



Pemodelan 3D Jembatan Cisomang Menggunakan Metode *Terrestrial Laser Scanner*

Leonardo Siburian¹, Irwan Gumilar¹, Dwi Wisayantono¹

¹ Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi
Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

Abstrak. Akhir Desember 2016 diberitakan pembatasan jumlah kendaraan dikarenakan adanya kerusakan struktur jembatan Cisomang yaitu pergeseran *pier* jembatan yang menyebabkan kerusakan berupa keretakan, pergeseran objek struktur, dan deformasi. Untuk mengatasi masalah tersebut dilakukan perbaikan jembatan yang salah satunya adalah pemantauan jembatan, untuk mengetahui kondisi jembatan selama perbaikan. Salah satu bentuk pemantauan perbaikan jembatan Cisomang adalah menggunakan metode *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) sebagai analisis ukuran teliti struktur jembatan. Akuisisi data TLS dilakukan selama tiga hari menggunakan TLS Topcon GLS 2000 terdiri 55 data scan yaitu sejumlah 361.183.804 *point clouds*. Pengolahan data TLS dilakukan pada perangkat lunak MAPTEK i-site, yang mencakup registrasi antara target, filtering, georeferensi, dan *meshing*. Pengolahan data menghasilkan model tiga dimensi jembatan Cisomang yang digunakan sebagai dokumentasi objek struktur jembatan dan mendeteksi deformasi sebagai bahan pertimbangan bagi pengambil keputusan. Kualitas data yang dihasilkan dari proses registrasi data *point clouds* adalah 0.02 m. Dari pengukuran TLS, didapatkan perbandingan ukuran dengan *As Built Drawing* (ABD) pada tahun 2005, misalkan adanya pergerakan terbesar yang terjadi diantara *pier* P2A dan *pier* P3A sebesar 69,4 cm dan rotasi sebesar 0°53'23'' pada sisi timur *pier* P2A.

Kata Kunci: Pemodelan tiga dimensi, jembatan Cisomang, *Terrestrial Laser Scanner* (TLS), *point clouds*.

1 Pendahuluan

Dalam upaya perbaikan jembatan dilakukan berbagai metode untuk mempertahankan keadaan struktur jembatan karena keadaan jembatan yang saat ini tidak dapat lagi diperbaiki seperti semula melainkan dilakukan pelapisan pilar (*jacketing*), penambahan pasak bumi disekitar pondasi jembatan, pemasangan penahan baja (*strutting*) penahan pergerakan antar pilar dan banyak metode lainnya. Selama proses perbaikan dilakukan monitoring menggunakan metode RTS (*Robotic Total Station*), sipat datar, *Elektronik Total Station* (ETS), dan *Reflectorless* yang menghasilkan titik koordinat yang menggambarkan pergeseran tiang jembatan secara kontinyu.



Gambar 1 Jembatan Cisomang KM.100 Tol Cipularang (sumber: PT. LAPI ITB)

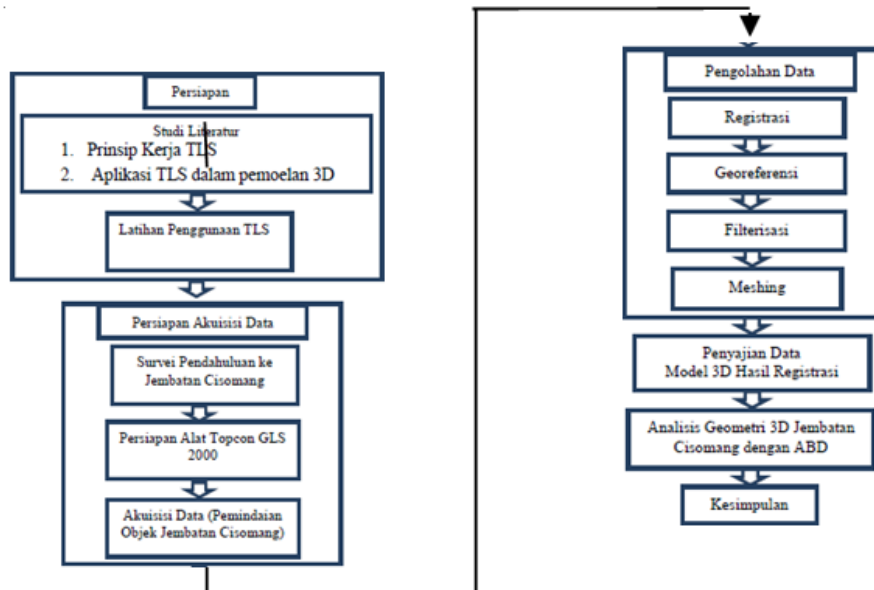
Adanya akuisisi data tambahan menggunakan TLS (*Terrestrial Laser Scanner*) dapat menggambarkan keadaan jembatan Cisomang sebenarnya secara tiga dimensi, sehingga lebih mudah untuk menganalisis penyebab dan dampak dari pergerakan jembatan. Data yang diperoleh dalam proses pemindaian tersebut berupa kumpulan awan titik (*point clouds*) dalam jumlah besar. *Point clouds* yang dihasilkan mewakili permukaan objek yang dipindai, yang kemudian dapat dimodelkan, ditampilkan dan dimanipulasi di layar komputer (Rüther dkk., 2009). Hasil yang diperoleh dari proses pemodelan dengan TLS tentu akan jauh lebih baik apabila dibandingkan dengan menggunakan alat yang bersifat analog berupa *theodolite* atau bahkan menggunakan *Electronic Total Station* (ETS) sekalipun yang akan dibuktikan pada bagian selanjutnya. Selain itu, penggunaan TLS untuk pemodelan tiga dimensi juga lebih mudah dibandingkan dengan ETS dan *theodolite*.

Dalam penelitian ini melalui model tiga dimensi jembatan Cisomang yang terbentuk melalui proses pengolahan data hasil akuisisi dapat memberikan informasi ukuran jarak maupun sudut dari *pier*. Hasil ukuran digunakan untuk menghitung deformasi yang terjadi pada jembatan Cisomang berupa perubahan bentuk, kemiringan, dan rotasi pada tiang jembatan dan tak terlepas juga dari kualitas model yang dihasilkan.

2 Materi dan Metode

2.1 Metodologi

Dalam penyusunan penelitian ini, metodologi penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut: Persiapan, Persiapan Akuisisi Data, Akuisisi Data, Pengolahan Data, Pembuatan Model Tiga Dimensi, Penyajian Data, Analisis Hasil dan Kesimpulan. Secara garis besar metodologi ditunjukkan oleh diagram alir sesuai dengan Gambar 2.

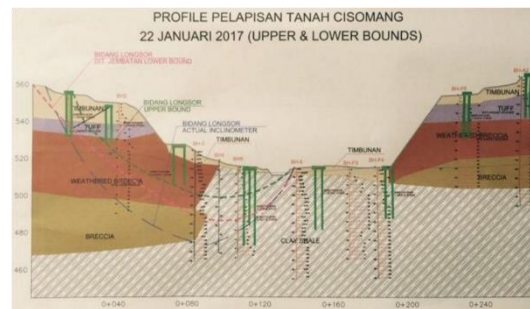


Gambar 2 Metodologi pengukuran TLS

2.2 Teori Dasar

Berdasarkan Barker dan Puckett (1997), konstruksi jembatan girder prategang umumnya digunakan untuk bentangan yang pendek, yaitu maksimum 40 hingga 45 meter. Dengan batasan panjang bentang tersebut, dibutuhkan banyak *pier* tinggi untuk menumpu struktur *girder* yang ada, bilamana sistem tersebut digunakan untuk menjembatani lembah sungai Cisomang. Khusus untuk jembatan Cisomang ini, *pier* yang dibutuhkan dapat mencapai ketinggian 50 meter. Dengan *pier* seperti ini, deformasi lateral yang dapat terjadi pada kondisi gempa akan sangat besar sehingga menggunakan sistem *simple beam* (balok sederhana) menjadi kurang layak secara teknis, khususnya terkait dengan kebutuhan sistem bearing yang harus mampu mengakomodasi gaya dan deformasi yang terjadi pada tumpuan serta kebutuhan kekakuan yang tinggi untuk mencapai stabilitas yang memadai pada *pier* tinggi. Konstruksi *girder* untuk jembatan dengan *pier* tinggi (yaitu *pier* dengan ketinggian melebihi 40 meter) umumnya dibuat menerus atau integral dengan struktur *pier*-nya.

Jembatan Cisomang diberitakan adanya pergerakan antar tiang jembatan sehingga terjadi kerusakan struktur jembatan yang mengharuskan dilakukan perbaikan. Berikut adalah sedikit penjelasan tentang masalah tersebut yang ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3 Profil lapisan tanah Cisomang (sumber: PT. LAPI ITB)

Pada bagian *pier* P2 dan P3 dari data Geologi terdapat lapisan *Clay Hale* ditandai adanya mineral *monmorilnite*, yang memiliki sifat *swelling* dan *slaking*. *Swelling* adalah sifat menyerap air sehingga mengembang sedangkan *slaking* adalah lapisan yang akan retak setelah air keluar dari lapisan tersebut. Hal ini ditandai dengan banyaknya longsor kecil di permukaan topografi jembatan.

Pada *Laser Ranging* pengukuran jarak dilakukan pada satu titik dengan memancarkan gelombang cahaya tampak sampai dipantulkan kembali oleh objek yang dipetakan, kemudian diterima oleh alat sehingga alat dapat menentukan waktu tempuh gelombang dari mulai dipancarkan sampai diterima kembali. Secara sederhana penghitungan jarak dengan metode ini biasa disebut sebagai perhitungan jarak berdasarkan waktu tempuh gelombang yang dipancarkan atau berdasarkan *Time-ofFlight* (TOF). Persamaan matematis untuk menghitung jarak dengan menggunakan laser ditunjukkan pada Persamaan dibawah ini (Shan dan Toth, 2009).

$$R = v.t/2 \quad (1)$$

dimana

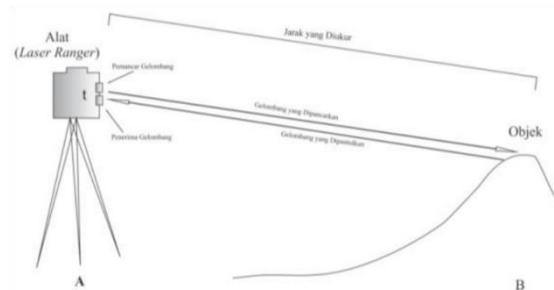
R : jarak (m)

v : kecepatan rambat gelombang (3×10^8 m/s)

t : waktu tempuh gelombang yang terukur (s)

Kecepatan rambat gelombang cahaya tampak di udara telah diketahui sebesar 299.792.458 m/detik atau sekitar 3×10^8 m/s sehingga ketelitian jarak yang didapat ditentukan oleh ketelitian pengukuran waktu, akibatnya setiap alat yang menggunakan laser untuk menentukan jarak dilengkapi dengan penghitung waktu yang sangat akurat, karena untuk mendapatkan ketelitian jarak 1 mm dibutuhkan alat yang dapat mengukur waktu tempuh sampai 3.33 piko-detik atau 3×10^{-12}

detik (Quintero dkk., 2008). Ilustrasi pengukuran jarak titik B terhadap titik A dengan menggunakan laser ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Konsep pengukuran jarak menggunakan laser (Shan dan Toth, 2009)

2.3 Akuisisi Data

Akuisisi TLS jembatan Cisomang melibatkan 54 data scan yang memiliki ukuran data sebesar 22 GB, jumlah semua *point clouds* adalah 361.183.804. Untuk memastikan pengukuran TLS yang dilakukan, terdapat data pembanding yaitu data pengukuran dengan ETS yang diukur pada bulan Januari 2017.

2.4 Pengolahan Data

2.4.1 Registrasi

Registrasi merupakan tahapan paling awal untuk mengabungkan *point clouds* hasil pemindaian dari semua *station*. Penggabungan ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan data *point clouds* secara utuh dari objek yang dipindai dengan sistem koordinat yang seragam.

2.4.2 Georeferensi

Georeferensi adalah proses pemberian koordinat pada semua *point clouds* hasil pemindaian permukaan jembatan Cisomang. Pada pemindaian data terdapat 12 *scan* data yang memiliki koordinat yang tersebar. Dari referensi koordinat tersebut dilakukan transformasi koordinat, yaitu transformasi (perubahan) suatu sistem koordinat ke sistem koordinat yang lain. Transformasi koordinat umumnya digunakan untuk merubah model ke sistem koordinat peta tertentu.

2.4.3 Filtering

Filtering merupakan merupakan proses lanjutan yang dilakukan setelah melakukan proses registrasi. Proses *filtering* dilakukan untuk memilah antara

point clouds yang ingin dipertahankan dan *point clouds* yang ingin dihilangkan. *Point clouds* yang ingin dihilangkan disebut dengan *noise* atau derau. Derau ini berupa *point clouds* yang membentuk objek-objek lain selain objek pengukuran, misalnya pohon, manusia, mobil, dan lainlain. Pada penelitian ini, pemindaian yang dilakukan bertujuan untuk menghasilkan detail permukaan jembatan Cisomang, sehingga objek-objek lain yang bukan merupakan bagian dari objek jembatan Cisomang, akan dianggap sebagai derau. Derau-derau yang terdapat pada pemindaian jembatan Cisomang, meliputi jeruji besi, pohon, ranting dan daun, serta manusia. Kualitas *filtering* yang dihasilkan bergantung pada kecermatan dari *user* dalam melakukan *filtering*. Jumlah *point clouds* sesudah proses *filtering* adalah 143.369.603 titik.

2.4.4 Meshing

Meshing merupakan proses pemodelan tiga dimensi. *Meshing* merupakan keseluruhan proses dalam upaya mengubah data *point clouds* hasil pemindaian menjadi bentuk yang solid agar menyerupai bentuk asli dari objek yang dipindai. Prinsip kerja proses ini adalah dengan menghubungkan antar titik yang terdapat dalam data *point clouds* sehingga membentuk *Triangulated Irregular Network* (TIN).

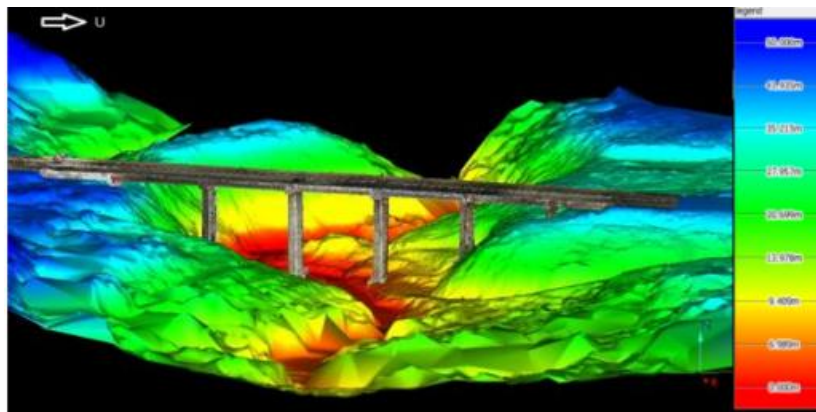
3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Model Tiga Dimensi Jembatan Cisomang

Setelah melalui pengolahan data, dihasilkan model tiga dimensi jembatan Cisomang beserta dengan model topografinya. Dengan demikian dilakukan analisis geometri untuk memastikan hasil ukuran ukuran TLS terhadap peta topografi yang diukur dengan ETS dan untuk mengetahui besarnya deformasi yang terjadi pada struktur jembatan.

3.1.1 Model Tiga Dimensi Jembatan dan Topografi

Setelah melalui tahap *meshing* terbentuklah model tiga dimensi jembatan Cisomang yaitu pada Gambar 5. Dari model tersebut akan dilakukan analisis berupa jarak, kemiringan, rotasi dan juga korelasi perbedaan ukuran dengan bentuk fisik ukuran jembatan.



Gambar 5 Model tiga dimensi jembatan Cisomang dan topografi dari samping

3.1.2 Ukuran Jarak Model Tiga Dimensi Jembatan Cisomang

Dari model tiga dimensi jembatan Cisomang dilakukan pengukuran ulang pada perangkat lunak MAPTEK, dengan cara menarik garis pada bagian struktur jembatan Cisomang, kemudian diidentifikasi dari pergerakan pada *pier* jembatan, sehingga dilakukan pengukuran jarak antar *pier* jembatan. Ada 8 *pier* jembatan yang diukur pada bagian ini yaitu *pier* P1 terhadap P2, *pier* P2 terhadap P3, *pier* P3 terhadap P4 pada Tabel 1. Adapun hasil pengukuran jarak pada jembatan Cisomang adalah sebagai berikut:

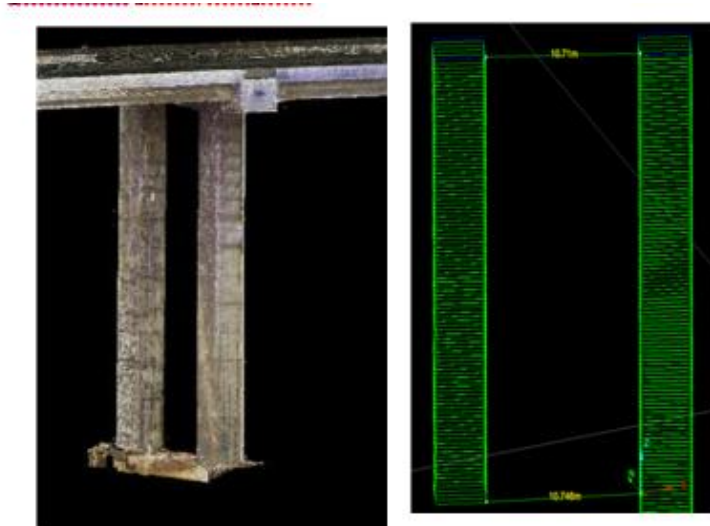
Tabel 1 Jarak antara *pier*

Hasil Ukuran	Jarak (m)		
P2A-P2B Atas	10,82	P1A-P2A Atas	35,6
P2A-P2B Bawah	10,727	P1A-P2A Bawah	35,596
P3A-P3B Atas	10,758	P1B-P2B Atas	35,664
P3A-P3B Bawah	10,714	P1B-P2B Bawah	35,635
P2A-P3A Atas	35,559	P3A-P3B Atas	10,758
P2A-P3A Bawah	34,906	P3A-P3B Bawah	10,714
P2B-P3B Atas	35,595	P4A-P4B Atas	10,76
P2B-P3B Bawah	34,993	P4A-P4B Bawah	10,736
P1A-P1B Atas	10,7	P3A-P4A Atas	35,647
P1A-P1B Bawah	10,746	P3A-P4A Bawah	35,591
P2A-P2B Atas	10,82	P3B-P4B Atas	35,617
P2A-P2B Bawah	10,727	P3B-P4B Bawah	35,637

3.1.3 Ukuran Sudut pada Model Tiga Dimensi Jembatan Cisomang

Dari model tiga dimensi jembatan Cisomang dilakukan pengukuran ulang pada perangkat lunak MAPTEK, dengan cara mengukur perbedaan sudut pada setiap ujung objek pada bagian struktur jembatan Cisomang, diidentifikasi melakukan pergerakan adalah *pier* jembatan, sehingga dilakukan pengukuran sudut antar

tiang jembatan. Ada 7 *pier* jembatan yang diukur pada bagian ini yaitu *pier* P1A, P1B, P2A, P2B, P3A, dan P3B. Cara yang digunakan adalah dengan cara membuat *multiloop* pada model tiga dimensi *pier* jembatan (Gambar 6) pada setiap 25 cm permukaan. Bagian atas dan bawah *multiloop* dibandingkan dengan *tools* geometri pada Maptek.



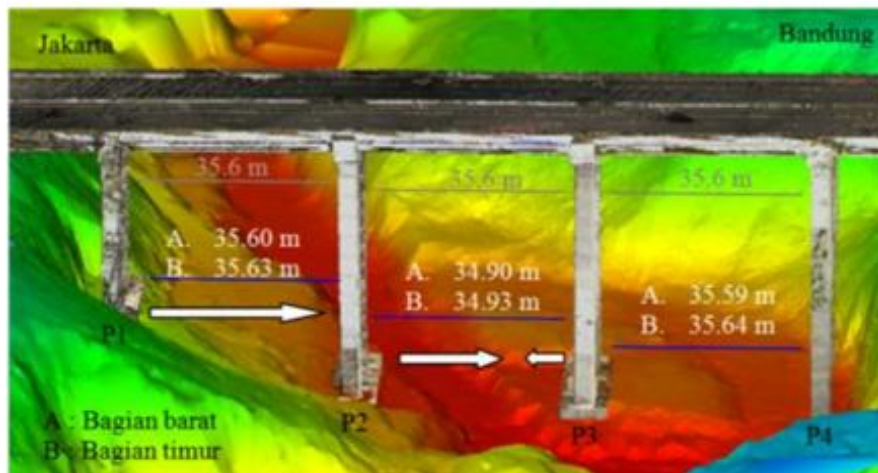
Gambar 6 Model 3D pier jembatan multiloop pier

3.1.4 Perubahan Jarak antara Pier Jembatan Cisomang

Pada bagian ini kita akan melihat perbandingan ukuran pengukuran TLS dengan data pembanding yaitu data *plan*, ABD dan topografi. Pada data ukuran *plan* dan ABD jarak antara *pier* A dan *pier* B pada bagian atas dan bawah adalah sama, berbeda dengan hasil ukuran ETS dan TLS yang dilakukan pada tahun 2017. Berikut adalah tabel ukuran *pier* P2 terhadap P3 pada Tabel 2 dan digambarkan pada Gambar 7.

Tabel 2 Perbandingan ukuran pier P2 terhadap P3

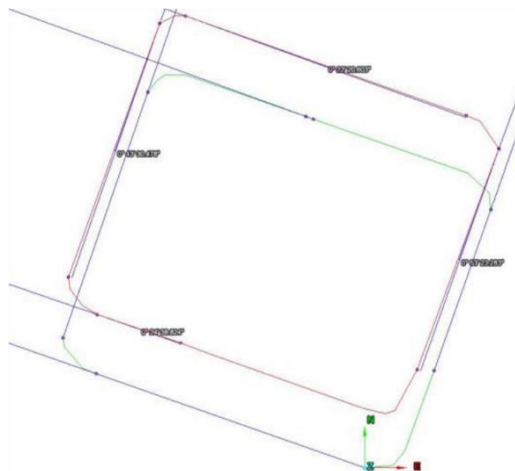
Sumber	Tahun Pembuatan	P2A-P2B Atas (m)	P2A-P2B Bawah (m)	P3A-P3B Atas (m)	P3A-P3B Bawah (m)	P2A-P3A Atas (m)	P2A-P3A Bawah (m)	P2B-P3B Atas (m)	P2B-P3B Bawah (m)
Plan (ETS)	2004	10,7	10,7	10,7	10,7	35,6	35,6	35,6	35,6
ABD (ETS)	2005	10,7	10,7	10,7	10,7	35,6	35,6	35,6	35,6
Topografi (ETS)	2017	10,7	10,7	10,7	10,7	35	35	35,21	35,21
TLS	2017	10,82	10,727	10,758	10,714	35,559	34,906	35,595	34,993



Gambar 7 Visualisasi ukuran pier P2 terhadap P3

3.1.5 Rotasi Tiang Jembatan Cisomang

Ukuran sudut bagian atas dan bawah *pier* jembatan diketahui pada ABD jembatan dianggap tidak mengalami kemiringan. Berbeda dengan hasil ukuran dengan TLS yang menampilkan ukuran geometris tiga dimensi sehingga dapat mengamati rotasi yang terjadi antara bagian atas dan bawah pada setiap *pier* jembatan Cisomang. Kemiringan pada *pier* jembatan menyebabkan perbedaan ukuran jarak antar *pier*, sehingga terjadi pergeseran struktur.



Gambar 8 Rotasi pier P2

4 Kesimpulan

Dari keseluruhan proses yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Model 3D Jembatan Cisomang dapat dihasilkan melalui serangkaian proses akuisisi data yang dilakukan menggunakan metode *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) pada tanggal 13 – 15 Januari 2017 menghasilkan 54 data scan, yaitu sebanyak 361.183.804 *point clouds*. Proses pengolahan data menggunakan perangkat lunak Maptek i-site yang mendukung untuk melakukan proses registrasi, georeferensi, *filtering* dan *meshing*.
2. Terbentuknya model 3D Jembatan Cisomang dari *point clouds* pengukuran TLS memiliki eror registrasi rata-rata sebesar 2 cm dan memiliki perbandingan ukuran dengan hasil pengukuran ETS sebesar 0 sampai dengan 10 cm.
3. Terdapat perbedaan ukuran TLS dengan ukuran *As Built Drawing* (ABD) yang besar membuktikan terjadinya deformasi pada struktur jembatan, yaitu jarak antara pier P2 dan P3 memiliki perbedaan 69,4 cm dan pada *pier* P2A bagian timur terjadi rotasi sebesar 0°53'23".

4.1 Daftar Pustaka

- [1] Barker, R.M., dan Puckett, J.A. (1997), Design of Highway Bridge-Based on AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, A WilwyInterscience Publication, Jhon Wiley & Sons
- [2] Reshetyuk, Y. (2009). Self-Calibration and Direct Georeferencing in Terrestrial Laser Scanner. Stockholm: Royal Institute of Technology.
- [3] Ruther, H., Held, C., Burtha, R., Schroder, R., & Wessels, S. (2009). Challenges in Herritage Documents with Terrestrial Laser Scanning. Cape Town.
- [4] Staiger, R.: Laser Scanning in an Industrial Environment. FIG – Congress, Washington, D.C. USA, April, 2003.