

Penerapan Pengukuran Geometrik Konstruksi Jembatan Menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* (Objek Penelitian : Jembatan Arief Rahman Hakim, Samarinda)

Gusti Ahmad Zaini ¹⁾, Insan Kamil ²⁾ Muhammad Ridwan ³⁾

E-mail : gustizaini@gmail.com ¹⁾; ikamil@polnes.ac.id ²⁾; mridwan2000@yahoo.com ³⁾;

^{1,2,3)}Magister Rekayasa Perawatan dan Restorasi Jembatan, Jurusan Teknik Sipil,
Politeknik Negeri Samarinda

^{1,2,3)}Jl. Cipto Mangunkusumo Kampus Gunung Panjang, Kota Samarinda, Kalimantan Timur,
Indonesia

Koresponden naskah : gustizaini@gmail.com

ABSTRACT

The use of survey equipment has changed very significantly in the last few years. And to realize the digitization of construction at each stage, it requires up-to-date survey equipment and a very efficient work process compared to other measurement equipment, with the Terrestrial Laser Scanner (TLS). Terrestrial Laser Scanning is a surveying and mapping technology with the working principle of a laser being fired from a tool to an object until it is returned by the surface or object to the tool. The time intensity required for the laser to bounce back is calculated then analyzed and processed to obtain a point cloud which is then modeled into 3D (three-dimensional) data. This study was conducted to evaluate the existing structure of the bridge construction using TLS. In this study, it will show the geometry of the bridge in the existing conditions. From the results of measurements with TLS, the accuracy value for each station is 0,002 m and the accuracy value of combined station is 0,020 m.

Keywords – Terrestrial Laser Scanner, Point Cloud, 3D, Geometric, Bridge.

ABSTRAK

Penggunaan peralatan survei mengalami perubahan yang sangat signifikan pada beberapa tahun terakhir. Dan untuk mewujudkan digitalisasi konstruksi dalam setiap tahapannya maka diperlukan peralatan survei yang mutakhir serta proses kerja yang sangat efisien dibandingkan dengan peralatan pengukuran lainnya yaitu dengan menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). *Terrestrial Laser Scanning* merupakan teknologi survei dan pemetaan dengan prinsip kerjanya adalah laser yang ditembakkan dari alat ke obyek permukaan hingga kembali oleh permukaan ke alat. Intensitas waktu yang dibutuhkan laser untuk memantul kembali kemudian dianalisis dan diolah sehingga didapatkan *point cloud* yang selanjutnya dimodelkan menjadi data 3D (tiga-dimensi). Studi ini dilakukan untuk mengukur struktur eksisting konstruksi jembatan dengan alat TLS. Dalam penelitian ini akan menunjukkan geometri jembatan pada kondisi eksisting. Dari hasil pengukuran dengan TLS diperoleh nilai akurasi tiap titik station yaitu 0,002 m serta nilai akurasi titik station gabungan yaitu 0,020 m.

Kata Kunci – Terrestrial Laser Scanner, Point Cloud, 3D, Geometrik, Jembatan.

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan konstruksi yang berfungsi menghubungkan dua bagian jalan yang terputus karena adanya rintangan-rintangan seperti lembah yang dalam, alur sungai, saluran irigasi, dan pembuangan. Dalam memenuhi pendataan konstruksi jembatan menuju modernisasi digital diperlukan peralatan penangkapan gambar aktif yang secara cepat serta dapat memperoleh kumpulan dari titik-titik tiga dimensi dari objek permukaan. Pekerjaan infrastruktur di Indonesia secara umum telah dilaksanakan dengan memanfaatkan peralatan

pengukuran digital yang sesuai dengan perkembangan teknologi seperti *Waterpass*, *Theodolite*, *Total Station*, dan *GNSS receiver* (*GPS Geodetic*), namun apabila ditinjau dari jumlah data yang didapatkan, maka peralatan tersebut dapat dikategorikan konvensional karena dalam satu waktu hanya bisa mendapatkan 1 titik koordinat saja. Salah satu alat ukur digital yang bisa mendapatkan data koordinat format digital dan dalam jumlah yang banyak sekaligus yaitu dengan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS), alat ini sebenarnya sudah digunakan di beberapa kegiatan infrastruktur di Indonesia

namun penggunaannya belum massive dan pemanfaatannya juga belum maksimal.



Gambar 1. Terrestrial Laser Scanner Leica P30

Saat ini, teknologi tersebut digunakan sebagai standar yang hampir secara *de facto* di banyak bidang. Tidak dapat diaksesnya bagian-bagian tertentu pada jembatan, kemampuan menangkap permukaan tanpa penutupan jalur, dan data yang dapat dipercaya untuk area yang sulit dijangkau adalah kelebihanannya. Secara keseluruhan, biaya melakukan survei jembatan dengan solusi pemindaian yang sesuai seringkali kurang dari setengah biaya melakukan survei ini secara konvensional (Jacobs, 2005a).

Dalam penelitian ini salah satu dilakukan kegiatan survei menggunakan peralatan TLS pada suatu konstruksi jembatan komposit baja-beton pada Jalan Arief Rahman Hakim Samarinda yang melintas diatas aliran sungai karang mumus. Pada implementasinya, pengambilan data dilapangan dengan menggunakan *cloud to cloud* kemudian selanjutnya dari proses penggabungan *cloud to cloud* maupun *filtering* diperoleh data permodelan 3 dimensi jembatan. Sehingga dari proses ini akan diperoleh dimensi elemen jembatan maupun geometri jembatan yang memiliki model yang mirip dengan objek aslinya secara digital.

2. TINJAUAN PUSAKA

Terrestrial Laser Scanner (TLS) merupakan salah satu jenis pemindaian laser yang menggunakan teknologi tinggi dan kemampuan digital untuk merekam data informasi spasial yang memberikan keakurasian sangat tinggi dalam format dua dimensi dan tiga dimensi. Menurut Arayici (2007), TLS juga dapat menyediakan data ditempat yang tidak terjangkau. Walaupun bentuk suatu konstruksi kompleks namun TLS mampu menghasilkan detail *point cloud 3D*. TLS adalah metode baru yang dapat diimplementasikan untuk memberikan dimensi yang akurat dari desain kompleks untuk setiap persil. TLS menggunakan teknik penginderaan jauh karena individu tidak perlu memegang tanda target dalam proses pengumpulan data. Pada awalnya, penemuan laser scanning ini hanya cocok untuk jarak dekat saja, namun penggunaan pemindaian laser ini terus meningkat, dan mendorong perkembangan teknologi untuk menciptakan pemindai laser baru yang

diperbarui, dalam pemindai laser jarak menengah maupun jarak jauh.

Beberapa keunggulan Pemindai Laser Terrestrial jika dibandingkan dengan metode konvensional (WGS *Engineering, n.d.*) meliputi:

1. Lebih efisien dalam hal waktu, karena perolehan data survey akan jauh lebih cepat
2. Kualitas data lebih teliti karena memiliki resolusi spasial yang jauh lebih detail dibandingkan metode konvensional
3. Lebih sedikit ambiguitas data
4. Tingkat detail dan kepadatan yang lebih tinggi
5. Cara memperoleh atau perolehan data yang lebih aman karena juga menggunakan prinsip survei dengan penginderaan jauh/penginderaan jauh (tanpa menyentuh objek pengamatan)
6. Proses perolehan dan penerimaan data yang dilakukan relatif tidak mengganggu proses industri
7. Hasilnya berupa pointcloud yang dapat digunakan dan direview oleh pihak lain untuk meningkatkan efisiensi kerja secara signifikan khususnya

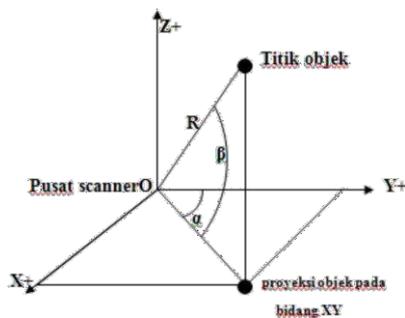
Boehler, dkk (2003) menjelaskan bahwa terdapat dua jenis scanner berdasarkan prinsip pengoperasiannya, yaitu :

1. *Triangulation scanners*, yang terdiri dari *single camera solution* dan *double camera solution*,
2. *Ranging scanners*
 - a. *Time of flight of a laser pulse*. Laser dipancarkan ke objek selanjutnya jarak dihitung dari waktu perjalanan antara sinyal transmisi dan penerimaannya. Prinsip ini mempunyai akurasi rendah karena merupakan tipe *scanner* jarak jauh dengan cakupan 1,5 – 6.000 meter. *Scanner* jenis ini cepat dalam melakukan akuisisi data dan titik yang didapat hingga mencapai 11.000 – 122.000 titik setiap detiknya.
 - b. *Phase comparison method*. Metode ini juga sering dikenal melalui alat *tacheometric*. Laser yang dipancarkan dimodulasikan dengan gelombang harmonik dengan jarak yang dihitung dengan menggunakan perbedaan beda fase antara gelombang pancar dan gelombang yang diterima. Akurasi yang dihasilkan rendah karena merupakan tipe *scanner* jarak menengah. Akan tetapi, *scanner* jenis ini dapat mengukur hingga 1.000.000 titik setiap detiknya.

Konsep pengukuran TLS yaitu data yang direkam adalah data sudut horizontal (α), sudut vertikal (β), dan jarak antara pusat koordinat *scanner* dengan obyek yang direkam (R). Seperti dapat dilihat pada **Gambar 2.** bidang X dan Y dijadikan sebagai *reference plane* dalam koordinat *scan*. Laser

bergerak dari atas ke bawah dan ke samping kanan scanner sesuai dengan arah perputaran jarum jam.

Selanjutnya proses penggabungan data hasil perekaman yang didapat dari beberapa *scanworld* (titik berdiri alat) sehingga terletak dalam satu sistem koordinat (Jacob, 2005). Metode registrasi yang digunakan dalam pengolahan TLS dalam penelitian ini adalah *Multi Station Adjustment*. Prinsip dasar dari metode ini adalah penggabungan data dari dua atau lebih posisi (*scanworld*) terhadap titik-titik data yang secara otomatis akan menemukan titik-titik data yang sama berdasarkan titik terdekat menggunakan proses *adjustment*. Algoritma dalam metode ini adalah *Iterative Closest Point (ICP)*.



Gambar 2. Prinsip Perekaman Data dengan Scanner (Handoko, 2006)

Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan registrasi data yaitu:

1. Metode *target to target*

Pada metode *target to target*, titik ikat yang digunakan untuk registrasi adalah titik target yang dipasang di sekitar objek dan diidentifikasi pada saat perekaman data. Target berbentuk beraneka ragam ada yang berbentuk target bola yang mana bahannya terbuat dari bahan khusus kemudian target lainnya berupa target *planar* hitam putih. Target diletakkan secara merata dari berbagai posisi atau diletakkan pada cakupan scanner yang bisa terlihat dari berbagai arah tempat berdiri scanner. Kemudian dilakukan identifikasi untuk titik target tersebut. Untuk persebaran target yang merata dan banyak akan memberikan kualitas registrasi yang lebih baik dari pada metode *cloud to cloud*. Sehingga untuk metode *target base* ini, maka minimal titik target pada obyek yang saling terlihat antara *scanword* yang berdekatan harus minimal 3 titik target. Hal ini dikarenakan pada

sistem transformasi koordinat 3D terdapat 7 parameter.

2. Metode *cloud to cloud*

Titik ikat yang digunakan untuk registrasi didapat dari titik – titik objek hasil perekaman sehingga pada saat perekaman target tidak perlu pemasangan target. Syarat agar *scanworld* dapat diregistrasi, maka antar *scanworld* harus memiliki pertampalan minimum sebesar 20 % dari daerah yang direkam. Kelebihan metode *cloud to cloud* adalah apabila hasil registrasi memiliki ketelitian yang kurang maka data diulang lagi dengan menggunakan titik ikat yang lain tanpa harus melakukan pengukuran kembali. Selain itu dengan registrasi metode *cloud to cloud* maka lebih efisien dalam hal waktu dan biaya, karena pada saat melakukan pengukuran tidak memerlukan identifikasi target sehingga waktu yang dibutuhkan lebih singkat. Kekurangan untuk metode ini kualitas registrasinya paling rendah dibanding dengan metode lainnya. Dalam registrasi metode *cloud to cloud*, registrasi dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu registrasi secara bertahap dan registrasi secara keseluruhan. Dalam registrasi secara bertahap, registrasi *scanworld* dilakukan dalam beberapa tahap registrasi. Dalam registrasi secara keseluruhan, semua *scanworld* diregistrasi dalam satu kali tahapan registrasi.

3. Metode kombinasi antara metode *Clouds to Clouds* dengan *Target to Target*

Yaitu suatu metode dengan proses registrasi yang dilakukan secara kombinasi yaitu antara *cloud to cloud* dengan *target to target*. Sehingga untuk kualitas hasil registrasi dan ukurannya untuk metode ini memiliki kualitas yang lebih baik dibanding dengan *cloud to cloud* maupun *target to target*.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif dengan pengukuran langsung. Dalam pemindaian jembatan membutuhkan persiapan untuk mendapatkan data yang akurat dan optimal dengan waktu yang efisien, yaitu dengan alat bantu TLS. Hal yang dievaluasi pada struktur jembatan yaitu terhadap dimensi elemen jembatan, posisi elemen jembatan (deformasi), geometri jembatan, dan juga kerusakan fisik elemen jembatan. Peralatan TLS yang digunakan yaitu Leica *Scanstation P30* bisa dilihat pada **Gambar 3.** dibawah ini.

SYSTEM ACCURACY				
Accuracy of single measurement *				
Range accuracy	1.2 mm + 10 ppm over full range			
Angular accuracy	8° horizontal; 8° vertical			
3D position accuracy	3 mm at 50 m; 6 mm at 100 m			
Target acquisition **	2 mm standard deviation at 50 m			
Dual-axis compensator	Liquid sensor with real-time onboard compensation, selectable on/off, resolution 1", dynamic range ±5', accuracy 1.5"			
DISTANCE MEASUREMENT SYSTEM				
Type	Ultra-high speed time-of-flight enhanced by Waveform Digitising (WFD) technology			
Wavelength	1550 nm (invisible) / 658 nm (visible)			
Laser class	1 (in accordance with IEC 60825:2014)			
Beam divergence	< 0.23 mrad (FWHM, full angle)			
Beam diameter at front window	≤ 3.5 mm (FWHM)			
Range and reflectivity	Minimum range 0.4 m			
	Maximum range at reflectivity			
		120 m	180 m	270 m
	P30	18%	-	-
	P40	8%	18%	34%
Scan rate	Up to 1,000,000 points per second			
Range noise *	0.4 mm rms at 10 m			
	0.5 mm rms at 50 m			
Field-of-View				
Horizontal	360°			
Vertical	290°			
Data storage capacity	256 GB internal solid-state drive (SSD) or external USB device			
Communications/ Data transfer	Gigabit Ethernet, integrated Wireless LAN or USB 2.0 device			
Onboard display	Touchscreen control with stylus, full colour VGA graphic display (640 × 480 pixels)			
Laser plummet	Laser class 1 (IEC 60825:2014)			
	Centring accuracy: 1.5 mm at 1.5 m			
	Laser dot diameter: 2.5 mm at 1.5 m			
	Selectable ON/OFF			

Gambar 3. Spesifikasi Peralatan *Terrestrial Laser Scanner*

Pengukuran dengan TLS terdiri dari 2 tahap yaitu tahapan *capture* (pemotretan objek) dan tahapan *scanning* objek berupa *point cloud*. Pengukuran objek jembatan dilakukan di beberapa titik agar didapatkan hasil *scanning* yang semaksimal mungkin hingga proses registrasi data dalam pengolahan menggunakan *software*.

Pertama, dilakukan perencanaan terhadap titik-titik tempat berdiri alat agar pada saat pemindaian terdapat titik-titik dapat saling berhubungan pada objek yang ditinjau sehingga dapat dilakukan proses registrasi untuk mendapatkan visualisasi model objek 3D secara menyeluruh. Selanjutnya dibutuhkan target untuk proses *geo-referencing* yang berada pada salah satu sisi jembatan.

Kemudian, setelah melakukan pemindaian di titik-titik yang direncanakan, dilakukan proses registrasi metode *point to point* dengan menggunakan perangkat lunak (*software*). Seluruh data *point cloud* diolah secara sekaligus sehingga diperoleh model 3D objek.



Gambar 4. Proses *Scanning* Objek Jembatan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

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. Dalam registrasi, nilai RMS (*Root*

Mean Square) sangat penting, karena mempengaruhi akurasi dan presisi suatu model. Pada penelitian ini menggunakan metode registrasi *target to target*. Dari hasil proses registrasi *target point* dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Constrain...	ScanWorld	ScanWorld	Type	Sta...	Weight	Overlap P...	Error	Error Vector	Group E...	Group Error Ve...	Group
☒ Cloud/M...	Station-011...	Station-012...	Cloud: Cloud/Mesh - ...	On	1.0000	473433	0.000 m	aligned [0.019 m]	0.000 m	aligned [0.019 m]	Group 1
☒ Cloud/M...	Station-015...	Station-017...	Cloud: Cloud/Mesh - ...	On	1.0000	198033	0.001 m	aligned [0.020 m]	0.000 m	aligned [0.020 m]	Group 1
☒ Cloud/M...	Station-009...	Station-010...	Cloud: Cloud/Mesh - ...	On	1.0000	925866	0.001 m	aligned [0.015 m]	0.000 m	aligned [0.015 m]	Group 1
☒ Cloud/M...	Station-015...	Station-016...	Cloud: Cloud/Mesh - ...	On	1.0000	228866	0.001 m	aligned [0.027 m]	0.000 m	aligned [0.027 m]	Group 1
☒ Cloud/M...	Station-001...	Station-002...	Cloud: Cloud/Mesh - ...	On	1.0000	276666	0.001 m	aligned [0.020 m]	0.000 m	aligned [0.020 m]	Group 1
☒ Cloud/M...	Station-008...	Station-009...	Cloud: Cloud/Mesh - ...	On	1.0000	750600	0.001 m	aligned [0.019 m]	0.000 m	aligned [0.019 m]	Group 1
☒ Cloud/M...	Station-001...	Station-005...	Cloud: Cloud/Mesh - ...	On	1.0000	338666	0.001 m	aligned [0.019 m]	0.063 m	aligned [0.019 m]	Group 1
☒ Cloud/M...	Station-007...	Station-008...	Cloud: Cloud/Mesh - ...	On	1.0000	577166	0.001 m	aligned [0.016 m]	0.000 m	aligned [0.016 m]	Group 1
☒ Cloud/M...	Station-002...	Station-018...	Cloud: Cloud/Mesh - ...	On	1.0000	109300	0.001 m	aligned [0.024 m]	0.000 m	aligned [0.024 m]	Group 1
☒ Cloud/M...	Station-006...	Station-007...	Cloud: Cloud/Mesh - ...	On	1.0000	288766	0.001 m	aligned [0.019 m]	0.000 m	aligned [0.019 m]	Group 1
☒ Cloud/M...	Station-002...	Station-003...	Cloud: Cloud/Mesh - ...	On	1.0000	519166	0.001 m	aligned [0.018 m]	0.000 m	aligned [0.018 m]	Group 1
☒ Cloud/M...	Station-008...	Station-011...	Cloud: Cloud/Mesh - ...	On	1.0000	419233	0.002 m	aligned [0.023 m]	0.000 m	aligned [0.023 m]	Group 1
☒ Cloud/M...	Station-013...	Station-014...	Cloud: Cloud/Mesh - ...	On	1.0000	335900	0.002 m	aligned [0.030 m]	0.000 m	aligned [0.030 m]	Group 1
☒ Cloud/M...	Station-012...	Station-013...	Cloud: Cloud/Mesh - ...	On	1.0000	146200	0.002 m	aligned [0.020 m]	0.010 m	aligned [0.020 m]	Group 1
☒ Cloud/M...	Station-014...	Station-015...	Cloud: Cloud/Mesh - ...	On	1.0000	145266	0.002 m	aligned [0.026 m]	0.000 m	aligned [0.026 m]	Group 1
☒ Cloud/M...	Station-005...	Station-006...	Cloud: Cloud/Mesh - ...	On	1.0000	292666	0.002 m	aligned [0.018 m]	0.000 m	aligned [0.018 m]	Group 1

Gambar 4. Nilai RMS Registrasi *Cloud to Cloud*

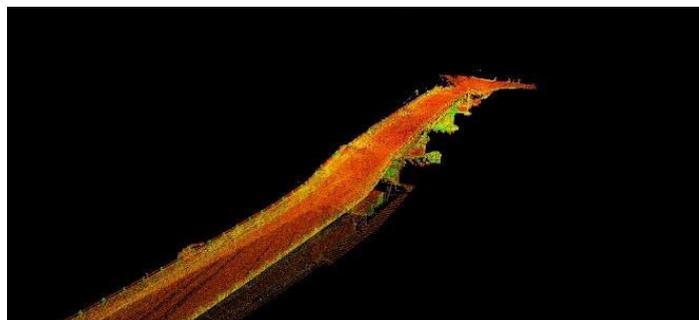
Pada penelitian ini, jumlah titik untuk registrasi adalah 18 titik. Pemilihan 18 titik karena mencari titik yang dapat terjangkau oleh keseluruhan *station* berdiri alat. Jumlah nilai RMS tiap titik *station* yaitu 0,002 m dengan nilai rata-rata RMS gabungan *station* adalah 0,021 m, maka nilai rata-rata registrasi memenuhi standar deviasi.

Evaluasi Model

Pada tahap ini, hasil model objek jembatan dibandingkan dengan foto asli bangunan. Dari kenampakan model hasil pengukuran menggunakan *Terrestrial Laser Scanner*, hasil model mempunyai bentuk yang sama persis dengan aslinya, namun ada beberapa bagian kenampakan objek yang tidak terlihat seperti bagian pondasi dibawah abutmen dan pilar jembatan. Obstruksi yang merupakan *noise* pada hasil pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* disebabkan oleh faktor air sungai.



Gambar 5. Tampak Samping Point Cloud Hasil Registrasi



Gambar 6. Tampak Perspektif Atas Point Cloud Hasil Registrasi

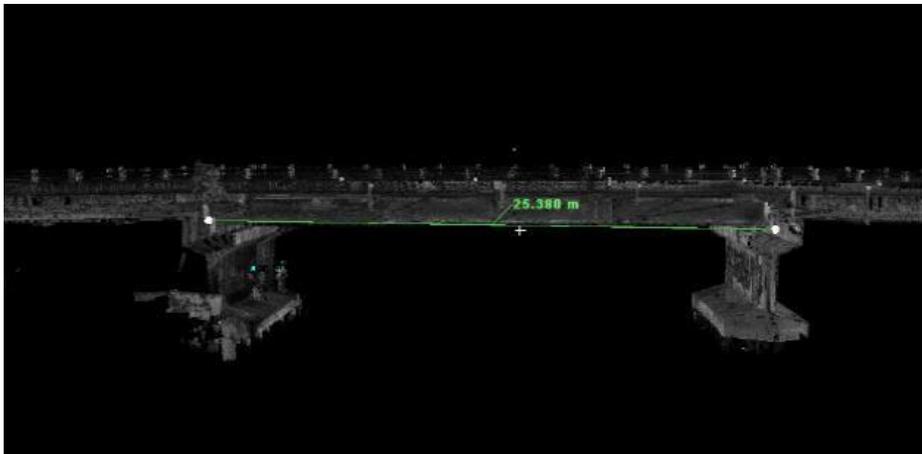
Evaluasi Pengukuran Geometri

Pada tahap ini, pengukuran geometri jembatan dilakukan perhitungan menggunakan *tools* pada *software 3Dreshaper* dengan meninjau titik-titik yang menjadi tinjauan. Dari hasil permodelan diperoleh informasi geometri jembatan sebagai berikut :

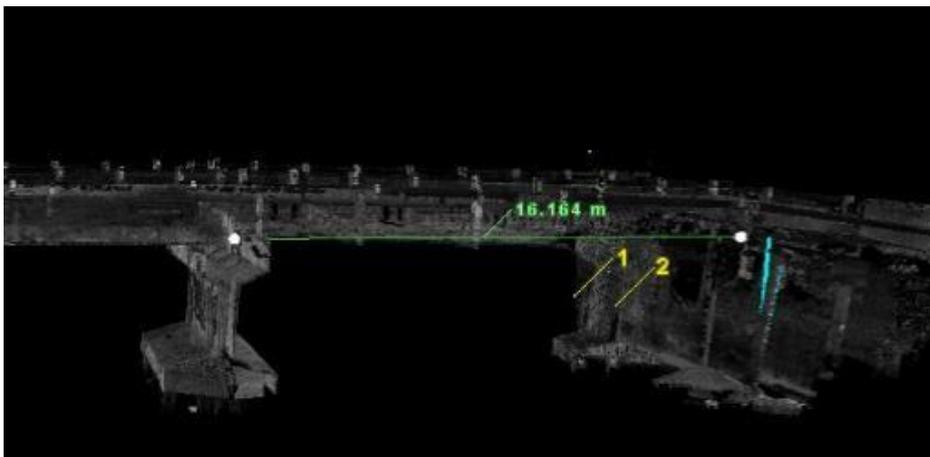
- Panjang bentang abutmen jalan pendekat ke pilar-1 (arah menuju Jl. Biawan) yaitu 16,063 meter;
- Panjang bentang tengah antar dua pilar jembatan yaitu 25,380 meter;
- Panjang bentang pilar-2 ke abutmen-2 (arah menuju Jl. Biawan) yaitu 16,164 meter ;



Gambar 7. Geometri Panjang Bentang Abutmen Jalan Pendekat menuju Pilar-1



Gambar 8. Geometri Panjang Bentang Antar Pilar-1 dan Pilar-2



Gambar 9. Geometri Panjang Bentang dari Pilar-2 menuju Abutmen Jalan Biawan



Gambar 10. Hasil Pengukuran Elevasi Lantai Jembatan

Dari hasil pengukuran juga diperoleh informasi seperti elevasi dari objek jembatan.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian tentang pemodelan jembatan dengan menggunakan Terrestrial Laser Scanner maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. *Terrestrial Laser Scanner* dapat digunakan untuk pemodelan jembatan. Pengukuran dengan metode ini sangat efisien karena data yang berupa *point clouds* dapat membentuk suatu objek secara 3 dimensi dengan cakupan pengukuran sampai 120 meter (Leica Scanstation P30). 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. Dengan demikian, pengukuran objek jembatan menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* merupakan solusi dalam pendokumentasian yang digunakan sebagai acuan rekonstruksi dan konservasi.
2. Nilai RMS model jembatan mempunyai akurasi tinggi karena hasil registrasi gabungan mempunyai nilai rata-rata 0,002 m.

Beberapa saran yang ingin penulis sampaikan untuk pengembangan pengukuran dan pengolahan data menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* antara lain :

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 obyek yang menentang matahari karena dapat menimbulkan efek *flare* (cahaya masuk dan

menyebarkan 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. Proses *Registrasi* data pada setiap *scanworld* dilakukan lebih dari empat titik agar memiliki hasil akurasi yang tinggi.
5. Pengolahan data lebih lanjut, perlu dilakukan untuk mendapatkan kenampakan objek yang diinginkan.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini, terutama PT Sucofindo Cabang Samarinda yang telah membantu penelitian ini dalam penggunaan peralatan TLS.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Abdelhafiz, A. 2009. *Integrating Digital Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanner*. Dissertation, Munchen: Deutsche Geodatische Kommission Bei Der Bayerischen Akademie Der Wissenschaften.
- Andaru, R. 2010. *Kombinasi Data Laser Scanning dan Fotogrametri Digital Untuk Pemodelan Candi Borobudur*. Thesis, Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- Anonim. 2004. *"The Big Dig" mines having from highdefinition surveying*, Leica Geosystems. Massachusetts .
- Arayici, Y., 2007. An approach for real world data modelling with the 3D Terrestrial laser scanner for built environment. *Automation in construction*, 16(6), 816-829.
- Besl, P. J., and N. D. McKay. *A method for registration of 3D shapes*. *IEEE PAMI* 14, no. 2 (1992). Brzezinska. 2008. *Novel*

geolocation technology for geophysical sensors for detection and discrimination of unexploded ordnance.

- Boehler W, Bordas Vicent M, Marbs, A (2003) Investigating laser scanner accuracy. New perspectives to save cultural heritage, Proceedings of the XIXth International Symposium CIPA 2003, Antalya (Turkey), 30 September–04 October, 2003, 696–701.
- C. Altuntas and F. Yildiz. 2008. *Registration of Terrestrial Laser Scanner Point Clouds by One Image*. Selcuk University.
- Darmawan Soni, Fitrah Wahika. 2022. *Pemanfaatan Teknologi 3D Terrestrial Laser Scanner Dalam Mendukung Konstruksi Jembatan (Studi Kasus: Jembatan Layang Jalan Laswi-Pelajar Pejuang 45, Kota Bandung)*. Seminar Nasional dan Diseminasi Tugas Akhir.
- Dewitt, Bon. 1996. *Initial Approximations for the Three-Dimensional Conformal Coordinate Transformations*. USA: Surveying and Mapping, College of Engineering, University of Florida
- Dodd, Michael. 2003. *Combining Terrestrial Laser Scanning And Photogrammetry*. Australia: school of surveying and spatial information system, University of New South Wales, Sydney.
- Evon P. Silvia. 2011. *Terrestrial Laser Scanning Reference Frame Transformations*. Oregon State University
- Firman, A.B. 2010. *Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat Untuk Pemodelan Craniofacial dengan Kamera Digital Non Metrik*. Skripsi, Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
<http://www.hds.leica-geosystems.com>
- Ismail Elkhachy. 2008. *Towards an automatic registration for Terrestrial laser scanner data*. German.
- Jacobs, Geoff. 2005. *High Definition Surveying : 3D Laser Scanning Use in Building and Architectural*. Professional Surveyor Magazine.
- Kholiq, Darul Ikhsan. 2006. *Aplikasi HDS (High Definition Surveying) Laser Scanner Untuk Pemetaan Benda Cagar Budaya (Dengan Registrasi Metode Cloud To Cloud)*. Skripsi, Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- Kusuma, W.S. 2010. *Perbandingan Metode Registrasi Target to Target, Clouds to Clouds, dan Kombinasi Untuk Data Hasil Pengukuran Menggunakan Terrestrial Laser Scanner*. Skripsi, Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- North, Frank. 2002. *Laser Scanning Makes Quick Job Of Rail Survey*. Brisbane: North Survey Pty Ltd
- Prastyo, Ahmad Didik. 2012. *Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat untuk Pemodelan 3D Candi Gedong Songo*. Tugas Akhir, Semarang: Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Setiawan, N. 2011. *Evaluasi Jarak Datar Hasil Pengukuran Terrestrial Laser Scanner Riegl LMS Z420i Terhadap Total Station Leica-TP1200+*. Skripsi, Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- Usman, A.A. 2011. *Peningkatan Aspek Radiometrik Pada Data Point Cloud Menggunakan Algoritma Point Cloud Painter*. Skripsi, Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- WGS Engineering. (N.D.). *Mengenal Terrestrial Laser Scanner, Inovasi Teknologi Untuk Bidang Survei Dan Pemetaan*. WGS Engineering Indonesia. Retrieved January 23, 2023
- Wicaksono, Handoko Putro. 2006. *Pemetaan Candi Pawon Dengan 3D Laser Scanner HDS 3000 (Target to Target Registration)*. Skripsi, Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- Wolf, R Paul and Charle D Ghillani. 2006. *Elementary Surveying an Introducing to Geomatics, Eleventh Edition*. Pearson Prentice Hall.