

ANALISIS REGISTRASI *POINT CLOUDS* METODE *TARGET TO TARGET* DARI HASIL PENGUKURAN GEDUNG MENGGUNAKAN *TERRESTRIAL LASER SCANNER* (STUDI KASUS GEDUNG PARKIR UPI KAMPUS BUMI SILIWANGI)

Muhamad Sahal Arifin¹, Aning Haryati S.T., M.T.², Raden Gumilar S.T., M.T.³

¹Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

²Dosen pembimbing 1 Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

³Dosen pembimbing 2 Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

ABSTRACT

In the era of globalization, technology plays an important role in supporting human needs, one of which is the Terrestrial Laser Scanner (TLS). TLS can be used to document objects into digital three-dimensional (3D) forms. This study aims to analyze the registration of point clouds using the target to target method.

TLS data acquisition is done more than one time recording. The number of recordings (scanworlds) need to be combined (registration) to form a single point cloud that is connected to one another. In this study, the targets that researchers used were sphereballs, totaling 12 pieces.

The results of point cloud data registration have an average RMSE of 1.7 mm. The target distribution pattern can produce a good registration value if the targets are spread out in a variety of ways, do not converge at one point and do not form a linear line pattern. The large number of targets does not guarantee a good registration value..

Keywords : *TLS, building, point clouds, registration,*

ABSTRAK

Di era globalisasi, teknologi memegang peranan penting dalam menunjang kebutuhan manusia, salah satunya *Terrestrial Laser Scanner (TLS)*. TLS dapat dimanfaatkan untuk melakukan dokumentasi objek menjadi bentuk tiga dimensi (3D) digital. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis registrasi *point clouds* metode *target to target*.

Akuisisi data TLS dilakukan lebih dari satu kali perekaman. Banyaknya perekaman (*scanworld*) tersebut perlu digabungkan (registrasi) hingga menjadi satu kesatuan *point clouds* yang terhubung satu sama lain. Dalam penelitian ini, target yang peneliti gunakan berupa *sphereball* yang berjumlah 12 buah.

Hasil registrasi data *point clouds* memiliki RMSE rata-rata sebesar 1.7 mm. Pola persebaran target dapat menghasilkan nilai registrasi yang baik apabila target tersebar secara variatif, tidak berkumpul pada satu titik serta tidak membentuk pola garis linear.. Banyaknya target tidak menjamin nilai registrasi tersebut baik.

Kata Kunci : TLS, Bangunan, *Point clouds*, Registrasi

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Menurut Peraturan Pekerjaan Umum Nomor 24 Tahun 2008, Bangunan gedung adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, sebagian atau seluruhnya berada di atas dan/atau di dalam tanah dan/atau air, yang berfungsi sebagai tempat manusia melakukan kegiatannya, baik untuk hunian atau tempat tinggal, kegiatan keagamaan, kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus. Suatu bangunan didirikan berdasarkan kebutuhan dan/atau kepentingan individu maupun kelompok untuk jangka waktu yang relatif lama. Namun seiring berjalannya waktu, dalam pemanfaatan suatu bangunan terkadang pengguna ataupun yang berwenang perlu memperbaharui pengeolaannya, agar bangunan tersebut dapat dimanfaatkan dan selalu relevan menyesuaikan dengan kebutuhan pengguna yang dinamis. Bangunan diharapkan dapat bersifat fleksibel terhadap perubahan-perubahan yang mungkin terjadi dalam organisasi pemakai atau pengguna gedung (Vacca et al., 2016).

Pembaharuan tersebut tidak terikat oleh waktu. Pembaharuan bisa saja perlu dilakukan pada usia bangunan yang relatif muda jika pada saat itu sudah terdapat pertimbangan yang cukup jelas dan penting. Untuk melakukan pembaharuan gedung dalam bentuk renovasi, tentu mengetahui kondisi seluruh area bangunan dengan baik, jelas dan detail merupakan sebuah kebutuhan bagi pemilik bangunan ataupun yang memiliki kewenangan. Pengetahuan akan kondisi keseluruhan area bangunan dengan jelas juga berguna sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan untuk keperluan perawatan bangunan, monitoring, manajemen asset, analisis deformasi, dsb. Pemantauan struktur bangunan memainkan peran yang semakin penting dalam bidang teknik, terutama dalam kaitannya dengan

dampak struktur ini pada area di mana mereka dibangun (Vacca et al., 2016). Pemantauan struktur bangunan biasanya dilakukan karena dua alasan, yaitu keselamatan (menguji komponen struktural untuk memperkirakan kapasitas muatan maksimumnya) dan untuk kemudahan servis (melakukan prosedur pemantauan terjadwal secara teratur untuk mengetahui apakah perlu dilakukan pemeliharaan pada struktur yang sudah dibangun)

Era digital menawarkan kemudahan untuk membantu melakukan pengawasan serta *monitoring* sebuah gedung salah satunya dengan memanfaatkan teknologi pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). TLS merupakan alat pencitraan aktif menggunakan teknologi laser yang dapat dengan cepat mendapatkan satu set titik tiga dimensi (*point clouds*) dari suatu permukaan atau objek dalam satu kali pengamatan. Data koordinat tiga dimensi TLS tersebut diperoleh dari data sudut dan data jarak target dengan TLS yang dihitung dari waktu tempuh dan cepat rambat laser (Setiawan & Cahyono, 2018).

Hasil yang diperoleh dari pengukuran metode TLS ini adalah *point clouds* dalam sistem koordinat tiga dimensi. TLS menghasilkan *point clouds* yang kualitasnya dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu alat yang digunakan, objek yang dipindai, kondisi lingkungan saat melakukan proses pemindaian, dan teknik pengukuran yang digunakan (Quintero dkk., 2008). Melalui pengukuran TLS terhadap suatu bangunan, kita dapat mengetahui beserta menganalisis representasi dari bangunan yang telah kita ukur dalam bentuk *point clouds* dengan sudut pandang dan jangkauan yang sangat luas dan fleksibel.

Untuk membuat suatu dokumentasi tiga dimensi bangunan, data *point clouds* hasil perekaman TLS perlu dilakukan beberapa pengolahan hingga menghasilkan data *point clouds* yang siap digunakan sebagai acuan dalam pembuatan model tiga dimensi, diantaranya adalah proses registrasi dan filterisasi. Data *point clouds*

pada tahap ini dilakukan penggabungan (proses *mosaicing*) hasil pindaian menjadi satu set data. Registrasi ini memastikan bahwa semua *point clouds* saling terhubung dan terintegrasi ke dalam sistem yang sama. *Filtering* merupakan proses pengeliminasian *point clouds* yang tidak dibutuhkan. *Point clouds* yang dieliminasi biasanya berupa pohon, semak, objek selain bangunan utama, dan *noise* lainnya.

Dalam metode pengukuran dengan menggunakan teknologi *Terrestrial Laser Scanner* (TLS), proses registrasi sangat berpengaruh dalam menentukan kualitas geometri model dan keakuratan data yang dihasilkan. Jika kualitas proses registrasi baik, maka bentuk geometri dan dimensi ukuran dari objek yang diamati juga akan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya serta keakuratan data juga akan memenuhi toleransi ketelitian yang telah ditetapkan (Nandaru et al., 2014). Proses selanjutnya yaitu filterisasi, proses ini dilakukan untuk menghilangkan obyek - obyek yang tidak dibutuhkan seperti pohon, manusia, mobil dan lain-lain. Proses filterisasi ini menggunakan perangkat lunak yang telah tersedia satu paket untuk proses pengolahan data *point clouds* (Hendriatiningsih et al., 2014).

Pada penelitian ini, peneliti bermaksud ingin memudahkan masyarakat dalam mengelola, merawat serta *monitoring* sebuah gedung dengan melakukan analisis registrasi *point clouds* metode *target to target* dari hasil pengukuran *Terrestrial Laser Scanner*. Sehingga hasil analisis tersebut dapat dijadikan sebagai referensi untuk menentukan strategi dalam pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* khususnya pada metode *target to target*. Dengan demikian proses pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* dapat dilaksanakan dengan lebih efektif. Permasalahan penelitian ini diidentifikasi berdasarkan terbatasnya referensi terkait pentingnya mengetahui strategi pengukuran TLS yang efektif melalui penerapan metode registrasi *target to target*.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di gedung parkir baru kampus UPI Bumi Siliwangi. Jika dilihat dalam Google Earth, maka letaknya berada pada posisi yang telah ditandai, seperti yang terlihat pada gambar 3.1. Gedung parkir baru ini memiliki beberapa fasilitas yang terdiri dari dua pintu masuk dan keluar, tujuh lantai tempat parkir, toilet, tangga, *lift*, dan *rooftop*.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Google Earth, 2022)

Dalam penyusunan tugas akhir ini dilakukan berbagai metode. Adapun metode penelitian yang dilakukan terdiri dari metode pengumpulan data dan metode analisis.

Dalam penelitian tugas akhir ini digunakan metode analisis untuk beberapa pengolahan data. Adapun penggunaan metode analisis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Metode Pengumpulan Data

Dalam penyusunan tugas akhir ini dilakukan pengumpulan data. Adapun metode dalam pengumpulan datanya yaitu data primer. Data primer adalah data yang diambil secara langsung oleh peneliti tanpa melalui perantara sehingga data yang didapatkan berupa data mentah. Dalam tugas akhir ini yang menjadi data primer adalah data *point clouds* hasil pengukuran

Terrestrial Laser Scanner terhadap bangunan parkir UPI.

2. Metode Pengolahan Data

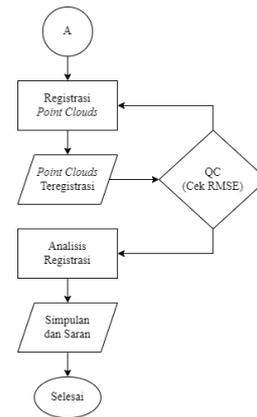
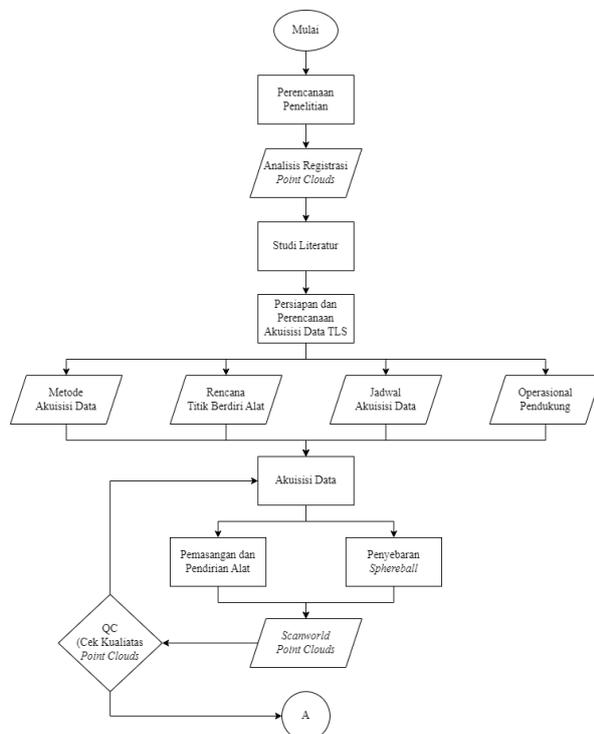
Pada tahapan ini dilakukan pemrosesan data yang diperoleh sehingga menghasilkan produk penelitian yang selanjutnya dapat dianalisis. Pengolahan data yang dilakukan antara lain pengolahan pengolahan *point clouds* dari TLS meliputi registrasi *point clouds* dan *filtering*.

3. Metode Analisis

Pada tahap ini dilakukan analisis data *point clouds* hasil registrasi metode *target to target* meliputi ketelitian registrasi serta pola persebaran target yang ideal, yang kemudian dapat dijadikan referensi pengukuran TLS yang efektif.

Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran yang dilaksanakan dalam kegiatan ini dapat dilihat dari diagram di bawah ini :



Gambar 2. Diagram alir kerangka penelitian

Akuisisi Data

Pada tahap ini dilakukan akuisisi data secara langsung di lokasi penelitian berupa perekaman seluruh area bangunan parkir UPI menggunakan teknologi *Terrestrial Laser Scanner* dengan menyebarkan *sphereball* di sekitar area pada setiap titik berdiri TLS sebagai target untuk menunjang metode registrasi yang akan diterapkan. Tahapan ini menghasilkan *output* berupa beberapa *scanworld point clouds* berdasarkan banyaknya jumlah titik berdiri alat TLS. *Point clouds* pada setiap *scanworld* yang dihasilkan ini perlu dilakukan pengecekan terlebih dahulu sebelum masuk ke tahapan selanjutnya. Apabila kualitas *point clouds* tersebut kurang baik atau mengalami kendala, maka perlu dilakukan akuisisi data ulang.

Registrasi Point Clouds

Pada tahapan ini dilakukan pemrosesan data berupa registrasi *point clouds* pada seluruh *scanworld* yang telah dihasilkan. Registrasi dilakukan dengan menggunakan metode *target to target*, dengan target berupa *sphereball*. Setelah registrasi telah dilakukan, hasil registrasi tersebut perlu dicek serta dianalisis. Apabila RMSE yang dihasilkan kurang baik maka perlu dilakukan registrasi ulang hingga memperoleh RMSE yang cukup baik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Akuisisi Data *Terrestrial Laser Scanner*

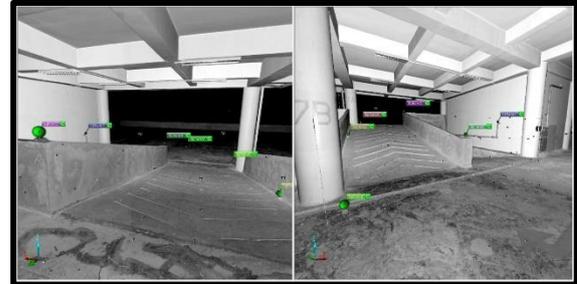
Akuisisi Data *Terrestrial Laser Scanner* untuk gedung parkir UPI yang memiliki 7 lantai dilakukan dalam 1 hari yang menghabiskan waktu selama kurang lebih 11 jam kerja. Akuisisi data diawali dengan mengakuisisi lantai *rooftop* atau lantai 7 dan berakhir pada lantai satu gedung. Akuisisi data ini dilakukan oleh peneliti sendiri yang dibantu oleh 2 rekan peneliti.

Mengingat metode registrasi *point clouds* yang diterapkan sekaligus diteliti adalah metode registrasi *target to target*, maka pada saat akuisisi data peneliti perlu menyiapkan target yang harus disebar. Untuk akuisisi data tersebut, peneliti menyiapkan target berupa *sphereball* sebanyak 12 butir. Hasil dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* terhadap Gedung parkir UPI berupa *point clouds* yang terkumpul dalam satuan *Scanworld*. Pengukuran ini telah menghasilkan kumpulan *point clouds* sebanyak 99 *Scanworld*.

Hasil Resgistrasi *Point Clouds* metode *target to target*

Registrasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak FARO *Scene* yang merupakan peruntukkan dari proses registrasi *point clouds* hasil pengukuran TLS FARO *Laser Scanner*. Metode registrasi yang peneliti gunakan yaitu metode registrasi *target to target*. Metode registrasi ini merupakan metode yang memungkinkan untuk mendapatkan data *point clouds* hasil registrasi dengan ketelitian yang tinggi dibandingkan dengan metode-metode yang lain. Sesuai dengan namanya, untuk dapat menggunakan metode ini, dalam pelaksanaan akuisisinya perlu bantuan berupa minimal tiga target. Target yang peneliti gunakan dalam

akuisisi data berupa *Sphereball* berjumlah 12 buah. Semakin banyak target yang digunakan dalam pelaksanaan akuisisi data, semakin baik dan semakin memudahkan proses registrasi *point clouds*.



Gambar 3. Sebaran *Sphereball* yang terlihat dari dua *Scanworld* di Lantai 7

Target yang digunakan dalam pengukuran TLS berfungsi sebagai pengikat antar *Scanworld*. Oleh karena itu, saat akuisisi data di lapangan penting untuk memastikan sebaran Target dapat terlihat oleh kedua *Scanworld* yang saling berdampingan agar antar kedua *Scanworld* dapat terikat dengan baik, dengan memiliki ketelitian yang tinggi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil *point clouds* yang sudah diregistrasi menghasilkan bentuk Gedung parkir UPI secara utuh, dari mulai lantai 1 hingga lantai 7 sebagaimana yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Model tiga dimensi *Point Clouds* Gedung Parkir UPI Tampak Samping

Pada gambar 4 menunjukkan bentuk *point clouds* dari gedung parkir UPI hasil registrasi yang telah dilakukan. Namun, agar *point clouds* tersebut dapat terlihat dengan bersih dan rapi, perlu dilakukan pengolahan lanjutan. Pengolahan tersebut yaitu proses filterisasi.

Pada proses registrasi terdapat laporan mengenai hasil error registrasi. Hasil tersebut memperlihatkan RMSE dari proses registrasi yang dilakukan secara Target to Target. Semakin kecil RMSE maka registrasinya semakin baik. Adapun RMSE hasil registrasi yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai RMSE Error

RMSE	Nilai (mm)
<i>Mean Distance Error</i>	1.7
<i>Max. Distance Error</i>	5.8
<i>Mean Horizontal Error</i>	1.6
<i>Max. Horizontal Error</i>	5.8
<i>Mean Vertical Error</i>	0.4
<i>Max. Vertical Error</i>	2.6

Setiap pengukuran pasti memiliki kesalahan. Berlaku juga dalam tahap pengolahan data yaitu tahap registrasi yang tidak lepas dari kesalahan, besarnya kesalahan tersebut ditunjukkan dengan nilai Root Mean Square Error (RMSE). Nilai RMSE registrasi merupakan nilai ketelitian dari data hasil registrasi dengan semua faktor kesalahan selama proses pengukuran dan pengolahan data.

Pada laporan mengenai hasil error registrasi yang tertera pada tabel 4.1, dapat dilihat jika RMSE maksimal yaitu sebesar 5,8 mm, rata-rata RMSE nya sebesar 1,7 mm, maksimal RMSE secara horizontal sebesar 5,8 mm, rata-rata RMSE secara horizontal sebesar 1,6 mm, maksimal RMSE secara vertikal sebesar 2,6 mm serta rata-rata RMSE-nya sebesar 0,4 mm. Nilai RMSE yang telah dihasilkan ini sudah cukup baik dan teliti. Hal ini tidak lepas dari metode registrasi yang diterapkan yaitu metode *Target to Target*.

Analisis Registrasi Antar *Scanworld*

Nilai RMSE yang telah ditampilkan merupakan hasil registrasi dari keseluruhan *point clouds* antar *scanworld*. Melalui *software FARO Scene*, kita tidak hanya dapat mengetahui hasil registrasi akhir, melainkan dapat juga mengetahui rincian dari hasil registrasi antar satuan *scanworld*.

Kita dapat mengetahui satu persatu nilai *error* dari setiap registrasi antar *scanworld*-nya.

Dari total 99 *scanworld* yang telah peneliti peroleh dari hasil akuisi data *Terrestrial Laser Scanner* terhadap gedung parkir UPI, memiliki nilai *error* yang berbeda-beda. Peneliti mengambil 5 sampel ikatan target *sphereball* yang memiliki nilai *error* tertinggi untuk mengetahui penempatan target *sphereball* yang harus dihindari. Selain itu, peneliti juga mengambil 5 sampel registrasi *scanworld* yang memiliki nilai rata-rata *error* terendah untuk mengetahui pola persebaran target *sphereball* seperti apa yang dapat menghasilkan hasil registrasi yang baik. Adapun 5 sampel ikatan target *sphereball* yang memiliki nilai *error* tertinggi dapat dilihat pada table 2.

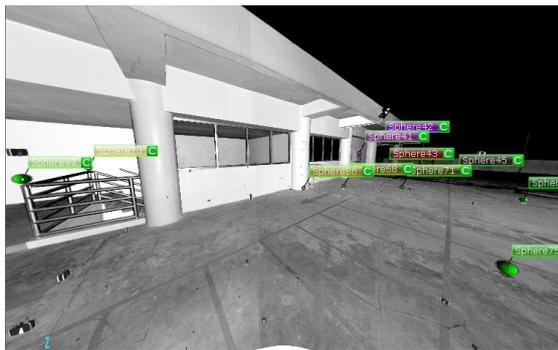
Tabel 2. Sampel Ikatan *Sphereball* Yang Memiliki Nilai *Error* Tertinggi

No	Scan 1	Scan 2	Target	<i>Distance Error</i> (mm)	<i>Horizontal Error</i> (mm)	<i>Vertical Error</i> (mm)
1	Scan001	Scan002	Sphere70	5.8	5.8	0.1
2	Scan001	Scan002	Sphere68	5.6	5.5	1.0
3	Scan001	Scan002	Sphere86	5.3	5.3	0.6
4	Scan043	Scan044	Sphere171	5.3	5.2	1.3
5	Scan042	Scan044	Sphere171	5.2	4.9	1.5

Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat bahwa target dengan kode Sphere70 yang mengikat *scanworld* dengan kode Scan001 dan Scan002 memiliki nilai *distance error* tertinggi yaitu 5.8 mm dengan nilai *horizontal error* sebesar 5.8 mm dan *vertical error* sebesar 0.1 mm. Lalu disusul oleh target dengan kode Sphere68 yang mengikat *scanworld* dengan kode Scan001 dan Scan002 dengan nilai *distance error* sebesar 5.6 mm dengan nilai *horizontal error* sebesar 5.8 mm dan *vertical error* sebesar 1.0 mm. Pada urutan selanjutnya, nilai *distance error* tertinggi dimiliki oleh target dengan kode Sphere86 yang mengikat *scanworld* dengan kode Scan001 dan Scan002 dengan nilai *distance error* sebesar 5.3 mm dengan nilai *horizontal error* sebesar 5.3 mm dan *vertical error* sebesar 0.6 mm. Nilai *distance error* tertinggi selanjutnya yaitu Sphere171 yang

mengikat *scanworld* dengan kode Scan043 dan Scan044 yang memiliki nilai *distance error* sebesar 5.3 dengan nilai *horizontal error* sebesar 5.2 mm dan *vertical error* sebesar 1.3 mm. Pada urutan selanjutnya target dengan kode Sphere171 yang mengikat *scanworld* dengan kode Scan042 dan Scan044 memiliki nilai *distance error* sebesar 5.2 mm dengan nilai *horizontal error* sebesar 4.9 mm dan *vertical error* sebesar 1.5 mm.

Dari kelima ikatan target *sphereball* dengan nilai *distance error* tertinggi, tiga diantaranya mengikat kedua *scanworld* yang sama yaitu target dengan kode Sphere70, Sphere68 dan Sphere86 yang mengikat *scanworld* dengan kode Scan001 dan Scan002. Sementara total seluruh target *sphereball* yang mengikat Scan001 dan Scan002 berjumlah 11 target sebagaimana yang dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Tampilan *Point of View* Scan001

Selain itu peneliti mengambil 5 sampel registrasi antar satuan *scanworld* yang memiliki nilai rata-rata *error* terendah. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pola persebaran target seperti apa yang memungkinkan peneliti untuk mendapatkan nilai keakuratan registrasi yang tinggi. Adapun registrasi antar satuan *scanworld* yang memiliki nilai rata-rata *distance error* terendah dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 4. 3 Sampel Satuan Registrasi Dengan Nilai Rata-rata *Error* Terendah

No	Scan 1	Scan 2	Jumlah Target	Mean Distance Error (mm)
1	Scan074	Scan075	3	0.6
2	Scan072	Scan073	3	0.7
3	Scan073	Scan074	4	0.7
4	Scan084	Scan085	5	0.8
5	Scan039	Scan040	3	0.9

Pada tabel 4.3 dapat dilihat registrasi antar *scanworld* dengan nilai keakuratan registrasi yang paling tinggi yaitu registrasi antara Scan074 dan Scan075 dengan tiga target. Kemudian disusul dengan registrasi Scan072 dengan Scan073 dengan tiga target. Lalu pada urutan ketiga yaitu registrasi antara Scan073 dan Scan074 dengan 4 target. Pada urutan ke empat yaitu registrasi antara Scan084 dan Scan085 dengan 5 target. Sementara pada urutan kelima yaitu registrasi antara Scan039 dan Scan040 dengan tiga target.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh, maka didapatkan kesimpulan untuk menjawab rumusan masalah yang telah dirumuskan. Kesimpulan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Hasil registrasi metode *target to target* dengan target berupa *sphereball* berjumlah 12 buah menghasilkan nilai RMSE yang baik dan teliti dengan nilai jarak *error* tertinggi sebesar 5.8 mm, rata-rata jarak *error* sebesar 1.7 mm, jarak *error* tertinggi secara horizontal sebesar 5,8 mm, jarak *error* terendah secara vertikal sebesar 2,6 mm.
2. Pola persebaran target dapat menghasilkan nilai registrasi yang baik apabila target tersebar secara variatif, tidak berkumpul pada satu titik serta tidak membentuk pola garis linear. Apabila target hanya dapat disebar membentuk pola garis linear akibat kondisi lokasi yang tidak memungkinkan, maka sebaran tersebut harus dikondisikan secara berliku-liku baik secara horizontal maupun vertikal. Selain itu, target akan menghasilkan nilai registrasi yang baik apabila tidak

ditempatkan pada tempat yang terhalang oleh kaca walaupun kaca tersebut tembus pandang, serta hindari penempatan target yang menumpuk pada satu titik. Banyaknya target yang digunakan untuk mengikat kedua scan tidak menjamin nilai registrasi tersebut baik.

SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa keterbatasan peneliti yang dapat dijadikan saran bagi penelitian selanjutnya, saran pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Mempersiapkan *Device* komputer yang sangat memadai, agar dapat mengefektifkan waktu pada saat proses registrasi data beserta visualisasi *point clouds*.
2. Sebelum melakukan akuisisi data, perhitungkan waktu akuisisi dengan sangat matang. Termasuk memperhitungkan berbagai kemungkinan yang dapat menghambat proses akuisisi data.
3. Pastikan komunikasi dan koordinasi berjalan dengan efektif, khususnya yang berhubungan dengan pihak yang memiliki kewenangan/akses terhadap area yang akan diteliti/diakuisisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Beshr, A. A. A., & Shehata, A. (2018). Deformation monitoring of structural elements using terrestrial laser scanner Reservoir analysis View project survey department View project. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 5, 2394–3661. <https://www.researchgate.net/publication/332029426>
- Bosch, T. (2001). Laser ranging: a critical review of usual techniques for distance measurement. *Optical Engineering*, 40(1), 10. <https://doi.org/10.1117/1.1330700>
- Gordon, S., Lichti, D., Franke, J., & Stewart, M. (2004). Measurement of Structural Deformation using Terrestrial Laser Scanners Measurement of Structural Deformation using Terrestrial Laser Scanners. *1st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering, Nottingham, United Kingdom, July*, 1–16. https://www.fig.net/resources/proceedings/2004/nottingham/proc/ts_03_2_gordon_etal.pdf
- Gumilar, I., Abidin, H. Z., & Bramanto, B. (2017). *Preliminary Result of Ratu Crater-Tangkuban Parahu Deformation, West Java by Using Terrestrial Laser Scanner. September*.
- Harvey, B. R. (2004). Registration and Transformation of Multiple Site Terrestrial Laser Scanning. *Geomatics Research Aust. Geomatics Research Aust*, 80, 1324–9983.
- Hendriatiningsih, S., Gumilar, I., Wisayantono, D., & Paramita, E. L. (2014). Survey Pemetaan Model Bangunan Tiga Dimensi (3D) Metode Terrestrial Laser Scanning untuk Dokumentasi As-Built Drawing. *Jurnal Teknik Sipil*, 21(2), 163. <https://doi.org/10.5614/jts.2014.21.2.7>
- Hugo Weichel. (1990). *Laser Beam Propagation in the Atmosphere* (TT03 ed.). SPIE Optical Engineering Press, Bellingham.
- Kern, F. (2001). Supplementing laserscanner geometric data with photogrammetric images for modeling. *Surveying and Documentation of Historic Buildings, Monuments, Sites: Traditional and Modern Methods: Potsdam (Germany), September 18-21, 2001: Proceedings of the XVIII. International Symposium, CIPA 2001*, 454–461.
- Kersten, T., Sternberg, H., & Mechelke, K. (2009). Geometrical Building Inspection by Terrestrial Laser

- Scanning. *Development, May*, 3–8.
- Kilpela, A. (2004). Pulsed time-of-flight laser range finder techniques for fast, high precision measurement applications. In *Measurement*. <http://herkules.oulu.fi/isbn9514272625/?lang=en>
- Lange, R. (2000). Time-of-flight distance measurement with with custom solid-state image sensors in CMOS / CCD-technology. *Sensors Peterborough NH*, 222, 223. <http://dokumentix.uni-siegen.de/opus/volltexte/2006/178/>
- Lichti, D. D., & Harvey, B. . (2002). the Effects of Reflecting Surface Material Properties on Time-of-Flight Laser Scanner Measurements. *Geospatial Theory, Processing and Applications*, 2001.
- Marshall, G. F., & Stutz, G. E. (2018). Handbook of Optical and Laser Scanning. In *Handbook of Optical and Laser Scanning*. <https://doi.org/10.1201/9781315218243>
- Mudzakir, M. Z., Abidin, H. Z., & Gumilar, I. (2017). Pemodelan 3D “Gedung Indonesia Menggugat” Menggunakan Teknologi Terrestrial Laser Scanner. *Indonesian Journal of Geospatial*, 6(2), 72–95.
- Nandaru, A., Sudarsono, B., & Yuwono, D. (2014). STUDI REGISTRASI POINT CLOUD PADA PEMROSESAN DATA TERRESTRIAL LASER SCANNER (TLS) (Studi Kasus : Jembatan Gading Batavia, Kelapa Gading, Jakarta Utara). *Jurnal Geodesi Undip OKTOBER*, 3(4), 2337–2845.
- Rahmawati, N., Prasetyo, Y., & Hadi, F. (2021). Pemodelan Model 3D Menggunakan Metode Tls (Terrestrial Laser Scanner). *Geodesi Undip*, 10, 224–232.
- Schulz, T. (2007). Calibration of a Terrestrial Laser Scanner for Engineering Geodesy. *Geodetic, Metrology and Engineering Geodesy, Doctor of(17036)*, 160. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-005368245>
- Setiawan, A., & Cahyono, A. (2018). Analisa Perbedaan Pengukuran Koordinat. *JURNAL TEKNIK ITS*, 7(1), 66–70.
- Simbolon, A. B. S., Yuwono, B. D., & Amarrohman, F. J. (2017). ANALISIS PERBANDINGAN KETELITIAN METODE REGISTRASI ANTARA METODE KOMBINASI DAN METODE TRAVERSE DENGAN MENGGUNAKAN TERRESTRIAL LASER SCANNER DALAM PEMODELAN OBJEK 3 DIMENSI. *Jurnal Geodesi Undip OKTOBER*, 6, 285–294.
- Staiger, R. (2003). Terrestrial Laser Scanning Technology, Systems and Applications. *Proceedings of the 2nd FIG Regional Conference*, 1–10. http://www.fig.net/pub/morocco/proceedings/TS12/TS12_3_staiger.pdf
- Suryana, T., & Florence, D. (2013). Sistem Manajemen Dokumen. *Komputa - Jurnal Imiah Komputer Dan Informatika*, 1, 1–16. <http://dokumen.unikom.ac.id>