

ANALISIS KETELITIAN *POINT CLOUDS* TEKNOLOGI *TERRESTRIAL LASER SCANNER***(STUDI KASUS: DEKANAT LAMA FAKULTAS TEKNIK)**Sekar Melati Ramadhani^{*}, Yudo Prasetyo, Nurhadi Bashit

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email: sekarmelatir@students.undip.ac.id

ABSTRAK

Point clouds adalah kumpulan titik yang memiliki informasi koordinat X, Y, Z, biasa digunakan sebagai acuan 3 dimensi baik untuk pembuatan *Digital Elevation Model* (DEM), *Digital Surface Model* (DSM), *modelling* atau *meshing*. Teknologi untuk membuat model 3D dan *mesh* pada saat ini semakin berkembang, sehingga tuntutan pembuatan model 3D atau *mesh* semakin diperhatikan ketelitiannya. Ketelitian model 3D dan *mesh* bergantung pada ketelitian *point clouds*, semakin teliti *point clouds*, semakin teliti pula model 3D atau *mesh* yang dibuat, sehingga perlu adanya penelitian untuk mengetahui ketelitian *point clouds*. Akuisisi *point clouds* dapat dilakukan menggunakan beberapa metode yang memiliki karakteristik berbeda. Penelitian ini fokus untuk mengetahui kualitas dan ketelitian *point clouds* hasil akuisisi menggunakan TLS Leica BLK360 pada Gedung Dekanat lama fakultas teknik. Data TLS diregistrasi menggunakan metode *cloud to cloud* sehingga terbentuk *point clouds* Dekanat Lama Fakultas Teknik. Hasil penelitian ini dapat menunjukkan bahwa TLS memiliki ketelitian yang baik dengan RMSE jarak sebesar 0,025m dan RMSE ICP antara lain RMSE_x 0,044m, RMSE_y 0,027, RMSE_z 0,066 RMSE_{xy} 0,052 dan RMSE_{xyz} 0,084 m.

Kata Kunci: Ketelitian, *Point Clouds*, TLS**ABSTRACT**

Point clouds are a collection of points that have X, Y, Z coordinate information. *Point clouds* are using for a 3-dimensional reference frame for *Digital Elevation Model* (DEM), *digital surface model* (DSM) modeling, and *meshing*. In this era, modeling and *meshing* are developing, so the demands of making models or *mesh* are getting more attention. This role of *point clouds* means that it is needed to know the accuracy of *point clouds* measurements because if the *point clouds* has good accuracy, we can get the more accurate the model or *mesh*. *Point clouds* acquisition is getting using several methods that have their characteristics. This research focuses on knowing the quality and accuracy of *point clouds* that we obtained by using the Leica BLK360 Terrestrial Laser Scanner (TLS) for the old Dean of the engineering faculty. TLS data is registered using the *cloud to cloud* method to get the *Point clouds* of the old Dean of the engineering faculty. The results of this study indicate that the accuracy of Terrestrial Laser Scanner *point clouds* of the old Dean of the engineering faculty by combining technology with RMSE with a distance of 0.036 m and RMSE ICP, including RMSE_x 0.044m, RMSE_y 0.027, RMSE_z 0.066 RMSE_{xy} 0.052 and RMSE_{xyz} 0.084m.

Keywords: Accuracy, *Point Clouds*, TLS^{*}) Penulis Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Point clouds adalah kumpulan titik yang memiliki informasi koordinat X, Y, Z (Otepka dkk, 2013). *Point clouds* digunakan sebagai kerangka dasar acuan 3 dimensi baik untuk pembuatan *Digital Elevation Model* (DEM), *Digital Surface Model* (DSM), serta *modelling* atau *meshing* yang semakin hari semakin berkembang. *Point clouds* memiliki peran penting dalam pembuatan model 3D dan *mesh*, semakin baik ketelitian dari *point clouds* yang didapat maka semakin baik pula hasil model 3D dan *mesh* yang dibuat.

Data *point clouds* dapat diperoleh dengan berbagai macam cara antara lain, teknologi LiDAR (*Light Detection and Ranging*), dari data foto udara hasil Akuisisi *Unmanned Aerial Vehicle* dan teknologi *Terrestrial Laser Scanner*. Pemilihan metode ini tentu mempertimbangkan banyak hal seperti: ketelitian yang ingin didapat, dana yang tersedia, efektivitas dan yang tidak kalah penting yaitu, tantangan yang dihadapi berdasarkan kondisi geografis wilayah.

Penelitian ini dilaksanakan di Dekanat Lama Fakultas Teknik secara geografis terletak di 703'5,326" LS 110°26'24,373" BT, yaitu di Jalan Prof. Sudarto, Tembalang, Semarang. Dekanat Lama Fakultas Teknik

Penelitian ini berfokus pada data *point clouds* teknologi *Terrestrial Laser Scanner*. Penelitian ini bertujuan menganalisis ketelitian *point clouds Terrestrial Laser Scanner*, dengan menggunakan metode registrasi *cloud to cloud*, yaitu metode registrasi *cloud to cloud*, yaitu metode registrasi dengan memilih titik-titik yang sama (*common point*) antara tiap scan dengan syarat 30-40% *overlap* (Quintero dkk, 2008) kemudian dianalisis, dengan analisis kualitatif dan analisis kuantitatif berdasarkan ketelitian yang didapatkan.

I.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini mengangkat beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana analisis densitas dan pola *point clouds* Dekanat Lama Fakultas Teknik hasil akuisisi teknologi *Terrestrial Laser Scanner* Leica BLK360?
2. Bagaimana analisis validasi ketelitian *point clouds* hasil akuisisi teknologi TLS Leica BLK360 terhadap pengukuran lapangan menggunakan peralatan ETS?

I.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan akhir sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui densitas dan pola *point clouds* Dekanat Lama Fakultas Teknik hasil akuisisi teknologi *Terrestrial Laser Scanner* Leica BLK360.
2. Untuk mengetahui validasi ketelitian hasil *point clouds* hasil akuisisi teknologi TLS Leica BLK360 terhadap pengukuran lapangan menggunakan peralatan ETS.

I.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini memiliki batasan yang diharapkan tidak terlalu luas dan fokus pada tujuan tertentu sebagai berikut:

1. Koordinat yang diperoleh dari pengukuran Total station tipe *Reflectorless* digunakan sebagai *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Check Point* (ICP) untuk pengikatan koordinat.
2. Akuisisi data Dekanat Lama Fakultas Teknik menggunakan alat TLS Leica BLK360 dengan metode *cloud to cloud*.
3. Pengolahan data *Point clouds* dari data hasil akuisisi menggunakan TLS Leica BLK360.
4. Analisis validasi ketelitian dan analisis densitas dan pola *point clouds*

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Point clouds

Menurut Otepka (2013) *point clouds* merupakan titik-titik yang dihasilkan pengukuran diskrit yang tertanam pada sistem koordinat kartesius yang memiliki nilai X, Y dan Z. *Point clouds* dapat dihasilkan dari beberapa *laser scanning*, korelasi gambar, radargrametri, *Synthetic Aperture Radar* (SAR) tomografi, kamera *time of flight*, *Multibeam Echosounder* dan tiap metode memiliki karakteristik masing-masing. *Point clouds* terdiri dari dua macam, yaitu, *point clouds* tergeoreferensi dan *point clouds* tak tergeoreferensi (Otepka dkk, 2013). *Point clouds* tergeoreferensi adalah *point clouds* yang diikatkan pada sistem referensi koordinat tertentu seperti WGS 1984, sedangkan *point clouds* tak tergeoreferensi adalah *point clouds* yang tidak memiliki sistem referensi koordinat tertentu atau menggunakan sistem koordinat lokal. *Point clouds* sebagai kerangka 3D untuk pembuatan *Digital Elevation Model*, *Digital Surface Model* (DSM), dan *normalized digital surface model* (NDSM), pemodelan 3 dimensi objek (*meshing*) ataupun untuk acuan *Modelling*.

II.2 Terrestrial Laser Scanner

Teknologi *laser scanning* adalah salah satu teknologi terbaru yang mampu melakukan akuisisi 3 dimensi (3D). model 3D memungkinkan pengguna untuk mengakses banyak data geometris dan visual yang diperlukan. Penggunaan TLS telah meningkat pesat dan saat ini telah diterapkan di banyak bidang seperti dokumentasi warisan budaya, pengukuran deformasi, aplikasi perencanaan, kontrol kualitas, produksi prototipe, analisis Tempat Kejadian Perkara (TKP) dan industri pembuatan film (Alkan dkk, 2016). **Gambar 1** menunjukkan beberapa contoh alat TLS (Quintero dkk, 2008).

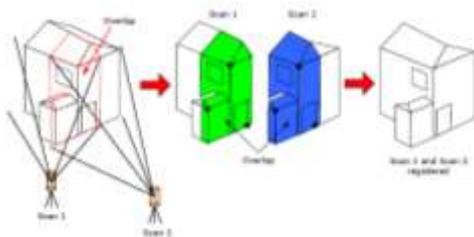


Gambar 1 Alat TLS (Quintero dkk, 2008)

Pembuatan model sebuah objek menggunakan alat TLS terdiri dari beberapa tahapan yang terdiri dari tahap perencanaan, tahap pengambilan data, tahap registrasi data, dan tahap pemodelan tiga dimensi. Keempat tahapan tersebut, tahapan yang paling menentukan dari pemodelan tiga dimensi adalah tahapan registrasi data, karena pada tahap ini dilakukan kombinasi hasil data *laser scanner* dari beberapa berdiri alat (Alkan dkk, 2016).

II.3 Metode Cloud to cloud

Metode ini menggabungkan beberapa data hasil *Scan World (SW)* dengan menentukan *point clouds* yang sama dan terekam pada data SW yang akan digabungkan. Metode ini dapat menghasilkan registrasi yang baik jika saat penyiaman antara dua SW yang akan diregistrasi harus mempunyai *overlap* area umumnya 30-40%. Metode ini menggunakan konsep *Iterative Closed Point (ICP)*. Teknik ini mengharuskan pengguna untuk memilih secara *manual* minimal 3 titik yang sesuai di *point cloud* (Quintero dkk, 2008). Penentuan *point clouds* agar mudah diidentifikasi yaitu dengan menggunakan pojok – pojok bangunan. Konsep pengukuran *Cloud to cloud* dapat dilihat pada **Gambar 2** (Retshetyuk, 2009).



Gambar 2 Metode *Cloud to cloud* (Retshetyuk, 2009)

II.4 Sistem Referensi dan Georeferensi

Sistem referensi koordinat merupakan sistem (teori, konsep, deskripsi fisis dan geometris, standar dan parameter) yang dimanfaatkan untuk pendefinisian koordinat dari suatu titik dalam ruang (Abidin, 2000).

Georeferensi adalah proses yang dilakukan untuk mendefinisikan suatu data ke sistem referensi koordinat tertentu, langkah agar data *point clouds* terintegrasi dengan data geospasial. Georeferensi dilaksanakan dengan proses registrasi seluruh *point clouds*, dari objek ke dalam suatu sistem koordinat eksternal (Retshetyuk, 2009).

Jenis georeferensi menurut Retshetyuk (2009) terbagi menjadi:

1. Secara Langsung, menggunakan dua titik referensi yang diketahui koordinatnya. Titik pertama merupakan tempat berdiri alat dan titik lainnya merupakan tempat berdiri target yang digunakan sebagai *backsight*.
2. Secara tidak langsung, menggunakan target-target sebagai titik kontrol. Target-target tersebut sudah diketahui koordinatnya dalam sistem koordinat eksternal yang kemudian digunakan untuk mentransformasikan *point clouds*. Georeferensi ini membutuhkan minimal

tiga titik target yang digunakan untuk menentukan enam parameter orientasi luar.

II.6.1 Ground Control Point (GCP)

Ground Control Point (GCP) adalah titik pada tanah yang telah diketahui koordinatnya digunakan sebagai titik kontrol untuk membantu pekerjaan ortorektifikasi atau georeferensi (zonaspasial, 2020) Penentuan jumlah GCP pada penelitian ini didasarkan prinsip transformasi konform menggunakan tujuh parameter (Agisoft, 2020). Tujuh parameter yang tidak diketahui ($S, \theta_1, \theta_2, \theta_3, T_x, T_y, T_z$), yang memerlukan tujuh persamaan. Tujuh persamaan tersebut membutuhkan minimal dua stasiun kontrol yang diketahui koordinat XYnya dan xy koordinat, serta tiga stasiun kontrol yang diketahui koordinat Znya dan koordinat znya, atau minimal tiga stasiun kontrol yang diketahui.

II.6.2 Independent Check Points (ICP)

Menurut KEPMEN Ketenagakerjaan RI Nomor 95 Tahun 2017 *Independent Check Points* atau disingkat ICP adalah titik yang digunakan untuk kontrol kualitas dari akurasi posisi obyek yang diukur dengan cara membandingkan koordinat model dengan koordinat sebenarnya. Penentuan ICP didasarkan pada Spesifikasi Teknis dari Peta Dasar untuk Penyusunan Detail Tata Ruang (BIG, 2020).

- 1 Tersebar diseluruh *scene* citra atau foto
- 2 Jumlah minimal ICP adalah ¼ jumlah GCP
- 3 Diletakkan diantara titik-titik GCP namun tidak terlalu dekat.

II.5 Standar Akurasi Model

Standar akurasi model 3D bangunan biasa menggunakan *Level of Detail*. Menurut Albert. dkk (2003) ada empat level akurasi yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Tingkat *Level of Detail (LoD)*

	LoD 1	LoD 2	LoD 3	LoD 4
Skala Model	Kota, Wilayah	Kota, Distrik (setingkat kecamatan)	Model arsitektur (eksterior), landmark	Model Arsitektur (interior)
Kelas Akurasi	Rendah	Medium	Tinggi	Sangat tinggi
Akurasi posisi 3D	5 m	2 m	0,5 m	0,2 m
Generalisasi	Blok objek sebagai fitur general >6*6m	Objek sebagai fitur general; >4*4m	Objek sebagai fitur nyata; >2*2m	Elemen konstruktif dan bukaan terepresentasikan
Instalasi Bangunan	-	-	Efek eksterior yang representatif	Bentuk objek nyata

Bentuk- /struktur Atap	Datar	Tipe atap dan orientasi	Bentuk objek nyata	Bentuk objek nyata
------------------------------	-------	-------------------------------	-----------------------	--------------------------

II.6 Uji Validasi Jarak dengan Total Station

Langkah 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 *Total Station* dengan cara mengukur jarak sisi bangunan pada titik-titik validasi yang ditentukan pada objek pengukuran, contoh titik validasi pada objek di lapangan dapat dilihat pada **Gambar 3** (Hutagalung, 2017).



Gambar 3 Validasi jarak pada sisi objek (Hutagalung, 2017)

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 (Hutagalung, 2017) penelitian ini dimana didapatkan dari perhitungan jarak berdasarkan nilai koordinat titik-titik validasi. Selanjutnya pengukuran panjang sisi pada titik – titik validasi yang sama akan dilakukan pada *point clouds* setelah dilakukan pengolahan data *point clouds* hasil pengukuran dengan TLS. Langkah didapatkan data jarak pada hasil pengukuran dengan *Total Station* dan hasil pengukuran pada *point clouds* selanjutnya dapat dilakukan uji ketelitian metode untuk mendapatkan tingkat ketelitian dari *point clouds*.

II.7 Uji Tingkat Ketelitian Model

Setiap pengukuran pasti tidak lepas dari kesalahan. Begitu juga dalam proses pengolahan data ukuran, yaitu proses registrasi yang juga tidak lepas dari kesalahan, sehingga diperlukan untuk diadakannya pengecekan ketelitian hasil pengukuran agar dapat diketahui benar tidaknya pengukuran yang dilakukan, sebagai bahan evaluasi dari metode pengukuran, spesifikasi alat maupun perlu tidaknya pengukuran ulang. Besarnya nilai kesalahan tersebut ditunjukkan dengan nilai RMSE (*root mean square error*). RMSE adalah suatu nilai perbedaan antara nilai sebenarnya dengan nilai hasil ukuran (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

RMSE : *Root Mean Square Error*

R : Nilai yang dianggap benar

R1 : nilai hasil ukuran validasi

N : banyak ukuran yang digunakan

III. Metodologi Penelitian

III.1 Data-Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sebagai berikut:

1. Koordinat GCP dan ICP dari pengukuran lapangan menggunakan *Total Station*.
2. *Point clouds* Sisi Gedung Dekanat Lama Fakultas Teknik dari akuisisi data menggunakan TLS Leica BLK360
3. Data Validasi Jarak dari pengukuran lapangan menggunakan *Total Station*.

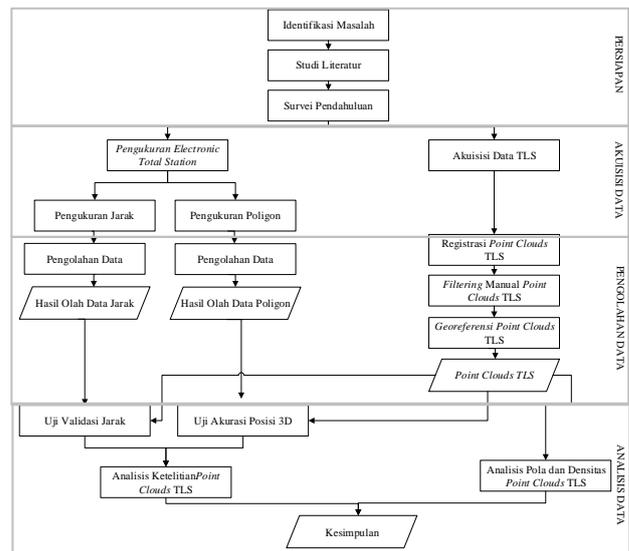
III.2 Alat-Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Laptop
2. *Workstation* HP
3. *Total Station* Topcon GTS-1000
4. *Terrestrial Laser Scanner* Leica BLK360
5. Alat tulis dan peralatan pendukung lainnya.
6. Perangkat lunak AutoDesk Recap Pro
7. Perangkat lunak Microsoft Word 2016.
8. Perangkat lunak Microsoft Excel 2016.

III.3 Diagram Alir Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir yang dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Diagram alir penelitian

III.4 Tahapan Penelitian

1. Tahap Persiapan
Tahap persiapan terdiri dari beberapa langkah, yaitu:
a. Identifikasi Masalah, langkah awal yang perlu dilakukan sebelum melaksanakan penelitian adalah identifikasi masalah untuk

menentukan masalah apa yang akan diselesaikan melalui penelitian.

- b. Studi literatur, dengan mempelajari penelitian terdahulu, ilmu dasar dan peraturan-peraturan yang berkaitan dengan penelitian ini
 - c. Survei pendahuluan, bertujuan untuk melihat kondisi lapangan sehingga dapat menentukan titik poligon yang kelak akan digunakan sebagai GCP dan ICP serta pengukuran titik validasi, dan memperkirakan peletakan alat TLS.
2. Tahap Akuisisi Data
Akuisisi data pada penelitian ini terdiri dari beberapa langkah yaitu, akuisisi data poligon dan titik validasi, dan akuisisi data TLS
 3. Tahap Pengolahan Data
Pengolahan data dimulai dengan perhitungan koordinat titik poligon dan titik validasi, registrasi data TLS, *filtering* untuk menghapus data *point clouds* yang tidak berguna, serta georeferensi *point clouds*.
 4. Tahap Analisis Data
Tahap analisis data dilakukan dengan melakukan uji validasi jarak dan uji akurasi posisi 3D. Uji validasi jarak dilakukan dengan membandingkan nilai jarak pada lapangan dengan nilai jarak pada *point clouds* TLS, sedangkan untuk uji akurasi posisi 3D menggunakan nilai koordinat ICP *point clouds* TLS diandingkan dengan koordinat ICP yang ada di lapangan, serta dilakukan analisis pola dan densitas *Point Clouds* TLS.

IV. Hasil dan Analisis

IV.1 Hasil dan Analisis Perhitungan Poligon

Hasil pengolahan dari perhitungan poligon yang dihitung dengan metode *bowditch* dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Koordinat Poligon

Nama Patok	X (m)	Y (m)	Keterangan
GD16	438.143,457	9.220.467,016	BM
1	438.161,411	9.220.457,815	Patok
2	438.190,999	9.220.484,592	Patok
3	438.218,171	9.220.485,007	Patok
4	438.234,095	9.220.511,814	Patok
5	438.213,375	9.220.536,292	Patok
6	438.197,599	9.220.563,222	Patok
7	438.170,792	9.220.568,779	Patok
8	438.151,999	9.220.555,699	Patok
9	438.168,301	9.220.520,085	Patok
10	438.141,460	9.220.505,331	Patok
c1	438.188,941	9.220.477,058	Cabang
c2	438.185,115	9.220.579,357	Cabang

c3	438.124,821	9.220.569,310	Cabang
----	-------------	---------------	--------

Berdasarkan SNI 19-6724-2002, untuk pengadaan kerangka horizontal orde-4 harus memenuhi persyaratan:

1. Ketelitian jarak linier < 1:6.000
2. $F\alpha$ < $10'' \sqrt{n}$
< 33''

Sehingga kerangka poligon yang diukur dengan

1. Ketelitian jarak linier = 1:11.221
2. $F\alpha$ = 27''

telah memenuhi syarat kerangka horizontal orde-4.

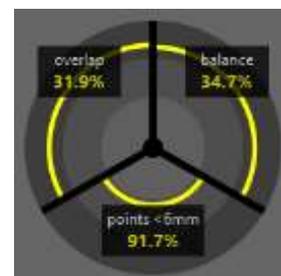
IV.2 Hasil dan Analisis Registrasi TLS

Registrasi *point clouds* menggunakan metode *cloud to cloud* dimana menggabungkan tiap hasil *scan* dengan memilih minimal tiga titik yang sama antar *scan*. Hasil registrasi data TLS dapat dilihat pada **Gambar 5** dan untuk kualitas registrasi pada **Gambar 6**.



Gambar 5 Point clouds TLS

Gambar 5 menunjukkan hasil kondisi *point clouds* dari pengolahan TLS yaitu tahap registrasi dimana warna *point clouds* terlihat cukup terang dikarenakan terpengaruh pada kondisi cahaya matahari saat mengambil dimana cukup terik sehingga kontras warna *point clouds* terlihat terang. Pewarnaan *point clouds* ini menggunakan metode RGB didapatkan dari kamera yang ada pada TLS sehingga kualitas warna yang didapatkan pada *point clouds* bergantung pada kualitas kamera dan kondisi pengambilan gambar.



Gambar 6 Report Registration

Gambar 6 menunjukkan *report* dari hasil rata-rata registrasi dengan keterangan sebagai berikut:

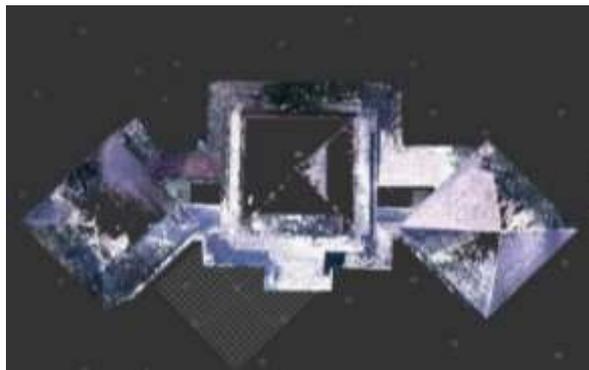
1. *Overlap* : 31,9 % (syarat >30%)
2. *Balance* : 34,7 % (syarat >20%)
3. *Points <mm* : 91,7 % (syarat >90%)

Keterangan tersebut didukung dengan warna kuning dimana menandakan bahwa hasil registrasi dapat dikatakan cukup baik karena telah memenuhi syarat minimal berdasarkan yang disebutkan pada *Website* dan *Help* Autodesk Recap.

IV.3 Hasil dan Analisis Filtering

Filtering pada penelitian ini menggunakan metode manual dimana lebih teliti dalam *filtering* karena bergantung ketelitian pengguna dari *software* serta meminimalisir hilangnya informasi pada *point clouds* yang ingin dipertahankan.

Hasil pengolahan proses *filtering* menggunakan *software* Autodesk ReCap TLS pada **Gambar 7**.



Gambar 7 Hasil *Filtering* Data TLS

Hasil *filtering* pada **Gambar 8** terbentuk cukup baik namun ada beberapa bagian yang gelap terutama pada ujung atap dan beberapa atap yang tertutupi pohon-pohon yang menempel pada atap. Selain itu, di sisi belakang dekanat terdapat *noise* dalam bentuk kursi-kursi dan meja yang dimana ketika di *filtering* akan membuat *point clouds* gelap sehingga peneliti memutuskan mempertahankan *noise* tersebut. Jumlah *point clouds* TLS setelah *filtering* adalah 223.045.643 *points*.

IV.4 Hasil Analisis Georeferensi TLS

Georeferensi TLS dilakukan dengan menggunakan *software* Autodesk Recap dan menggunakan 14 titik yang diikatkan pada sisi gedung yang mudah teridentifikasi seperti ujung atap, ujung jendela, ujung dinding dan lain-lain. **Gambar 8** menunjukkan contoh titik georeferensi pada *Point Clouds* TLS



Gambar 8 Contoh titik Georeferensi

Hasil Georeferensi TLS pada proses ini mendapatkan 24,75 mm atau 0,025 m dimana dapat

dikatakan cukup baik karena mencapai ketelitian centimeter. *Report* georeferensi dapat dilihat pada **Gambar 9**.

stasiun name	overlap	balance	points - fusion
GD.EKTLIM.7	81.0%	21.4%	88.2%
GD.EKTLIM.8	88.2%	47.2%	44.4%
GD.EKTLIM.20	28.0%	27.3%	33.4%
GD.EKTLIM.5	30.8%	28.3%	92.7%
GD.EKTLIM.47	7.1%	45.0%	89.8%
GD.EKTLIM.46	38.7%	30.0%	90.5%

Gambar 9 *Report* Georeferensi

IV.5 Hasil Analisis Uji Tingkat Ketelitian

IV.7.1 Uji Validasi Jarak

Hasil perhitungan jarak validasi yang diukur menggunakan *total station* dan hasil pengukuran *point clouds* TLS menggunakan Autodesk ReCap dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3 Jarak Validasi Lapangan dan *Point clouds*

No	Nama	Jarak Lapangan (m)	Jarak <i>Point clouds</i> (m)
1	2atap12	4,845	4,910
2	2jdlv12	1,142	1,143
3	2jdl12	1,604	1,610
4	2jdl34	2,587	2,595
5	6atp12	19,483	19,498
6	6jdl12	2,574	2,566
7	6jbt12	11,583	11,516
8	6jdl34	2,559	2,558
9	6jdlv12	1,142	1,133

Tabel 3 Jarak Validasi Lapangan dan *Point clouds* (Lanjutan)

No	Nama	Jarak Lapangan (m)	Jarak <i>Point clouds</i> (m)
10	6jdl56	2,570	2,557
11	6wrgkikn	4,403	4,400
12	6wrgknbwh	2,623	2,628
13	9atas23	8,588	8,605
14	9atdp12	8,651	8,665
15	9dkn12	1,054	1,057
16	9at4bwh	10,628	10,621

Perbandingan jarak dalam bentuk grafik dapat dilihat pada **Gambar 10**.



Gambar 10 Grafik Perbandingan Jarak Point clouds TLS dan Lapangan

Hasil perhitungan RMSE perbandingan jarak lapangan dengan jarak point clouds dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Uji Validasi Jarak

No	Nama	Jarak Lapangan (m)	Jarak point clouds (m)	s-s	(s-s) ²
1	2atap12	4,845	4,910	0,065	0,004
2	2jdlv12	1,142	1,143	0,001	0,000
3	2jdl12	1,604	1,610	0,006	0,000
4	2jdl34	2,587	2,595	0,008	0,000
5	6atp12	19,483	19,498	0,015	0,000
6	6jdl12	2,574	2,566	0,008	0,000
7	6jbt12	11,583	11,516	0,067	0,005
8	6jdl34	2,559	2,558	0,001	0,000
9	6jdlv12	1,142	1,133	0,009	0,000
10	6jdl56	2,570	2,557	0,013	0,000
11	6wrgkikn	4,403	4,400	0,003	0,000
12	6wrgknbwh	2,623	2,628	0,005	0,000
13	9atas23	8,588	8,605	0,017	0,000
14	9atdp12	8,651	8,665	0,014	0,000

Tabel 4 Uji Validasi Jarak (Lanjutan)

No	Nama	Jarak Lapangan (m)	Jarak point clouds (m)	s-s	(s-s) ²
15	9dkn12	1,054	1,057	0,003	0,000
16	9at4bwh	10,628	10,621	0,007	0,000
				RMSE	0,025

Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai RMSE titik sebesar 0,025 m atau 2,5 cm yang menunjukkan bahwa ada sedikit perbedaan pada lapangan dengan point clouds TLS, ini dikarenakan pada saat georeferensi terdapat sedikit kesalahan dikarenakan keterbatasan data point clouds sehingga picking titik detail tidak terlalu tepat dan juga titik ikat yang tidak tersebar pada tiap scan, sehingga dapat terjadi kesalahan transformasi

pada saat georeferensi, akan tetapi hasil perhitungan RMSE ini dapat dikatakan cukup baik.

IV.7.2 Uji Akurasi Posisi 3D

Uji akurasi posisi didapatkan menggunakan nilai RMSE Independent Check Point (ICP). RMSE ICP merupakan titik koordinat yang diketahui nilai koordinat lapangan dengan melakukan pengukuran kemudian dibandingkan dengan koordinat pada point clouds TLS yang didapatkan dengan mengecek titik yang sama pada software AutoDesk Recap. Nilai RMSE ICP dapat dilihat pada Tabel 5.

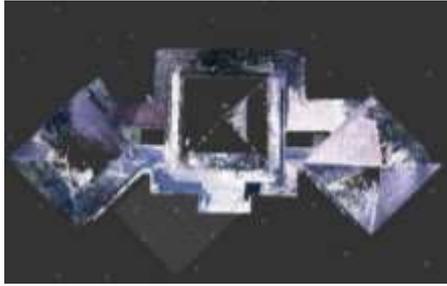
Tabel 5 RMSE ICP

Nama	Selisih (m)				
	Xerror	Yerror	Zerror	Xyerror	XYZerror
2atapats	0,067	0,071	0,048	0,098	0,109
2atapbwh	0,014	0,017	0,018	0,022	0,028
2jdlats	0,061	0,035	0,023	0,070	0,074
2jdlbwh	0,040	0,029	0,022	0,050	0,054
6atp1	0,021	0,016	0,024	0,026	0,036
6atp2	0,001	0,008	0,046	0,009	0,047
6jdl1	0,023	0,002	0,164	0,024	0,165
6jbt1	0,043	0,055	0,030	0,070	0,076
6jbt2	0,009	0,003	0,005	0,009	0,010
6jdlv1	0,009	0,016	0,031	0,018	0,036
6jdlv2	0,033	0,010	0,040	0,035	0,053
6jdl5	0,010	0,006	0,028	0,012	0,031
6jdl6	0,011	0,003	0,194	0,011	0,194
6wrgki	0,005	0,006	0,014	0,007	0,015
6wrgbw	0,123	0,003	0,033	0,123	0,127
9dkn1	0,011	0,018	0,004	0,021	0,022
9dkn2	0,015	0,024	0,002	0,029	0,029
9atpbwh	0,025	0,025	0,013	0,035	0,038
RMSE	0,041	0,027	0,065	0,049	0,082

Tabel 5 menunjukkan nilai RMSE ICP pada tingkat sentimeter dengan RMSE_x 0,041, RMSE_y 0,027 dan RMSE_z 0,065, RMSE_{xy} 0,049 dan RMSE_{xyz} 0,082 dari ketiga parameter ini dapat disebutkan bahwa point clouds dapat digunakan untuk model yang memenuhi syarat LOD 3 dimana akurasi posisi 3D < 0,5 m. Nilai RMSE ini menunjukkan bahwa nilai lapangan dan point clouds terdapat perbedaan atau pergeseran dalam georeferensinya, hal ini dapat dipengaruhi karena ketidaktepatan penempatan titik pada saat melakukan georeferensi dimana titik point clouds pada tiap scan memiliki sedikit perbedaan, sehingga penempatan antara titik scan 1 dengan scan lainnya tidak selalu tepat pada posisi titik point clouds yang sama.

IV.6 Hasil dan Analisis Pola dan Densitas TLS

Hasil Pengolahan dari TLS dapat dilihat pada Gambar 11.



a) Hasil *Point Clouds* TLS Tampak Depan



b) Hasil *Point Clouds* TLS Tampak Depan

Gambar 11 Hasil *Point Clouds* TLS (a) Tampak Atas (b) Tampak Depan

Berdasarkan **Gambar 11**, *Point Clouds* dapat dianalisis secara visualisasi mengacu pada **Tabel 1** mengenai tingkat *Level of Detail* (Albert dkk, 2003). Adapun untuk analisis visualisasi dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6 Tabel Analisis Visualisasi *Point clouds*

	LoD 1	LoD 2	LoD 3	LoD 4
Skala Model	Kota, Wilayah	Kota, Distrik (setingkat kecamatan)	Model arsitektur (eksterior), landmark	Model Arsitektur (interior)
Kelas Akurasi	Rendah	Medium	Tinggi	Sangat tinggi
Akurasi posisi 3D	5 m	2 m	0,5 m	0,2 m

Tabel 6 Tabel Analisis Visualisasi *Point clouds* (Lanjutan)

	LoD 1	LoD 2	LoD 3	LoD 4
Generalisasi	Blok objek sebagai fitur general >6*6m	Objek sebagai fitur general; >4*4m	Objek sebagai fitur nyata; >2*2m	Elemen konstruktif dan bukaan terepresentasikan
Instalasi Bangunan	-	-	Efek eksterior yang representatif	Bentuk objek nyata
Bentuk- /struktur Atap	Datar	Tipe atap dan orientasi	Bentuk objek nyata	Bentuk objek nyata

Berdasarkan **Tabel 6** dapat dianalisis pola secara visualisasi dari *point clouds* TLS yang terbentuk untuk parameter skala *point clouds* yang terbentuk dapat digunakan sebagai model arsitektur (eksterior) dimana model luar bangunan terbentuk dengan baik, kelas akurasi tinggi, akurasi 3D <0,5, generalisasi objek sebagai fitur nyata, instalasi bangunannya memiliki efek eksterior yang representatif dimana bentuk fitur eksterior seperti jendela dan pintu terbentuk dengan baik. Berdasarkan lima parameter parameter diatas *point clouds* ini dapat digunakan untuk membentuk model tingkat LoD 3. Namun terdapat satu parameter yang tidak memenuhi, yaitu bentuk atap terbentuk sebagian tidak sempurna terutama pada puncak atap gedung, ini disebabkan oleh keterbatasan gerak alat dimana pengambilan data terhalang oleh pohon dan pengambilan data diarea yang sempit.

Densitas *Point clouds* TLS dapat dilihat pada **Gambar 12**.



Gambar 12 Densitas *Point Clouds* TLS

Berdasarkan **Gambar IV-5**, densitas *point clouds* TLS sebesar 4-5 mm dimana berdasarkan spesifikasi alat TLS Leica BLK360 memiliki *ranging accuracy* 4 mm @ 10 m dan 7 mm @ 20 m, sehingga pengukuran TLS ini masih memenuhi toleransi meski ada beberapa sisi melebihi spesifikasi.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti dalam periode waktu tertentu ini dapat ditarik kesimpulan penelitian sebagai berikut:

1. *Point clouds* TLS yang diregistrasi menggunakan metode *cloud to cloud* dapat membentuk *Point clouds* yang baik namun terdapat ketidaksempurnaan pada atap. Densitas *point clouds* sebesar 4-5 mm sesuai spesifikasi alat TLS Leica BLK360 memiliki *ranging accuracy* 4 mm @ 10 m dan 7 mm @ 20 m.
2. Hasil uji ketelitian *point clouds* TLS pada uji validasi jarak sebesar 0,025 m dan uji RMSE ICP dengan nilai RMSE_x 0,041, RMSE_y 0,027 dan RMSE 0,065 m dimana dapat dikatakan cukup baik dan mencapai ketelitian centimeter.

V.2 Saran

Penelitian ini tentu tidak luput dari ketidaksempurnaan dimana diharapkan kelak penelitian ini dapat dilanjutkan dan disempurnakan lebih baik lagi. Peneliti memberikan beberapa saran untuk penelitian dimasa depan:

1. Penggunaan alat untuk akuisisi data disarankan menggunakan alat yang memiliki spesifikasi lebih baik lagi dibanding TLS BLK360 dimana memiliki *ranging accuracy* 4mm @10m / 7mm @20m dan *3D point accuracy* 6mm @ 10m / 8mm @ 20m, serta belum memfasilitasi dalam proses georeferensi secara langsung, sehingga bentuk model dapat terbentuk lebih baik lagi dan memiliki ketelitian yang lebih baik.
2. Masih banyak ketidaksempurnaan dari akuisisi data dikarenakan *obstacle* yang cukup banyak, diharapkan untuk penelitian selanjutnya akuisisi data lebih dimaksimalkan lagi.

menggunakannya/ diakses pada tanggal 23 September 2020

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Hasanudin Z. 2000. *Beberapa Pemikiran tentang Sistem dan Kerangka Referensi Koordinat untuk DKI Jakarta*. Jurnal Surveying dan Geodesi. Vol.X. Hal 33-42.
- Agisoft. 2018. *Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.4*. Agisoft LLC.
- Albert J., Bachmann M. dan Hellmeier A. (2003): *Zielgruppen und Anwendungen für Digitale Stadtmodelle und Digitale Geländemodelle. Erhebung im Rahmen der SIG 3D derGDINRW*.<https://docplayer.org/20358349-Zielgruppen-und-anwendungen-fuer-digitale-stadtmodelle-und-digitale-gelaendemodelle.html> diakses pada tanggal 22 April 2020.
- Alkan dalam Zakaria, Aldino dan Handayani, Hepi Hapsari.2016. *Studi Pemodelan 3D Menggunakan Terrestrial Laser Scanner Berdasarkan Proses Registrasi Target to Target*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- BIG. 2020. *Spesifikasi Teknis dari Peta Dasar untuk Penyusunan Detail Tata Ruang*.
- Hutagalung A.P. 2017. *Analisis Ketelitian Data Pemodelan 3 Dimensi Dengan Metode Traverse Dan Metode Cloud to cloud Menggunakan Terrestrial Laser Scanner*. Jurnal Geodesi Undip. Hal. 486-495.
- Otepka, J., 2013. *Georeferenced Point clouds : A Survei of Features and Point clouds Management. ISPRS International Journal Of Geo-Information*. Hal 1038-1065
- Quintero, M. S., Genechten, B. V., Bruyne, M. D., Ronald, P., Hankar, M., dan Barnes, S., .2008. *Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning. Project (3DriskMapping)*.
- Reshetyuk, Y. 2009. *Terrestrial Laser Scanning, Error Source, Self-calibration, And Direct Georeferencing*. Saarbrücken, Germany: VDM Verlag Dr. Muller.
- Soeta'at. 1994. *Fotogrametri Analitik*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Zonaspatial 2020. *Apa itu GCP dan Bagaimana penggunaannya*.<https://zonaspatial.com/2018/11/apa-itu-ground-control-points-dan-bagaimana>