

Pengamatan Lendutan Vertikal Jembatan Kali Babon Dengan Metode GNSS Kinematik

Najamuddin¹⁾, Ir. Sutomo Kahar²⁾, L.M. Sabri³⁾,

- 1) Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang
- 2) Dosen Pembimbing I Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang
- 3) Dosen Pembimbing II Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang

ABSTRAK

Jembatan Kali Babon adalah salah satu jembatan yang berada di jalan Pantai Utara Jawa tepatnya di Kecamatan Genuk, Kota Semarang. Jembatan Kali Babon ini dibangun pada tahun 2005 dengan panjang 33,5 meter. Sebuah jembatan akan mengalami dua macam deformasi, yaitu gerakan jangka panjang dan gerakan jangka pendek.

Dalam penelitian ini, teknologi Topcon GNSS dual frukuensi akan digunakan untuk memantau besarnya deformasi yang terjadi pada Jembatan Kali Babon. Setiap titik pada jembatan menggunakan interval waktu (logging rate) sebesar 1 detik untuk pengambilan raw data. Hasil penentuan posisi titik pada penelitian ini didapatkan secara post-processing (sesudah pengamatan). Pemanfaatan GNSS secara kinematik ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar pergerakan vertikal jembatan Kali Babon akibat satuan mobil penumpang yang melintasinya.

Teknologi GNSS mampu mendeteksi lendutan vertikal jembatan Kali Babon. Hasil pengukuran metode GNSS kinematik jembatan Kali Babon diperoleh lendutan maksimal sebesar 0,187 meter dengan lama pengamatan 28 menit. Berdasarkan perhitungan teknis pembebanan jembatan dengan menggunakan data struktur dan bahan struktur Jembatan Kali Babon, secara teoritis lendutan yang terjadi adalah sebesar 0,239 meter. Hal ini menunjukkan bahwa lendutan jembatan Kali Babon masih memenuhi standar.

Kata kunci : Jembatan Kali Babon, GNSS, Lendutan vertikal

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jembatan merupakan salah satu sarana transportasi yang sangat penting bagi manusia. Jembatan juga berfungsi sebagai penghubung antara satu daerah dengan daerah yang lainnya. 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 yang melintas di jembatan tersebut!

Anda sebagai orang Semarang tentu pernah melewati Jembatan Kali Babon. Jembatan dengan panjang lebih kurang 30 meter ini dibangun sekitar tahun 2005. Usia jembatan itu kini kurang lebih tujuh tahun, secara konstruksi mulai dari tubuh sampai penyangga jembatan masih sangat kuat. Keberadaan jembatan tersebut ungunya cukup kuat dengan kapasitas besar dan setidaknya terus dilakukan evaluasi secara berkala.

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda [Kuang,1996]. 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.

Perkembangan teknologi penentuan posisi di dunia sangat pesat, terutama teknologi berbasis satelit. Saat ini telah berkembang dua buah sistem penentuan posisi berbasis satelit di dunia, yaitu GNSS (Global Positioning System)

dan Glonass yang diikuti oleh sistem Galileo dan Compass

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang muncul dari latar belakang penelitian yang telah dijabarkan sebelumnya adalah sebagai berikut :

- a. Apakah GNSS mampu mendeteksi lendutan vertikal jembatan Kali Babon?
- b. Apakah lendutan jembatan Kali Babon tahun 2012 masih memenuhi standar kelayakan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur lendutan vertikal jembatan Kali Babon.

1.4 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup yang diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Penelitian ini dilakukan menggunakan alat GNSS *Geodetic* dengan metode kinematik
- b. Studi deformasi dilakukan pada kedua bentang dan tengah jembatan terhadap posisi vetikalnya.
- c. Hasil penelitian ini adalah grafik posisi tinggi jembatan Kali Babon serta hubungannya dengan aktifitas lalu lintas yang melintasinya.

1.5 Manfaat Penelitian

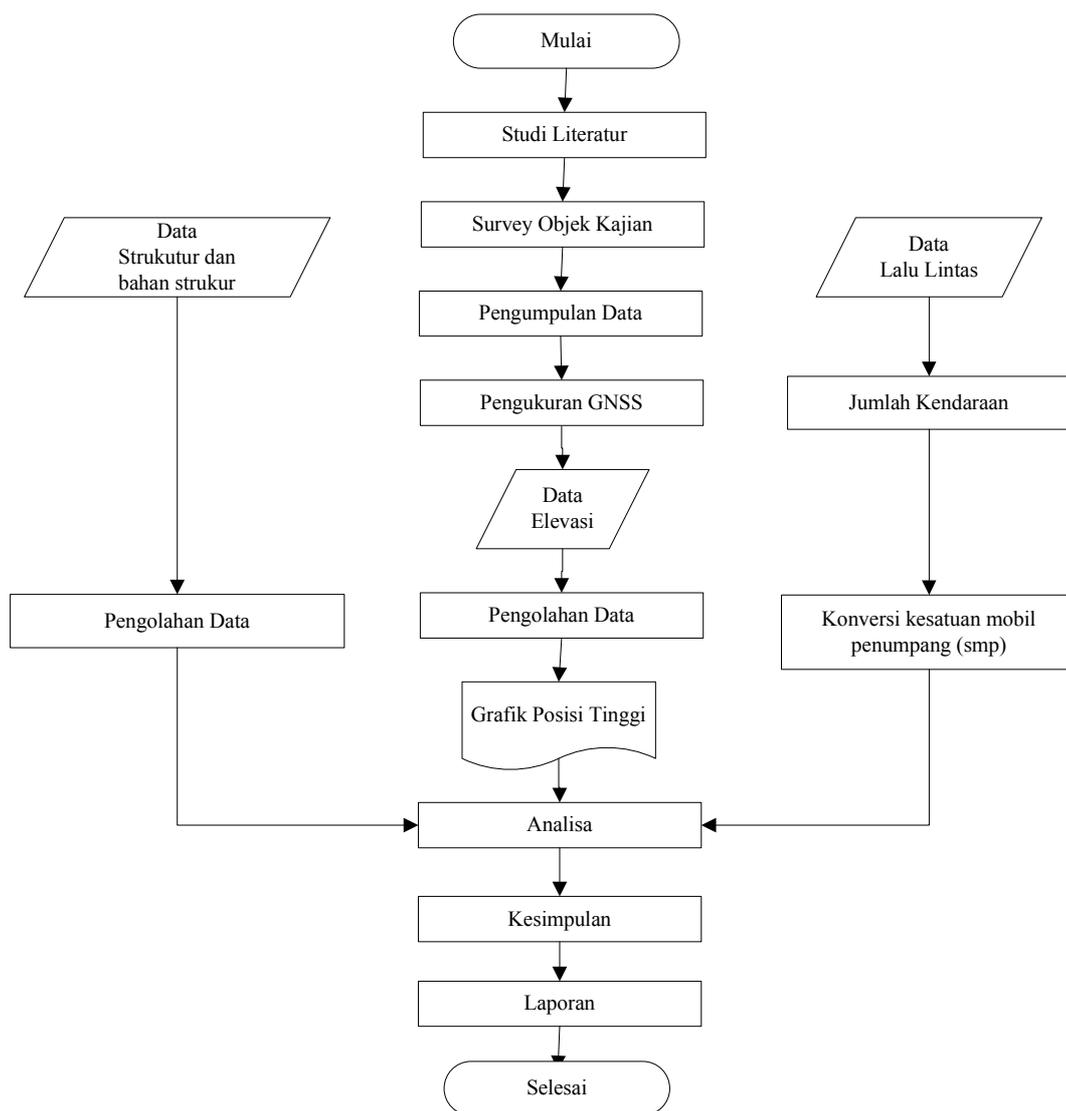
Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut, yaitu :

- a. Memberikan pengetahuan mengenai pemanfaatan *receiver GNSS Geodetic*
- b. Dapat membantu dalam proses updating data jembatan untuk instansi terkait.

- c. Memberikan informasi yang nantinya dapat dijadikan acuan monitoring dan controlling jembatan.
- d. Melalui hasil yang telah diperoleh, bisa digunakan sebagai inspirasi untuk pembangunan jembatan lainnya..

1.6 Diagram Alir

Tahapan penelitian untuk Pengamatan Lendutan Vertikal Jembatan Kali Babon Dengan Metode GNSS Kinematik sebagai berikut :



Gambar 1. 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Jembatan

Berdasarkan UU 38 Tahun 2004 bahwa jalan dan juga termasuk jembatan sebagai bagian dari sistem transportasi nasional mempunyai peranan penting terutama dalam mendukung bidang ekonomi, sosial dan budaya serta lingkungan yang dikembangkan melalui pendekatan pengembangan wilayah agar tercapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan antar daerah. Konstruksi jembatan adalah suatu konstruksi bangunan pelengkap sarana transportasi jalan yang menghubungkan suatu tempat ke tempat yang lainnya, yang dapat dilintasi oleh sesuatu benda bergerak misalnya suatu lintas yang terputus akibat suatu rintangan atau sebab lainnya, dengan cara melompati rintangan tersebut tanpa menimbun / menutup rintangan itu dan apabila jembatan terputus maka lalu lintas akan terhenti.

Jembatan juga adalah jenis bangunan yang apabila akan dilakukan perubahan konstruksi, tidak dapat dimodifikasi secara mudah, biaya yang diperlukan relatif mahal dan berpengaruh pada kelancaran lalu lintas pada saat pelaksanaan pekerjaan. Jembatan dibangun dengan umur rencana 100 tahun untuk jembatan besar, minimum jembatan dapat digunakan 50 tahun. Kekuatan dan kemampuan untuk melayani beban lalu lintas, perlu diperhatikan juga bagaimana pemeliharaan jembatan yang baik.

2.2. Struktur Jembatan

Secara umum struktur jembatan dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu struktur atas dan struktur bawah.

a. Struktur Atas (*Superstructures*)

Struktur atas jembatan merupakan bagian yang menerima beban langsung yang meliputi berat sendiri, beban mati, beban mati tambahan, beban lalu-lintas kendaraan, gaya rem, beban pejalan kaki, dll.

b. 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 dsb. untuk kemudian disalurkan ke fondasi. Selanjutnya beban-beban tersebut disalurkan oleh fondasi ke tanah dasar.

2.3. Pembebanan Pada Jembatan

Perencanaan suatu jembatan harus diketahui besarnya beban-beban serta gaya-gaya berikut, agar dapat dihitung tegangan-tegangan yang bekerja. Untuk kemudian menentukan dimensi-dimensi dari bagian-bagiannya. Beban-beban serta gaya-gaya pada jembatan jalan raya tersebut adalah beban sendiri, beban mati, beban lalu lintas, dan gaya rem.

2.4 Sistem GNSS (*Global Navigation Satellite System*)

Perkembangan teknologi penentuan posisi di dunia sangat pesat, terutama teknologi berbasis satelit. Saat ini telah berkembang dua buah sistem penentuan posisi berbasis satelit di dunia, yaitu GPS(*Global Positioning System*) dan *Glionass* yang diikuti oleh sistem Galileo dan *Compass*. Sistem-sistem satelit ini kemudian diintegrasikan dalam satu system bernama GNSS (*Global Navigation Satellite System*) yang diharapkan dapat memberikan

kualitas data dan informasi posisi yang lebih baik. Perkembangan teknologi GNSS (*Global Navigation Satellite System*) yang sangat pesat telah mengubah kebiasaan para surveyor untuk melakukan pekerjaan survei dan pemetaan di lapangan. Para surveyor dapat melakukan pengambilan data spasial dilapangan dengan menggunakan titik kontrol yang diperoleh secara relatif terhadap stasiun referensi yang terletak beberapa kilometer dari area yang akan diukur.

2.5 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 sumpunya. 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.

3. PELAKSANAAN PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

a. Metode GNSS Statik

Dalam penelitian ini selain salah satu metode yang digunakan adalah metode GNSS statik. Alat yang digunakan dalam metode ini yaitu Antena *Receiver Topcon Hiper II* yang dilengkapi dengan Kontroler FC-250 menggunakan *software* TopSURV v.8. Lokasi pengukuran dengan metode GNSS statik ini berada di lokasi yang berbeda, yaitu *base* berada di Titik Tinggi Geodesi berada di sekitar Tugu Muda, sedangkan *rover* berada pada titik yang berada di dekat jembatan yang nantinya menjadi

base dalam pengukuran GNSS metode kinematik. Pengukuran dilakukan selama lebih kurang dua jam.

b. Metode GNSS Kinematik

Pengukuran situasi dilaksanakan pada tanggal 14 April 2012 di sepanjang jembatan Kali Babon Jalan raya Semarang-Demak, Kecamatan Genuk, ta Semarang. Alat yang digunakan adalah Antena *receiver* Topcon Hiper II yang dilengkapi dengan Kontroler FC-250 menggunakan *software* TopSURV v.8.

Ada dua tahapan dalam pengumpulan data dengan menggunakan metode survei GNSS Kinematik.

- 1) *Inisialisasi*, inisialisasi pada awal pengamatan diperlukan sebagai kontrol sebelum data kinematik secara keseluruhan diolah.
- 2) *Pengukuran*, dalam penentuan posisi dilakukan dengan metode kinematik GNSS secara absolut (autonomous). Elevation mask setiap satelit diset pada ketinggian minimum 15 derajat. Pada pengambilan raw data setiap titik menggunakan interval waktu (logging rate) sebesar 1 detik.

3.1 Pengolahan Data

a. Pengolahan Data Metode Statik

Data hasil metode pengukuran satik didapatkan hasil koordinat dan tinggi (*Latitude, Longitude, dan Elevation*) dari titik - titik detail pengukuran secara statik. Dalam penelitian ini pengolahan data dilakukan secara *post-processing* menggunakan perangkat lunak (*software*) pengolah GNSS, Topcon Tools v. 7.5.1.

Data hasil pengolahan secara *post-processing* dapat dilihat melalui report pada menu *toolbar software* Topcon Tools v.7.5.1, data setelah hasil pengolahan merupakan nilai koordinat dan tinggi (*Latitude, Longitude, dan Elevation*) dari titik tersebut.

b. Pengolahan Data Metode Kinematik

Data hasil metode pengukuran kinematik didapatkan hasil koordinat dan tinggi (*Latitude, Longitude, dan Elevation*) dari titik - titik detail pengukuran secara kinematik. dalam penelitian ini pengolahan data dilakukan secara *post-processing* menggunakan perangkat lunak (*software*) pengolah GNSS, Topcon Tools v. 7.5.1.

Dalam penelitian ini, perangkat lunak *Topcon Tools v.7.5.1* yang dilengkapi dengan dongles telah mampu untuk mengolah hasil pengamatan GNSS dengan ketelitian yang didapatkan bisa mencapai orde cm (centimeter). Data pengamatan sebelumnya diunduh (*download*) dari receiver dengan bantuan perangkat lunak PC-CDU. Data yang didapatkan berupa *file* yang berformat *.TPS yang hanya bisa diolah menggunakan perangkat lunak *Topcon Tools*.

Data hasil pengolahan secara *post-processing* dapat dilihat melalui report pada menu *toolbar software* Topcon Tools v.7.5.1, data setelah hasil pengolahan merupakan nilai koordinat dan tinggi (*Latitude, Longitude, dan Elevation*) dari titik tersebut yang memiliki tingkat presisi yang berbeda tiap titiknya.

c. Pengolahan Data dengan Software Leica Geo Office

Pada saat pengamatan GNSS yang dilakukan sebelumnya, format data GNSS yang dihasilkan berupa raw data asli yang formatnya *TPS yang merupakan bawaan dari alat TopCon. Untuk mempermudah melakukan pengolahan dengan *software* yang berbeda tipe dalam hal ini *Leica Geo Office*, maka data hasil pengamatan GNSS untuk masing-masing *receiver* yang sebelumnya telah *download*, dikonversi (*export*) menjadi data RINEX. Tujuan dari pengolahan data dengan menggunakan *software Leica Geo Office* adalah untuk melihat azimuth dan zenith setiap satelit pada saat dilakukan pengukuran

d. Pengolahan Data Struktur dan Struktur Bahan Jembatan Kali Babon

Data Struktur dan struktur bahan jembatan Kali Babon ini diperoleh di kantor Bina Marga Kota Semarang. Data struktur bersikan data-data spesifikasi dari jembatan seperti, panjang jembatan, lebar jembatan, dimensi girder, dimensi diafragma, dll. Sedangkan data struktur bahan bersikan data bahan yang digunakan dalam pembuatan jembatan seperti, mutu beton (karakteristik beton, kuat tekan beton, angka poisson, koefisien muai panjang), mutu baja (karakteristik baja, tegangan leleh). Setelah data diperoleh dilakukan perhitungan beban. Di sini ada empat beban yang dihitung untuk memperoleh data lendutan maksimal, yaitu beban sendiri (MS), beban mati (MA), beban lalu lintas (beban lajur dan beban truk) dan gaya rem (TB). Perhitungan lendutan maksimal menggunakan *Microsoft Excel 2007*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengolahan data GNSS

a. Metode Statik

Pengolahan data GNSS metode statik ini dilakukan menggunakan software bawaan dari perangkat GNSS, yaitu Topcon Tools v.7.5.1. Data yang diolah dalam penelitian ini berasal dari pengambilan data yaitu pada tanggal 14 April 2012. Pengukuran dilakukan selama lebih kurang dua jam. Koordinat *base* dan *rover* sebagai berikut :

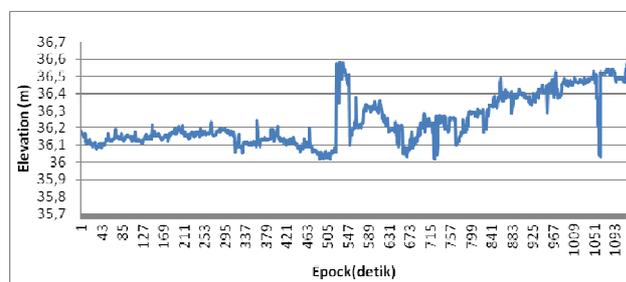
Tabel 4.1 Koordinat Metode Statik

Name	Latitude	Longitude	Ell.Height (m)
NI.0259	6°59'01,60559"S	110°24'34,39519"E	36,88
Base Jembatan	6°56'59,35311"S	110°29'08,89698"E	33,062

b. Metode Kinematik

Dalam pengukuran ini jumlah titik yang diukur di sepanjang jembatan berjumlah tiga titik, yaitu dua titik di ujung jembatan dan satu titik tepat di tengah jembatan. Berikut ini merupakan grafik elevasi (H) hasil pengolahan data GNSS pada tiga titik di sepanjang jembatan Kali Babon terhadap epoch.

1) Stasiun GNSS1



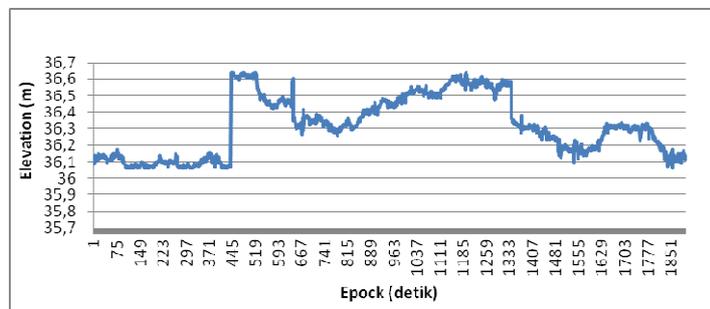
Gambar 4.1 Grafik elevasi stasiun GNSS1

terhadap epoch

Berdasarkan grafik di atas nilai elevasi maksimum terjadi pada epoch ke-530 yaitu sebesar 36,584 m, sedangkan nilai elevasi

minimum terjadi pada epoch ke-511 yaitu sebesar 36,016 m.

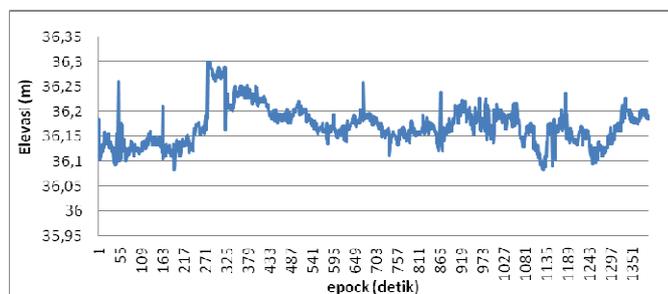
2) Stasiun GNSS2



Gambar 4.2 Grafik elevasi stasiun GNSS2 terhadap epoch

Berdasarkan grafik di atas nilai elevasi maksimum terjadi pada epoch ke-446 yaitu sebesar 36,639 m, sedangkan nilai elevasi minimum terjadi pada epoch ke-430 yaitu sebesar 36,058 m.

3) Stasiun GNSS3



Gambar 4.3 Grafik elevasi stasiun GNSS3 terhadap epoch

Berdasarkan grafik di atas nilai elevasi maksimum terjadi pada epoch ke-277 yaitu sebesar 36,299 m, sedangkan nilai elevasi minimum terjadi pada epoch ke-1126 yaitu sebesar 36,083 m.

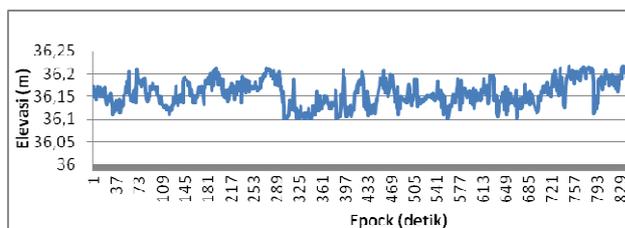
Dari ketiga grafik tiap titik hasil pengolahan data GNSS dapat diperhatikan naik turunnya nilai elevasi sangat signifikan. Data tersebut menunjukkan nilai elevasi tiap titik tidak

akurat. Karena nilai tersebut tidak akurat maka langkah yang dilakukan adalah dengan mengolah data tersebut dengan menggunakan *software Leica Geo Office*.

Tujuan dari pengolahan menggunakan *software* ini adalah untuk mengetahui azimuth dan zenith tiap satelit pada saat dilakukan pengukuran. Setelah data azimuth dan zenith tiap satelit diperoleh, maka dilakukan pengecekan atau pemeriksaan data tersebut dengan data obstruksi yang ada di lokasi pengukuran.

Data *azimuth* dan *zenith* satelit yang tidak digunakan adalah data yang berada tepat pada *obstruksi* lokasi pengukuran sehingga membuat hasil data pengolahan GNSS tidak akurat. Berikut adalah hasil pengolahan dengan menggunakan *software Leica Geo Office* yang berupa data *azimuth* dan *zenith* tiap satelit dari tiga titik pengukuran :

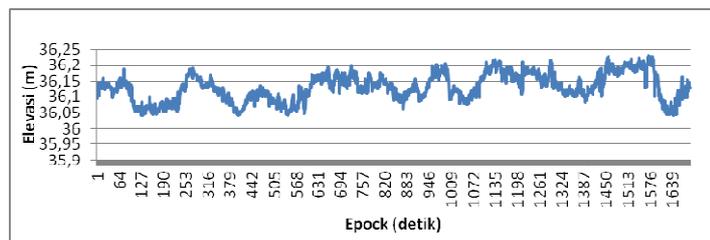
1) Stasiun GNSS1



Gambar 4.4 Grafik elevasi stasiun GNSS1 terhadap epoch

Berdasarkan grafik di atas nilai elevasi maksimum terjadi pada epoch ke-749 yaitu sebesar 36,215 m, sedangkan nilai elevasi minimum terjadi pada epoch ke-302 yaitu sebesar 36,101 m.

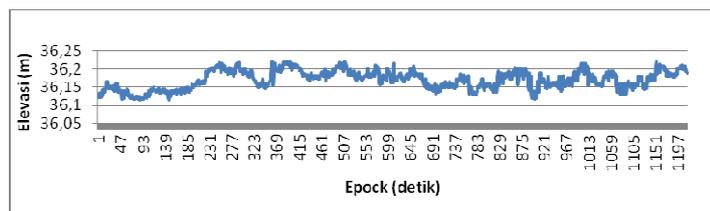
2) Stasiun GNSS2



Gambar 4.5 Grafik elevasi stasiun GNSS2 terhadap epoch

Berdasarkan grafik di atas nilai elevasi maksimum terjadi pada epoch ke-1547 yaitu sebesar 36,229 m, sedangkan nilai elevasi minimum terjadi pada epoch ke-1645 yaitu sebesar 36,042 m.

3) Stasiun GNSS3



Gambar 4.6 Grafik elevasi stasiun GNSS3 terhadap epoch

Berdasarkan grafik di atas nilai elevasi maksimum terjadi pada epoch ke-360 yaitu sebesar 36,220 m, sedangkan nilai elevasi minimum terjadi pada epoch ke-147 yaitu sebesar 36,115 m.

4.2 Data Kendaraan

Receiver GNSS1 pengukuran (ujung jembatan) dilakukan selama lebih kurang 16 menit, kemudian receiver GNSS2 (tengah jembatan) dilakukan pengukuran selama lebih kurang 28 menit dan receiver GNSS3 (ujung jembatan) dilakukan pengukuran selama lebih

kurang 20 menit. Data *traffic* yang didapat sebagai berikut :

4.2.1 Stasiun GNSS1

Tabel 4.2 Daftar Jumlah Kendaraan Jembatan Kali Babon stasiun GNSS1

Menit ke-	Jenis Kendaraan					Total	Nilai SMP
	MC (0,5)	LV (1,0)	MHV (1,5)	LB (1,6)	LT (2,0)		
1	8	1	2	0	1	12	10
2	6	3	2	1	1	13	12,6
3	5	2	2	1	1	11	11,1
4	5	1	1	2	1	10	10,2
5	8	3	1	2	1	15	13,7
6	5	3	2	3	2	15	17,3
7	3	5	2	2	1	13	14,7
8	4	5	2	1	1	13	13,6
9	6	3	3	1	1	14	14,1
10	8	1	2	0	1	12	10
11	8	3	1	1	1	14	12,1
12	3	4	2	1	0	10	10,1
13	5	3	0	1	1	10	9,1
14	4	2	1	2	1	10	10,7
15	4	3	1	1	1	10	10,1
16	6	3	2	2	1	14	14,1

Dari data tabel 4.2 jumlah total kendaraan yang melewati jembatan Kali Babon adalah 196 unit kendaraan, yaitu terdiri dari kendaraan MC 88 unit, LV 45 unit, MHV 26 unit, LB 21 unit dan LT 16 unit. Jumlah kendaraan terbanyak yang melalui jembatan Kali Babon terjadi pada menit ke-6 yaitu sebanyak 15 unit dengan nilai satuan mobil penumpang 17,3 smp sedangkan nilai satuan mobil penumpang terkecil terjadi pada menit ke-13 yaitu sebesar 9,1 smp dengan jumlah kendaraan sebanyak 10 unit.

4.2.2 Stasiun GNSS2

Tabel 4.3 Daftar Jumlah Kendaraan Jembatan Kali Babon titik stasiun GNSS2

Menit ke-	Jenis Kendaraan					Total	Nilai SMP
	MC (0,5)	LV (1,0)	MHV (1,5)	LB (1,6)	LT (2,0)		
1	4	4	3	1	1	13	14,1
2	5	3	3	2	0	13	13,2
3	4	2	2	1	1	10	10,6
4	6	0	2	2	0	10	9,2
5	3	4	2	0	0	9	8,5
6	6	2	2	1	1	12	11,6
7	3	2	2	2	0	9	9,7
8	5	3	1	1	1	11	10,6
9	3	2	3	1	1	10	11,6
10	3	3	1	1	0	8	7,6
11	6	3	1	1	0	11	9,1
12	4	2	0	1	0	7	5,6
13	6	3	0	1	0	10	7,6
14	4	2	2	0	1	9	9
15	5	1	2	0	1	9	8,5

Menit ke-	Jenis Kendaraan					Total	Nilai SMP
	MC (0,5)	LV (1,0)	MHV (1,5)	LB (1,6)	LT (2,0)		
16	5	2	2	1	0	10	9,1
17	3	3	2	2	0	10	10,7
18	3	2	2	1	1	9	10,1
19	4	5	1	0	1	11	10,5
20	6	5	0	1	0	12	9,6
21	3	2	1	1	1	8	8,6
22	6	5	1	0	0	12	9,5
23	6	5	2	0	0	13	11
24	4	2	2	0	0	8	7
25	7	3	0	0	0	10	6,5
26	4	2	0	1	0	7	5,6
27	6	5	1	1	2	15	15,1
28	6	2	0	1	1	10	8,6

Dari data tabel 4.3 jumlah total kendaraan yang melewati jembatan Kali Babon adalah 286 unit kendaraan, yaitu terdiri dari kendaraan MC 130 unit, LV 79 unit, MHV 40 unit, LB 24 unit dan LT 13 unit. Jumlah kendaraan terbanyak yang melalui jembatan Kali Babon terjadi pada menit ke-27 yaitu sebanyak 15 unit dengan nilai satuan mobil penumpang 15,1 smp sedangkan nilai satuan mobil penumpang terkecil terjadi pada menit ke-26 yaitu sebesar 5,6 smp dengan jumlah kendaraan sebanyak 7 unit.

4.2.3 Stasiun GNSS3

Tabel 4.4 Daftar Jumlah Kendaraan Jembatan Kali Babon stasiun GNSS3

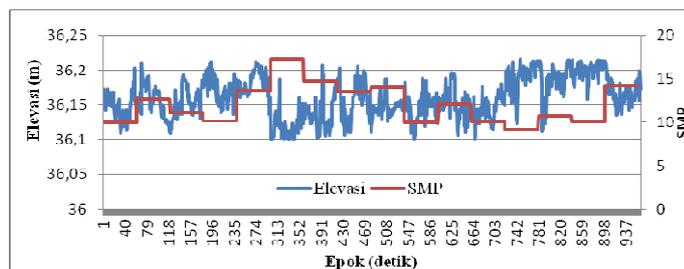
Menit ke-	Jenis Kendaraan					Total	Nilai SMP
	MC (0,5)	LV (1,0)	MHV (1,5)	LB (1,6)	LT (2,0)		
1	6	3	0	1	2	12	11,6
2	6	1	2	3	1	13	13,8
3	6	1	3	2	1	13	13,7
4	5	1	2	2	0	10	9,7
5	6	1	2	2	1	12	12,2
6	6	2	1	1	0	10	8,1
7	5	2	1	2	0	10	9,2
8	5	1	1	1	2	10	10,6
9	5	2	2	1	0	10	9,1
10	6	2	1	1	1	11	10,1
11	5	3	1	2	1	12	12,2
12	5	2	2	1	1	11	11,1
13	5	2	1	1	1	10	9,6
14	3	3	1	1	1	1	9,6
15	5	3	2	0	1	11	10,5
16	3	1	3	2	0	9	10,2
17	5	2	1	1	1	10	9,6
18	5	2	1	2	1	11	11,2
19	5	1	2	1	1	10	10,1
20	5	1	1	2	1	10	10,2

Dari data tabel 4.4 jumlah total kendaraan yang melewati jembatan Kali Babon adalah 214 unit kendaraan, yaitu terdiri dari kendaraan MC 102 unit, LV 36 unit, MHV 30 unit, LB 28 unit dan LT 18 unit. Jumlah kendaraan terbanyak yang melalui jembatan Kali Babon terjadi pada menit ke-3 yaitu sebanyak 13 unit dengan nilai satuan mobil penumpang 13,8 smp sedangkan nilai satuan mobil penumpang terkecil terjadi pada menit ke-14 yaitu sebesar 8,1 smp dengan jumlah kendaraan sebanyak 7 unit.

4.3. Analisis Lendutan Terhadap Aktivitas Lalu Lintas

4.3.1. Stasiun GNSS1

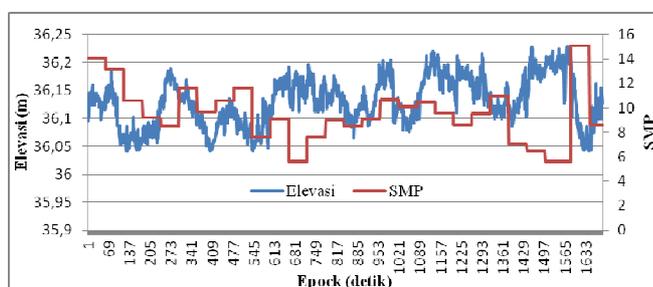
Nilai elevasi (H) maksimum dari posisi stasiun GNSS1 yang berada pada ujung jembatan adalah 36,215 m. Pada saat terjadi gerakan tersebut ada muatan kendaraan sejumlah 10 unit atau 9,1 smp yang melewati jembatan Kali Babon pada menit ke 13. Nilai elevasi (H) minimum dari posisi stasiun GNSS1 yang berada di pada ujung jembatan adalah 36,101 m. Pada saat terjadi gerakan tersebut ada muatan kendaraan sejumlah 15 unit yatau 17,3 smp yang melewati jembatan Kali Babon pada menit ke-6. Jadi jembatan Kali Babon mengalami lendutan vertikal sebesar 0,114 m. Grafik korelasi antara perubahan elevasi GNSS1 dengan satuan mobil penumpang (smp) yang melalui jembatan Kali Babon sebagai berikut :



Gambar 4.7 Grafik korelasi perubahan elevasi stasiun GNSS1 dengan smp

4.3.2. Stasiun GNSS2

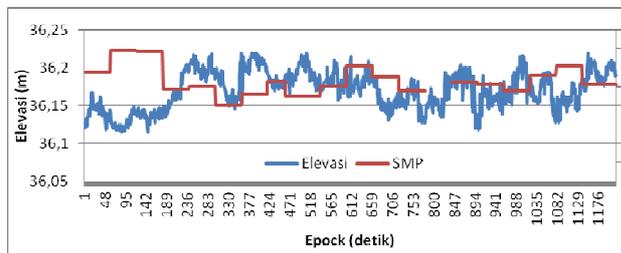
Nilai elevasi (H) maksimum dari posisi stasiun GNSS2 yang berada pada tengah jembatan adalah 36,229 m. Pada saat terjadi gerakan tersebut ada muatan kendaraan sejumlah 7 unit atau 5,6 smp yang melewati jembatan Kali Babon pada menit ke 26. Nilai elevasi (H) minimum dari posisi stasiun GNSS2 yang berada di tengah jembatan adalah 36,042 m. Pada saat terjadi gerakan tersebut ada muatan kendaraan sejumlah 26 unit atau 15,1 smp yang melewati jembatan Kali Babon pada menit ke-27. Jadi jembatan Kali Babon mengalami lendutan vertikal sebesar 0,187 m. Grafik korelasi antara perubahan elevasi GNSS2 dengan satuan mobil penumpang (smp) yang melalui jembatan Kali Babon sebagai berikut :



Gambar 4.8 Grafik korelasi perubahan elevasi stasiun GNSS2 dengan smp

4.3.3. Stasiun GNSS3

Nilai elevasi (H) maksimum dari posisi stasiun GNSS3 yang berada pada ujung jembatan adalah 36,220 m. Pada saat terjadi gerakan tersebut ada muatan kendaraan sejumlah 9 unit atau 8,1 smp yang melewati jembatan Kali Babon pada menit ke 6. Nilai elevasi (H) minimum dari posisi stasiun GNSS3 yang berada di pada ujung jembatan adalah 36,115 m. Pada saat terjadi gerakan tersebut ada muatan kendaraan sejumlah 13 unit atau 13,8 smp yang melewati jembatan Kali Babon pada menit ke-2. Jadi jembatan Kali Babon mengalami lendutan vertikal sebesar 0,105 m. Grafik korelasi antara perubahan elevasi GNSS3 dengan satuan mobil penumpang (smp) yang melalui jembatan Kali Babon sebagai berikut :



Gambar 4.9 Grafik korelasi perubahan elevasi stasiun GNSS3 dengan smp

4.4. Analisis Lendutan Terhadap Struktur Dan Bahan Struktur

4.4.1. Hasil Perhitungan Struktur dan Bahan Struktur Jembatan Data Struktur Jembatan

Panjang bentang jembatan, $L = 33,50$ m
 Lebar jalan (jalur lalu-lintas), $B1 = 5,40$ m
 Lebar trotoar, $B2 = 1,00$ m
 Lebar total jembatan, $B1 + 2 * B2 = 7,40$ m
 Jarak antara Girder, $s = 2,00$ m
 Dimensi Girder :
 Lebar girder, $b = 0,50$ m

Tinggi girder, $h = 1,20$ m

Dimensi Diafragma :

Lebar diafragma, $bd = 0,30$ m

Tinggi diafragma, $hd = 0,50$ m

Tebal slab lantai jembatan, $ts = 0,20$ m

Tebal lapisan aspal + overlay, $ta = 0,10$ m

Tinggi genangan air hujan, $th = 0,05$ m

Tinggi bidang sampung, $ha = 2,50$ m

Jarak pusat tulangan terhadap sisi luar beton, $d' = 0,15$ m

Jumlah balok diafragma sepanjang L, $nd = 4$ bh

Jarak antara balok diafragma,

$sd = L/nd = 8,375$ m

Data Bahan Struktur

a. Mutu beton :

K - 350

Kuat tekan beton, $fc' = 0,83 * K / 10 = 29,05$

Modulus elastik,

$Ec = 4700 * \sqrt{fc'} = 25332,0844$ MPa,

Angka poisson $u = 0,20$

Koefisien muai panjang untuk beton, $\alpha = 1,0, E-05$ °C

b. Mutu baja :

Untuk baja tulangan dengan $\emptyset > 12$ mm : U -32

Tegangan leleh baja, $fy = U * 10 = 320$ Mpa

Untuk baja tulangan dengan $\emptyset \leq 12$ mm : U -24

Tegangan leleh baja, $fy = U * 10 = 240$ Mpa

c. Specific Gravity :

Berat beton bertulang, $wc = 25,00$ kN/m³

Berat beton tidak bertulang (beton rabat),

$w'c = 24,00$ kN/m³

Berat aspal padat, $wa = 22,00$ kN/m³

Berat jenis air, $ww = 9,80$ kN/m³

Perhitungan Beban

a. Berat Sendiri (Ms)

- *Beban berat sendiri (Q_{MS})*
= Beban plat lantai + Beban girder + Beban diafragma
= 10 kN/m + 12,5 kN/m + 0,54 kN/m
= 23,04 kN/m,
- *Gaya geser beban berat sendiri (V_{MS})*
= 1/2 x Q_{MS} x L
= 385,875 kN,
- *Moment pada Girder (M_{MS})*
= 1/8 x Q_{MS} x L² .
= 3231,703 kN,

b. Berat Mati (MA)

- *Beban Mati (Q_{MA})*
= Beban lapisan aspal + Beban genangan air hujan
= 4,40 kN/m + 0,98 kN/m
= 5,38 kN/m,
- *Gaya geser beban mati (V_{MA})*
= 1/2 x Q_{MA} x L
= 90,115 kN,
- *Moment pada Girder (M_{MA})*
= 1/8 x Q_{MA} x L² .
= 754,713 kN,

c. Beban Lalu Lintas

❖ Beban Lajur "D"

- *Beban lajur (Q_{TD})*
= q x s
= 15,16 kN/m,
- *Beban lajur dengan faktor beban dinamis (P_{TD})* = (1 + DLA) x p x s
= 123,20 kN
- *Gaya geser beban lajur (V_{TD})*
= 1/2 x (Q_{TD} x L + P_{TD})
= 315,60 kN,
- *Moment pada Girder (M_{TD})*
= 1/8 x Q_{TD} x L² + 1/4 x P_{TD} x L
= 3159,05 kNm,

❖ Beban Truk "T"

- *Beban truk dengan faktor beban dinamis (P_{TT})* = (1 + DLA) x T = 210,00 kN,
- *Gaya geser beban akibat truk (V_{TT})*
= (9/8 x L - 1/4 x a + b) / L x P_{TT}
= 264,95 kN,
- *Moment pada Girder akibat truk (M_{TT})*
= V_{TT} x L/2 - P_{TT} x b
= 3366,956 kNm,

d. Gaya Rem

- *Panjang lengan terhadap berat (y)*
= 1,80 + t_a + (h/2) = 2,50 m
- *Beban moment akibat gaya rem*
M = TTB x y = 125,00 kNm
- *Gaya geser maksimum gaya rem (V_{TB})*
= M / L = 3,73 kN,
- *Momen maksimum gaya rem (M_{TB})*
= 1/2 x M = 62,50 kNm

e. Lendutan Akibat Beban Lalu Lintas

Diketahui :

- Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,
d' = 0,15 m
- Tinggi efektif balok, d = h - d' = 1,05 m
- Luas tulangan balok, A_s = 0,011259468 m²
- Inersia brutto penampang balok,
I_g = (1/12) x b x h³ = 0,072 m⁴
- Modulus keruntuhan lentur beton,
f_r = 0.7 x √f_c' x 10³ = 3772,863634 kPa
- Nilai perbandingan modulus elastis,
n = E_s / E_c = 7,9
n x A_s = 0,089 m²
- Jarak garis netral terhadap sisi atas beton,
c = n x (A_s/b) = 0,178 m
- Inersia penampang retak yang ditransformasikan ke beton dihitung sbb. :

$$I_{cr} = \left\{ \left(\frac{1}{3} \right) \times b \times c^3 \right\} + \left\{ n \times A_s \times (d - c)^2 \right\}$$

$$= 0,06856 \text{ m}^4$$

- Momen retak :

$$y_t = h/2 = 0,60 \text{ m}$$

$$M_{cr} = f_r \times (I_g / y_t) = 452,744 \text{ Nmm}$$

Tabel. 4.5. Nilai momen tiap jenis beban

No.	Jenis Beban	M (kNm)
1	Berat sendiri (MS)	3231,70
2	Beban mati tambahan (MA)	754,71
3	Beban lajur "D"	3366,96
4	Gaya rem (TB)	62,50

- Momen total (MD+L)

$$= \text{Berat sendiri (MS)} + \text{Beban mati tambahan (MA)} + \text{Beban lajur "D"} + \text{Gaya rem (TB)}$$

$$= 7415,87 \text{ kNm}$$

- Inersia efektif untuk perhitungan lendutan (I_e)

$$= \left(\frac{M_{cr}}{MD+L} \right)^3 \times I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{MD+L} \right)^3 \right] \times I_{cr}$$

$$= 0,0686 \text{ m}^4$$

- Lendutan Akibat Beban Lalu Lintas "D"

$$\delta_{TT} = \frac{1}{48} \times PTD \times L^3 / (E_c \times I_e) + \frac{5}{384} \times QTD \times L^4 / (E_c \times I_e) = 0,23977 \text{ m}$$

f. Beban maksimal dan lendutan maksimal

Kekuatan tekan beton adalah beban persatuan luas yang menyebabkan beton hancur. Beban maksimal dapat dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\text{Beban maksimal} = \text{Kekuatan tekan beton} \times \text{Luas penampang benda uji}$$

$$= 350 \text{ Mpa} \times (33,5\text{cm} \times 7,4\text{cm})$$

$$= 3500 \text{ kg/cm}^2 \times 247,9 \text{ cm}^2$$

$$= 3500 \text{ kg/cm}^2 \times 247,9 \text{ cm}^2$$

$$\text{Beban maksimal} = 867650 \text{ kg} = 867,650 \text{ ton}$$

$$= 850,8708 \text{ Kn} \approx 851 \text{ Kn}$$

Rumus yang digunakan untuk menghitung lendutan maksimal yang terjadi pada jembatan Kali Babon sama dengan rumus perhitungan lendutan sebelumnya. Beban truk lendutan sebelumnya adalah $T = 153 \text{ Kn}$ sedangkan untuk menghitung lendutan maksimal, nilai beban truk dirubah menjadi $T = 851 \text{ Kn}$ sesuai dengan perhitungan beban maksimal. Nilai lendutan maksimal setelah nilai $T = 851 \text{ Kn}$ sebesar 0,680 meter.

Berdasarkan data pengukuran GNSS metode kinematik, lendutan maksimal terjadi pada receiver GNSS2 yaitu sebesar 0,187 meter $\pm 2\text{cm}$, sedangkan berdasarkan teknis pembebanan jembatan dengan menggunakan data struktur ,bahan struktur dan data jumlah kendaraan selama pengamatan, lendutan yang terjadi yaitu sebesar 0,239 meter.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian "Pengamatan Lendutan Vertikal Jembatan Kali Babon Dengan Metode GNSS Kinematik" seperti terurai pada bab-bab sebelumnya yaitu:

- Teknologi GNSS mampu mendeteksi lendutan vertiikal jembatan Kali Babon. Hasil pengukuran metode GNSS kinematik didapatkan lendutan maksimal sebesar 0,187 m.

- b. Besarnya lendutan jembatan Kali Babon yang diperoleh dari perhitungan teknis pembebanan jembatan dengan menggunakan data struktur dan bahan struktur masih memenuhi standar kelayakan.

5.2 Saran

Saran untuk pelaksanaan penelitian berikutnya mengenai “Pengamatan Lendutan Vertikal Jembatan Kali Babon Dengan Metode GNSS Kinematik” yaitu:

- a. Untuk pengukuran selanjutnya sebaiknya menggunakan receiver GNSS disemua titik pengamatan secara bersamaan supaya didapatkan pola getaranyang lebih jelas.
- b. Untuk medapatkan pola getaran sebaiknya pengukuran dilakukan pengukuran selama 24 jam, sehingga didapat pola pada siang dan malam hari.
- c. Untuk mendapatkan ketelitian data yang lebih baik, maka harus diketahui spesifikasi atau kemampuan receiver GNSS yang digunakan untuk pengamatan lendutan vertikal jembatan Kali Babon dengan metode GNSS kinematik.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, H.Z. 2000.*Geodesi Satelit*. Jakarta:Pradnya Paramitha

-----,2002.*Survey dengan GNSS*.Jakarta:Pradnya Paramitha

-----,2007.*Lecture Slide of GD.2213 Geodesy Satellite*.Bandung:ITB

-----, 2007.*Lecture Slide of GD.3211 Satellite Surveying*.Bandung:ITB

-----, 2007.*Penentuan Posisi dengan GNSS dan Aplikasinya*. Jakarta: Pradnya Paramitha

PU Bina Marga, Sweroad, dan PT Bina Karya. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*

Departemen Pekerjaan Umum, 1987, *Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya*, Penerbit Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta

Tarwina, Egisa. 2011. *Studi Deformasi Jembatan Suramadu Akibat Pengaruh Traffic Load*.Tugas Akhir, Jurusan Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Kampus ITS Sukolilo : Surabaya

Dwi, Dinar A. 2009. *Pemantauan Gerakan Vertikal Jembatan Ampera Dengan Menggunakan GNSS*.Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya: Palembang

Fauzi, Ardiansyah M. 2011. *Analisis Akurasi Hasil Pengolahan Baseline GNSS Dengan Perangkat Lunak Komersial Untuk Studi Land Subsidence Di Kota Semarang*. Tugas Akhir, Program Studi Teknik Geodesi UNDIP: Semarang

