol berupa koordinat titik kontrol. Untuk sistem proyeksi yang digunakan adalah sistem proyeksi koordinat UTM zona 49S Datum SRGI 2013. Nilai koordinat titik kontrol serta ketelitiannya, ditampilkan pada Tabel 1.:

**Tabel 1.** Koordinat titik kontrol

Titik	E(m)	$\sigma_E$ (mm)	N(m)	$\sigma_N$ (mm)	H(m)	$\sigma_H$ (mm)
WP_1	330032,2861	1.4	9188700,372	1.0	124.894	3.6
WP_2	329994,9103	0.9	9188557,967	1.0	126.794	2.5
TS_1	329984,9574	0.5	9188680,782	0.4	114.117	1.2
TS_2	330060,9957	0.0	9188658,469	0.0	114.127	0.0

#### 3.2. Pengamatan Lentutan

Pada pengukuran *levelling* diawali dengan pembacaan rambu *backsight* yang ditempatkan pada titik WP\_1. Sehingga didapatkan bacaan tengah rambu *backsight* sebesar 1,566 m. Setelah dilakukan pembacaan rambu *backsight* dilanjutkan dengan pengukuran *levelling* ke titik pengamatan pada uji beban jembatan. Hasil pengukuran *levelling* dengan *waterpass* disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil pengukuran bacaan tengah rambu pada titik pengamatan

Beban Truk	Jumlah Truk	Bacaan Tengah Rambu (m)			
		Tumpuan Utara	1/4 L	1/2 L	3/4 L
0	0	0,8185	0,5264	0,3623	0,6305
22	2	0,8178	0,5274	0,3675	0,6316
44	4	0,8174	0,5294	0,3694	0,6339
88	8	0,8168	0,5310	0,3696	0,6369
132	12	0,8172	0,5317	0,3702	0,6379
176	16	0,8176	0,5323	0,3703	0,6381
220	20	0,8178	0,5325	0,3711	0,6382
264	24	0,8174	0,5322	0,3710	0,6384
220	20	0,8170	0,5330	0,3725	0,6393
176	16	0,8169	0,5332	0,3732	0,6397
132	12	0,8169	0,5336	0,3731	0,6402
88	8	0,8165	0,5337	0,3733	0,6396
44	4	0,8159	0,5325	0,3742	0,6383
22	2	0,8160	0,5310	0,3735	0,6366
0	0	0,8157	0,5299	0,3684	0,6357

Pada Tabel 2. disajikan nilai bacaan tengah rambu untuk setiap titik pengamatan pada kondisi jembatan dari tanpa beban (0 truk), saat diberi beban hingga 24 truk, saat dikurangi beban hingga 0 truk lagi, dan setelah jembatan tanpa beban (0 truk).

Berdasarkan Persamaan 1. dan 2., ketinggian titik pengamatan dapat dihitung menggunakan data hasil pengukuran. Ketinggian yang didapatkan merupakan ketinggian titik pengamatan pada tiga kombinasi pembebanan yaitu kondisi jembatan sebelum terbebani, saat terbebani, dan setelah terbebani. Ketinggian titik pengamatan pada uji beban disajikan pada Tabel 3.:

**Tabel 3.** Ketinggian titik pengamatan pada uji pembebanan jembatan

Beban truk	Jumlah truk	Ketinggian titik (m)			
		Tumpuan	1/4 L	1/2 L	3/4 L
0	0	125,6415	125,9336	126,0977	125,8295
22	2	125,6422	125,9326	126,0925	125,8284
44	4	125,6426	125,9306	126,0906	125,8261
88	8	125,6432	125,9290	126,0904	125,8231
132	12	125,6428	125,9283	126,0898	125,8221
176	16	125,6424	125,9277	126,0897	125,8219
220	20	125,6422	125,9275	126,0889	125,8218
264	24	125,6426	125,9278	126,0890	125,8216
220	20	125,6430	125,9270	126,0875	125,8207
176	16	125,6431	125,9268	126,0868	125,8203
132	12	125,6431	125,9264	126,0869	125,8198
88	8	125,6435	125,9263	126,0867	125,8204
44	4	125,6441	125,9275	126,0858	125,8217
22	2	125,6440	125,9290	126,0865	125,8234
0	0	125,6443	125,9301	126,0916	125,8243

Berdasarkan Tabel 3. tersebut, ketinggian tiap titik pengamatan mengalami perubahan posisi. Perubahan posisi tersebut searah dengan jumlah beban yang diberikan. Sehingga berdasarkan data tersebut, jembatan memberikan respon terhadap beban yang diberikan berupa perubahan posisi titik pengamatan.

#### 3.3. Perhitungan Nilai Lentutan

Lentutan akan dihitung berdasarkan perubahan posisi ketinggian titik pengamatan dari kondisi jembatan sebelum diberi beban (0 truk), saat diberi beban, dan setelah diberi beban. Lentutan tiap kondisi pembebanan mengacu pada posisi ketinggian titik pengamatan pada saat sebelum diberi beban dalam hal ini pada kondisi tersebut besar lentutan yang terjadi adalah 0.0 m. Besar lentutan tiap kondisi pembebanan disajikan pada Tabel 4.:

**Tabel 4.** Nilai lendutan pada titik pengamatan

Beban Truk	Jumlah Truk	Besarnya Lendutan (m)			
		Tumpuan Utara	1/4 L	1/2 L	3/4 L
0	0	0	0	0	0
22	2	0,0007	-0,001	-0,0052	-0,0011
44	4	0,0011	-0,003	-0,0071	-0,0034
88	8	0,0017	-0,0046	-0,0073	-0,0064
132	12	0,0013	-0,0053	-0,0079	-0,0074
176	16	0,0009	-0,0059	-0,008	-0,0076
220	20	0,0007	-0,0061	-0,0088	-0,0077
264	24	0,0011	-0,0058	-0,0087	-0,0079
220	20	0,0015	-0,0066	-0,0102	-0,0088
176	16	0,0016	-0,0068	-0,0109	-0,0092
132	12	0,0016	-0,0072	-0,0108	-0,0097
88	8	0,002	-0,0073	-0,011	-0,0091
44	4	0,0026	-0,0061	-0,0119	-0,0078
22	2	0,0025	-0,0046	-0,0112	-0,0061
0	0	0,0028	-0,0035	-0,0061	-0,0052

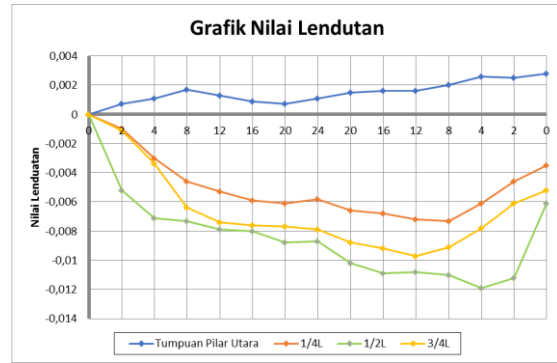
Pada Tabel 4., dapat dilihat nilai lendutan yang dihasilkan bervariasi besarnya untuk tiap titik pengamatan. Arah lendutan pada keempat titik pengamatan juga berbeda. Arah lendutan pada titik  $\frac{1}{4}$  L,  $\frac{1}{2}$  L dan  $\frac{3}{4}$  L, lendutan mengarah ke bawah ditunjukkan nilai lendutan yang minus (-). Sedangkan arah dengan Selain itu, dapat dilihat juga nilai lendutan akan mengalami pertambahan searah dengan bertambahnya beban yang diberikan.

Lendutan maksimum pada tiap titik pengamatan berbeda-beda. Pada titik tumpuan, lendutan maksimum terjadi pada kondisi beban 0 truk. Lendutan maksimum di titik  $\frac{1}{4}$  L,  $\frac{1}{2}$  L dan  $\frac{3}{4}$  L masing-masing terjadi pada kondisi beban 8 truk, kondisi beban 4 truk dan kondisi beban 8 truk. Lendutan maksimum terjadi pada kondisi setelah beban dikurangkan.

Berdasarkan Tabel 4. dapat diketahui jika jembatan mengalami perubahan posisi atau jembatan tidak kembali ke posisi semula. Hal ini ditunjukkan pada lendutan setelah tidak diberi beban (0 truk) yaitu sebesar 0,0035 m pada  $\frac{1}{4}$  L, 0,0061 m pada  $\frac{1}{2}$  L, 0,0052 m pada  $\frac{3}{4}$  L, dan 0,0028 m pada tumpuan.

### 3.4. Visualisasi Besar dan Arah Lendutan

Berdasarkan nilai lendutan yang sudah dihitung kemudian dibuat grafik nilai lendutan untuk mendapatkan pola pergerakan lendutan. Grafik dibuat berdasarkan nilai lendutan dan jumlah truk yang digunakan dalam uji beban jembatan. Grafik nilai lendutan ditampilkan pada **Gambar 12.**

**Gambar 12.** Grafik nilai lendutan

Pada **Gambar 12.** diketahui pola pergerakan lendutan pada keempat titik pengamatan mengalami pola yang hampir sama yaitu nilai lendutan terus bertambah searah jumlah truk yang diberikan.

### 3.5. Batas Ijin Lendutan

Berdasarkan RSNi T-03-2005 tentang Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan, batas ijin lendutan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta = \frac{L}{800}, \quad (3)$$

Dimana :

L adalah panjang bentang. Sehingga untuk batas ijin lendutan jembatan dengan panjang bentang sebesar 60 m. Maka batas ijin lendutannya sebagai berikut:

$$\Delta = \frac{60}{800}$$

$$\Delta = 0.075 \text{ m}$$

Batas ijin lendutan tersebut menjadi batas toleransi jembatan Situ Gintung dari hasil pengukuran lendutan pada uji beban jembatan.

## 4. KESIMPULAN

Beberapa hal yang dapat menjadi kesimpulan dari penelitian ini yaitu:

1. Pengukuran metode levelling dengan alat WP *Topcon DL-503* dan rambu ukur digital/*barcode* mampu mendeteksi pergerakan lendutan akibat pembebanan, mulai dari 2 truk (22 ton) sampai 24 truk (264 ton) pada semua titik-titik objek pengamatan. Metode dan peralatan ini juga mampu mendeteksi pergerakan akibat pengurangan beban mulai



- dari 24 truk (264 ton) sampai jembatan tidak terbebani.
2. Sesudah pembebanan Jembatan Situ Gantung tidak kembali ke posisi semula. Jembatan ini terdeteksi mengalami deformasi/lendutan sebesar 3.5 mm pada  $\frac{1}{4}$  L, 6.1 mm pada  $\frac{1}{2}$  L, 5.2 mm pada  $\frac{3}{4}$  L, dan 2.8 mm pada tumpuan.
  3. Meskipun jembatan Situ Gantung mengalami deformasi, namun besarnya lendutan masih di bawah nilai maksimal yang ditetapkan oleh SNI 1725:2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan, yaitu sebesar 7.5 cm. Dengan kata lain, jembatan ini sudah lolos uji beban.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., 2000, Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya (cetakan kedua), 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., 2000, *Manual for Condition Evaluation of Bridges. 2<sup>nd</sup> Edition*, Washington, DC.
- Babgei, Nisrina Djamal., 2019, Perencanaan Ulang Struktur Atas pada Penambahan Lajur Jembatan Medaeng (Jalan Tol Surabaya-Gempol), *Undergraduate Thesis*, University of Muhammadiyah Malang.
- Departemen Pekerjaan Umum., 2005, Pembebanan untuk Jembatan RSNI T-02-2005, Jakarta.
- Fazlul R, M. A., 2019, Pengukuran dan Pemetaan Jalur Transmisi SUTT 150 KV dari Gardu Induk Palur sampai Gardu Induk Masaran untuk Keperluan Rekonduktoring, *Skripsi Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Hayer, Y., 2017, Analisis Pergerakan Vertikal Titik Pantau Jembatan Penggaron, Kabupaten Semarang, Propinsi Jawa Tengah, *Tesis*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Hou, T. and P. J Lynch., 2006, "Rapid-to-Deploy Wireless Monitoring Systems for Static and Dynamic Load-Testing of Bridges: Validation on the Grove Street Bridge", In 13<sup>th</sup> Annual International Symposium, Proceedings of SPIE. San Diego.
- Kleinhans, D.D. , J.J. Myers, and A. Nanni., 2007, *Assessment of Load Transfer and Load Distribution in Bridges Utilizing FRP Panels. Journal of Composites for Construction*, 11(5):545-552.
- Meng, X., 2002, *Real-Time Deformation Monitoring of Bridges Using GPS/Accelerometers, Doctoral Dissertation*, The University of Nottingham, England.
- Phares, T., Wiphf, L., Greimann., and Y. Lee., 2005, *Health Monitoring of Bridge Structures and Components Using Smart-Structure Technology*. Tech. Rep. 0092-04-14. Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Prasidya, A., 2014, Pengaruh Variasi Nilai Constraint Koordinat Titik Ikat IGS Terhadap Nilai Koordinat dan Akurasi Posisi Empat Stasiun CORS BPN DIY Menggunakan Perangkat Lunak GAMIT/GLOBK, *Skripsi Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Rahman, F. R., 2016, Peranan Anggaran dalam Pembangunan Infrastruktur Jalan dan Jembatan pada Dinas Pekerjaan Umum Kota Payakumbuh Tahun 2014, *Thesis Diploma*. Program Studi Keuangan, Program Diploma Universitas Andalas, Padang.
- Transportation Research Board., 1998, *Manual for Bridge Rating Through Load Testin*, HRD 234, Washington, DC.
- Usman, M. N., 2016, Studi Deformasi Jembatan dengan Metode Sipat Datar (Studi Kasus: Jembatan Merr ii-C, Surabaya), *Doctoral Dissertation*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Zaeni, A., 2010, Perencanaan Jembatan Rangka Baja Tipe Baltimore Truss di atas Sungai Prau Kecamatan Tempuran, Universitas Tidar Magelang, Magelang.