

PENGAMATAN LENDUTAN VERTIKAL JEMBATAN KRASAK SECARA KONTINU DENGAN TEKNOLOGI GNSS

Jaka Putra Sakti^{a*} Muhammad Iqbal Taftazani^a

^aTeknologi Survei dan Pemetaan Dasar, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

Research Article

DOI:

10.22146/jgst.v3i1.15130

correspondence:

jakaputra00@mail.ugm.ac.id

Article history:

Received:

12-03-2025

Accepted:

30-07-2025

Published:

31-07-2025

ABSTRACT

The Krasak Bridge, located on the border between the Special Region Province of Yogyakarta and Central Java, is the main access between Yogyakarta and Central Java. In accordance with the Regulation of the Minister of Public Works and Public Housing No. 41 of 2015, it is necessary to conduct a feasibility test on this bridge. This study aims to analyze whether the deflection on the Krasak Bridge meets the deflection requirements in RSNI T03 2005. Observations are made directly with the traffic load to get more accurate data. Observations are made at three points, namely TL10, TL20, and TL30, which are located at the two ends and center of the bridge. The method used is rapid static for 15 to 20 minutes, as well as observation of the number of vehicles passing through the bridge along with GNSS measurement. The observation results showed varying changes in elevation/vertical deflection with a maximum deflection of 0.1512 meters in TL10, 0.1760 meters in TL20, and 0.194 meters in TL30. The standard high deviation of kinematic post processing results with RTKLIB software is 1.2 cm. Based on the technical calculation of the bridge loading at RSNI T03 in 2006, the maximum tolerance allowed is 0.28 meters. Therefore, the deflection that occurs on the Krasak Bridge still meets the applicable standards.

Key words: deflection, GNSS, post-processing kinematics, rapid static

INTISARI

Jembatan Krasak, yang terletak di perbatasan antara Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah, menjadi akses utama antara Yogyakarta dan Jawa Tengah. Sesuai dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No.41 tahun 2015, perlu dilakukan uji kelayakan pada jembatan ini. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis apakah lendutan pada Jembatan Krasak memenuhi syarat lendutan pada RSNI T03 2005. Pengamatan dilakukan secara langsung dengan beban lalu lintas untuk mendapatkan data yang lebih akurat. Pengamatan dilakukan di tiga titik yaitu TL10, TL20, dan TL30, yang terletak di dua ujung dan tengah jembatan. Metode yang digunakan adalah rapid statik selama 15 hingga 20 menit, serta pengamatan jumlah kendaraan yang melewati jembatan bersamaan dengan pengukuran GNSS. Hasil pengamatan menunjukkan perubahan elevasi/lendutan vertikal yang bervariasi dengan lendutan maksimal 0,1512 meter di TL10, 0,1760 meter di TL20, dan 0,194 meter di TL30. Standar deviasi tinggi dari hasil post processing kinematic dengan software RTKLIB adalah 1,2 cm. Berdasarkan perhitungan teknis pembebanan jembatan pada RSNI T03 tahun 2006, toleransi maksimal yang diperbolehkan adalah 0,28 meter. Oleh karena itu, lendutan yang terjadi pada Jembatan Krasak masih memenuhi standar yang berlaku.

Kata kunci: GNSS, defleksi, rapid static, post-processing kinematics

1. Pendahuluan

Jembatan merupakan infrastruktur penting dalam bidang transportasi yang menghubungkan dua titik yang terhalang oleh sungai, lembah ataupun jalan. Oleh karena itu jembatan perlu memenuhi standar yang ada karena jembatan memiliki fungsi yang vital bagi masyarakat. Jembatan dapat mengalami dua macam deformasi yaitu deformasi jangka panjang dan deformasi jangka pendek. Oleh karena hal tersebut lendutan juga merupakan deformasi jangka pendek karena terdapat pergeseran ataupun perubahan posisinya. Terdapat dua jenis pergerakan pada lendutan yaitu lendutan horizontal dan lendutan vertikal. Lendutan pada jembatan termasuk lendutan vertikal yang hanya berubah elevasinya saja.

Lendutan jembatan banyak terjadi pada jembatan yang dilalui oleh kendaraan-kendaraan dengan beban berat yaitu salah satunya adalah Jembatan Krasak. Jembatan Krasak yang merupakan penghubung antara Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Jawa Tengah mempunyai panjang kurang lebih 220 meter. Usia dari jembatan ini sudah lebih dari 32 tahun, dengan lalu lintas yang padat karena sebagai penghubung dari dua provinsi serta banyak kendaraan bermuatan besar menjadi alasan penulis untuk melakukan pengamatan lendutan jembatan yang terjadi agar masyarakat merasa aman saat melintas.

Pengamatan lendutan ini menggunakan alat GNSS dengan metode *rapid statik* yang dapat merekam perbedaan elevasi yang terjadi setiap detiknya. Yang kemudian dilakukan pengolahan dengan *post-processing kinematic*. Selain itu juga dengan metode ini tidak memerlukan beban statik atau diam, namun menggunakan beban dinamis dari lalu lintas yang ada.

Oleh karena hal tersebut Jembatan Krasak perlu dilakukan pemantauan terhadap struktur Jembatan Krasak tersebut. Pemantauan lendutan vertikal ini menjadi upaya untuk mengetahui kesehatan jembatan. Menurut Rancangan Standar Nasional Indonesia (RSNI) T03 2005 mengatakan bahwa lendutan maksimum di antara dua tumpuan adalah $1/800 \times$ bentang. Kecuali pada jembatan di daerah perkotaan yang sebagian jalur digunakan pejalan kaki, batasan tersebut adalah $1/1.000 \times$ bentang.

2. Metodologi

Lokasi pengamatan lendutan berada di Jembatan Krasak yang merupakan penghubung antara Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dengan Jawa Tengah yang mempunyai panjang kurang lebih 220 meter. Secara detail terletak di Jl. Magelang No.Km 18, Panggung, Lumbungrejo, Kecamatan Tempel, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi pengambilan data berada di bagian trotoar Jembatan Kali Krasak, dapat dilihat pada Gambar 1.



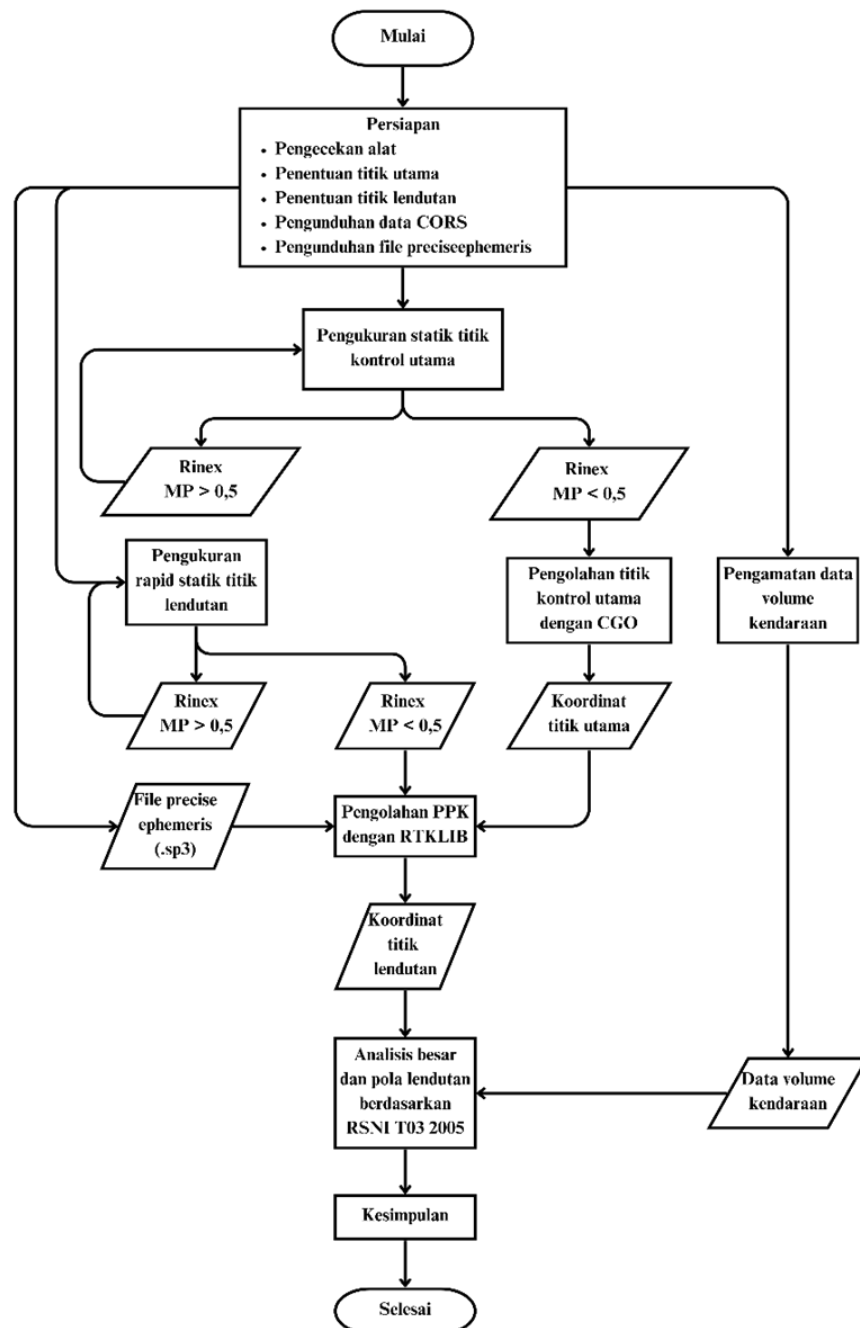
Gambar 1. Lokasi kegiatan. Sumber modifikasi google earth.

3. Alat dan Bahan

Perangkat keras yang digunakan dalam pengamatan lendutan ini yaitu *Receiver GNSS double frekuensi*, statif untuk tempat berdirinya *receiver GNSS*, rol meter, pita ukur, dan laptop. Adapun perangkat lunak yang di gunakan yaitu *Microsoft Office Word*, *TEQC* untuk *quality checking rinex*, *CHC Geomatics Office* untuk pengolahan titik utama, *RTKLIB* untuk mengolah titik lendutan, *Survey Master* sebagai *controller* alat comnav, dan *Viva Smartwork* sebagai *controller* alat leica. Untuk bahan yang diperlukan pada penelitian ini yaitu, data *rinex* hasil pengukuran titik kontrol utama, data *rinex* titik ikat stasiun CORS, dan data *rinex* hasil pengukuran titik lendutan yang diperoleh dari pengukuran secara *rapid statik*.

Pengambilan data titik utama dan titik lendutan menggunakan *receiver GNSS*. Kemudian melakukan pengecekan data *rinex* hasil pengambilan data. Setelah data *rinex* memenuhi syarat kriteria data *rinex* yang baik dapat dilanjutkan dengan pengolahan data. Pengolahan data yang pertama kali yaitu pengolahan titik utama menggunakan software *CHC Geomatics Office*. Setelah didapatkan koordinat utama, dilakukan pengolahan *post processing kinematic* menggunakan software *RTKLIB*. Terakhir

setelah didapatkan koordinat titik lendutan setiap *epoch*-nya, dilakukan analisis data titik lendutan. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Diagram alir.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Pengolahan Titik Kontrol Utama

Pengolahan titik kontrol utama ini diolah menggunakan software *CHC Geomatics Office* yang akan memberikan output berupa *report adjustmen* yang dilakukan. Terdapat satu titik kontrol yang dilakukan pengolahan yaitu CP02 dengan tiga titik ikat orde di atasnya sesuai dengan SNI JKH. Titik kontrol CP02 ini dilakukan pengamatan orde 2 yaitu dengan syarat dilakukan pengamatan selama dua jam, dengan *sampling rate* 15 detik, titik ikat merupakan titik dengan orde di atasnya sebanyak minimal tiga titik ikat. Tiga titik ikat CORS ini adalah JOGS, CBTL, dan CMGL. Penggunaan tiga titik CORS tersebut karena merupakan titik CORS terdekat dengan titik kontrol utama yang berada di dekat Jembatan Krasak. Berikut merupakan hasil pengolahan jaringan menggunakan software *CHC Geomatics Office* yang akan di tunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai koordinat titik utama

Point ID	Easting (m)	East. Error (m)	Northing (m)	North. Error(m)	Elevation (m)	Elev. Error (m)
CP 02	425337,999	0,004	9154961,332	0,004	323,183	0,006
CBTL ▲	426750,227	0,000	9127524,932	0,000	47,7217	0,000
CMGL▲	413604,634	0,000	9173578,583	0,000	397,085	0,000
JOGS▲	422252,420	0,000	9135906,495	0,000	131,141	0,000

4.2. Hasil Pengolahan Post Processing Kinematic Titik Rawan Lendutan

4.2.1. Hasil pengolahan titik TL10

Gambar 3. di bawah merupakan file mentah dari pengolahan menggunakan *RTKLIB* dengan data parameter yang digunakan. Dari hasil pengolahan *kinematic* ini didapatkan koordinat tiap *epoch*nya. Ketelitian vertikal yang didapatkan pada titik TL10 sebesar 1,2 cm.

```

/geodetic,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of satellites)
latitude(deg) longitude(deg) height(m) Q ns sdn(m) sde(m) sdu(m)
-7.645060258 110.323943995 341.0003 2 8 0.3039 0.3749 0.8394
-7.645065385 110.323941532 339.6754 1 8 0.0043 0.0054 0.0120
-7.645065391 110.323941544 339.6820 2 8 0.0043 0.0054 0.0120
-7.645065426 110.323941532 339.6687 2 8 0.0043 0.0054 0.0120
-7.645065406 110.323941534 339.6791 2 8 0.0043 0.0054 0.0120
-7.645065410 110.323941531 339.6771 2 8 0.0043 0.0054 0.0120
-7.645065404 110.323941556 339.6828 2 8 0.0043 0.0054 0.0121
-7.645065399 110.323941550 339.6909 2 8 0.0043 0.0054 0.0121
-7.645065423 110.323941553 339.6818 2 8 0.0043 0.0054 0.0121
-7.645065363 110.323941524 339.6832 2 8 0.0043 0.0054 0.0121
-7.645065391 110.323941552 339.6849 2 8 0.0043 0.0054 0.0121
-7.645065437 110.323941596 339.6896 2 8 0.0043 0.0054 0.0121
-7.645065378 110.323941546 339.6860 2 8 0.0043 0.0054 0.0121

```

Gambar 3. Hasil pengolahan *kinematic*.

4.2.2. Hasil pengolahan titik TL20

Gambar 4. di bawah merupakan file mentah dari pengolahan menggunakan *RTKLIB* dengan data parameter yang digunakan. Ketelitian vertikal yang didapatkan pada titik TL20 sebesar 1,59 cm.

```

/geodetic,Q=1:fix,2:float,3:sbas,4:dgps,5:single,6:ppp,ns=# of satellites)
latitude(deg) longitude(deg) height(m) Q ns sdn(m) sde(m) sdu(m)
-7.644510751 110.323816485 340.8700 2 6 0.3228 0.4816 1.1112
-7.644501337 110.323807134 339.5585 1 6 0.0046 0.0069 0.0159
-7.644501235 110.323807043 339.5460 2 7 0.0046 0.0069 0.0160
-7.644501130 110.323806854 339.5393 1 7 0.0041 0.0061 0.0159
-7.644501180 110.323806886 339.5337 1 7 0.0041 0.0061 0.0159
-7.644501237 110.323807007 339.5614 1 7 0.0041 0.0061 0.0159
-7.644501187 110.323806973 339.5418 1 7 0.0041 0.0061 0.0159
-7.644501198 110.323806914 339.5427 1 7 0.0041 0.0061 0.0159
-7.644501207 110.323806978 339.5485 1 7 0.0041 0.0061 0.0159
-7.644501208 110.323807019 339.5558 1 7 0.0041 0.0061 0.0159
-7.644501151 110.323806883 339.5416 1 7 0.0041 0.0061 0.0159
-7.644501210 110.323806980 339.5508 1 7 0.0041 0.0061 0.0159
-7.644501180 110.323806996 339.5345 1 7 0.0041 0.0061 0.0159

```

Gambar 4. Hasil pengolahan *kinematic*.

4.2.3. Hasil Pengolahan Titik TL30

Gambar 5. di bawah merupakan file mentah dari pengolahan menggunakan *RTKLIB* dengan data parameter yang digunakan. Ketelitian vertikal yang didapatkan pada titik TL30 sebesar 1,16 cm.

```

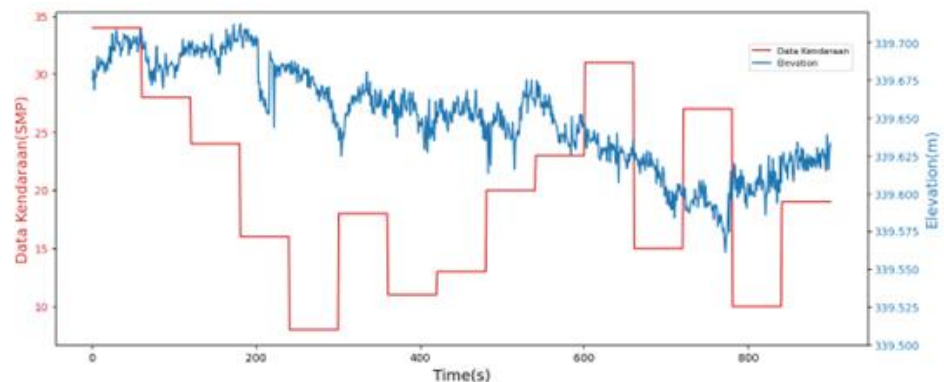
latitude(deg) longitude(deg) height(m) Q ns sdn(m) sde(m) sdu(m)
-7.644077570 110.323730376 344.8940 2 8 0.2571 0.3656 0.7982
-7.644081719 110.323710636 339.7367 2 8 0.0037 0.0053 0.0116
-7.644081774 110.323710611 339.7278 2 8 0.0037 0.0053 0.0116
-7.644081754 110.323710627 339.7244 2 8 0.0037 0.0053 0.0116
-7.644081717 110.323710655 339.7365 2 8 0.0037 0.0053 0.0116
-7.644081719 110.323710678 339.7387 2 8 0.0037 0.0053 0.0116
-7.644081745 110.323710653 339.7352 2 8 0.0037 0.0053 0.0116
-7.644081744 110.323710665 339.7376 2 8 0.0037 0.0053 0.0116
-7.644081749 110.323710651 339.7312 2 8 0.0037 0.0053 0.0116
-7.644081738 110.323710666 339.7359 2 8 0.0037 0.0053 0.0116
-7.644081751 110.323710720 339.7341 2 8 0.0037 0.0053 0.0116
-7.644081761 110.323710605 339.7222 2 8 0.0037 0.0053 0.0116
-7.644081747 110.323710647 339.7294 2 8 0.0037 0.0053 0.0116

```

Gambar 5. Hasil pengolahan *kinematic*.

4.3. Analisis Besar dan Pola Lendutan

4.3.1. Besar dan Pola Lendutan Titik TL10

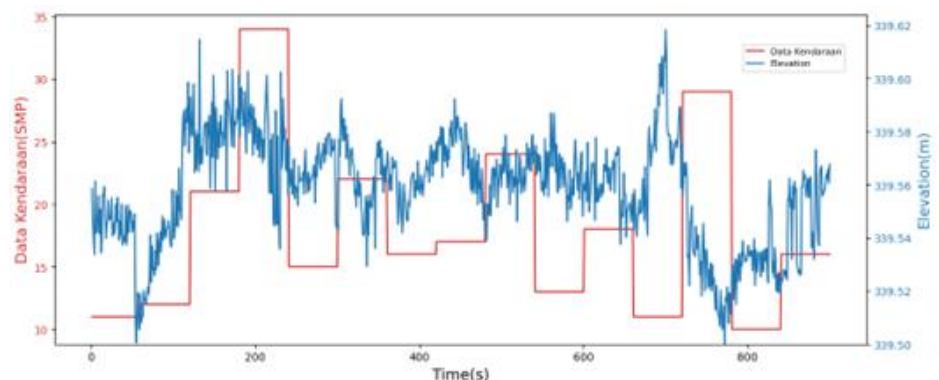


Gambar 6. Grafik perbandingan lendutan vertikal dengan volume kendaraan titik TL10.

Pada hasil pengolahan secara PPK elevasi maksimum yang terjadi sebesar 339,712 meter sedangkan elevasi minimum yang terjadi adalah 339,561 meter. Pada titik TL10 ini terjadi lendutan sebesar 0,151 meter selama pengamatan berlangsung. Besar lendutan tersebut dihitung dari selisih elevasi maksimum dan minimum. Syarat lendutan pada jembatan bentang panjang sebesar 0,28 meter sehingga lendutan yang terjadi pada titik TL10 masih memenuhi syarat RSNI T03 tahun 2005.

Terlihat pada Gambar 6. saat volume kendaraan menurun pada menit ke-5 sebesar 8 satuan mobil penumpang, lendutan yang terjadi pada titik TL10 ini tidak terlalu signifikan. Berbeda dengan menit ke-11 dan ke-13 terlihat volume kendaraan cukup tinggi sehingga elevasi semakin menurun atau lendutan semakin besar. Data lain menunjukkan pada menit ke-4 sampai 8 volume kendaraan tergolong kecil sehingga penurunan elevasi tidak begitu signifikan.

4.3.2. Besar dan Pola Lendutan Titik TL20



Gambar 7. Grafik perbandingan lendutan vertikal dengan volume kendaraan titik TL20.

Pada hasil pengolahan secara PPK elevasi maksimum yang terjadi sebesar 339,675 meter sedangkan elevasi minimum yang terjadi adalah 339,499 meter. Pada titik TL 20 ini terjadi lendutan sebesar 0,176 meter selama pengamatan berlangsung. Syarat lendutan pada jembatan bentang panjang sebesar 0,28 meter sehingga lendutan yang terjadi pada titik TL 20 masih memenuhi syarat RSNI T03 tahun 2005. Grafik perubahan elevasi dapat dilihat pada Gambar 7.

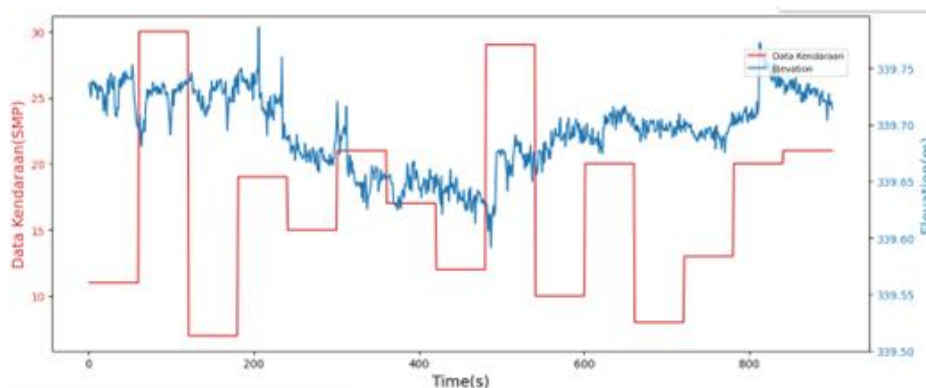
Perubahan elevasi pada titik ini memang relatif kecil sampai menit ke-11. Selain karena volume kendaraan yang melintas kecil juga titik ini berada tepat di atas pilar tengah jembatan sehingga lendutan dapat diredam. Namun pola mulai terlihat pada menit ke-12 saat volume kendaraan kecil yaitu 11 satuan mobil penumpang elevasi titik besar artinya jembatan mulai kembali ke posisi semula. Setelah itu pada menit ke-13 volume kendaraan cukup besar yaitu 29 satuan mobil penumpang dan elevasi titik TL 20 ini menurun cukup signifikan sebesar ± 12 cm.

4.3.3. Besar dan Pola Lendutan Titik TL30

Pada hasil pengolahan secara PPK elevasi maksimum yang terjadi sebesar 339,786 meter sedangkan elevasi minimum yang terjadi adalah 339,592 meter. Pada titik TL30 ini terjadi lendutan sebesar 0,194 meter selama pengamatan berlangsung. Nilai lendutan pada titik TL30 ini menjadi lendutan terbesar dibandingkan dengan titik TL10 dan TL20, Syarat lendutan pada jembatan bentang panjang

sebesar 0,28 meter. Maka lendutan yang terjadi pada titik TL 30 masih memenuhi syarat RSNI T03 tahun 2005. Grafik perubahan elevasi dapat dilihat pada Gambar 8.

Pada pengamatan data kendaraan di titik TL30 ini volume kendaraan terbesar adalah pada menit ke-2 yaitu sebanyak 30 satuan mobil penumpang. Titik TL30 ini berdasarkan data hasil pengolahan PPK memiliki lendutan yang terbesar yaitu $\pm 19,5$ cm. Perbandingan mulai terlihat pada menit ketiga, saat volume kendaraan rendah maka elevasi tidak akan mengalami perubahan signifikan. Berbeda dengan menit ke-9 saat volume kendaraan cukup tinggi yaitu 29 satuan mobil penumpang, elevasi mengalami penurunan cukup signifikan yaitu sebesar 19.5 cm. Kemudian pada menit selanjutnya volume kendaraan mengalami penurunan sehingga elevasi mengalami kenaikan atau kembali ke posisi semula. Grafik perbandingan antara perubahan elevasi dengan volume kendaraan titik TL30 dapat dilihat pada Gambar 8. di bawah.



Gambar 8. Grafik perbandingan lendutan vertikal dengan volume kendaraan titik TL30.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian, dapat disimpulkan hasil lendutan yang didapatkan pada titik TL10 adalah sebesar 0,151 meter atau ± 15 cm dengan elevasi maksimal 339,712 meter dan elevasi minimum 339,561 meter. Kemudian lendutan pada titik TL20 sebesar 0,176 meter dengan elevasi maksimal 339,675 meter dan elevasi minimum 339,499 meter. Terakhir ada titik TL30 yang memiliki nilai lendutan terbesar yaitu 0,194 meter dengan elevasi maksimal 339,786 meter dan minimum 339,592 meter. Maka dapat diketahui nilai lendutan yang diperoleh pada titik TL10, TL20, dan TL30 masih memenuhi syarat yang ditentukan yaitu 0,28 meter. Maka dapat disimpulkan bahwa jembatan Krasak masih memenuhi standar kelayakan mengenai batas lendutan oleh RSNI T03 tahun 2005 tentang Perencanaan Struktur dan Jembatan. Hubungan antara nilai lendutan vertikal dengan data kendaraan yang melewati jembatan di beberapa menit tertentu dapat terlihat. Oleh sebab itu dapat diambil kesimpulan bahwa terdapat pola hubungan timbal balik jika kendaraan yang melintas meningkat drastis ataupun menurun drastis.

6. Ucapan Terima Kasih/Acknowledgment

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Muhammad Iqbal Taftazani selaku pembimbing yang telah memberikan saran, bimbingan, dan dukungan. Tidak lupa penulis juga berterima kasih kepada keluarga serta teman-teman yang senantiasa memberikan bantuan dan dukungannya.

7. Daftar Pustaka

- Abidin, H. Z., 2007, Penentuan Posisi Dengan GPS dan Aplikasinya, Jakarta:Pradnya Paramita.
- Akbar, N. (2022). Pemanfaatan Software GAMIT Track Untuk Pengolahan Data GPS Rapid Static Pada Pengukuran Bidang Tanah. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- American Association of State Highway and Transportations Officials (AASHTO), 2000, Manual for Condition Evaluation of Bridges, 2nd Edition, Washington DC.
- Ananda, P. U. B. (2023). Pemanfaatan Software GAMIT Track dan Stasiun CORS Untuk Pengolahan Data GPS Rapid Static Pada Pengukuran Bidang Tanah. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Babgei, Nisrina D., 2019, Perencanaan Ulang Struktur Atas Pada Penambahan Lajur Jembatan Medaeng (Jalan Tol Surabaya-Gempol), Skripsi, Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.
- 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.

- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2012, Manual Pelaksanaan Pengujian Jembatan, Manual Konstruksi dan Bangunan, Jakarta.
- Gunawan, D., Yuwono, B. D., & Sasmito, B. (2016). Analisis Pengolahan Data GPS Menggunakan Perangkat Lunak RTKLIB. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(2), 34-43.
- Hendarto, H. (2021). Kajian Penggunaan Metode Precise Point Positioning (Ppp) Online Untuk Pengukuran Gcp Pada Pembuatan Peta Orthophoto. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Kahar, S., & Sabri, L. M. (2012). Pengamatan Lendutan Vertikal Jembatan Kali Babon Dengan Metode GNSS Kinematik. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 1(1).
- Lee, J., Kwon, J. H., & Lee, Y. (2021). Analyzing Precision and Efficiency of Global Navigation Satellite System-Derived Height Determination for Coastal and Island Areas. *Applied Sciences*, 11(11), 5310.
- Ma'ruf, B., Aminullah, A., & Herusiswoyo, M. A. (2021). Analisis Uji Beban Jembatan Menggunakan Metode Levelling. *Prosiding Forum Ilmiah Tahunan (FIT)-Ikatan Surveyor Indonesia (ISI)*, 1, 22-30.
- Perdana, A. (2008). Analisa Balik (Retro Analysis) Keruntuhan Jembatan Krasak Akibat Kebakaran Truk Tangki Bahan Bakar. Tugas Akhir. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Pratama, R. A., Kahar, S., & Suprayogi, A. (2013). Pengamatan Lendutan Vertikal Jembatan Kali Babon Dengan Metode Terrestrial Laser Scanner. *Jurnal Geodesi Undip*, 2(4).
- Purnama, F. A. (2022). Studi Ketelitian Hasil Pengolahan Data Pengamatan Gns Metode Kinematik Menggunakan Perangkat Lunak Gamit Track. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Putranto, D. D. A., & Astira, I. F. (2019). Pemantauan Gerakan Vertikal Jembatan Ampera Dengan Menggunakan GPS. Skripsi. Universitas Sriwijaya. Sumatra Selatan.
- Roess, R. P., Prassas, E. S., & McShane, W. R. (2004). *Traffic engineering* (pp. 1-99). Pearson/Prentice Hall.
- Unavco, 2024. "TEQC", diakses pada tanggal 02 Juli 2024, <https://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html#overview>.
- Wirawan I. G. D. P. (2016). Analisis Defleksi Vertikal Jembatan Suramadu Menggunakan GPS CORS (Continuously Operating Reference Station). Skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.