

**ANALISIS DEFLEKSI VERTIKAL JEMBATAN MENGGUNAKAN
SIPAT DATAR
(Studi Kasus: Jembatan Tunggulmas, Kota Malang, Provinsi Jawa timur)**

Rizkiawan Fadila

1725005

Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang

Dosen Pembimbing I : Silvester Sari Sai, ST., MT.

Dosen Pembimbing II : Alifah Noraini, ST., MT.

Abstrak

Pengadaan sistem referensi geospasial biasanya menggunakan survei *Global Navigation Satellite System* (GNSS), terutama untuk aplikasi yang memerlukan informasi posisi. Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial menugaskan Badan Informasi Spasial (BIG) untuk mengelola informasi geospasial, termasuk acuan vertikal yang berbasis pada model geoid. Jembatan Tunggulmas, yang menghubungkan Kota Batu dan Kota Malang, merupakan infrastruktur penting dalam transportasi di daerah tersebut. *Monitoring* perlu dilakukan untuk memastikan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan. Pengukuran sipat datar bertujuan untuk menentukan beda tinggi antara titik-titik di atas permukaan teliti, perataan jaringan menggunakan metode kuadrat terkecil, mencari suatu nilai akhir sehingga jumlah kuadrat dari residu adalah minimum. Sehingga tidak mungkin ada nilai hasil hitungan yang lain yang jumlah kuadrat residunya lebih kecil. Penelitian ini menggunakan metode perataan terkecil untuk menganalisis nilai ketelitian dan defleksi vertikal di Jembatan Tunggulmas. Dari hasil penelitian diperoleh dengan pengukuran sipat datar di instrumen jembatan Tunggulmas menunjukkan ketelitian terendah 0.0012 mm pada pengukuran epoch 3 dan ketelitian tertinggi mencapai 0.0030 mm pada pengukuran epoch 4. Analisis pengukuran menunjukkan bahwa defleksi vertikal yang diakibatkan oleh beban atau gaya dapat mempengaruhi titik lainnya. Perbedaan tinggi selama 2 bulan, dengan interval 14 hari, di jembatan Tunggulmas, signifikan pada epoch 1 dan epoch 4 di titik TB 1, mencapai 4 mm. Perubahan tinggi tersebut disebabkan oleh beban atau gaya yang melewati titik pada instrumen jembatan, menyebabkan perubahan tinggi pada titik yang bersinambungan mengalami perubahan.

Kata kunci: *geospasial, Jembatan Tunggulmas, monitoring, defleksi, epoch.*

Abstract

The procurement of geospatial reference systems usually utilizes Global Navigation Satellite System (GNSS) surveys, especially for applications that require positional information. Law No. 4/2011 on Geospatial Information assigns the Spatial Information Agency (BIG) to manage geospatial information, including vertical references based on geoid models. Tunggulmas Bridge, which connects Batu City and Malang City, is an important infrastructure in transportation in the area. Monitoring needs to be done to ensure the safety and comfort of road users. The flat-fold network measurement aims to determine the height difference at the surface of interest, with the network alignment method using the least squares method to achieve a high level of accuracy. This research uses the least squares method to analyze the accuracy value and vertical deflection at Tunggulmas Bridge. From the research results, it was obtained that the flat-fold measurements at the Tunggulmas bridge instrument showed the lowest accuracy of 0.0012 mm at measurement epoch 3 and the highest accuracy of 0.0030 mm at measurement epoch 4. Analysis of the measurements showed that vertical deflection caused by loads or forces can affect other points. The height difference over 2 months, with an interval of 14 days, at Tunggulmas bridge, especially significant at epoch 1 and epoch 4 at point TB 1, reached 4 mm. The height change was caused by a load or force passing through the point on the bridge instrument, causing a height change at the connected point.

Keywords: *geospatial, Tunggulmas Bridge, deflection, epoch*

Pendahuluan

Perencanaan pembangunan nasional Indonesia memerlukan sistem referensi geospasial yang sama agar pembangunan terintegrasi dengan baik antar wilayah di Indonesia. Pengadaan sistem referensi geospasial sudah banyak menggunakan metode survei Global Navigation Satellite System (GNSS) terutama yang terkait dengan aplikasi-aplikasi yang menuntut informasi tentang posisi. Berdasarkan Undang-Undang (UU) Nomor 4 Tahun 2011 tentang Informasi Geospasial mengamanatkan Badan Informasi Spasial (BIG) untuk menyelenggarakan informasi geospasial, termasuk acuan vertikal. Acuan vertikal tersebut berdasarkan Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2013 tentang Sistem Informasi Geospasial Nasional adalah model geoid. Penentuan geoid adalah penentuan defleksi vertikal (ξ) dan undulasi (N). Undulasi pada suatu wilayah dapat dilakukan dengan pengukuran

GNSS dan sipat datar yang disebut metode geometrik.

Adapun Jembatan Tunggulmas merupakan jembatan yang terletak di Jalan Tlogomas, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang. Merupakan salah satu sarana transportasi alternatif yang menghubungkan Kota Batu dan Kota Malang. Adanya infrastruktur tersebut dapat memudahkan para pengguna jalan dalam mempersingkat waktu ke tempat tujuan. Namun, seiring bertambahnya waktu serta banyaknya mobilitas pengguna jalan dalam penggunaan sarana tersebut, maka perlu dilakukan monitoring guna memberikan rasa aman dan nyaman dalam menggunakan fasilitas umum.

Sipat datar bertujuan menentukan beda tinggi antara titik-titik di atas permukaan teliti. Di dalam geodesi, tinggi suatu titik didefinisikan sebagai jarak terhadap suatu bidang referensi (Basuki, 2006). Dalam pengukuran jaringan sipat datar, untuk mendapatkan titik tinggi yang

akurat terlebih dahulu dilakukan pengolahan beda tinggi kemudian dilakukan perataan jaringan (Network Adjustment) (S. Kahar, 2007). Perataan jaringan menggunakan metode kuadrat terkecil, merupakan mencari suatu nilai akhir sehingga jumlah kuadrat dari residu adalah minimum. Sehingga tidak mungkin ada nilai hasil hitungan yang lain yang jumlah kuadrat residunya lebih kecil (J. Kahar, 2007).

Sebagaimana dalam penelitian ini akan menggunakan sipat datar dengan metode perataan terkecil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai ketelitian dengan menggunakan sipat datar di instrumen jembatan dan mengetahui hasil analisis defleksi vertikal dengan menggunakan sipat datar di instrumen jembatan Tunggulmas.

Adapun beberapa dasar teori yang dalam penelitian ini yaitu diuraikan sebagai berikut.

a. Deformasi

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 yang disebabkan oleh angin, suhu, pasang surut, gempa bumi dan lalu lintas. Tidak seperti deformasi jembatan jangka panjang, yang tidak dapat kembali ke bentuk 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).

b. Jembatan

Berdasarkan UU No. 38 tahun 2004 bahwa jalan sebagai

bagian sistem transportasi nasional mempunyai peranan penting terutama dalam mendukung bidang ekonomi, sosial dan budaya serta lingkungan dan dikembangkan melalui pendekatan pengembangan wilayah agar tercapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan antar daerah.

c. Sistem Tinggi

Tinggi adalah jarak vertikal atau jarak tegak lurus dari suatu bidang referensi tertentu terhadap suatu titik sepanjang garis vertikal. Untuk suatu wilayah biasa MLR ditentukan sebagai bidang referensi dan perluasan kedaratan akan disebut dengan datum atau geoid (Anjasmara, 2005).

d. Datum Vertikal

Tinggi titik didaratan maupun kedalaman di dasar laut hanya dapat ditentukan secara relatif terhadap bidang acuan tertentu yang disepakati yang disebut sebagai datum vertikal. Kata “datum“ sesuatu yang diberikan, yang ditetapkan atau diketahui. Sedangkan kata “vertikal“ memiliki arti tegak lurus terhadap bidang nivo alami atau sering disebut dengan bidang gravitasi (Abidin et al., 2002).

e. Sipat Datar (*Waterpass*)

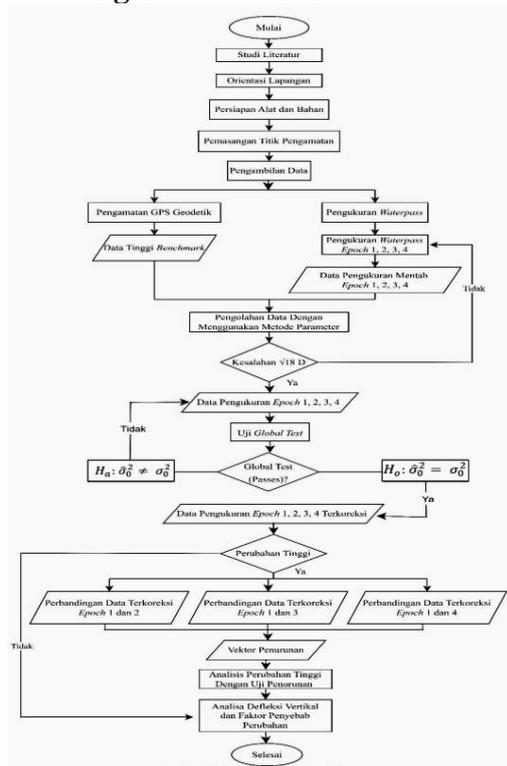
Waterpass adalah suatu alat ukur tanah yang dipergunakan untuk mengukur beda tinggi antara titik-titik saling berdekatan.

Metode Penelitian

a. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada pada Jembatan Tunggulmas yang terletak pada Kelurahan Tlogomas dengan Kelurahan Tunggulwulung yang berlokasi di Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang pada koordinat geografis 7,9261499°S; 112,6019802°E.

b. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

c. Pengambilan Data

Proses pengambilan data melalui beberapa langkah yakni sebagai berikut.

1. Survey Lapangan

Tahap survey lapangan merupakan tahap menentukan titik pengamatan dan jalur pengukuran sipat datar di jembatan Tunggulmas dengan tujuan guna mempermudah dalam pengambilan data.



Gambar 2 Survey Lapangan Jembatan Tunggulmas

2. Survey Benchmark

Tahap survey benchmark untuk mengetahui keadaan fisik pada benchmark jembatan dan benchmark kampus 2 ITN Malang.



Gambar 3 Benchmark di Jembatan Tunggulmas

3. Penempatan Titik Pengamatan

Langkah penempatan titik pengamatan ialah menempatkan titik pada instrumen jembatan Tunggulmas bertujuan untuk mengetahui area jembatan yang nantinya akan dianalisa dengan menggunakan sipat datar.



Gambar 4 Titik Pengamatan Point 3 di Jembatan Tunggulmas

4. Pengambilan Data GPS

Pengamatan static pada GPS bertujuan mendapatkan nilai tinggi pada benchmark jembatan dengan menggunakan metode jaring. Pada metode jaring GPS. Alat diletakan di jembatan dan BM Kampus 2 ITN Malang. Kemudian kedua alat tersebut disambungkan dengan

CORS Malang yang terletak di Sawojajar.



Gambar 5 Pengamatan BM Jembatan Tunggulmas

5. Pengambilan Data Sipat Datar

Pengukuran sipat datar dilakukan selama 2 bulan terhitung dari bulan November sampai dengan Desember. Pengukuran sipat datar memiliki 4 epoch dengan interval hari 14 hari.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Uji Ketelitian Berdasarkan SNI

Dari hasil pengukuran dengan menggunakan sipat datar pada setiap epoch menghasilkan ketelitian yang berbeda – beda akan tetapi pengukuran tersebut memiliki standar diterimanya pengukuran dengan kesalahan yang diterima ialah $\sqrt{18 D}$. Dimana $\sqrt{18 D}$ jika di desimalkan menjadi 12.98 mm. Berikut hasil pengukuran sipat datar pada tabel dibawah ini.

Hasil Pengukuran Sipat Datar				
Kesalahan Diterima	Epoch 1	Epoch 2	Epoch 3	Epoch 4
12.98 mm	0.003 mm	0.003 mm	0.004 mm	0.002 mm

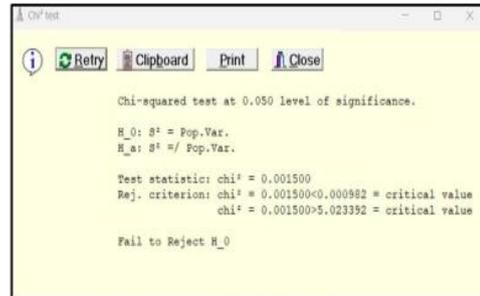
Gambar 6 Hasil Pengukuran Sipat Datar

Jika ada pengukuran melebihi dari nilai 12.98 mm maka dilakukan

pengukuran ulang pada epoch yang melebihi standar kesalahan diterima oleh SNI Nomor 19-6988-2004 sipat datar vertikal.

Hasil Uji Global Test

1. Uji Global Test Epoch 1



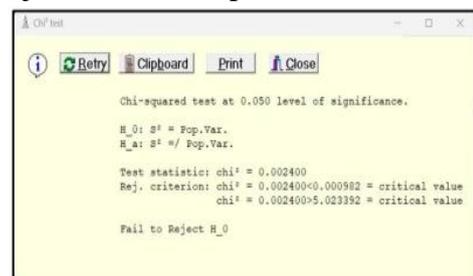
Gambar 6 Hasil Uji Global Test Epoch 1

Dari hasil report *Chi-Squared* Test dengan tingkat kepercayaan 95%, tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa H_0 diterima karena nilai varians sampel berada pada rentang nilai *variens populasi*, yaitu:

$$0.000982 < 0.001500 < 5.023392$$

Kesimpulannya bahwa tidak terdapat kesalahan selain kesalahan acak pada data pengamatan.

2. Uji Global Test Epoch 2



Gambar 7 Hasil Uji Global Test Epoch 2

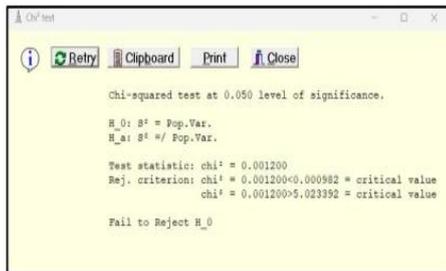
Dari hasil report *Chi-Squared* Test dengan tingkat kepercayaan 95%, tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa H_0 diterima karena nilai varians sampel berada

pada rentang nilai *varians populasi*, yaitu:

$$0.000982 < 0.002400 < 5.023392$$

Kesimpulannya bahwa tidak terdapat kesalahan selain kesalahan acak pada data pengamatan.

3. Uji *Global Test 3*



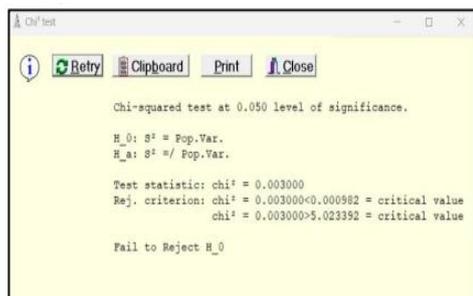
Gambar 8 Hasil Uji *Global Test* Epoch 3

Dari hasil report *Chi-Squared* Test dengan tingkat kepercayaan 95%, tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa H_0 diterima karena nilai *varians sampel* berada pada rentang nilai *varians populasi*, yaitu:

$$0.000982 < 0.001200 < 5.023392$$

Kesimpulannya bahwa tidak terdapat kesalahan selain kesalahan acak pada data pengamatan.

4. Uji *Global Test 4*



Gambar 9 Hasil Uji *Global Test* Epoch 3

Dari hasil report *Chi-Squared* Test dengan tingkat kepercayaan

95%, tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa H_0 diterima karena nilai *varians sampel* berada pada rentang nilai *varians populasi*, yaitu:

$$0.000982 < 0.003000 < 5.023392$$

Kesimpulannya bahwa tidak terdapat kesalahan selain kesalahan acak pada data pengamatan.

Hasil Perbandingan Tinggi

Tabel 1 Hasil Data Perbandingan Epoch 1 dan 2

Titik Pengamatan	Nilai Perbandingan 1 dan 2 (mm)	Parameter (mm)
TB 1	0.009	0.006
TB 2	0.008	
P 1	0.007	
TB 3	0.005	
P 2	0.004	
TB 4	0.003	
P 3	0.002	
TB 5	0.001	
TB 6	0.000	
TB 7	0.001	
TB 8	0.002	

Pada tabel diatas nilai perbandingan epoch 1 dan epoch 2. Jika nilai perbandingan > dari pada nilai parameter maka titik tersebut mengalami perubahan tinggi. Pada hal ini titik yang mengalami perubahan ialah titik TB 1 mengalami perubahan sebesar 3 mm, titik TB 2 mengalami perubahan 2 mm dan P1 mengalami perubahan 1 mm.

Tabel 2 Hasil Data Perbandingan
Epoch 1 dan 3

Titik Pengamatan	Nilai Perbandingan 1 dan 2 (mm)	Parameter (mm)
TB 1	0.004	0.004
TB 2	0.004	
P 1	0.004	
TB 3	0.004	
P 2	0.004	
TB 4	0.003	
P 3	0.003	
TB 5	0.003	
TB 6	0.003	
TB 7	0.003	
TB 8	0.003	

Pada tabel diatas nilai perbandingan epoch 1 dan epoch 3. Jika nilai perbandingan > dari pada nilai parameter maka titik tersebut mengalami perubahan tinggi. Pada hal ini titik pengamatan/pantau tidak ada mengalami perubahan tinggi.

Tabel 3 Hasil Data Perbandingan
Epoch 1 dan 4

Titik Pengamatan	Nilai Perbandingan 1 dan 2 (mm)	Parameter (mm)
TB 1	0.011	0.007
TB 2	0.010	
P 1	0.008	
TB 3	0.007	
P 2	0.005	
TB 4	0.004	
P 3	0.003	
TB 5	0.001	
TB 6	0.000	
TB 7	0.001	
TB 8	0.001	

Pada tabel diatas nilai perbandingan epoch 1 dan epoch 4. Jika nilai perbandingan > dari pada nilai

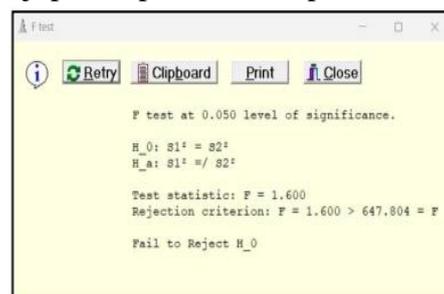
parameter maka titik tersebut mengalami perubahan tinggi. Pada hal ini titik yang mengalami perubahan ialah titik TB 1 mengalami perubahan sebesar 4 mm, titik TB 2 mengalami perubahan 3 mm dan P1 mengalami perubahan 1 mm.

Hasil Uji F

Uji *Fisher* dilakukan setelah melakukan hitung perataan untuk menguji nilai varian aposteriori (σ_0^2) terhadap varian aprior (σ_0^2). H_0 merupakan rumus sementara yang akan diuji kebenarannya, sedangkan H_a merupakan hipotesa tandingan dari hipotesa nol. Hipotesa nol ditolak jika : $\frac{\sigma_0^2}{\sigma_0^2} > F$. H_0 diterima

menyatakan bahwa penurunan tidak terjadi pada jaring pemantauan, sedangkan jika H_0 ditolak menunjukkan adanya pergeseran pada jaring pemantauan. Pada hal ini uji F dilakukan pada tabel perbandingan beda tinggi apakah data dari perbandingan terjadinya ada atau tidaknya penurunan pada jaring pemantau dengan hasil sebagai berikut.

1. Uji pada Epoch 1 dan Epoch 2

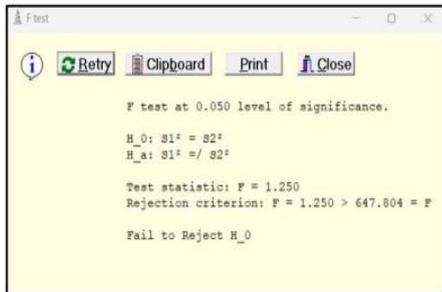


Gambar 10 Hasil Uji F Epoch
1 dan Epoch 2

Pada hasil report *Fisher* test menyatakan bahwa H_0 diterima, dapat dilihat bahwa nilai uji lebih kecil dari nilai batas yang didapatkan dari tabel *Fisher* yaitu 1.600. Hal ini

membuktikan bahwa pada tingkat kepercayaan 95% memberikan hasil data pengukuran tidak dihindangi kesalahan kasar.

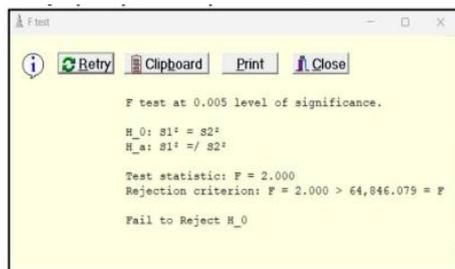
2. Uji pada Epoch 1 dan Epoch 3



Gambar 11 Hasil Uji F Epoch 1 dan Epoch 3

Pada hasil report *Fisher* test menyatakan bahwa H_0 diterima, dapat dilihat bahwa nilai uji lebih kecil dari nilai batas yang didapatkan dari tabel *Fisher* yaitu 1.250. Hal ini membuktikan bahwa pada tingkat kepercayaan 95% memberikan hasil data pengukuran tidak dihindangi kesalahan kasar.

3. Uji pada Epoch 1 dan Epoch 4



Gambar 12 Hasil Uji F Epoch 1 dan Epoch 4

Pada hasil report *Fisher* test menyatakan bahwa H_0 diterima, dapat dilihat bahwa nilai uji lebih kecil dari nilai batas yang didapatkan dari tabel *Fisher* yaitu 2.000. Hal ini

membuktikan bahwa pada tingkat kepercayaan 95% memberikan hasil data pengukuran tidak dihindangi kesalahan kasar.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang didapat yaitu sebagai berikut.

1. Pengukuran sipat datar pada instrumen jembatan Tunggulmas dengan menggunakan sipat datar mendapatkan ketelitian paling rendah 0.0012 mm pada pengukuran epoch 3 dan ketelitian paling tinggi sebesar 0.0030 mm pada pengukuran epoch 4.
2. Analisis pengukuran sipat datar pada titik yang berada di jembatan Tunggulmas memberikan informasi bahwa defleksi vertikal yang diakibat beban atau gaya dapat mempengaruhi titik lainnya. Dapat terlihat dari perbedaan tinggi selama 2 bulan, interval 14 hari di jembatan Tunggulmas, paling signifikan pada epoch 1 dan epoch 4 di titik TB 1, sebesar 4 mm. Faktor perubahan tinggi tersebut dikarenakan adanya beban atau gaya yang melintasi titik pada instrumen jembatan, membuat perubahan tinggi pada titik yang bersinambungan mengalami perubahan.

Daftar Pustaka

Abidin, H. Z., Jones, A., & Kahar, J. 2002. Survei dengan GPS. Pradnya Paramita.

Anjasmara, I. M. 2005. Sistem Tinggi. Pendidikan dan Pelatihan (DIKLAT) Teknis Pengukuran dan Pemetaan Kota.

Basuki, S. 2006. Ilmu Ukur Tanah. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Kahar, S. 2007. Diktat Pelengkap Kuliah Kerangka Dasar Vertikal. Semarang : Penerbit Teknik Geodesi UNDIP.
- Kuang, S. 1996. Geodetic Network Analysis and Optimal Design. Ann Arbor Press. Chelsea.
- Meng, X. (2002). Real-Time Deformation Monitoring of Bridges Using GPS/Accelerometers. England: The University of Nottingham.
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 38 tahun 2004 Tentang Jalan. Pada Menimbang bagian B. Pengertian Jalan.