

ANALISIS KETELITIAN DATA PEMODELAN 3 DIMENSI DENGAN METODE *TRAVERSE* DAN METODE *CLOUD TO CLOUD* MENGUNAKAN *TERRESTRIAL LASER SCANNER*

Alvatara Partogi Hutagalung, Yudo Prasetyo, Bandi Sasmito^{*)}

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : alva.huga@gmail.com

ABSTRAK

Tingkat ketelitian dalam suatu pengukuran saat ini sangatlah penting untuk diperhatikan. Seiring dengan perkembangan teknologi, tingkat ketelitian dalam suatu pengukuran juga semakin bergerak ke arah yang lebih tinggi dari waktu ke waktu. Salah satunya yang berkembang saat ini teknologi untuk melakukan survei suatu objek tiga dimensi adalah *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). Metode pengukuran TLS tersebut sendiri ada 4 yaitu : metode *Cloud to Cloud*, metode *Target to Target*, metode *Traverse*, dan metode kombinasi.

Ketelitian metode *Traverse* dan metode *Cloud to Cloud* ini akan diuji tingkat ketelitiannya dengan melakukan pengujian pada dua parameter, yakni pada metode registrasi dan hasil visualisasi model tiga dimensi. Metode yang dilakukan dalam uji ketelitian ini melakukan uji internal dengan perhitungan ketelitian hasil registrasi model *point cloud* antar metode registrasi pada *software* dan uji eksternal dengan melakukan analisis perbandingan jarak sisi bangunan menggunakan *Total Station* dan perhitungan uji statistik serta melakukan analisis hasil visualisasi model tiga dimensi antar metode sehingga akan didapatkan hasil metode mana yang lebih teliti antara metode *Traverse* atau metode *Cloud to Cloud* pada pemodelan tiga dimensi suatu objek.

Penelitian ini menghasilkan perbandingan ketelitian metode *Traverse* sebesar $\pm 0,0285$ meter dan metode *Cloud to Cloud* sebesar $\pm 0,0173$ meter dengan ketelitian linear jaring poligon 7 titik kategori orde 4 sebesar 1 : 6867,9 meter pada Patung Pangeran Diponegoro serta ketelitian metode *Traverse* sebesar $\pm 0,0401$ meter dan metode *Cloud to Cloud* sebesar $\pm 0,0213$ meter dengan ketelitian linear jaring poligon 13 titik kategori orde 4 sebesar 1 : 6246,6 meter pada Gedung Prof. Sudarto S.H. Berdasarkan hasil ketelitian yang telah didapat dapat disimpulkan bahwa metode *Cloud to Cloud* akan menghasilkan model tiga dimensi dengan tingkat ketelitian geometrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode *Traverse* serta metode *Cloud to Cloud* akan menghasilkan model tiga dimensi yang lebih teliti apabila digunakan untuk melakukan pemodelan tiga dimensi terhadap objek yang memiliki dimensi kecil. Berdasarkan hasil visualisasi model tiga dimensi antara kedua metode registrasi didapatkan hasil bahwa kedua metode menghasilkan model yang tidak berbeda dan sama baiknya apabila digunakan pada satu jaring poligon serta *mode* pengukuran yang sama yakni *mode detail* dengan daya *scan* maksimal hingga 120.000 titik/detik yang digunakan pada penelitian ini terhadap objek penelitian.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada para pengguna *Terrestrial Laser Scanner* sebagai referensi mengenai tingkat ketelitian antara metode *Traverse* dan *Cloud to Cloud* dalam pelaksanaan pengukuran sehingga dapat menentukan metode mana yang dianggap lebih baik diterapkan terhadap suatu objek pada pemodelan tiga dimensi menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner*.

Kata Kunci : Metode *Cloud to Cloud*, Metode *Traverse*, Model 3D, *Terrestrial Laser Scanner*

ABSTRACT

The level of accuracy in a current measurement is very important to note. Along with the development of technology, the level of accuracy in a measurement is also increasingly moving towards higher directions over time. One of today's emerging technologies for surveying a three-dimensional object is Terrestrial Laser Scanner (TLS). there are 4 measurement method using TLS : Cloud to Cloud method, Target to Target method, Traverse method, and Combination method.

The accuracy of Traverse method and Cloud to Cloud method will be tested for accuracy by testing two parameters, by registration method and visualization result of three dimensional model. The method used in this accuracy test performs the internal test by calculating the accuracy of the registration of point cloud model between the registration method in the software and external test by analyzing the comparison of building side distance using Total Station and statistical test calculation and performing the visualization of the three dimensional model visualization between the methods. So that we will get the result of which method is more accurate between Traverse method or Cloud to Cloud method on three dimensional object modeling

This research yielded comparison of Traverse method accuracy equal to $\pm 0,0285$ meter and Cloud to Cloud method equal to $\pm 0,0173$ meter with linear toleration of polygon precision using 7 point of Orde-4 category by 1: 6867,9 meter at Statue of Prince Diponegoro and Traverse method accuracy equal to $\pm 0,0401$ meters and Cloud to Cloud method of $\pm 0,0213$ meters with linear toleration of polygon meshes using 13 point of Orde-4

category by 1: 6246,6 meters in Building Prof. Sudarto S.H. Based on the results of accuracy have been obtained can be concluded that Cloud to Cloud method will produce three-dimensional model with a higher level of geometric accuracy than the Traverse method and Cloud to Cloud method will produce a more accurate three-dimensional model when used to perform three-dimensional modeling of objects that have small dimensions. Based on the results of three-dimensional visualization of the model between the two methods of registration showed that both methods produced similar models when used in a same polygon mesh and the same measurement mode detail scan with maximum power up to 120,000 points / sec were used on measured object.

This research is expected to provide information to the users of Terrestrial Laser Scanner as reference about the level of accuracy between Traverse and Cloud to Cloud methods in the implementation of measurement so it can determine which method is considered better applied to an object 3D modelling using Terrestrial Laser Scanner.

Keywords: 3D Model, Cloud to Cloud Registration Method, Terrestrial Laser Scanner, Traverse Registration Method

*)Penulis, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Tingkat ketelitian dalam suatu pengukuran saat ini sangatlah penting untuk diperhatikan. Seiring dengan perkembangan teknologi, tingkat ketelitian dalam suatu pengukuran juga semakin bergerak ke arah yang lebih tinggi dari waktu ke waktu. Salah satunya yang berkembang saat ini adalah teknologi untuk melakukan survei suatu objek tiga dimensi adalah *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). Tingkat ketelitian dalam pengukuran dan pemodelan tiga dimensi dengan menggunakan alat TLS ini relatif sangat tinggi hingga mencapai fraksi sentimeter.

Sejatinya, tingkat ketelitian yang dihasilkan oleh alat TLS ini tidak terlepas dari metode pengukuran yang digunakan. Metode pengukuran TLS tersebut sendiri ada 4 yaitu : metode *Cloud to Cloud*, metode *Target to Target*, metode *Traverse* dan metode kombinasi. Tingkat ketelitian pada pemodelan tiga dimensi menggunakan alat TLS dapat bervariasi tergantung terhadap metode apa yang digunakan. Setiap metode pemodelan tiga dimensi pada alat TLS memiliki karakteristik masing-masing sesuai dengan efisiensi dan tingkat kebutuhan pada saat melakukan pengukuran, namun terdapat dua metode yang paling sering digunakan yaitu metode registrasi *Traverse* dan metode registrasi *Cloud to Cloud*. Karena kedua metode ini memiliki proses dan tahapan pengukuran yang berbeda secara mendasar, maka kedua metode ini akan diuji oleh peneliti mengenai tingkat ketelitian yang dihasilkan.

Kedua metode ini akan diuji tingkat ketelitiannya dengan menggunakan pengujian terhadap dua parameter yakni tingkat ketelitian metode registrasi dan geometri bentuk objek penelitian, yakni objek dengan dimensi ukuran besar dan objek dengan dimensi ukuran kecil. Metode yang dilakukan dalam uji ketelitian ini dilakukan dengan cara menghitung hasil uji internal hasil registrasi model pada *software* dan uji eksternal dengan melakukan analisis perbandingan jarak sisi bangunan dengan menggunakan *Total Station* serta perhitungan uji statistik sehingga dengan hasil dari kedua uji ketelitian

ini akan didapatkan hasil mana yang lebih teliti antara metode *Traverse* atau metode *Cloud to Cloud* dalam pemodelan tiga dimensi suatu objek.

Pada penelitian ini peneliti ingin mengkaji lebih lanjut mengenai ketelitian antara dua metode registrasi yaitu metode *Traverse* dan metode *Cloud to Cloud*. Kedua jenis metode registrasi tersebut perlu dikaji lebih lanjut agar dapat dijadikan referensi metode mana yang lebih baik dalam hal kualitas dan ketelitian dalam akuisisi datanya serta ditinjau dari ukuran objek berdimensi besar ataupun berdimensi kecil bagi masyarakat yang ingin melakukan pemodelan tiga dimensi dengan menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner*.

I.2. Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana analisis ketelitian data metode registrasi *Traverse* dan registrasi *Cloud to Cloud* terhadap Patung Pangeran Diponegoro?
2. Bagaimana analisis ketelitian data metode registrasi *Traverse* dan registrasi *Cloud to Cloud* terhadap Gedung Prof. Sudarto S.H?
3. Bagaimana analisis ketelitian data antara metode registrasi *Traverse* dan metode registrasi *Cloud to Cloud* secara kualitatif berdasarkan hasil visualisasi tiga dimensi objek penelitian?
4. Bagaimana analisis ketelitian data antara metode registrasi *Traverse* dan metode registrasi *Cloud to Cloud* secara kuantitatif berdasarkan uji internal dengan perhitungan ketelitian registrasi *point cloud* serta uji eksternal dengan validasi pengamatan lapangan menggunakan alat *Total Station* dan perhitungan uji statistik?

I.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

1. Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui hasil pemodelan tiga dimensi dengan metode *Cloud to Cloud* dan metode *Traverse*.
- b. Mengetahui perbandingan kualitas ketelitian data registrasi antara metode *Cloud to Cloud* dengan

metode *Traverse* pada alat *Terrestrial Laser Scanner*.

- c. Mengetahui perbandingan kualitas ketelitian data registrasi kedua metode *Cloud to Cloud* dan *Traverse* terhadap bentuk objek yakni pengukuran pada objek berukuran kecil dan objek berukuran besar.

2. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini dibagi menjadi 2 yaitu :

a. Aspek keilmuan

Memberikan kontribusi bagi ilmu penginderaan jauh, khususnya pemodelan tiga dimensi suatu objek menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner*.

b. Aspek Rekayasa

Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi bagi pengguna alat *Terrestrial Laser Scanner* pada saat melakukan pengukuran di lapangan dalam menggunakan metode registrasi *Cloud to Cloud* atau *Traverse*.

I.4. Batasan Masalah

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini mengkaji tingkat ketelitian metode registrasi *Traverse* dan metode registrasi *Cloud to Cloud*
2. Hasil akhir yang dianalisis adalah hasil dari model tiga dimensi dan tingkat ketelitian antar metode registrasi secara kuantitatif dan kualitatif
3. Orde ketelitian jaring poligon yang digunakan adalah Orde-4
4. Kajian tingkat ketelitian antara metode *Traverse* dan metode *Cloud to Cloud* dihitung dengan metode uji internal berdasarkan perhitungan ketelitian registrasi *point cloud* serta uji eksternal dengan melakukan validasi menggunakan *Total Station* dan perhitungan uji statistik.
5. Model yang dikaji adalah pada penelitian ini adalah model yang didapatkan dari hasil penyiaman *point cloud* oleh alat *Terrestrial Laser Scanner*. Proses pemodelan rekayasa untuk menyempurnakan model pada bagian objek yang tidak tersiam secara sempurna oleh alat *Terrestrial Laser Scanner* tidak dianalisis dan dijelaskan secara rinci

I.5. Ruang Lingkup Penelitian

I.5.1 Wilayah Penelitian

Wilayah penelitian ini dilakukan di Universitas Diponegoro Semarang pada koordinat lintang 7,0521° S dan bujur 110,4400° T. Objek yang diteliti pada penelitian ini adalah Patung Pangeran Diponegoro dan Gedung Prof. Soedarto S.H

I.5.2 Alat dan Data Penelitian

1. Alat

A. Perangkat Keras (*Hardware*)

- a. *Terrestrial Laser Scanner* TOPCON GLS-2000 digunakan untuk mendapatkan *point cloud* hasil pengukuran terhadap objek penelitian

- b. *Total Station* Nikon Nivo 2.C digunakan untuk mengukur koordinat jaring poligon dan validasi jarak

- c. Laptop HP – 14, *Processor Intel i3*, RAM 2 GB, VGA Nvidia 820 2GB, *Windows 8.1 Ultimate*, digunakan untuk mengolah data dan laporan

- d. *Work Station* Dell, *Processor Xeon E5*, RAM 8 GB, VGA Nvidia QUADRO, digunakan untuk mengolah data *point cloud* hasil pengukuran dengan *Terrestrial Laser Scanner*.

B. Perangkat Lunak (*Software*)

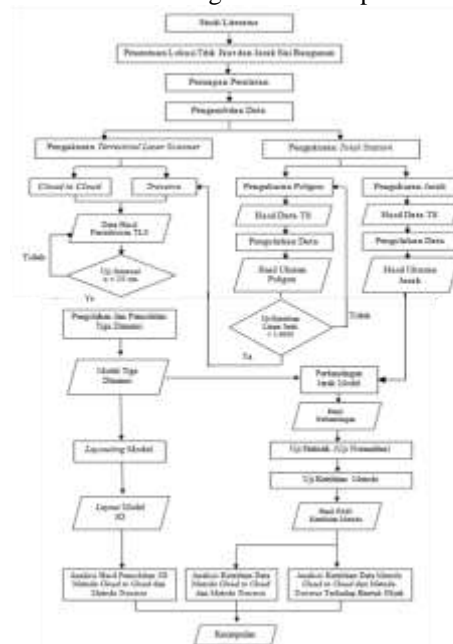
- a. *Software* Autodesk Recap 2017 digunakan untuk melakukan registrasi *point cloud*
- b. *Software* Autodesk ReMake 2017 digunakan untuk proses *mesh point cloud*
- c. *Software* ArcScene digunakan untuk proses *layouting* model
- d. *Software* ArcMap digunakan untuk proses *layouting* model
- e. *Software* SPSS digunakan untuk proses uji statistik
- f. *Software* Microsoft Word digunakan untuk mengolah laporan penelitian
- g. *Software* Microsoft Excel digunakan untuk mengolah jaring poligon dan data hasil validasi jarak

2. Data Penelitian

- a. *Point cloud* hasil pengukuran *Terrestrial Laser Scanner*
- b. Koordinat jaring poligon hasil pengukuran dengan *Total Station*
- c. Jarak hasil validasi menggunakan *Total Station*
- d. Jarak hasil validasi menggunakan *software* Autodesk Recap

I.5.3 Metodologi Penelitian

Berikut adalah diagram alir dari penelitian ini :



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Terrestrial Laser Scanner

II.1.1 Definisi Terrestrial Laser Scanner

Terrestrial Laser Scanner (TLS) adalah suatu peralatan atau teknologi pemetaan yang memanfaatkan aplikasi sinar laser untuk mengukur koordinat 3 dimensi suatu kenampakan obyek secara otomatis dan real time dengan memanfaatkan sensor aktif (Reshetyuk, 2009). Hasil dari penyiaran ini akan memperoleh suatu data yang dinamakan *point cloud*. *Point cloud* adalah kumpulan titik - titik 3 dimensi yang memiliki koordinat (X, Y, dan Z) dalam suatu sistem koordinat yang sama.

Kelebihan alat TLS dibandingkan dengan alat ukur konvensional lainnya yaitu pengambilan data lebih cepat dan kualitas hasil pengukuran yang jauh lebih akurat. Pada proses pengambilan data dan pengukuran juga dapat dilakukan dari jarak yang cukup jauh sehingga efisiensi dan keselamatan pekerja dapat terjamin. Densitas titik yang didapat sangat tinggi sehingga menjamin survei topografi yang lengkap dan cepat. Contoh alat dari *Terrestrial Laser Scanner* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Contoh alat *Terrestrial Laser Scanner* (Quintero dkk, 2008)

II.1.2 TOPCON GLS-2000

Pada penelitian ini peneliti menggunakan alat terrestrial laser scanner yaitu TOPCON – GLS 2000. TOPCON – GLS 2000 adalah salah satu jenis terrestrial laser scanner (TLS) dari produsen alat survei terkemuka TOPCON. Seri pemindai GLS-2000 terdiri dari tiga model yang sebanding dan berbeda: GLS-2000S (jarak pendek), GLS-2000M (jarak menengah), dan GLS-2000L (jarak jauh) dan pada penelitian ini peneliti menggunakan model TOPCON GLS-2000S yang dikhususkan untuk pengukuran jarak pendek TOPCON – GLS 2000. Alat ini memiliki berat yang ringan dan dapat dengan secara akurat melakukan pemindaian 360° penuh termasuk foto objek dalam waktu kurang dari tiga menit.



Gambar 3 TOPCON GLS – 2000 (Topcon, 2013)

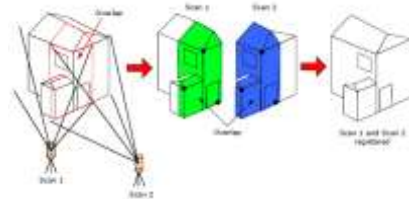
II.2. Registrasi

Dalam proses pengukuran dengan alat TLS pada umumnya suatu obyek 3 dimensi tidak akan bisa dipindai seluruhnya hanya dari satu posisi berdiri alat.

Sehingga diperlukan tahapan untuk menggabungkan data hasil akuisisi lapangan dengan alat TLS yang dikenal dengan proses registrasi. Registrasi adalah suatu proses transformasi dari *point cloud* yang dihasilkan dari beberapa *scan world* (SW) menjadi berada pada sistem koordinat yang sama. Seperti pada kegiatan foto udara atau model stereo untuk mendapatkan hasil obyek 3 dimensi diperlukan *overlap* pada alat *Terrestrial Laser Scanner* juga diperlukan adanya *overlap* dari dua lokasi pengambilan data yang bersebelahan (Arfianto dkk, 2014).

II.2.1 Metode Cloud to Cloud

Metode ini pada dasarnya menggabungkan beberapa data hasil SW dengan menentukan *point cloud* yang sama dan terekam pada data SW yang akan digabungkan. Metode ini dapat menghasilkan registrasi yang baik jika saat penyiaran antara dua *scan world* yang akan diregistrasi harus mempunyai *overlap area* umumnya 30%-40% (Quintero dkk, 2008). Untuk menentukan *point cloud* agar mudah diidentifikasi yaitu dengan menggunakan pojok – pojok bangunan. Konsep pengukuran *Cloud to Cloud* dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Metode *Cloud to Cloud* (Rehsetyuk, 2009)

II.2.2 Metode Traverse

Metode *Traverse* pada dasarnya adalah metode pengukuran detail situasi dengan menggunakan koordinat jaring poligon terkoreksi melalui pengukuran *backsight* untuk mendapatkan orientasi arah terhadap *azimuth*. Metode poligon yang digunakan dalam metode ini adalah metode poligon tertutup. Poligon tertutup merupakan poligon dengan koordinat awal dan akhir yang mempunyai koordinat sama. Metode poligon tertutup ini membutuhkan dua titik acuan dalam setiap kali berdiri alat. Titik acuan yang dimaksudkan adalah titik acuan yang berada di belakang atau *backsight*, titik acuan yang berada di depan atau *foresight*, dan titik acuan berdiri alat.

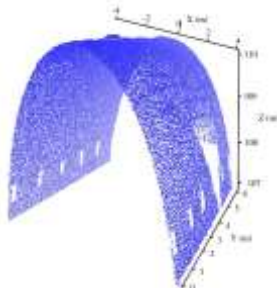
Keuntungan dengan menggunakan metode *Traverse* ini adalah untuk bentuk permukaan yang rumit dan pengukuran jarak antar *scan world* yang cukup panjang, karena metode ini memudahkan dalam melakukan registrasi. Metode ini dimungkinkan dilaksanakan jika koordinat dari tiap titik lokasi berdiri TLS sudah diketahui, baik melalui pengukuran dengan *Total Station* atau dengan GPS sebelumnya (Quintero dkk, 2008). Ilustrasi metode *Traverse* dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Metode Traverse

II.3. Point cloud

Point cloud adalah sekelompok pengukuran diskrit dalam sistem koordinat tiga dimensi dalam sistem koordinat kartesius atau X, Y dan Z yang dapat dilihat pada 6. Point cloud dapat dihasilkan oleh beberapa jenis metode yaitu dengan laser scanning, korelasi gambar, radargrametri, SAR (Synthetic Aperture Radar), time of flight cameras (ToF cameras) dan Multi-beam Echo Sounding (MBES). Jika dilihat berdasarkan alat dan metode pengambilan data, kerapatan point cloud dapat bervariasi dari mulai tingkat centimeter seperti pada Terrestrial Laser Scanner hingga tingkat ratusan meter seperti point cloud yang dihasilkan dari laser satelit altimetri. (Otepka J, 2013). Contoh point cloud dalam sistem koordinat tiga dimensi dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 Point cloud (Armesto, 2008)

Terdapat 2 jenis point cloud yaitu point cloud yang tergeoreferensi dan point cloud yang tidak tergeoreferensi (Otepka, 2013)

1. Point cloud Tergeoreferensi (Direct Georeferencing)

Point cloud yang sudah tergeoreferensi adalah Point cloud yang sudah memiliki sistem koordinat referensi bumi, contohnya seperti WGS84 (World Geodetic System, 1984) atau sistem koordinat terproyeksi terhadap peta dengan referensi ellipsoid tertentu seperti sistem proyeksi UTM (Universal Transverse Mercator). Setiap point cloud memiliki nilai atribut (x; y; z) sesuai dengan sistem koordinat referensi yang digunakan.

2. Point cloud Tidak Tergeoreferensi (Indirect Georeferencing)

Point cloud yang tidak tergeoreferensi adalah point cloud yang tidak memiliki sistem koordinat referensi apapun sehingga pada umumnya menggunakan sistem koordinat lokal. Untuk dapat menggunakan dan memodelkan point cloud ini sesuai dengan lokasi pengambilan data maka perlu dilakukan transformasi koordinat terhadap sistem

koordinat referensi tertentu dengan melakukan pengikatan terhadap titik koordinat referensi yang ditentukan.

Hasil pengukuran point cloud dapat digunakan untuk berbagai tujuan, antara lain adalah untuk menciptakan model 3D, pemeriksaan kualitas suatu objek dan menghasilkan animasi untuk penggunaan massal. Pada umumnya point cloud tidak dapat langsung digunakan pada sebagian aplikasi 3D dan umumnya harus diubah terlebih dahulu ke model poligon atau segitiga yang saling berhubungan yang disebut Triangulate Irregular Network atau model Computer Aided Design (CAD) melalui proses umum disebut sebagai rekonstruksi permukaan. Selanjutnya model 3D point cloud dapat diubah kedalam model permukaan 3D (Nandaru dkk, 2014).

II.4. Uji Validasi Jarak dengan Total Station

Untuk mencari nilai dan data yang dianggap benar agar dapat dilakukan uji statistik ketelitian pengukuran dalam penelitian ini tentunya diperlukan proses validasi data pada objek penelitian di lapangan. Validasi data dilakukan dengan menggunakan alat Total Station dengan cara mengukur jarak sisi bangunan pada titik-titik validasi yang ditentukan pada objek pengukuran. Berikut adalah contoh titik validasi pada objek dilapangan pada gambar 7.



Gambar 7 Validasi jarak pada sisi objek

Keterangan :

- T1 : Ukuran jarak pada sisi atap gedung
- T2 : Ukuran jarak pada sisi tembok gedung

Hasil pengukuran panjang sisi pada titik-titik validasi ini dianggap sebagai data yang benar pada penelitian ini. Selanjutnya pengukuran panjang sisi pada titik – titik validasi yang sama akan dilakukan pada model 3D setelah dilakukan pengolahan data point cloud hasil pengukuran dengan TLS. Setelah didapatkan data jarak pada hasil pengukuran dengan Total Station dan hasil pengukuran pada model 3D maka selanjutnya dapat dilakukan uji statistik dan uji ketelitian metode untuk mendapatkan tingkat ketelitian metode yang digunakan.

II.5. Uji Statistik (Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov)

Uji normalitas adalah salah satu jenis pengujian data dalam ilmu statistik yang bertujuan untuk menguji apakah dalam model regresi, variabel pengganggu atau residual memiliki nilai distribusi normal. Jika asumsi

ini dilanggar, maka uji statistik menjadi tidak valid atau bias terutama untuk sampel kecil.

Menurut Sarwono dan Budiono (2012) uji *Kolmogorov – Smirnov* merupakan prosedur untuk menentukan apakah distribusi-distribusi nilai pada variabel ordinal berbeda secara signifikan pada dua sampel yang tidak berhubungan/independen. Kegunaan dari uji *Kolmogorov – Smirnov* adalah untuk menguji apakah dua sampel berasal dari populasi yang sama. Jika kedua sampel sudah ditarik dari populasi yang sama atau mempunyai kesamaan distribusi maka distribusi kumulatif antara dua sampel tersebut mempunyai kedekatan nilai.

II.6. Uji Ketelitian Metode Pengukuran

Setiap pengukuran pasti tidak lepas dari kesalahan. Begitu juga dalam proses pengolahan data ukuran, yaitu proses registrasi yang juga tidak lepas dari kesalahan. Besarnya nilai kesalahan tersebut ditunjukkan dengan nilai RMSE (*root mean square error*). RMSE adalah suatu nilai perbedaan antara nilai sebenarnya dengan nilai hasil ukuran.

Semakin besar nilai RMSE, maka semakin besar pula kesalahan hasil ukuran terhadap kondisi yang sebenarnya. RMSE didapatkan dari proses pembagian antara nilai akar kuadrat total selisih ukuran kuadrat dengan jumlah ukuran yang digunakan. Definisi matematis dari RMSE mirip dengan simpangan baku, yaitu akar kuadrat dari rata - rata jumlah kuadrat residual (Soeta'at, 1994). Kesalahan baku didefinisikan sebagai akar dari jumlah kuadrat residual. Rumus menghitung RMSE disajikan pada persamaan 1.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (R - R_1)^2}{n}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan

- RMS : *Root Mean Square Error*
- R : Nilai yang dianggap benar
- R1 : nilai hasil ukuran validasi
- N : banyak ukuran yang digunakan

III. Metodologi Penelitian

III.1. Pengolahan Data

Secara garis besar tahapan penelitian dijabarkan dalam gambar 1.

III.2. Tahapan Penelitian

Penelitian ini mempunyai beberapa tahapan berikut:

1. Studi literatur dan pengumpulan data
2. Orientasi penyiaman
3. Pengukuran dan Pengolahan Jaring Poligon
 Untuk mendapatkan koordinat jaring poligon utama maka diperlukan pengukuran koordinat jaring poligon dengan menggunakan *Total Station*. Koordinat jaring poligon Patung Pangeran Diponegoro dan Gedung Prof. Sudarto S.H dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2.

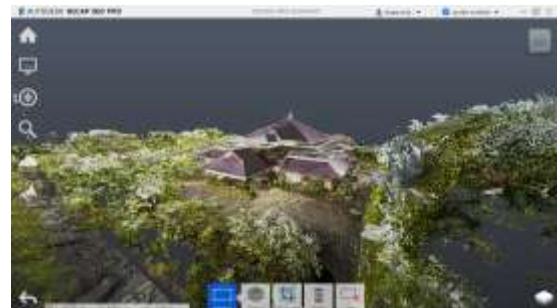
Tabel 1 Koordinat Poligon Patung Pangeran Diponegoro

No	Nama	Easting (m)	Northing (m)
1	101	437958,763	9220753,588
2	102	437973,032	9220758,867
3	103	437983,742	9220768,717
4	104	437979,998	9220777,937
5	105	437966,208	9220783,710
6	106	437958,278	9220778,939
7	107	437951,196	9220774,409

Tabel 2 Koordinat Poligon Gedung Prof. Sudarto S.H

No	Nama	Easting (m)	Northing (m)
1	101	438170,988	9220411,138
2	102	438194,067	9220409,043
3	103	438211,634	9220410,982
4	104	438235,418	9220406,240
5	105	438238,859	9220385,728
6	106	438239,901	9220318,196
7	107	438213,634	9220304,854
8	108	438193,246	9220327,410
9	109	438157,382	9220336,732
10	110	438142,469	9220340,583
11	111	438141,752	9220372,450
12	112	438145,883	9220387,019
13	113	438152,570	9220414,861

4. Penyiaman menggunakan TOPCON GLS-2000
 Pada proses ini dilakukan pengukuran terhadap kedua objek yaitu Patung Pangeran Diponegoro dan Gedung Prof. Sudarto S.H menggunakan dua metode registrasi *Traverse* dan *Cloud to Cloud*. Untuk metode *Traverse* maka koordinat jaring poligon yang sudah diukur maka terlebih dahulu dilakukan registrasi koordinat *Traverse* pada alat TLS.
5. Registrasi *Point cloud* menggunakan Autodesk Recap
 Setelah melakukan penyiaman dengan menggunakan TLS diperlukan registrasi *point cloud* agar seluruh *point cloud* hasil penyiaman dapat membentuk model tiga dimensi sesuai dengan bentuk objek. Gambar hasil registrasi *point cloud* dapat dilihat pada gambar 8 dan 9.



Gambar 8 Hasil registrasi Gedung Prof. Sudarto S.H



Gambar 9 Hasil registrasi Patung Pangeran Diponegoro

6. *Filtering* dan *Meshing*

Langkah selanjutnya adalah dilakukan proses *filtering* dan *meshing* untuk membersihkan objek dari objek lain yang tidak diperlukan dan membentuk model tiga dimensi. Hasil dari proses tersebut dapat dilihat pada gambar 10 dan gambar 11.



Gambar 10 Hasil *Filtering* dan *Meshing* Patung Pangeran Diponegoro



Gambar 11 Hasil *Filtering* dan *Meshing* Gedung Prof. Sudarto S.H

7. Validasi Data dan Analisis Ketelitian

Setelah melakukan registrasi dan pemodelan, langkah selanjutnya adalah validasi data model TLS dengan menggunakan *Total Station*. Validasi ini menggunakan beberapa bagian sisi pada bangunan untuk diukur jaraknya menggunakan dua metode, yaitu pengukuran jarak pada komputer dan validasi jarak menggunakan *Total Station*. Pengukuran jarak pada *software* dilakukan pada kedua model hasil metode *Traverse* dan metode *Cloud to Cloud*.

8. Uji Statistik (Uji Normalitas)

Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis deterministik menggunakan metode uji statistika dengan cara teknik uji normalitas *Kolmogorov-Smirnov* pada aplikasi SPSS.

9. Perhitungan Tingkat Ketelitian

Pada tahap ini setiap metode akan diuji tingkat ketelitiannya menggunakan rumus 1 dengan menggunakan data validasi jarak.

IV. Hasil dan Analisis

IV.1. Hasil dan Analisis Pengukuran Kerangka Jaring Poligon

1. Patung Pangeran Diponegoro

Jaring poligon pada daerah penelitian Patung Pangeran Diponegoro menggunakan 7 titik kerangka poligon dengan nilai ketelitian jarak linear sebesar 1 : 6867,9 m memenuhi kategori ketelitian Orde-4 jaring kerangka poligon.

2. Gedung Prof. Sudarto S.H

Jaring poligon pada daerah penelitian Gedung Prof. Sudarto S.H menggunakan 13 titik kerangka poligon dengan nilai ketelitian jarak linear sebesar 1 : 6246,6 m memenuhi kategori ketelitian Orde-4 jaring kerangka poligon.

Ketelitian poligon pada Gedung Prof. Sudarto S.H mendapatkan hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan poligon pada Patung Pangeran Diponegoro diakibatkan oleh beberapa faktor, yaitu total jarak poligon dan jumlah titik poligon yang digunakan lebih banyak sehingga menimbulkan akumulasi tingkat kesalahan yang lebih tinggi.

IV.2. Hasil dan Analisis Registrasi Data dan Uji Internal

1. Patung Pangeran Diponegoro

Hasil model registrasi dan *filtering point cloud* metode *Traverse* dan *Cloud to Cloud* dapat dilihat pada gambar 12



(a)

(b)

Gambar 12 Model Patung Pangeran Diponegoro hasil registrasi, (a) *Traverse* ; (b) *Cloud to Cloud*

Untuk metode *Traverse* memiliki 7 titik berdiri alat dengan nilai RMS (*Root Means Square*) sebesar 0,024 meter sedangkan untuk metode *Cloud to Cloud* memiliki nilai 0,016 meter.

2. Gedung Prof. Sudarto S.H
Hasil model registrasi dan *filtering point cloud* metode *Traverse* dan *Cloud to Cloud* dapat dilihat pada gambar 13.



(a)



(b)

Gambar 13 Model Gedung Prof. Sudarto S.H hasil registrasi, (a) *Traverse* ; (b) *Cloud to Cloud Square*)

Untuk metode *Traverse* memiliki nilai *RMS Error* sebesar 0,088 meter sedangkan untuk metode *Cloud to Cloud* memiliki 13 titik berdiri alat dengan nilai *RMS* sebesar 0,034 meter.

IV.3. Hasil dan Analisis Ketelitian Data Metode *Traverse* dan Metode *Cloud to Cloud* dengan Uji Validasi jarak

1. Patung Pangeran Diponegoro
 - a. Metode *Traverse*
 $RMS\ E\ Traverse = 0,0285\ m$
 - b. Metode *Cloud to Cloud*
 $RMS\ E\ Cloud\ to\ Cloud = 0,0173\ m$
2. Gedung Prof. Sudarto S.H
 - a. Metode *Traverse*
 $RMS\ E\ Traverse = 0,0401\ m$
 - b. Metode *Cloud to Cloud*
 $RMS\ E\ Cloud\ to\ Cloud = 0,0213\ m$

Dari hasil perhitungan *RMS* kedua metode tersebut dapat dilihat bahwa metode *Cloud to Cloud* memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi berdasarkan hasil pengukuran terhadap kedua objek, yakni tingkat ketelitian pada fraksi milimeter sebesar 0,0173 meter untuk Patung Pangeran Diponegoro dan 0,0213 meter pada Gedung Prof. Sudarto. Sedangkan pada metode *Traverse* didapatkan hasil tingkat kesalahan yang lebih rendah yaitu sebesar 0,0285 meter pada Patung Pangeran Diponegoro dan 0,0401 meter pada Gedung Prof. Sudarto. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal antara lain :

1. Untuk metode *Traverse* tingkat kesalahan yang didapat bisa disebabkan oleh beberapa faktor seperti berikut :
 - a. Tidak sempurnanya proses *centering* alat *TLS* pada saat melakukan pengukuran *Traverse*

- b. Kesalahan pengukuran pada tinggi alat *TLS* dan tinggi prisma *backsight*.
- c. Kesalahan pada saat melakukan pengukuran *backsight*

Faktor – faktor kesalahan pada metode *Traverse* diatas tidak berlaku untuk metode *Cloud to Cloud* karena pada metode tersebut proses *centering* alat merupakan hal yang tidak wajib dan tidak diperlukan pengukuran *backsight* sehingga bisa meminimalisir tingkat kesalahan yang terjadi.

2. *Overlap* hasil penyiaman antar titik rata – rata diatas 50% untuk kedua objek penelitian, hal ini menyebabkan lebih tingginya hasil ketelitian metode *Cloud to Cloud*
3. Proses registrasi metode *Cloud to Cloud* dapat dilakukan berulang kali pada *Work Station* hingga mencapai tingkat ketelitian yang diinginkan, sedangkan pada metode *Traverse* hal ini tidak dapat dilakukan selain dengan dilakukan penambahan titik ukur dilapangan.

IV.4. Hasil dan Analisis Ketelitian Data Metode *Traverse* dan Metode *Cloud to Cloud* Terhadap Dimensi Objek

Berdasarkan hasil ketelitian uji internal dan uji validasi jarak dapat disimpulkan dari kedua metode yang digunakan bahwa metode *Cloud to Cloud* lebih teliti dan akurat apabila digunakan untuk mengukur objek dengan dimensi berukuran kecil maupun besar dibandingkan dengan penggunaan metode *Traverse*. Hal ini disebabkan oleh metode registrasi *Cloud to Cloud* yang menggunakan sistem titik ikat dengan dapat dilakukan pengulangan berkali-kali hingga mendapatkan tingkat ketelitian yang diinginkan.

Sedangkan baik dari metode *Traverse* dan metode *Cloud to Cloud* keduanya akan lebih akurat dan teliti untuk melakukan pengukuran terhadap objek dengan dimensi yang lebih kecil. Hasil ini dapat dilihat pada tabel IV – 7 bahwa tingkat kesalahan *RMS* kedua metode memiliki nilai yang lebih rendah pada Patung Pangeran Diponegoro. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal berikut :

1. Syarat utama untuk meningkatkan kualitas metode *Cloud to Cloud* yaitu besaran *overlap* objek antar titik berdiri alat harus diatas 30%, hal ini menyebabkan lebih tingginya tingkat ketelitian metode *Cloud to Cloud* karena pada objek penelitian Patung Pangeran Diponegoro S.H memiliki nilai *overlap* objek antar titik rata – rata diatas 70% sehingga memudahkan proses registrasi pada *Work Station*.
2. Tidak ada objek yang menghalangi objek penelitian sehingga setiap *point cloud* dapat terukur dengan baik pada Patung Pangeran Diponegoro sedangkan pada Gedung Prof. Sudarto S.H terdapat banyak sekali pepohonan dan objek lainnya yang menghalangi jalannya sinar laser sehingga menimbulkan begitu banyak *noise* pada hasil pengukuran *point cloud*.

3. Jarak dari alat TLS ke Patung Pangeran Diponegoro relatif lebih dekat dibandingkan dengan jarak dari alat TLS ke Gedung Prof. Sudarto S.H. Hal ini menyebabkan lebih padatnya tingkat densitas *point cloud* pada Patung Pangeran Diponegoro.

IV.5. Hasil dan Analisis Model Tiga Dimensi dengan Metode *Traverse* dan Metode *Cloud to Cloud*

1. Patung Pangeran Diponegoro

Berikut adalah hasil model tiga dimensi Patung Pangeran Diponegoro skala 1:50 dengan metode *Traverse* dan *Cloud to Cloud* setelah dilakukan proses meshing terhadap *point cloud* yang sudah diregistrasi yang dapat dilihat pada gambar 14 dan gambar 15.



Gambar 14 Model 3D *Traverse* Patung Pangeran Diponegoro



Gambar 15 Model 3D *Cloud to Cloud* Patung Pangeran Diponegoro

2. Gedung Prof. Sudarto S.H

Berikut adalah hasil model tiga dimensi Gedung Prof. Sudarto skala 1:250 dengan

metode *Traverse* dan *Cloud to Cloud* setelah dilakukan proses meshing terhadap *point cloud* yang sudah diregistrasi yang dapat dilihat pada gambar 16 dan gambar 17.



Gambar 16 Model 3D *Traverse* Gedung Prof. Sudarto S.H



Gambar 17 Model 3D *Cloud to Cloud* Gedung Prof. Sudarto S.H

Secara visual dapat dilihat bahwa hampir tidak ada perbedaan yang signifikan antara kedua model yang dihasilkan oleh metode *Traverse* maupun dengan metode *Cloud to Cloud* pada masing – masing objek penelitian. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain :

- a. Kedua metode pengukuran menggunakan satu kerangka jaring poligon yang sama, sehingga lokasi tempat berdiri alat, sudut pengambilan data, serta besaran *overlap* penyiaran laser pada objek juga relatif sama sehingga menghasilkan geometri dan sebaran *point cloud* yang serupa.
- b. Kedua metode pengukuran menggunakan mode pengukuran yang sama pada alat TLS, yakni mode pengukuran *detail* seperti dapat kita lihat pada bab 2 di dalam sub bab II.4.4

Pada model *mesh* Gedung Prof. Sudarto S.H terdapat banyak bagian yang kosong di beberapa sisi bangunan. Hal ini disebabkan oleh tidak tersiamnya beberapa sisi bagian bangunan oleh TLS akibat keterbatasan lokasi titik pengambilan alat yang tidak memungkinkan akibat adanya gangguan dari objek lain seperti pohon dan kondisi topografi halaman Gedung Prof. Sudarto S.H yang semakin rendah pada bagian belakang gedung. Hal ini sebetulnya dapat diantisipasi dengan melakukan pengukuran dengan TLS pada bagian atas Gedung Prof. Sudarto S.H

namun terkendala izin dari pihak keamanan kampus untuk melakukan hal demikian.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir yang sudah dilakukan, maka dapat disimpulkan berbagai macam hal seperti berikut :

1. Metode registrasi *Traverse* dan registrasi *Cloud to Cloud* pada Patung Pangeran Diponegoro memiliki nilai ketelitian metode *Traverse* sebesar $\pm 0,0285$ meter dan metode *Cloud to Cloud* sebesar $\pm 0,0173$ meter dengan ketelitian linear jaring poligon 7 titik kategori orde 4 sebesar 1 : 6867,9 meter. Pemodelan terhadap Patung Pangeran Diponegoro memiliki tingkat ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan dengan Gedung Prof. Sudarto disebabkan oleh beberapa hal berikut:
 - a. Tingkat ketelitian linear poligon pada Patung Pangeran Diponegoro memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan ketelitian linear poligon pada Gedung Prof. Sudarto. Hal ini berkaitan langsung dengan tingkat ketelitian metode registrasi *Traverse* yang menggunakan koordinat jaring poligon untuk melakukan proses registrasi pada alat.
 - b. Jarak titik poligon terhadap objek penelitian berada pada jarak dengan rentang dekat dibawah 20 meter. Hal ini menyebabkan tingkat kepadatan *point cloud* pada objek penelitian menjadi lebih tinggi.
 - c. Penggunaan 7 titik poligon pada Patung Pangeran Diponegoro yang memiliki dimensi ukuran kecil menyebabkan besarnya nilai *overlap* penyiaman antar titik mencapai lebih dari 50%. Besarnya nilai *overlap* ini akan membuat proses registrasi *Cloud to Cloud* semakin teliti karena semakin banyak *point cloud* yang bertampalan pada hasil penyiaman antar titik.
2. Metode registrasi *Traverse* dan registrasi *Cloud to Cloud* pada Gedung Prof. Sudarto S.H memiliki nilai ketelitian metode *Traverse* sebesar $\pm 0,0401$ meter dan metode *Cloud to Cloud* sebesar $\pm 0,0213$ meter dengan ketelitian linear jaring poligon 13 titik kategori orde 4 sebesar 1 : 6246,6 meter. Pemodelan terhadap Gedung Prof. Sudarto S.H memiliki tingkat ketelitian yang lebih rendah dibandingkan dengan Patung Pangeran Diponegoro disebabkan oleh hal berikut :
 - a. Tingkat ketelitian linear poligon pada Gedung Prof. Sudarto S.H lebih rendah dibandingkan dengan Patung Pangeran Diponegoro. Hal ini disebabkan jaring poligon pada Gedung Prof. Sudarto S.H memiliki jarak yang lebih jauh dan menggunakan titik poligon yang lebih banyak dibandingkan dengan jaring poligon pada Patung Pangeran Diponegoro. Akibat dari lebih rendahnya ketelitian linear poligon ini berdampak langsung pada registrasi *Traverse* yang memiliki selisih perbedaan ketelitian hingga 3 milimeter pada registrasi *Traverse* Patung Pangeran Diponegoro.
 - b. Terdapat banyak gangguan atau *noise* pada kondisi lingkungan Gedung Prof. Sudarto S.H berupa pohon rindang yang mengelilingi gedung sehingga menyebabkan metode registrasi *Cloud to Cloud* mengalami kesulitan untuk dilakukan pengikatan antar titik *point cloud* dan berdampak kepada tingkat ketelitian yang dihasilkan
 - c. Untuk mencakup sisi bangunan hingga bagian atap pada saat melakukan penyiaman maka jarak titik poligon terhadap Gedung Prof. Sudarto S.H disesuaikan pada jarak yang lebih jauh dibandingkan dengan jarak titik poligon terhadap Patung Pangeran Diponegoro. Hal ini menyebabkan tingkat densitas *point cloud* pada Gedung Prof. Sudarto S.H lebih rendah dibandingkan dengan Patung Pangeran Diponegoro.
3. Secara visual dapat dilihat bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua model yang dihasilkan oleh metode *Traverse* maupun dengan metode *Cloud to Cloud* pada masing – masing objek penelitian.. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain :
 - a. Kedua metode pengukuran menggunakan satu kerangka jaring poligon yang sama, sehingga lokasi tempat berdiri alat, sudut pengambilan data, serta besaran *overlap* penyiaman laser pada objek juga relatif sama sehingga menghasilkan geometri dan sebaran *point cloud* yang serupa.
 - b. Kedua metode pengukuran menggunakan mode pengukuran yang sama pada alat TLS, yakni mode pengukuran *detail*. Pada beberapa sisi bangunan objek terdapat bagian yang kosong. Hal ini disebabkan oleh tidak tersiamnya beberapa sisi bagian bangunan oleh TLS akibat keterbatasan lokasi titik pengambilan alat yang tidak memungkinkan akibat adanya gangguan dari objek lain seperti pohon dan kondisi topografi lingkungan di sekitar objek penelitian.
4. Pada Patung Pangeran Diponegoro pengujian internal registrasi adalah sebesar 0,024 meter untuk metode registrasi *Traverse* dan sebesar 0,016 meter untuk metode registrasi *Cloud to Cloud* sedangkan untuk Gedung Prof. Sudarto S.H adalah sebesar 0,088 meter untuk metode registrasi *Traverse* dan sebesar 0,034 untuk metode *Cloud to Cloud*. Pada uji eksternal dengan validasi lapangan menghasilkan perbandingan ketelitian metode *Traverse* sebesar $\pm 0,0285$ meter dan metode *Cloud to Cloud* sebesar $\pm 0,0173$ meter dengan nilai signifikansi uji statistik tiap metode $> 0,05$ pada Patung Pangeran Diponegoro serta ketelitian metode *Traverse* sebesar $\pm 0,0401$ meter dan metode *Cloud to Cloud* sebesar $\pm 0,0213$ meter dengan nilai signifikansi uji statistik tiap metode $> 0,05$ pada Gedung Prof. Sudarto S.H. Berdasarkan hasil penelitian yang telah didapat maka dapat disimpulkan bahwa metode registrasi *Cloud to Cloud* memiliki tingkat ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode registrasi *Traverse*.

Sedangkan berdasarkan aspek bentuk dari objek, dapat disimpulkan bahwa baik metode registrasi *Cloud to Cloud* ataupun metode registrasi *Traverse* akan memiliki hasil ketelitian model yang lebih tinggi apabila diaplikasikan terhadap objek dengan dimensi berukuran kecil.

V.2 Saran

Saran yang dapat diajukan berdasarkan hasil penelitian untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Peneliti menyarankan penggunaan metode *Cloud to Cloud* untuk melakukan pengukuran dengan TLS pada objek berskala kecil ataupun besar namun dalam luasan daerah yang tidak terlalu luas karena memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi serta dapat dilakukan pengulangan proses registrasi untuk mendapatkan tingkat ketelitian yang diinginkan.
2. Untuk pengukuran dengan daerah penelitian memiliki luas daerah yang sangat luas seperti pedesaan, perumahan, dan lain-lain akan lebih baik menggunakan metode registrasi *Traverse* karena proses registrasi yang mudah dan sangat efisien dalam hal penggunaan waktu. Penggunaan metode *Cloud to Cloud* untuk daerah yang luas seperti diatas akan sangat memakan waktu pada saat melakukan proses registrasi di komputer.
3. Tingkat ketelitian pada proses registrasi *Traverse* sangat bergantung kepada tingkat ketelitian kerangka jaring poligon, proses *centering* alat, pengukuran tinggi alat, serta pengukuran tinggi prisma *backsight* sehingga peneliti menyarankan untuk sangat memperhatikan hal-hal tersebut saat melakukan pengukuran dengan menggunakan metode registrasi *Traverse*.
4. Pengukuran sebaiknya dilakukan pada siang hari dimana objek dapat dengan baik disinari oleh matahari. Hal ini disebabkan karena sinar matahari mempengaruhi warna objek yang akan ditangkap oleh sensor kamera TLS.
5. Perlunya menghindari pengukuran objek pada saat kondisi objek basah atau baru saja terkena hujan. Objek yang basah akan menyebabkan terjadinya bias pada sinar laser TLS sehingga objek yang ditangkap oleh sensor tidak akurat.
6. Untuk objek penelitian yang berdimensi besar, diperlukan pengukuran perencanaan kerangka poligon yang lebih matang agar seluruh objek penelitian dapat terukur dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfianto, N., Sasmito, B., Hani'ah. 2014. *Pemodelan Bangunan Cagar Budaya Gereja Blenduk Untuk Konservasi dengan Metode Terrestrial Laser Scanner*. Semarang : Jurnal Geodesi Undip. Vol. 3, No.3.
- Armesto, J. 2009. *Modelling masonry arches shape using terrestrial laser scanning data and nonparametric methods*. Engineering Structures
- Nandaru, A., Sudarsono, B., Yuwono, D.Y. 2014. *Aplikasi Terrestrial Laser Scanner Untuk Pemodelan Tampak Muka Bangunan (Studi Kasus: Gedung Pt. Almega Geosystems, Kelapa Gading-Jakarta)*. Semarang : Jurnal Geodesi Undip. Vol. 3, No. 4.
- Otepka, J., 2013. *Georeferenced Point clouds : A Survei of Features and Point cloud Management*.
- Quintero, M. S., Genechten, B. V., Bruyne, M. D., Ronald, P., Hankar, M., dan Barnes, S., (2008, June 4), *Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning*. Project (3DriskMapping).
- Reshetyuk, Y., 2009. *Self-calibration, and Direct Georeferencing In Terrestrial Laser Scanning*. Saarbrucken, Germany: VDM Verlag Dr. Muller.
- Sarwono, J dan Budiono, H. 2012. *Statistik Terapan Aplikasi Untuk Riset Skripsi, Tesis dan Disertasi Menggunakan SPSS, AMOS dan Excel*. Jakarta : Elex Media Komputindo
- Soeta'at. 1994. *Fotogrametri Analitik*. Jurusan Teknik Geodesi. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.Yogyakarta.
- TOPCON. 2013. *Topcon GLS-2000 User Manual Book..*