

**PENGAMATAN LENDUTAN VERTIKAL JEMBATAN KALI BABON DENGAN
METODE *TERRESTRIAL LASER SCANNER***

Rizal Adhi Pratama¹⁾, Ir. Sutomo Kahar, M.Si²⁾, Andri Suprayogi, ST. MT³⁾

¹⁾ Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang

²⁾ Dosen Pembimbing I, ³⁾ Dosen Pembimbing II

ABSTRAK

Jembatan Kali Babon dibangun sekitar tahun 2005 dengan panjang 33,5 meter menggunakan tipe elastik. Jembatan akan mengalami dua macam deformasi yang berbeda, yaitu gerakan jangka panjang dan gerakan jangka pendek. Deformasi jembatan jangka panjang tidak dapat kembali ke bentuk aslinya, sedangkan deformasi jembatan jangka pendek atau yang biasa disebut (*deflection*) yaitu objek yang terdeformasi akan kembali ke posisi dan bentuknya semula jika terlepas dari seluruh muatannya.

Dalam Penelitian ini menggunakan Teknologi *FARO Laser Scanner Focus 3D* untuk memantau besarnya deformasi jangka pendek yang terjadi pada Jembatan Kali Babon. Jumlah titik yang diamati sejumlah tujuh titik sepanjang bentang panjang jembatan. Dalam pemantauan deformasi ini dilakukan *scanning* sebanyak sebelas kali untuk memperoleh selisih lendutan maksimal yang terjadi pada jembatan. Hasil proses *scanning* ini berupa *point clouds* dalam bentuk tiga dimensi. Pengolahan data pengukuran ini menggunakan *software scene 5.1*.

Teknologi *Terrestrial Laser Scanner* mampu mendeteksi lendutan vertikal Jembatan Kali Babon. Hasil pengukuran metode *terrestrial laser scanner* diperoleh lendutan maksimal sebesar 0.039 meter dengan lama pengamatan selama sembilan menit dalam sekali proses *scanning*. Berdasarkan perhitungan teknis pembebanan jembatan berdasarkan *bridge management system 1992* untuk beban hidup pada jembatan, maksimal toleransi lendutan vertikal yang diperbolehkan adalah 0.083 meter. Hal ini menunjukkan bahwa lendutan Jembatan Kali Babon masih memenuhi standar.

Kata Kunci : Jembatan Kali Babon, Terrestrial Laser Scanner, 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 suatu daerah dengan daerah yang lainnya. Melihat pentingnya fungsi dari suatu jembatan maka pembuatan jembatan harus memenuhi berbagai standar yang ada. Syarat yang harus terpenuhi dalam pembuatan suatu jembatan salah satunya adalah ketahanan jembatan tersebut dalam menahan beban baik

manusia maupun kendaraan yang melintas di jembatan tersebut serta kondisi kesetimbangan statis pada jembatan tersebut.

Jembatan kali babon dengan panjang kurang lebih 33,5 meter ini dibangun sekitar tahun 2005. Konstruksi jembatan itu ada dua macam, yakni kaku dan elastik. Jembatan kali babon menggunakan cara elastik, supaya saat dapat tekanan bisa menyebar ke punggung jembatan. Usia jembatan itu kini kurang lebih delapan tahun, secara konstruksi mulai dari tubuh sampai penyangga jembatan masih sangat kuat. Keberadaan jembatan tersebut masih 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 akan mengalami 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. Deformasi jembatan jangka panjang tidak dapat kembali ke bentuk aslinya, sedangkan deformasi jembatan jangka pendek atau yang biasa disebut (*deflection*) yaitu objek yang terdeformasi akan kembali ke posisi dan bentuknya semula jika terlepas dari seluruh muatannya.

Rekonstruksi yaitu suatu kegiatan penyusunan kembali struktur bangunan yang rusak atau runtuh, yang pada umumnya bahan-bahan bangunan yang asli sudah banyak yang hilang. Konservasi yaitu memelihara dan melindungi tempat-tempat yang indah dan berharga, agar tidak hancur atau berubah sampai batas-batas yang wajar. Dalam hal ini, konservasi dan rekonstruksi sangat membutuhkan tingkat ketelitian dan kedetilan yang tinggi. Pendokumentasian tersebut tidak hanya terbatas untuk mengetahui dimensi geometri bangunan, namun juga terkait dengan seberapa besar perubahan dimensi geometri bangunan yang terjadi dalam kurun waktu tertentu.

Pemanfaatan teknologi *Terrestrial Laser Scanner* memberikan ketelitian yang sangat tinggi untuk pendokumentasian tampak muka bangunan. Teknologi ini dinilai sangat efisien jika dibandingkan dengan teknologi pengukuran lainnya. Metode pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* mempunyai konsep yang hampir sama dengan metode fotogrametri jarak dekat. Tentunya yang membedakan adalah proses *scanning* dalam *Terrestrial Laser Scanner*. Untuk daya jangkauan alat, *Terrestrial Laser Scanner* mempunyai jangkauan maksimal 6000 meter (tergantung alat) dan hasil pengukuran berupa *point cloud* dalam bentuk 3 dimensi. Untuk pengolahan data, menggunakan *software Scene 5.1*.

Oleh sebab itu, teknologi *Terrestrial Laser Scanner* saat ini telah berkembang di bidang pemetaan dengan kelebihan yang ditawarkan oleh alat tersebut adalah kecepatan pengambilan data yang tinggi, tingkat akurasi yang baik, ekonomis, dan kenampakan data hasil pengukuran yang mendekati dengan objek aslinya (Pflipsen, 2006).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah metode *Terrestrial Laser Scanner 3D* mampu mendeteksi lendutan vertikal jembatan Kali Babon?
2. Apakah lendutan vertikal Kali Babon tahun 2013 masih memenuhi standar kelayakan?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian dalam penyusunan tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan menggunakan alat *FARO Laser Scanner Focus 3D*
2. Proses pengolahan data 3D ini menggunakan *Software Scene 5.1*
3. Study deformasi dilakukan pada bentang jembatan Kali Babon arah Semarang-Demak terhadap posisi vertikalnya.
4. Hasil penelitian ini adalah tampilan 3D jembatan dan 3D Lendutan Jembatan jembatan Kali Babon serta hubungannya dengan aktifitas lalu lintas yang melintasinya.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menerapkan metode *Terrestrial Laser Scanner 3D* untuk pemodelan Jembatan Kali Babon dan diolah dengan perangkat lunak *Scene 5.1*.
2. Analisa deformasi yang dilakukan pada bentang jembatan Kali Babon terhadap posisi vertikalnya dengan hasil *Scan Laser Scanner*.
3. Analisa lendutan vertikal Kali Babon tahun 2013 apakah masih memenuhi standar kelayakan.

1.5 Manfaat

Adapun yang menjadi manfaat dari penelitian tugas akhir ini diharapkan pengukuran menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* dapat dijadikan solusi dalam pekerjaan monitoring konservasi bangunan yang bersifat detail dan mempunyai tingkat keakurasian tinggi.

2. STUDI PUSTAKA

Berdasarkan Pasal 86 ayat (3) PP No. 34 Tahun 2006 tentang Jalan. Definisi Jembatan secara umum adalah suatu konstruksi yang dibangun untuk melewati suatu massa atau *traffic* lewat atas suatu penghalang atau rintangan seperti sungai, rel kereta api ataupun jalan raya.

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang, 1996). Jembatan akan mengalami dua macam deformasi yang berbeda, yaitu gerakan jangka panjang dan gerakan jangka pendek/lendutan. Lendutan itu harus dibatasi, Karena itu menyangkut masalah kenyamanan, seni bahkan keamanan. Berdasarkan *Bridge Management System 1992*, toleransi lendutan jembatan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Delta = \frac{L}{400} \geq \Delta'$$

Keterangan :

Δ = Lendutan ijin (m)

Δ' = Lendutan yang terjadi (m)

3D Laser Scanner atau lebih dikenal dengan sebutan *laser scanner* merupakan instrumen analisis objek *real world* yang dapat mengumpulkan data permukaan dan bentuk objek kemudian ditampilkan dalam bentuk 3 dimensi. Tujuan dari suatu *3D laser scanner* adalah untuk menciptakan *point clouds* dari permukaan objek dalam bentuk geometrik. Hasil *scanning* berupa *points clouds* ini harus dibawa ke dalam suatu sistem referensi umum, suatu proses yang biasa disebut registrasi, lalu digabungkan untuk menciptakan suatu model yang lengkap.

3. METODOLOGI

3.1 Alat dan Bahan

a. *Hardware* :

1. Komputer Asus dengan *Processor Intel Core i7-3770 @3.40GHz (8CPUs)*, *3.4GHz RAM 32768 MB*, *VGA NVIDIA Quadro 2000*, *Hardisk 500 GB*, *Sistem operasi Windows 7 Ultimate 64-bit*

b. *Software* :

- 1) *Scene version 5.1*
- 2) *Topcon tools v.7.5*
- 3) *Microsoft Word 2007*
- 4) *Microsoft Excel 2007*
- 5) *Ms. Visio 2007*

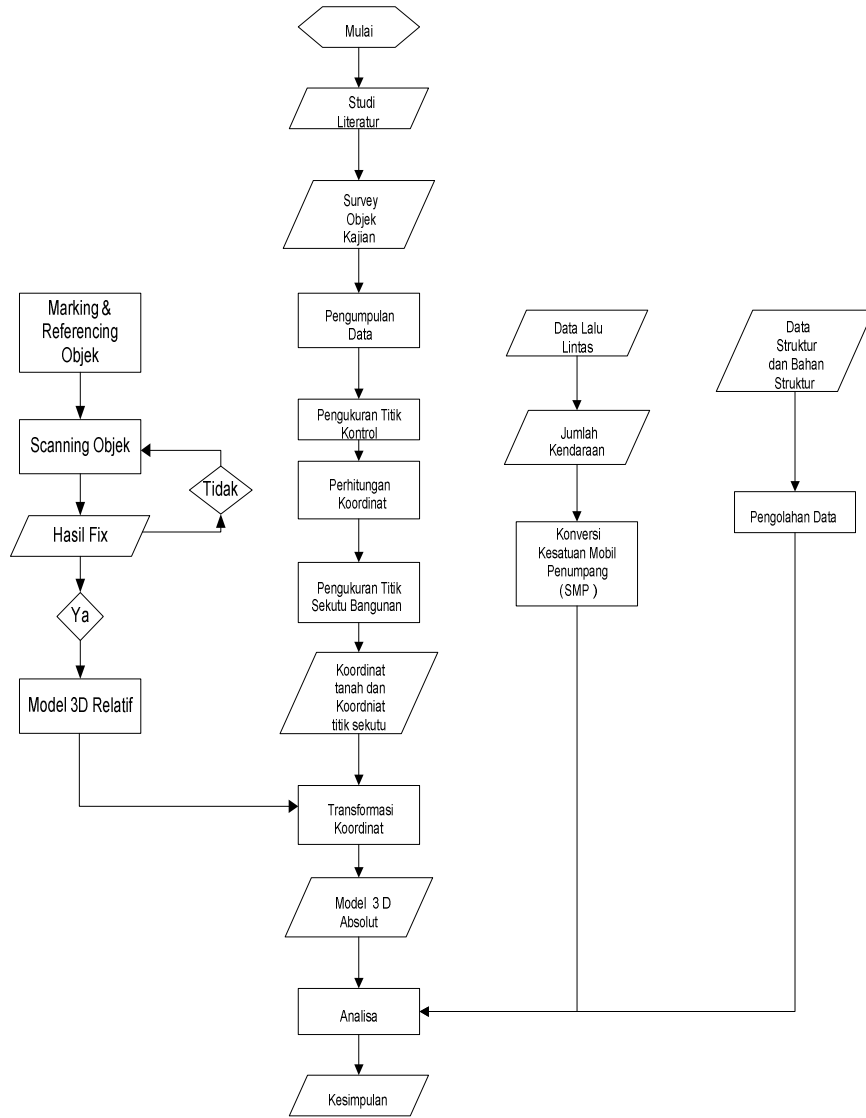
c. Data yang digunakan dalam analisis "*Pengamatan Lendutan Vertikal Jembatan Kali Babon Dengan Metode Terrestrial Laser Scanner*" antara lain:

- 1) *Data Scanning Terrestrial Laser Scanner* dengan interval perekaman 9 menit.
- 2) *Data ukuran dari Electronic Total Station.*
- 3) *Data perencanaan struktur dan struktur bahan Jembatan Kali Babon.*

3.2 Persiapan

Pada tahap ini akan dilakukan beberapa persiapan, antara lain pengumpulan data-data yang terkait dengan pembuatan Tugas Akhir ini, persiapan peralatan, dan perijinan. Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metodologi yang digunakan dalam penelitian ini, dimana hasil akhirnya adalah analisis lendutan yang terjadi pada Jembatan Kali Babon akibat aktivitas lalu lintas yang terjadi selama pengamatan. Berikut adalah diagram alir dari penelitian ini.

3.3 Pelaksanaan

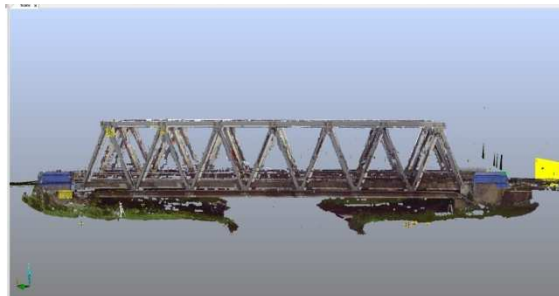


4. HASIL DAN PEMBAHASAN

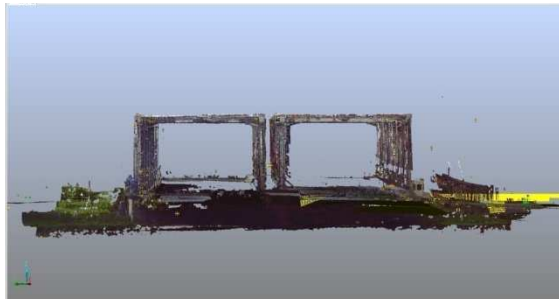
4.1 Tampilan 3D Jembatan Kali Babon

Pengolahan data 3D Jembatan ini dilakukan dengan *software scene 5.1*. Data yang diolah dalam penelitian ini berasal dari pengambilan data pada tanggal 20-21 Juli 2013. Pada pengukuran tampak 3D Jembatan Kali Babon ini dilakukan 5 kali proses *scanning* dengan 5 posisi yang berbeda untuk mendapatkan hasil 3D dari berbagai posisi dari jembatan. Berikut adalah hasil pengolahan data *scanning* data penampakan 3D jembatan:

1. Tampilan 3D Jembatan Kali Babon sisi 1



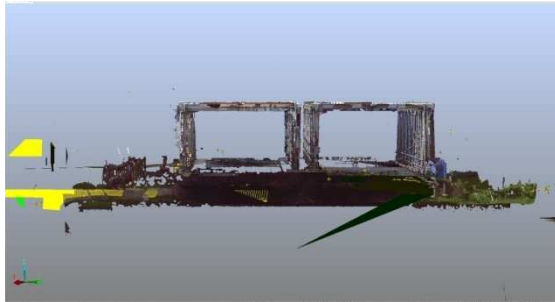
2. Tampilan 3D jembatan sisi 2



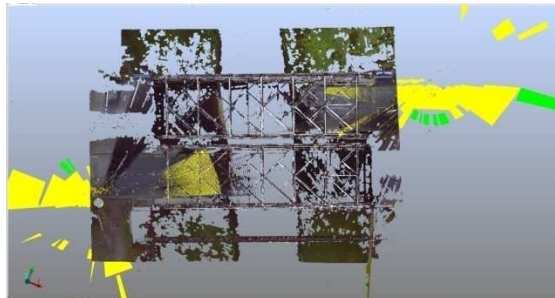
3. Tampilan 3D jembatan sisi 3



4. Tampilan 3D jembatan sisi 4



5. Tampilan 3D jembatan sisi 5

**4.2 Tampilan 3D lendutan vertikal Jembatan Kali Babon**

Pada *scanning* lendutan 3D Jembatan Kali Babon ini dilakukan 11 kali *scanning* dengan posisi yang sama untuk mendapatkan hasil 3D jembatan untuk mengamati perubahan lendutan yang terjadi. Berikut adalah hasil *scanning* 3D pengamatan lendutan jembatan:

**4.3 Registrasi Data**

Proses registrasi merupakan proses yang sangat penting dalam pengolahan data pengukuran *Terrestrial Laser Scanner*. Proses ini merupakan penggabungan dari beberapa *scanworld* menjadi satu sistem koordinat. Berikut adalah hasil registrasi data dari pengamatan pertama yang didapatkan dalam penelitian ini:

Tabel 4.1 Hasil koordinat registrasi data

No Checkerboard	x	y	Z
1	7.786	-9.360	29.731
2	3.070	-11.058	29.745
3	-1.585	-12.746	29.746
4	-6.276	-14.441	29.704
5	-10.940	-16.113	29.684
6	-15.672	-17.817	29.675
7	-20.479	-19.572	29.625

Dalam proses registrasi dengan menggunakan *software scene 5.1* koordinat yang didapatkan berupa koordinat lokal, oleh karena itu harus dilakukan proses lebih lanjut untuk mendapatkan koordinat *Universal Transfer Mercator* (UTM), berikut adalah hasil konversi koordinat lokal ke dalam koordinat UTM:

Tabel 4.2 Hasil konversi koordinat

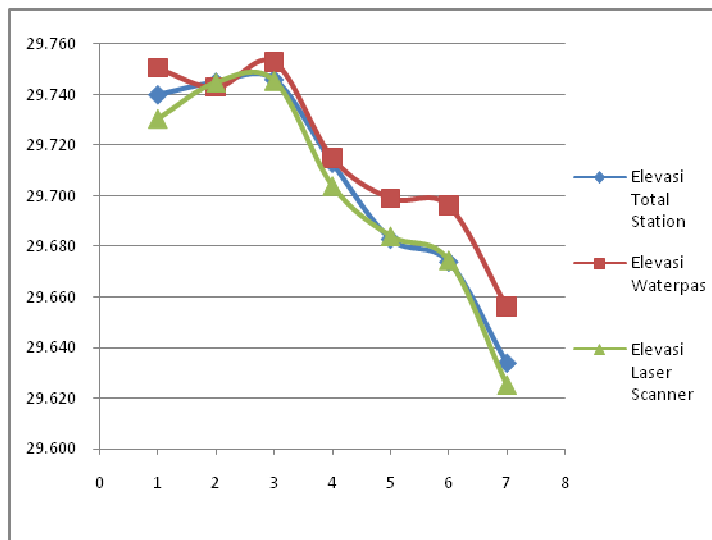
No Checkerboard	x	y	z
1	443214.189	9231836.158	29.731
2	443209.473	9231834.460	29.745
3	443204.818	9231832.772	29.746
4	443200.127	9231831.077	29.704
5	443195.463	9231829.405	29.684
6	443190.731	9231827.701	29.675
7	443185.924	9231825.946	29.625

4.4 Hasil Elevasi Jembatan

Dalam penelitian ini dilakukan cek elevasi jembatan, dengan asumsi bahwa jembatan kosong dan tidak terjadi lendutan. Alat yang digunakan untuk membandingkan elevasi jembatan dalam penelitian ini adalah total station, waterpas, dan laser scanner pada pengamatan hasil scan pertama, berikut adalah hasil perbandingan elevasi Jembatan Kali Babon yang didapatkan:

Tabel 4.3 Eevasi Jembatan

Elevasi Jembatan Kali Babon			
<i>Checkerboard</i>	<i>Total Station</i>	<i>Waterpas</i>	<i>Laser Scanner</i>
1	29,740	29,751	29,731
2	29,745	29,743	29,745
3	29,746	29,753	29,746
4	29,713	29,715	29,704
5	29,683	29,699	29,684
6	29,674	29,696	29,675
7	29,634	29,656	29,625



Hasil dalam pengamatan perbandingan elevasi Jembatan Kali Babon ini didapatkan hasil elevasi yang hampir sama pada tiap *checkerboard*nya, dengan rata-rata perbedaan elevasi adalah kurang dari 0,02 m. Selisih terbesar yang didapatkan dalam pengamatan ini adalah pada *checkerboard* 7 dengan menggunakan *laser scanner* dan *waterpas* yaitu sebesar 0,031 m atau ± 3 cm.

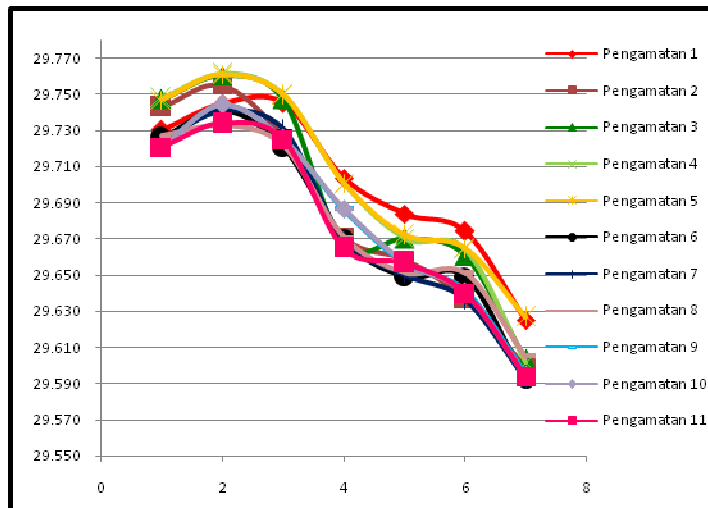
4.5 Hasil Pengamatan Lendutan Vertikal

Dalam pengamatan lendutan vertikal jembatan yang dilakukan, hasil yang didapatkan adalah perubahan elevasi pada *checkerboard* setiap pengamatan yang dilakukan dan di amati perubahan elevasi yang terjadi, berikut adalah hasil elevasi yang diamati tiap pengamatan yang dilakukan:

Tabel 4.4 Data perubahan elevasi yang terjadi pada setiap pengamatan

No checkboard	Elevasi Data Scan										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	29.731	29.743	29.747	29.748	29.747	29.726	29.725	29.727	29.721	29.721	29.721
2	29.745	29.755	29.761	29.762	29.761	29.742	29.741	29.733	29.744	29.745	29.734
3	29.746	29.726	29.748	29.750	29.750	29.721	29.731	29.722	29.725	29.726	29.725
4	29.704	29.671	29.667	29.701	29.701	29.670	29.670	29.671	29.687	29.687	29.665
5	29.684	29.659	29.670	29.671	29.672	29.649	29.650	29.652	29.657	29.657	29.657
6	29.675	29.637	29.661	29.664	29.665	29.649	29.637	29.651	29.642	29.641	29.640
7	29.625	29.599	29.604	29.602	29.627	29.592	29.593	29.605	29.596	29.595	29.594

Berdasarkan data perubahan elevasi lendutan jembatan maka dapat dilihat grafik perubahan lendutan jembatan pada tiap pengamatan



4.6 Data Kendaraan

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kendaraan yang melintasi Jembatan Kali Babon selama dilakukan proses *scanner*. Pada pengukuran yang dilakukan pada tanggal 20 Juli 2013. Proses *scanner* dilakukan selama 11 kali scan, dengan rentang waktu sekali *scanner* selama 9 menit. Berikut adalah data kendaraan hasil pengamatan yang dilakukan pukul 10.20:

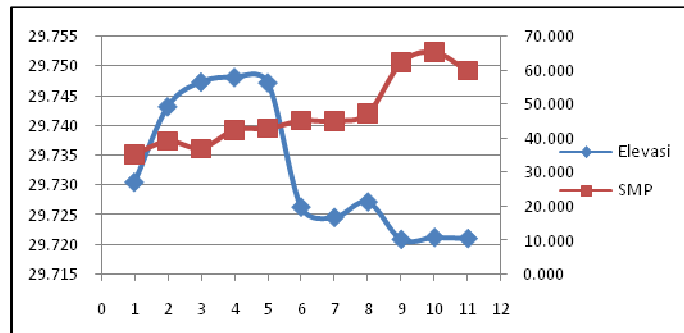
Tabel 4.5 Nilai SMP berdasarkan data kendaraan yang teramati

Jenis Kendaraan	Koef SMP	Data Kendaraan Scan I									Jumlah	Rata/Minut	Nilai SMP	SMP
		Menit												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9				
Motor (MC)	0.5	25	20	10	26	9	19	16	18	26	169	18.778	9.389	35.156
Motor (LV)	1.0	5	8	8	19	2	14	8	9	10	83	9.222	9.222	
Mini Bus/Truk (MEV)	1.5	1	4	5	2	3	11	7	4	6	43	4.778	7.167	
Bus Besar (LT)	1.6	0	0	0	1	0	0	0	3	0	4	0.444	0.711	
Truk Besar/Container (LB)	2.0	4	6	6	1	9	3	4	3	3	39	4.333	8.667	

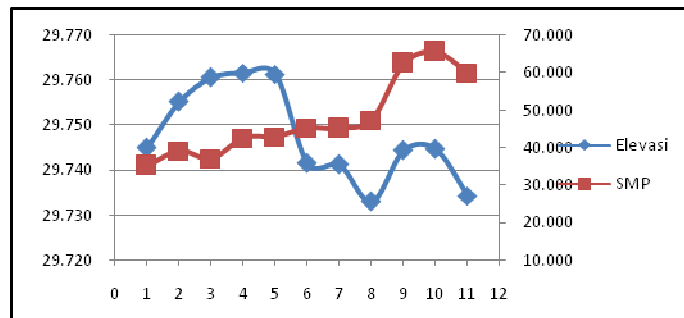
4.7 Analisis Lendutan Terhadap Aktivitas Lalu Lintas

Berdasarkan data analisis lendutan yang terjadi dan data kendaraan yang telah didapatkan, maka dapat dilakukan analisis lendutan yang terjadi terhadap aktivitas lalu lintas yang terjadi selama pengukuran. Berikut adalah analisis lendutan terhadap aktivitas lalu lintas yang terjadi:

1. Analisa lendutan terhadap aktivitas lalu lintas pada *checkerboard 1*



2. Analisa lendutan terhadap aktivitas lalu lintas pada *checkerboard 2*



Berdasarkan grafik analisa lendutan terhadap aktivitas lalu lintas dapat diamati bahwa aktivitas lalu lintas mempengaruhi nilai lendutan yang terjadi pada jembatan pada tiap pengamatan.

4.8 Analisis Hasil Lendutan Terhadap Toleransi Lendutan Ijin

Tabel 4.6 Analisis lendutan berdasarkan toleransi lendutan ijin

Lendutan Maksimal Yang Terjadi		
<i>Checkerboard 1</i>	0,027 m	Aman
<i>Checkerboard 2</i>	0,029 m	Aman
<i>Checkerboard 3</i>	0,029 m	Aman
<i>Checkerboard 4</i>	0,039 m	Aman
<i>Checkerboard 5</i>	0,035 m	Aman
<i>Checkerboard 6</i>	0,038 m	Aman
<i>Checkerboard 7</i>	0,034 m	Aman

Berdasarkan *Bridge Management system 1992*, toleransi lendutan yang diijinkan adalah 0,0837 m. Sedangkan lendutan yang terjadi, berdasarkan tabel 4.3 hasil pengamatan Jembatan Kali Babon dengan metode *Terrestrial Laser Scanner* pada tahun 2013 dengan lendutan minimal yang teramati pada *checkerboard 1* yaitu 0,027 m dan lendutan maksimal yang teramati pada *checkerboard 4* sebesar 0,039 m, masih memenuhi toleransi lendutan yang diijinkan.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. *Terrestrial Laser Scanner* dapat digunakan untuk pemodelan jembatan. Penentuan titik berdiri alat (*station*) *Terrestrial Laser Scanner* sangat mempengaruhi kenampakan suatu objek. Apabila banyak halangan terhadap objek, maka hasil pengukuran akan mempunyai banyak *noise*, untuk itu perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut. Pengukuran 3D jembatan menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* merupakan solusi dalam pendokumentasian yang digunakan sebagai acuan rekonstruksi dan konservasi.
2. Analisis berdasarkan data struktur dan bahan struktur jembatan dengan rumus $\Delta = \frac{L}{400}$ $\geq \Delta'$ didapatkan hasil toleransi lendutan jembatan yang diijinkan adalah 0,0837 m, sedangkan dalam pengukuran *laser scanner* ini didapatkan hasil lendutan maksimal yang terjadi pada posisi *checkerboard 4* sebesar 0,039 m. Lendutan yang terjadi pada Jembatan Kali Babon pada tahun 2013 masih memenuhi standar kelayakan dan masih aman untuk digunakan.

5.2 Saran

1. Pengukuran objek menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* sebaiknya dilakukan pada pagi sampai sore hari, karena akan mempengaruhi tingkat kecerahan hasil pemotretan objek yang berdampak pada hasil *scanning* objek.
2. Hindari posisi pengukuran objek yang menentang matahari karena dapat menimbulkan efek *flare* (cahaya masuk dan menyebar di dalam lensa melalui mekanisme yang tidak diharapkan).
3. Posisi berdiri alat sangat menentukan kualitas *scanning* objek. Untuk itu usahakan hindari halangan yang mengganggu objek (hindari adanya *noise*).

4. *Laser scanner* tidak efektif jika digunakan pada area pengukuran kecil dengan objek yang memiliki sedikit detail yang perlu diambil.
5. Pelaksanaan *scanning* sebaiknya dilakukan berkala agar dapat dilakukan analisis *time-series*.
6. Penelitian lebih lanjut mengenai alat ini terutama mengeksplorasi masalah resolusi dan akurasi dari alat ini sangat disarankan.
7. Penggunaan *FARO Focus 3D* untuk aplikasi lainnya seperti menscan *heritage*, daerah pertambangan, *digital terrain model*, dll.
8. Peninjauan kembali nilai Satuan Mobil Penumpang (SMP), seharusnya lebih disesuaikan dengan berat kendaraan sebenarnya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Afrizal, Hiki. 2011. *Perencanaan Jembatan Pemali Ruas Jaan Brebes-Tegal By Pass STA 4+780*. Semarang: Skripsi Teknik Sipil Universitas Diponegoro
- Anonim, 2011. *Manual Book FARO Laser Scanner Focus 3D*. Jerman
- Anonim, 2012. *User Manual Scene 5.1*. Jerman
- Bu, Lijing, dkk. 2008. *Application Of Point Clouds From Terrestrial 3D Laser Scanner For Deformation Measurements*. China: School Of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin, China.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2005. *RSNI Pedoman Perencanaan Pembebanan Jembatan Jalan Raya*, Penerbit Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta
- Departemen Pekerjaan Umum, 1992. *Bridge Design Manual Volume 1*
- Dwi, Dinar. 2009. *Pemantauan Gerakan Vertikal Jembatan Ampera Dengan Menggunakan GPS*. Palembang: Skripsi Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.
- Firdaus, Wildan. 2008. *Sistem dan Aplikasi Laser Scanner (Studi Kasus: Pengukuran Konstruksi Lepas Pantai)*. Bandung: Skripsi Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung
- Majid, Zulkepli, dkk. 2011. *Three Dimensional Modelling Of Building Use FARO Laser Scanner And Autocad 2011 Software*. Malaysia: Faculty of Geoinformation and Real Estate, Universiti Teknologi Malaysia.
- Najamuddin. 2012. *Pengamatan Lendutan Vertikal Jembatan Kali Babon Dengan Metode GNSS Kinematik*. Semarang: Skripsi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.

- PU Binamarga, Sweroad, dan PT Bina Karya, 1997. Manual Kapasitas Jalan Indonesia
- Tarwina, Egisa. 2011. *Studi Deformasi Jembatan Suramadu Akibat Pengaruh Traffic Load*. Surabaya: Skripsi Jurusan Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS
- Yuniar, Pitto. 2012. *Aplikasi Terrestrial Laser Scanner Untuk Pemodelan Tampak Muka Bangunan (Studi Kasus: Gedung PT. Almega Geosystems, Kelapa Gading-Jakarta)*. Semarang: Skripsi Teknik Geodesi Universitas Diponegoro.
- Zaenudin. *Diktat Struktur Jembatan TKS 3647*. Teknik Sipil Universitas Bojonegoro.