

PENGAMATAN LENDUTAN VERTIKAL JEMBATAN TUNGGULMAS MENGGUNAKAN METODE GNSS

(Studi Kasus : Jembatan Tunggulmas, Kota Malang, Jawa Timur)

Muhammad Djihad Ramadhan Nurrahman¹, Silvester Sari Sai², Adkha Yulianandha Mabur³

¹Mahasiswa Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang

^{2,3}Dosen Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang

Jl. Sigura - gura No.2, Sumbersari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65152

Email: ramadhandjihad23@gmail.com

ABSTRAK

Jembatan memiliki peran penting dalam sistem transportasi sebagai sarana penghubung antar wilayah. Oleh karena itu, pembangunannya harus memenuhi berbagai standar untuk memastikan ketahanannya terhadap beban kendaraan dan manusia. Jembatan Tunggulmas, yang berlokasi di Kota Malang, berfungsi sebagai jalur utama penghubung Kelurahan Tunggulwulung dan Kelurahan Tlogomas. Karena berada di pusat kota, jembatan ini sering dilalui oleh kendaraan dalam jumlah besar, sehingga perlu dilakukan pemantauan terhadap stabilitas dan keamanannya. Salah satu aspek penting dalam pemeliharaan jembatan adalah pengamatan deformasi elastis, khususnya lendutan vertikal, yang dapat menjadi indikator awal adanya potensi kerusakan pada struktur jembatan.

Dalam penelitian ini, metode GNSS digunakan untuk mengamati lendutan vertikal Jembatan Tunggulmas. GNSS dipilih karena memiliki akurasi tinggi, dapat digunakan secara real-time, serta mampu beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan. Pengamatan dilakukan dalam tiga kondisi lalu lintas, yaitu sepi, sedang, dan ramai, guna menganalisis pengaruh beban kendaraan terhadap besar lendutan yang terjadi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Penurunan terbesar terjadi pada Titik Pantau 2 sebesar 0,006 m, sedangkan Titik Pantau 1 dan 3 masing-masing 0,003 m dan 0,004 m. Penurunan ini dipengaruhi oleh beban kendaraan dan aktivitas manusia. Hasil pengamatan GNSS menunjukkan lendutan masih di bawah batas izin 0,050 m, dengan rentang 0,020 – 0,029 m.

Kata Kunci : Jembatan Tunggulmas, Lendutan Vertikal, Deformasi Elastis, GNSS.

I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Jembatan merupakan salah satu sarana transportasi yang sangat penting bagi manusia. Melihat pentingnya fungsi dari suatu jembatan maka pembuatan jembatan harus memenuhi berbagai macam standar yang ada. Syarat yang harus terpenuhi dalam pembuatan jembatan salah satunya adalah ketahanan jembatan tersebut dalam menahan beban baik manusia maupun kendaraan (Najamuddin et al., 2012).

Jembatan Tunggulmas merupakan salah satu akses jalan utama penghubung kelurahan Tunggulwulung dan kelurahan Tlogomas. Karena jembatan tersebut berada di pusat kota Malang, Jembatan Tunggulmas selalu ramai dengan kendaraan dari luar kota maupun dalam kota. Jembatan ini telah dibangun pada tahun 2021 sehingga jembatan ini butuh perhatian agar jembatan tersebut terjaga kualitasnya dengan aman dan tidak membahayakan pengguna di masa mendatang.

Salah satu langkah yang dilakukan dalam pemeliharaan dan perawatan pada jembatan dilakukan pengamatan terhadap deformasi elastis pada jembatan. Deformasi elastis merupakan perubahan bentuk

sementara yang terjadi ketika beban atau gaya yang diterapkan masih berada dalam batas elastisitas material. Pada kondisi ini, struktur atau material akan kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan. Lendutan sendiri merupakan salah satu bentuk deformasi elastis yang terjadi akibat adanya beban yang terjadi pada jembatan (Setiawan et al., 2023).

Pengamatan lendutan pada jembatan memerlukan metode yang mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat, *real-time*, dan andal untuk mendeteksi lendutan yang berpotensi memengaruhi stabilitas serta keamanan struktur pada jembatan. Menurut Ramadhan et al (2019) dalam penelitiannya, metode GNSS dilakukan untuk pemantauan lendutan struktur seperti jembatan dan bangunan tinggi. GNSS juga memiliki keunggulan seperti akurasi tinggi untuk pengamatan lendutan, kemampuan pemantauan secara *real-time*, dan fleksibel untuk digunakan di berbagai kondisi lingkungan.

Pengamatan ini dilakukan dalam tiga kondisi, yaitu kondisi sepi, kondisi sedang, dan kondisi ramai di atas jembatan untuk mendapatkan data selisih besar lendutan yang terjadi akibat variasi beban kendaraan,

intensitas lalu lintas, serta faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi kinerja struktur jembatan.

Berdasarkan penjelasan tersebut, dilakukan pengamatan lendutan vertikal pada Jembatan Tunggulmas menggunakan metode *GNSS*. Tujuan pengamatan tersebut untuk mendapatkan besar lendutan yang terjadi pada Jembatan Tunggulmas menggunakan metode *GNSS*, dan untuk mengetahui perubahan lendutan secara signifikan pada jembatan

I.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berapa besar lendutan yang terjadi pada Jembatan Tunggulmas menggunakan metode *GNSS*?
2. Apakah terjadi perubahan lendutan pada Jembatan Tunggulmas secara signifikan?

I.3. Tujuan dan Manfaat

- a. Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :
 - 1) Mengetahui besar lendutan yang terjadi pada Jembatan Tunggulmas menggunakan metode *GNSS*.
 - 2) Mengetahui perubahan lendutan pada Jembatan Tunggulmas secara signifikan.
- b. Manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :
 - 1) Dapat memberikan informasi terkait kondisi terkini hasil perbandingan selisih besar lendutan Jembatan Tunggulmas agar pemerintah dapat mengoptimalkan keamanan infrastruktur jembatan dengan merencanakan perawatan preventif untuk mendeteksi potensi resiko lebih awal.

I.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian ini adalah Jembatan Tunggulmas yang ada di kota Malang.
2. Titik pengamatannya sebanyak 3 titik pada jembatan.
3. Penelitian ini berfokus pada hasil besar lendutan yang terjadi pada Jembatan Tunggulmas.
4. Penelitian ini hanya untuk mengetahui apakah masih memenuhi standar kelayakan berdasarkan RSNI T-03-2005.

II. DASAR TEORI

II.1. Jembatan

Jembatan adalah suatu struktur konstruksi yang memungkinkan rute transportasi melintasi sungai, danau, jalan raya, jalan kereta api dan lain-lain. Jembatan merupakan salah satu prasarana untuk menunjang kelancaran transportasi di darat. Seiring berjalannya waktu, jembatan mengalami perubahan lendutan karena terjadi pergerakan akibat dari kondisi alam, beban jembatan, struktur konstruksi jembatan dan lain sebagainya (Safi'i et al., 2014).

Jembatan merupakan sebuah struktur yang dibangun melewati suatu rintangan yang berada lebih rendah. Tujuan jembatan adalah untuk membuat jalan bagi orang atau kendaraan melewati sebuah rintangan. Selain itu jembatan juga menjadi alternatif untuk menyambung ruas jalan sehingga dapat memperpendek jarak.

Umumnya semua jembatan terdiri dari dua bagian utama, yaitu struktur atas dan struktur bawah (Hardwiyono et al., 2013).

1 Struktur Atas (*Superstructures*)

Struktur atas jembatan merupakan bagian yang menerima beban langsung yang meliputi berat sendiri, beban mati, beban lalu-lintas kendaraan, Beban Lajur "D" gaya rem, dll. Struktur atas juga terdiri dari lantai trotoar dan kendaraan, pipa sandaran, gelagar induk, gelagar melintang, gelagar memanjang, plat simpul, pipa sandaran, peletakan/sandaran.

2 Struktur Bawah (*Substructures*)

Struktur bawah jembatan berfungsi memikul seluruh beban struktur atas dan beban lain yang ditimbulkan oleh tekanan tanah, aliran air dan hanyutan, tumbukan, gesekan pada tumpuan dan sebagai. untuk kemudian disalurkan ke pondasi. Selanjutnya beban-beban tersebut disalurkan oleh pondasi ke tanah dasar.

II.2. Macam-Macam Jembatan

Secara garis besar, macam- macam jembatan antara lain:

1. Jembatan Kayu

Jembatan kayu merupakan jembatan sederhana yang mempunyai panjang relatif pendek dengan beban yang diterima relatif ringan. Meskipun pembuatannya menggunakan bahan utama kayu, struktur dalam perencanaan atau pembuatannya tetap memperhatikan dan mempertimbang ilmu gaya (mekanika). Namun pada saat ini telah banyak digunakan bahan baja dan beton untuk bahan jembatan, sehingga penggunaan bahan kayu sudah mulai berkurang dan mulai ditinggalkan (Murtono et al., 2019).

2. Jembatan Beton
 Jembatan Beton telah banyak dikenal dalam dunia konstruksi. Dengan kemajuan teknologi beton, sehingga diperoleh bentuk penampang beton yang beragam. Dalam kenyataan sekarang, jembatan beton tidak hanya berupa beton bertulang konvensional, tetapi telah dikembangkan berupa jembatan prategang. Beton adalah bahan yang diperoleh dari mencampur semen, pasir, agregat kasar, dan air dengan bahan tambahan yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat, sampai bahan bangunan dan kimia dengan perbandingan tertentu yang mengeras menjadi benda padat (Dewi & Prasetyo, 2021).
3. Jembatan Baja
 Jembatan baja merupakan jembatan yang terdiri dari batang baja sebagai material dasar jembatan yang dihubungkan satu sama lain sehingga dapat memikul beban yang dan muatan dapat ditahan oleh struktur rangka baja, muatan dan beban yang ditahan tersebut adalah gaya tekan dan gaya tarik yang akan melalui titik pertemuan batang atau titik buhul, tekan atau kedua tegangan bisa terjadi karena beban – beban dinamis. Jembatan baja ini sangat menguntungkan bila digunakan untuk jembatan dengan bentang Panjang (Sugara et al., 2022).

II.3. Pembebanan Pada Jembatan

Sistem pembebanan untuk perencanaan jembatan jalan raya merupakan dasar didalam menentukan beban dan gaya yang digunakan untuk perhitungan momen dan geser yang terjadi pada jembatan. Dalam perencanaan jembatan, pembebanan yang diberlakukan mengacu pada standar. “RSNI T-02-2005 Pembebanan untuk jembatan”.

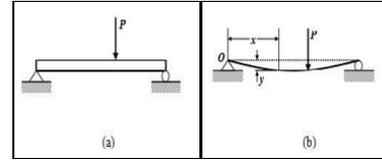
II.3.1 Traffic Load (Beban Kendaraan)

Lalu lintas adalah semua kendaraan yang melewati jalan raya. Lalu lintas yang beragam bervariasi baik ukuran, berat total, konfigurasi dan beban sumbernya. Jumlah volume lalu lintas dan beban yang diangkutnya akan berubah dan bertambah tahun demi tahun. Satuan Mobil Penumpang (SMP) adalah jumlah mobil penumpang yang digantikan tempatnya oleh kendaraan jenis lain dalam kondisi jalan, lalu lintas dan pengawasan yang berlaku (Najamuddin et al., 2012).

II.4. Lentutan

Lentutan adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertikal yang diberikan pada balok atau batang. Deformasi pada balok secara sangat mudah dapat dijelaskan berdasarkan defleksi balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari

permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral dikenal sebagai kurva elastis dari balok, gambar 2.3 menunjukkan tentang bagaimana lentutan terjadi (Pala’biran et al., 2019).



Gambar 2. 1 (a) balok sebelum terdeformasi, (b) balok dalam konfigurasi terdeformasi (Sumber: Pala’biran et al., 2019)

II.5. Standar Batas Izin Lentutan

Berdasarkan RSNI T-03-2005 tentang perencanaan struktur pada jembatan, batas lentutan merupakan salah satu parameter penting yang dapat diterapkan pada berbagai jenis jembatan, termasuk jembatan yang menggunakan material beton, baja, dan/atau aluminium, disebutkan bahwa batas lentutan akibat beban mati tambahan dan beban hidup adalah L/800. Namun, untuk struktur yang sensitif terhadap getaran, seperti jembatan pejalan kaki, batas lentutan dapat ditetapkan lebih ketat, yaitu L/1000.

$$\Delta = \frac{L}{1000} \dots\dots\dots(2.1)$$

Di mana: Δ : Batas Izin Lentutan
 L : Panjang Bentang Jembatan

II.6. Perhitungan Lentutan

Perhitungan lentutan dihitung dari dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadinya lentutan. Lentutan 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 (Herususwoyo & Ma’ruf, 2023).

$$\Delta_h = h' - h \dots\dots\dots(2.2)$$

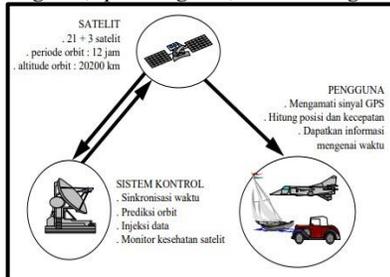
Di mana: Δ_h : Vektor Lentutan setelah diberi beban
 h' : nilai elevasi pada kondisi netral
 h : nilai elevasi pada kondisi setelah diberi beban

II.7. Global Navigation Satellite System

GNSS merupakan suatu sistem satelit yang terdiri dari konstelasi satelit yang menyediakan informasi waktu dan lokasi, memancarkan macam-macam sinyal dalam berbagai frekuensi secara terus menerus, yang tersedia di semua lokasi di atas permukaan bumi. GNSS memiliki peran penting dalam bidang navigasi. GNSS yang ada saat ini adalah *Global Positioning System (GPS)* milik Amerika Serikat, *Global Navigation Satellite System (GLONASS)* milik Rusia, *Galileo* milik Uni Eropa, dan *Compass/Beidou*

milik Cina, India dan Jepang telah mengembangkan kemampuan *GNSS regional* dengan meluncurkan sejumlah satelit ke antariksa untuk menambah kemampuan yang sudah disediakan oleh sistem global dalam menyediakan tambahan cakupan *regional* (Prasetyaningsih, 2012).

GPS dapat dibagi menjadi tiga wilayah, yaitu *ground segmen*, *space segmen*, dan *user segmen*.



Gambar 2. 1 *Space Segment*, *Ground Segment*, dan *User Segment*.

(Sumber: Badan Standarisasi Nasional, 2002)

1. *Ground Segment* atau segmen kontrol, digunakan untuk meng-*upload* data ke satelit, untuk sinkronisasi waktu di seluruh konstelasi satelit dan untuk melacak satelit di orbit dan penentuan jam.
2. *Space Segment* atau Segmen antariksa terdiri dari satelit-satelit *GPS* di enam orbit yang direncanakan. 24 satelit membuat konstelasi penuh, meskipun saat ini tersedia 32 satelit dalam pelayanan, 2 dari yang telah dinyatakan tidak dapat digunakan sampai pemberitahuan lebih lanjut. Kode satelit digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan satelit tersebut di orbit.
3. Segmen pengguna terdiri dari penerima dan antena yang terhubung, digunakan untuk menerima dan membaca sandi (*decode*) sinyal untuk memberikan informasi waktu, posisi dan navigasi.

II.9.1. Uji Statistik T-Student

Dalam melakukan uji hipotesis, ada banyak faktor yang menentukan, seperti apakah sampel yang diambil berjumlah banyak atau hanya sedikit, apakah standar deviasi populasi diketahui, apakah varians populasi diketahui, metode parametrik apakah yang dipakai, dan seterusnya (Wisnu, 2014).

III METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Jembatan Tunggalmas yang berada di kota Malang. Secara geografis, letak Jembatan Tunggalmas, kota Malang berada pada koordinat geografis 7,9261499°S; 112,6019802°E. Jembatan Tunggal mas memiliki Panjang ± 150 Meter dengan lebar jembatan ± 10 Meter.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

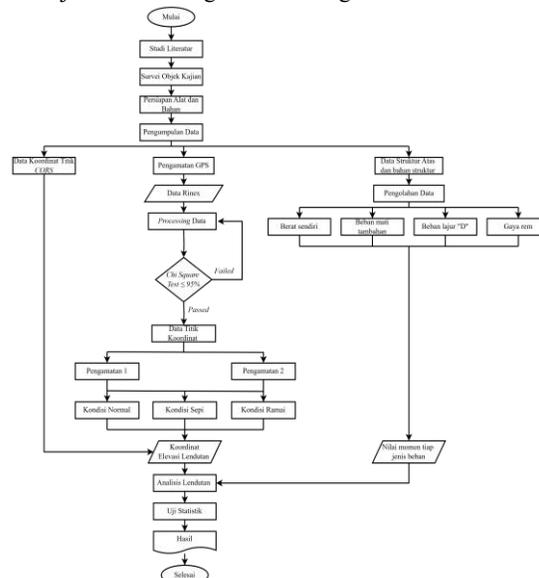
III.2. Alat Dan Bahan

Pengumpulan data tahap awal dalam penelitian ini yaitu melakukan survey lapangan untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan seperti :

- a. **Alat dan Bahan**
 1. *GPS Geodetik T300 GNSS receiver*
 2. Statif
 3. Meteran dan Roll Meter
 4. *Tipex*
- b. **Hardware**
 1. Laptop *ASUS X441UB CORE I3 GEN 7 RAM 4 GB SSD 240 GB*
- c. **Software**
 1. *Software Trimble Business Center*
 2. *Software Microsoft Office 2019*
 3. *Software Compass Receiver Utility*
 4. *Software Survei Master*
 5. *Software Stats*

III.3 Diagram Alir

Tahapan dalam penelitian ini Digambarkan menjadi bentuk diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Hasil Chi Square Test

Hasil pengolahan data *GPS* Geodetik mencakup laporan *network adjustment*, termasuk uji *chi-square test* dengan tingkat kepercayaan 95%. Uji ini digunakan untuk memastikan apakah data masih mengandung kesalahan acak. Jika hasil menunjukkan "Passed" data dapat dilanjutkan ke tahap pengolahan berikutnya. Namun, jika hasilnya "Failed" maka data tersebut belum dapat dilanjutkan untuk pengolahan tahap selanjutnya sehingga dilakukan pengamatan ulang.

Tabel 4. 1 Hasil Chi Square Test

No	Number Of Iterations for Successful Adjustment:	Network Reference Faktor:	Chi Square Test (95%):	Precision Confidence Level:	Degrees of freedom:
1. Pengamatan 1 Kondisi Sepi	2	0.93	Passed	95%	9
2. Pengamatan 1 Kondisi Sedang	2	1.01	Passed	95%	9
3. Pengamatan 1 Kondisi Ramai	2	1.00	Passed	95%	9
4. Pengamatan 2 Kondisi Sepi	2	0.81	Passed	95%	9
5. Pengamatan 2 Kondisi Sedang	2	0.62	Passed	95%	9
6. Pengamatan 2 Kondisi Ramai	2	0.78	Passed	95%	9

Berdasarkan tabel 4.1, menunjukkan keterangan "Passed" yang berarti data sudah tidak mengandung kesalahan acak, jumlah iterasi yang diperlukan agar penyesuaian berhasil adalah 2, lalu jumlah parameter independen yang diperlukan ialah 9, untuk *network reference faktor* data yang bagus terdapat pada nomor 5. Pengamatan 2 kondisi sedang, nilai *network reference faktor* sebesar 0.62, dikarenakan nilai yang diperoleh kecil karena dalam kondisi ideal dan tanpa ada gangguan sinyal, sedangkan batas maksimal *Network Reference faktor* yaitu 1.50.

IV.2. Hasil Data Pengamatan Kondisi sepi, Kondisi Sedang, dan Kondisi Ramai

Hasil pengolahan data *GPS* menunjukkan koordinat *UTM* yang telah disesuaikan. Koordinat ini memberikan representasi yang lebih akurat tentang posisi titik-titik pemantauan dalam sistem koordinat *global*. Hasil yang diperoleh dianalisis untuk memastikan keakuratan dan keandalan koordinat yang telah diproses. hal tersebut mencakup perbandingan dengan data referensi atau kontrol serta evaluasi akurasi hasil pengolahan.

Tabel 4. 2 Hasil Chi Square Test

Nama Titik	PENGAMATAN 1					
	Kondisi Sepi Elevation (m)	Z error (m)	Kondisi Sedang Elevation (m)	Z error (m)	Kondisi Ramai Elevation (m)	Z error (m)
CORS_CMLG	474,667	0	474,667	0	474,667	0
Titik Pantau 1	533,695	0,004	533,675	0,002	533,653	0,003
Titik Pantau 2	533,75	0,003	533,728	0,003	533,702	0,003
Titik Pantau 3	533,671	0,003	533,650	0,002	533,626	0,003
Nama Titik	PENGAMATAN 2					
	Kondisi Sepi Elevation (m)	Z error (m)	Kondisi Sedang Elevation (m)	Z error (m)	Kondisi Ramai Elevation (m)	Z error (m)
CORS_CMLG	474,667	0	474,667	0	474,667	0
Titik Pantau 1	533,709	0,002	533,688	0,002	533,685	0,002
Titik Pantau 2	533,750	0,003	533,727	0,003	533,721	0,002
Titik Pantau 3	533,674	0,002	533,652	0,002	533,648	0,002
					Error rata-rata	0,0019

Berdasarkan tabel 4.2, koordinat Z (Elevation) memiliki error rata-rata sebesar 0,0019 meter yang menandakan nilai ini sangat kecil dan menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dalam pengolahan data elevasi.

IV.3. Hasil Satuan Nilai Penumpang (SMP)

Berikut merupakan hasil dari perhitungan satuan nilai penumpang yang dimana kendaraan tersebut dihitung tiap menitnya selama pengamatan berlangsung pada tabel 4.3 dan 4.4.

Tabel 4. 3 Daftar jumlah kendaraan Pengamatan 1

Menit ke-	Pengamatan 1 Kondisi Sepi					Total	Nilai SMP
	Data Jumlah Kendaraan						
	MC(0,5)	LV(1,0)	MHV(1,5)	LB(1,6)	LT(2,0)		
1	2	0	0	0	0	2	1
2	5	0	0	0	0	5	2.5
3	3	2	1	0	0	6	5.1
4	6	0	0	0	0	6	3
5	6	3	0	0	0	9	6
...
...
...
56	3	0	0	0	0	3	1.5
57	4	1	0	0	0	5	3
58	3	1	0	0	0	4	2.5
59	0	0	1	0	0	1	1.5
60	2	0	0	0	0	2	1
Menit ke-	Pengamatan 1 Kondisi Sedang					Total	Nilai SMP
	Data Jumlah Kendaraan						
	MC(0,5)	LV(1,0)	MHV(1,5)	LB(1,6)	LT(2,0)		
1	38	7	0	0	0	45	26
2	32	2	0	0	0	34	18
3	31	8	0	0	0	39	23.5
4	30	3	1	0	0	34	19.5
5	18	8	0	0	0	26	17
...
...
...
56	26	4	0	0	0	30	17
57	38	8	0	0	0	46	27
58	30	4	1	0	0	35	20.5
59	37	8	0	0	0	45	26.5
60	13	3	0	0	0	16	9.5
Menit ke-	Pengamatan 1 Kondisi Ramai					Total	Nilai SMP
	Data Jumlah Kendaraan						
	MC(0,5)	LV(1,0)	MHV(1,5)	LB(1,6)	LT(2,0)		
1	40	11	0	0	0	51	31
2	38	3	0	0	0	41	22
3	43	8	0	0	0	51	29.5
4	24	8	0	0	0	32	20
5	55	8	0	0	0	63	35.5
...
...
...
56	39	10	0	0	0	49	29.5
57	46	2	0	0	0	48	25
58	29	4	0	0	0	33	18.5
59	37	7	0	0	0	44	25.5
60	38	9	0	0	0	47	28

Tabel 4. 4 Daftar jumlah kendaraan Pengamatan 2

Menit ke-	Pengamatan 2 Kondisi Sepi					Total	Nilai SMP
	Data Jumlah Kendaraan						
	MC(0,5)	LV(1,0)	MHV(1,5)	LB(1,6)	LT(2,0)		
1	9	0	0	0	0	9	4.5
2	6	0	0	0	0	6	3
3	8	2	0	0	0	10	6
4	10	2	0	0	0	12	7
5	2	6	0	0	2	10	11
...
...
...
56	10	0	0	0	0	10	5
57	12	0	1	0	0	13	7.5
58	7	1	0	0	0	8	4.5
59	10	3	0	0	0	13	8
60	4	3	0	0	0	7	5
Menit ke-	Pengamatan 2 Kondisi Sedang					Total	Nilai SMP
	Data Jumlah Kendaraan						
	MC(0,5)	LV(1,0)	MHV(1,5)	LB(1,6)	LT(2,0)		
1	33	5	1	0	0	39	23
2	36	8	0	0	0	44	26
3	47	4	0	0	0	51	27.5
4	27	2	0	0	0	29	15.5
5	41	4	0	0	0	45	24.5
...
...
...
56	38	7	0	0	0	45	26
57	37	5	0	0	0	42	23.5
58	45	6	0	0	0	51	28.5
59	48	4	0	0	0	52	28
60	20	5	0	0	0	25	15
Menit ke-	Pengamatan 2 Kondisi ramai					Total	Nilai SMP
	Data Jumlah Kendaraan						
	MC(0,5)	LV(1,0)	MHV(1,5)	LB(1,6)	LT(2,0)		
1	26	9	1	0	0	36	23.5
2	55	8	0	0	0	63	35.5
3	39	8	0	0	0	47	27.5
4	57	5	0	0	0	62	33.5
5	29	8	0	0	1	38	24.5
...
...
...
56	55	8	0	0	0	63	35.5
57	26	9	1	0	0	36	23.5
58	55	8	0	0	0	63	35.5
59	39	8	0	0	0	47	27.5
60	57	5	0	0	0	62	33.5

Berdasarkan tabel 4.3 dan tabel 4.4 didapatkan jumlah total kendaraan yang melewati Jembatan Tunggulmas sebanyak 8367 unit kendaraan untuk pengamatan 1 dan 9157 unit kendaraan untuk jembatan tunggulmas 2, yaitu terdiri dari kendaraan MC 4868 unit, LV 792 unit, MHV 15 unit, dan LT 1 unit untuk pengamatan 1. Sedangkan untuk pengamatan 2 terdiri dari kendaraan MC 5264 unit, LV 848 unit, MHV 14 unit, dan LT 3 unit. Jumlah kendaraan terbanyak yang melalui jembatan tunggulmas pada pengamatan 1 terjadi pada menit ke-12 kondisi ramai, yaitu sebanyak 70 unit dengan nilai satuan mobil penumpang 39,5. Untuk pengamatan 2, jumlah kendaraan terbanyak terjadi pada menit ke-7, yaitu sebanyak 71 unit dengan nilai satuan mobil penumpang 40 smp. Untuk

pengamatan 1, nilai satuan mobil penumpang terkecil terjadi pada menit ke-39 yaitu sebesar 0,5 smp dengan jumlah kendaraan sebanyak 1 unit, sedangkan untuk pengamatan 2, nilai satuan mobil penumpang terkecil terjadi pada menit ke-50 yaitu sebesar 2 smp dengan jumlah kendaraan sebanyak 4 unit.

IV.4. Hasil Perhitungan Momen Tiap Jenis Beban

Berikut ini merupakan hasil dari perhitungan momen tiap jenis beban yang mencakup Beban Sendiri, Beban Mati Tambahan, Beban Lajur "D", dan Gaya Rem, dan berikut merupakan hasil perhitungannya:

Tabel 4. 5 Hasil Momen Tiap Jenis Beban

Jenis Beban	Nama Beban	Hasil Beban
		(kN/m/m ² /m ³ /m ⁴)
Beban Sendiri	Beban berat sendiri (<i>QMS</i>)	28,22
	Gaya geser beban berat sendiri (<i>VMS</i>)	705
	Momen pada girder (<i>MMS</i>)	8,818
Beban Mati Tambahan	Beban Mati (<i>QMA</i>)	23,75
	Gaya geser beban Mati (<i>VMA</i>)	593
	Momen pada girder (<i>MMA</i>)	7,421
Beban Truk "T"	Beban Truk "T" (<i>PTT</i>)	140,00 kN
	Gaya Geser akibat Truk (<i>PTT</i>)	280 kN
	Momen pada Truk (<i>VTT</i>)	2,170 kN
Beban Lajur "D"	Beban lajur (<i>QTD</i>)	113
	Beban lajur dengan factor beban dinamis (<i>PTD</i>)	714
	Gaya geser beban lajur (<i>VTD</i>)	3.182
	Momen pada girder (<i>MTD</i>)	8,960
Gaya Rem	Panjang lengan terhadap berat (<i>y</i>)	11,715
	Beban moment akibat gaya rem (<i>M</i>)	1,630
	Gaya geser maksimum gaya rem (<i>VTB</i>)	0,234
	Momen maksimum gaya rem (<i>MTB</i>)	6,443
Total Momen Keseluruhan tiap jenis Beban		31,682
Inersia Efektif untuk perhitungan lendutan (<i>Ie</i>)		0,4807
Lendutan akibat Beban Lalu Lintas "D"		0,031042
Beban Maksimal dan lendutan Maksimal		703
Lendutan Maksimal Jembatan tunggulmas		0,0563

Berdasarkan tabel 4.5, didapatkan nilai total momen tiap jenis beban sebesar 31,682 kN/m, nilai tersebut merupakan akumulasi dari momen yang dihasilkan oleh berbagai jenis beban yang bekerja pada struktur jembatan. Lalu nilai momen terbesar terjadi di

Beban Lajur “D” yaitu 8,960 kN/m karena merupakan komponen yang sering kali menjadi bagian yang dominan dalam perhitungan struktur dikarenakan banyak kendaraan yang melewati jembatan. Lalu untuk nilai lendutan maksimal yang terjadi pada jembatan tunggulmas ialah 0,056 m, sedangkan berdasarkan teknis pembebanan jembatan menggunakan struktur, bahan struktur, dan data jumlah kendaraan selama pengamatan, lendutan yang terjadi ialah 0,031 m.

IV.5. Hasil Elevasi Lendutan

Hasil Elevasi Lendutan dihitung menggunakan data pengukuran *GPS*, besar lendutan dihitung menggunakan rumus 2.2 pada halaman 3, dan berikut merupakan hasil perhitungan elevasi lendutan dan selisih penurunan yang terjadi akibat pembebanan pada jembatan saat dalam kondisi sepi sampai ke kondisi ramai.

Tabel 4. 6 Hasil Momen Tiap Jenis Beban

Nama Titik	Pengamatan 1			
	Lendutan			
	Kondisi			
	Sepi - Sedang (m)	Sepi - Ramai (m)	Selisih (m)	Keterangan
Titik Pantau 1	0,020	0,022	0,002	Penurunan
Titik Pantau 2	0,022	0,026	0,004	Penurunan
Titik Pantau 3	0,021	0,024	0,003	Penurunan
Nama Titik	Pengamatan 2			
	Lendutan			
	Kondisi			
	Sepi - Sedang (m)	Sepi - Ramai (m)	Selisih	Keterangan
Titik Pantau 1	0,021	0,024	0,003	Penurunan
Titik Pantau 2	0,023	0,029	0,006	Penurunan
Titik Pantau 3	0,022	0,026	0,004	Penurunan

Berdasarkan tabel 4.6, penurunan terbesar terjadi pada Titik Pantau 2 Pengamatan 2, yaitu sebesar 0,006 m, sedangkan Titik Pantau 1 memiliki penurunan sebesar 0,003 m, dan Titik Pantau 3 memiliki penurunan sebesar 0,004 m. penurunan elevasi pada kondisi ramai disebabkan oleh faktor eksternal seperti beban tambahan yang terjadi pada area pengamatan, faktor tersebut dapat mencakup beban kendaraan atau aktivitas manusia yang memengaruhi stabilitas tanah atau struktur di sekitar titik pantau. Lalu untuk batas izin lendutan yang diperbolehkan pada lendutan sebesar 0,050 m, yang dimana data pengamatan GNSS masih dibawah batas izin toleransi lendutan yaitu sekitar 0,020 – 0,029 m.

IV.6. Uji Statistik T-Student

Berikut merupakan hasil uji statistik *t-student*, Uji berikut dilakukan dengan membandingkan T-hitungan dengan T-tabel untuk mendapatkan informasi apakah terjadi lendutan secara signifikan atau tidak pada masing-masing titik pengamatan lendutan yang ada pada Jembatan Tunggulmas. Dibawah ini merupakan hasil uji statistik dari setiap pengamatan yang dilakukan pada Jembatan Tunggulmas.

Tabel 4. 7 Hasil Uji T

PENGAMATAN 1						
KONDISI SEPI - KONDISI SEDANG						
Nama Titik	Sepi - Sedang (m)	Std (m)	T	T Tabel	Ho	Move
Titik Pantau 1	0.020	0.0010	1.732	4.303	Diterima	Tidak
Titik Pantau 2	0.022	0.0020	0.866	4.303	Diterima	Tidak
Titik Pantau 3	0.021	0.0015	0.577	4.303	Diterima	Tidak
KONDISI SEPI - RAMAI						
Nama Titik	Sepi - Ramai (m)	Std (m)	T	T Tabel	Ho	Move
Titik Pantau 1	0.022	0.0010	3.464	4.303	Diterima	Tidak
Titik Pantau 2	0.026	0.0020	1.472	4.303	Diterima	Tidak
Titik Pantau 3	0.024	0.0015	0.693	4.303	Diterima	Tidak
PENGAMATAN 2						
KONDISI SEPI - KONDISI SEDANG						
Nama Titik	Sepi - Sedang (m)	Std (m)	T	T Tabel	Ho	Move
Titik Pantau 1	0.021	0.0015	1.155	4.303	Diterima	Tidak
Titik Pantau 2	0.023	0.0030	0.635	4.303	Diterima	Tidak
Titik Pantau 3	0.022	0.0020	0.462	4.303	Diterima	Tidak
KONDISI SEPI - KONDISI RAMAI						
Nama Titik	Sepi - Ramai (m)	Std (m)	T	T Tabel	Ho	Move
Titik Pantau 1	0.024	0.0015	2.656	4.303	Diterima	Tidak
Titik Pantau 2	0.029	0.0030	1.559	4.303	Diterima	Tidak
Titik Pantau 3	0.026	0.0020	0.260	4.303	Diterima	Tidak

Berdasarkan tabel 4.7, didapatkan nilai $T < T$ tabel, maka H_0 diterima. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai dari data pengamatan 1 dan data pengamatan 2 yang didapatkan pada tiga titik pantau yang berada di jembatan tidak terjadi perbedaan yang signifikan. Ditemukan tidak ada lendutan yang signifikan akibat perubahan kondisi.

V. PENUTUP

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penurunan terbesar terjadi pada Titik Pantau 2 0,006 m, sedangkan Titik Pantau 1 memiliki penurunan sebesar 0,003 m, dan titik pantau 3 memiliki penurunan sebesar 0,004 m, penurunan elevasi pada kondisi ramai disebabkan oleh faktor eksternal seperti beban tambahan yang terjadi pada area pengamatan, Faktor ini dapat mencakup beban kendaraan atau aktivitas manusia yang memengaruhi stabilitas tanah atau struktur di sekitar titik pantau.
2. Berdasarkan hasil *report* dari uji statistik *t-student*, hasil *report* dari uji statistik pada tiga titik pantau yang berada di jembatan tidak terjadi perbedaan yang signifikan jika nilai $T < T$ tabel maka nilai diterima, untuk rentang nilai dari keseluruhan epoch T hitung 0.260 - 3.464, sedangkan nilai T *cum. Prob* 95%, *two-tails* 0.05 didapatkan sebesar 4.303.

V.2. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang perlu diperhatikan untuk penelitian selanjutnya sehingga penelitian selanjutnya dapat berjalan dengan baik. Adapun sarannya sebagai berikut:

1. Diharapkan pengamatan lendutan vertikal pada Jembatan Tunggulmas dilakukan secara berkala untuk memantau perubahan lendutan vertikal yang terjadi. Langkah ini bertujuan untuk mendeteksi risiko sejak dini, sehingga dapat mencegah potensi kerusakan lebih serius dan memastikan keamanan jembatan, baik bagi pejalan kaki maupun pengguna kendaraan yang melintasinya.
2. Disarankan untuk menguji lendutan jembatan pada kondisi beban maksimum sesuai kapasitas desainnya, untuk mengetahui batas kemampuan struktur dalam kondisi kritis. Daftar Pustaka

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2000). Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Abidin, H. Z. (2001). Geodesi Satelit. Jakarta. PT. Pradnya Paramita.
- Abidin, H. Z. (2006). Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Abidin, H. Z. (2007). Modul Pendahuluan *Survey* GPS. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). Jaring Kontrol Horizontal. SNI 19-6724-2002. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). Standar Pembebanan untuk Jembatan. RSNI T 02-2005. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2005). Perencanaan Struktur Beton untuk Jembatan. RSNI T 03-2005. Jakarta.
- Dewi, S. U., & Prasetyo, F. (2021). Analisa Penambahan Bottom Ash Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton. *Journal of Infrastructural in Civil Engineering*, 2(02), 31-45.
- Fajrianto. (2009). Studi Komparasi Pemakaian *GPS* Metode *Real Time Kinematic (RTK)* Dengan *Total Station (TS)* Untuk Penentuan Posisi Horizontal. *Jurnal Sipil dan Perencanaan*, 13(1), 1-14.
- Febriani, S. (2022). Analisis Deskriptif Standar Deviasi. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 6(1), 910-913.
- Gumilar, I., Mahdiyanto, R. A., Bramanto, B., Kuntjoro, W., & Abidin, H. Z. (2022). *Study of GNSS Multi-Constellation Performance in Single Point Positioning and Differential Positioning in Indonesia. Journal of Aeronautics, Astronautics and Aviation*, 195-214.
- Hardwiyono, S., Soebandono, B & Hakim, L. (2013). Perancangan Ulang Struktur Atas Jembatan Gajah Wong Yogyakarta dengan Menggunakan *Box Girder*. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 16(1), 10-20.
- Herusiswoyo, M. A., & Ma'ruf, B. (2023). Analisis Uji Beban Jembatan dengan *Total station. JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 6(1), 1-10.
- Madena, A. Y., Sabri, L. M., & Yuwono, B. D. (2014). Verifikasi Koordinat Titik Dasar Teknik Orde 3 dengan Pengukuran *GNSS Real Time Kinematic* Menggunakan Stasiun *CORS* Geodesi UNDIP di Kota Semarang. *Jurnal Geodesi Undip*, 3(1).
- Murtono, A., Sandhyavitri, A., & Djauhari, Z. (2019). Analisis Jembatan Kayu Komposit Berbasis Material Dan Kearifan Lokal (Studi Kasus: Kabupaten Indragiri Hilir). *Selodang Mayang: Jurnal Ilmiah Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Indragiri Hilir*, 5(2).
- Najamuddin., Kahar, S., & Sabri, L. M. (2012). Pengamatan Lendutan Vertikal Jembatan Kali Babon Dengan Metode *GNSS Kinematik*. *Jurnal Geodesi Undip (JGU)*, 1(1), 1-15.
- Pala'biran, O. A., Windah, R. S., & Pandaleke, R. E. (2019). Perhitungan Lendutan Balok Taper Kantilever Dengan Menggunakan *Sap2000*. *Jurnal Sipil Statik*, 7(8).
- Petrisly, P. (2019). *Use Of Global Positioning System (GPS) For Basic Survey On Students*. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Balanga*, 7(1), 22-33.
- Prasetyaningsih, D. (2012). Partisipasi Indonesia Dalam Pembahasan Sistem Satelit Navigasi Global (*Global Navigation Satellite System*) Dalam Sidang Uncopuos. *Berita Dirgantara*, 13(4).
- Ramadhan, M. R., Yuwono, B. D., & Amarrohman, F. J. (2019). Penentuan Posisi Dan Pergeseran Stasiun *Cors* Undip Berdasarkan Pengamatan *CORS* Terikat *IGS* Pada Tahun 2015, 2016 dan 2017. *Jurnal Geodesi Undip (JGU)*, 8(1), 456-465.
- Ramadhon, S. (2015). Analisis Ketelitian Data Pengukuran Menggunakan *GPS* Dengan Metode *Differensial* Statik Dalam Moda Jaring Dan Radial. *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 5(2), 31-43.
- Safi'i, A. N., Sudarsono, B., & Awaluddin, M. (2014). Analisis Ketelitian Titik Kontrol Horizontal pada Pengukuran Deformasi Jembatan Penggaron Menggunakan *Software Gamit 10.5*. *Jurnal Geodesi Undip*, 3(3), 85-97.
- Saputra, R., Awaluddin, M., & Amarrohman, F. J. (2015). Perhitungan *Velocity Rate CORS GNSS* Di Wilayah Pantai Utara Jawa Tengah. *Jurnal Geodesi UNDIP*, 4(4), 231-239.
- Setiawan, B., Hidayat, G., & Djunaedi, T. (2023). Analisa Konstruksi Mesin Bubut Duplikat Untuk Profil Kayu Dengan Ukuran Kayu

- Diameter 15 cm dan Panjang 50 cm. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 6(1), 128–136.
- Sugara, Y. A., Wardi., & Naumar, A. (2022). Perencanaan Jembatan Rangka Baja Tipe Warren Truss Di Kota Padang. *Abstract of Undergraduate Research, Faculty of Civil and Planning Engineering, Bung Hatta University*, 2(1), 43-44.
- Wahyono, E. B., & Suhattanto, M. A. (2019). Survey Satelit Pertanahan. Kementerian Agraria Dan Tata Ruang/BPN Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional Yogyakarta, 2(2), 1–81. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i2.8798>.
- Wisnu. (2014). Analisa Penurunan Tanah (*Land subsidence*) Pada Daerah Semburan Lumpur Sidoarjo Dengan Data Satelit *Global Positioning System (GPS)*. Surabaya *Master's thesis*, Jurusan Magister Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.