

**STUDI REGISTRASI *POINT CLOUD* PADA PEMROSESAN DATA
TERRESTRIAL LASER SCANNER (TLS)
(Studi Kasus : Jembatan Gading Batavia, Kelapa Gading, Jakarta Utara)**

Alfin Nandaru, Bambang Sudarsono, Bambang Darmo Yuwono ^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang Semarang Telp. (024) 76480785, 76480788
e-mail : geodesi@undip.ac.id

ABSTRAK

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.

Dalam penelitian tugas akhir ini, metode pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* digunakan untuk pemindaian Jembatan Gading Batavia, Jalan Gading Batavia, Kelapa Gading, Jakarta Utara. Dengan proses akuisisi data lapangan dengan menggunakan *Leica Scan Station C10* serta pengolahan data menggunakan *software Cyclone* Versi 8.1. Proses akuisisi data lapangan serta pengolahannya dilakukan menggunakan dua metode yaitu metode *target to target registration* dan metode *cloud to cloud registration*.

Hasil akhir dalam penelitian ini adalah *model space* Jembatan Gading Batavia dari masing-masing metode pengukuran. Dimana kedua metode tersebut menghasilkan nilai RMS yang berbeda yaitu 0,0015 m untuk metode *target to target registration* dan 0,009 m untuk metode *cloud to cloud registration*. Pengujian hasil *model space* dari masing-masing metode juga dilakukan dengan membandingkan jarak antar sisi jembatan dari hasil pengukuran *Electronic Total Station*. Nilai rata-rata kesalahan dari perbandingan jarak antar sisi jembatan melalui dua metode tersebut adalah sebesar 0,00581 m untuk metode *target to target* dan 0,0084 m untuk metode *cloud to cloud*.

Kata Kunci : *Terrestrial Laser Scanner*, Registrasi, Jembatan Gading Batavia, *Cyclone* Versi 8.1

ABSTRACT

In measurement method by using Terrestrial Laser Scanner (TLS) technology, registration process hugely affected in determining the quality of geometry model and the accuracy of data produced. If once the registration is good, the geometry shape and measurement dimension of an object observed will reflect the real condition and also data accuracy will pass tolerance accuracy that has been determined.

In this research, Terrestrial Laser Scanner measurement method used for scrutinizing of Gading Batavia Bridge located on Gading Batavia street, Kelapa Gading, East Jakarta. Acquisition of the data processed with Leica Scan Station C10 whereas Cyclone Version 8.1 used as data processor. Acquisition of field data and data processing executed into two methods, target to target registration method and cloud to cloud registration method.

This research results Gading Batavia Bridge model space for each measurement method. Both methods show different RMS score, 0.0015 m for target to target registration method and 0.009 m for cloud to cloud registration method. Examination of model space for each method executed by comparing the distance between the bridge of Electronic Total Station result. Average error term of the comparison the distance between the bridge through both methods are 0.00581m for target to target method and 0.0084 m for cloud to cloud method.

Keywords: *Terrestrial Laser Scanner*, Registration, Gading Batavia Bridge, *Cyclone* version 8.1

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

PENDAHULUAN

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.

Masing-masing metode registrasi memiliki kualitas dan karakter yang berbeda dalam pemodelan objek yang diukur/dianalisis. Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu proses registrasi yang lebih efektif dan efisien serta mampu menghasilkan keakuratan data yang lebih baik adalah metode *target to target* registrasi dan *cloud to cloud* registrasi. Oleh karena itu, perbedaan kualitas dan karakter dari kedua metode registrasi tersebut akan menjadi dasar permasalahan dalam penelitian tugas akhir ini.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka diangkat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah karakteristik metode-metode registrasi tersebut jika dilihat dari sisi akurasi hasil akhir serta kemudahan dalam proses akuisisi data dalam menghasilkan *model space* sebagai tahap awal pemodelan 3D ?
2. Berdasarkan nilai RMS yang didapat dari masing-masing metode registrasi, metode manakah yang memiliki ketelitian data yang lebih baik ?

Ruang Lingkup penelitian dalam penelitian Tugas Akhir ini antara lain :

1. Penelitian ini dilakukan menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner Leica Scanstation C-10*
2. Proses pengolahan data pemindaian objek menggunakan *Software Leica Cyclone 8.1*.
3. Proses akuisisi data dilakukan melalui dua metode registrasi yaitu metode *target to target* dan metode *cloud to cloud*.
4. Pada proses registrasi data digunakan 4 titik ikat untuk metode *target to target* dan 3,4 & 8 titik ikat untuk metode *cloud to cloud*.
5. Studi kasus dalam penelitian Tugas Akhir ini dilakukan di Jembatan Gading Batavia, Jalan Gading Batavia, Kelapa Gading, Jakarta Utara.
6. Perbandingan data ukuran TLS, dimana perbandingan yang dilakukan meliputi perbandingan registrasi hasil *scan*, perbandingan permukaan (*model space*), dan perbandingan jarak antar titik serta perbandingan kemudahan dalam pelaksanaan.

Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan dua metode registrasi data *terrestrial laser scanner* yaitu *target to target* registrasi dan *cloud to cloud* registrasi serta mengetahui karakteristik dari kedua metode registrasi tersebut

STUDI PUSTAKA

Objek (3D) merupakan objek yang memiliki ukuran panjang, lebar, tinggi dan dapat dipresentasikan ke dalam koordinat (X, Y, Z). Pada dasarnya metode-metode tersebut menghasilkan *output* suatu data berupa *point cloud* yang merupakan koordinat 3D dan setiap *Point Cloud* adalah sekelompok pengukuran diskrit dalam sistem koordinat tiga dimensi dalam sistem koordinat kartesius atau X, Y dan Z. Tujuan dari suatu *Terrestrial Laser Scanner* biasanya untuk menciptakan *point cloud* dari permukaan objek dalam bentuk geometrik.

Laser scanner pada prinsipnya mengukur dengan menggunakan cahaya memanfaatkan sensor optis didalamnya. Dengan perkembangan teknologi komputer dan sensor optis, cahaya dapat digunakan dalam berbagai cara untuk mengukur jarak dan intensitas suatu objek. *Laser scanner* yang beredar di pasaran sekarang ini dibagi menjadi dua berdasarkan tipe pengukurannya yaitu *Pulse Based (Time-of-Flight)* dan *Phase Based* berikut dijelaskan mengenai *Pulse (Time-of-Flight)* karena alat yang akan digunakan merupakan tipe *Pulse Based laser scanner*.

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*). Besarnya nilai kesalahan pada sumbu Y identik dengan kesalahan pengukuran jarak yaitu sebesar ± 4 mm, sedangkan nilai kesalahan pada sumbu X dan sumbu Z identik dengan kesalahan pengukuran sudut sebesar 60 mikroradian. Besarnya nilai dx dan dz pada jarak 50 m dapat ditentukan sebagai berikut (Reddington dalam Haryo 2013).

$$\begin{aligned} \text{Diasumsikan bahwa : } & 5 \text{ mikroradian} = 1 \text{ arc second} \\ & 60 \text{ mikroradian} = 12 \text{ arc second} \\ dx = dz & = \sin(12 \text{ second}) 50 \text{ m} = 3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Nilai *single point positional accuracy* dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \tau &= \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} \dots\dots\dots (1) \\ &= \sqrt{3^2 + 4^2 + 3^2} \\ &= \sqrt{34} \\ &= 5,85 \text{ mm} \end{aligned}$$

Keterangan :

- | | | | |
|--------|---|------|---|
| τ | = <i>single point positional accuracy</i> | dy | = Kesalahan pengukuran jarak pada sumbu y |
| dx | = Kesalahan pengukuran jarak pada sumbu x | dz | = Kesalahan pengukuran jarak pada sumbu z |

Besarnya nilai toleransi kesalahan ditetapkan berdasarkan tingkat kepercayaan 95%, sebagai berikut (Soeta'at dalam Haryo 2013).

$$\begin{aligned} \text{Nilai toleransi kesalahan} &= 1,960\tau \\ &= 1,960 (5.85 \text{ mm}) \\ &= 11,466 \text{ mm} \sim 11 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa data hasil proses registrasi dapat dinyatakan memenuhi toleransi kesalahan apabila nilai RMSE yang diperoleh adalah < 11 mm.

RMSE (*Root Mean Square Error*) merupakan suatu nilai yang digunakan untuk menunjukkan ketelitian dengan melibatkan semua faktor kesalahan yang terjadi selama proses pengukuran atau produksi data. Definisi matematis dari RMSE mirip dengan kesalahan baku, yaitu akar kuadrat dari rata-rata jumlah kuadrat residual. Dimana kesalahan baku didefinisikan sebagai akar dari jumlah kuadrat residual seperti pada persamaan 2.28.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan :

- | | | | |
|----------|----------------------|-------|---------------------|
| σ | = kesalahan baku | μ | = nilai sebenarnya |
| x_i | = nilai hasil ukuran | n | = jumlah pengukuran |

Sedangkan Untuk mendeteksi blunder pada pengamatan maka diperlukan rentang kepercayaan dari masing-masing nilai populasi. Berikut rumus rentang tingkat kepercayaan.

$$\bar{X} - tdf \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \theta < \bar{X} + tdf \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (3)$$

(Charles D. Ghilani, Paul R. Wolf, 2006)

Keterangan :

- | | | | |
|-----------|-----------------------------|----------|-----------------------------------|
| σ | = Simpangan baku | α | = level signifikan yang digunakan |
| \bar{X} | =Rata-rata hasil pengukuran | θ | = nilai hasil ukuran |
| tdf | = derajat kebebasan | n | = jumlah pengamatan |

BAHAN DAN METODE PENELITIAN

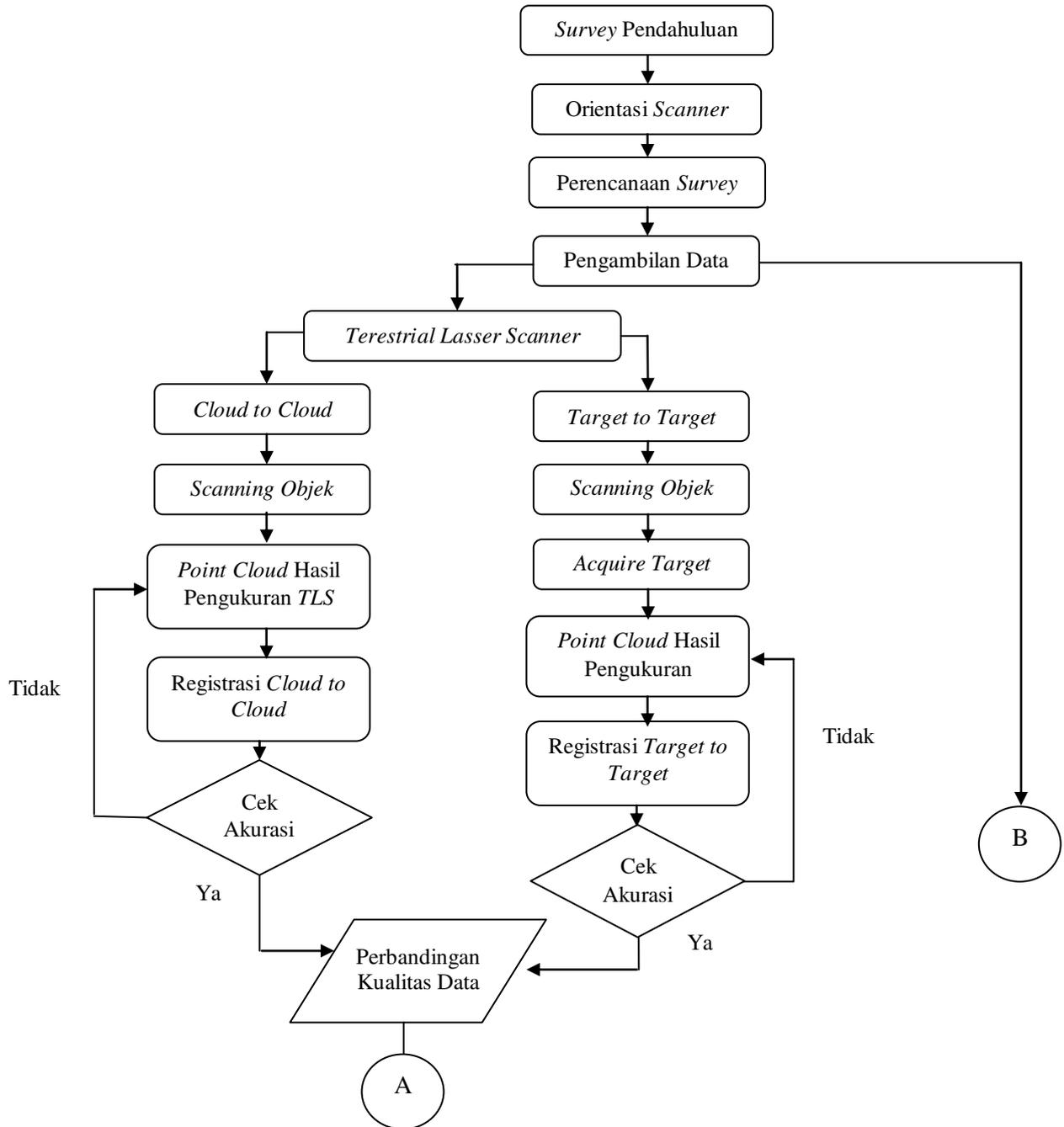
Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini, terdiri dari :

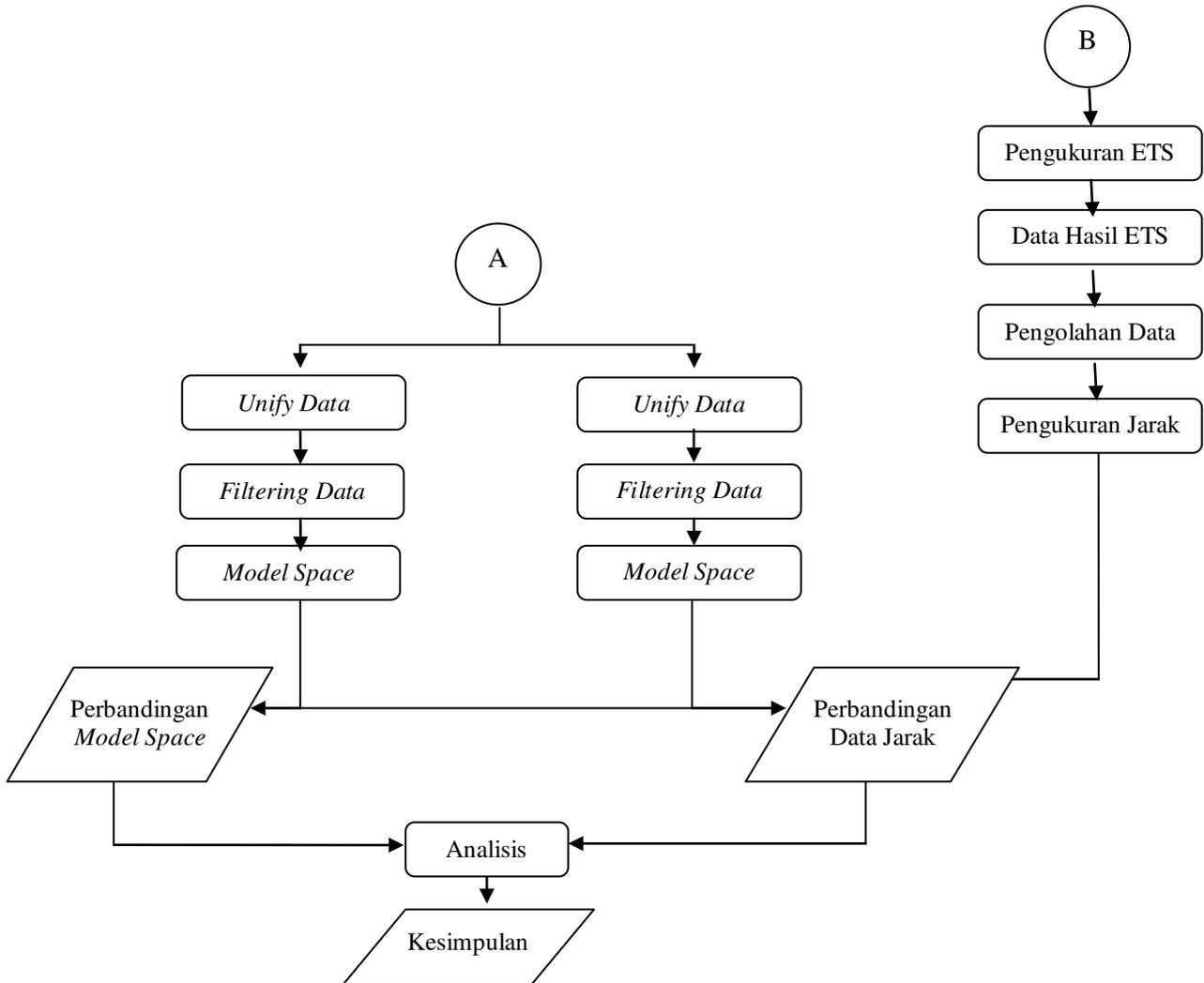
- | | |
|---|---|
| a. <i>Terrestrial Laser Scanner</i> (TLS) Leica Scanstation C10 | f. <i>Printer Canon iP2700 Series</i> |
| b. <i>Electronic Total Station</i> (ETS) Leica TS 15 | g. Leica Cyclone 8.1 |
| c. <i>Tripod Survey</i> | h. Leica Geo Office 8.3 |
| d. Planar Target | i. <i>Microsoft Office</i> (Mc. Word, Mc. Excel 2010) |
| e. Seperangkat PC | |

Data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup :

- a. Data Lapangan hasil Pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* (TLS)
- b. Data Lapangan hasil Pengukuran *Electronic Total Station* (ETS)

Berikut diagram alir dalam penelitian tugas akhir ini secara umum :





Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Evaluasi hasil pemindaian Jembatan Gading Batavia dengan metode registrasi *target to target* dan *cloud to cloud* dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi *model space* yang terbentuk dengan cara uji empiris terhadap ukuran dilapangan dan membandingkannya dengan ukuran dari *model space* yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN
Perbandingan Kualitas Data

Perbandingan kualitas data dalam penelitian ini dapat dilihat dari nilai RMS yang didapat dalam proses registrasi data.. Dalam registrasi, nilai RMS sangat penting karena mempengaruhi akurasi dan presisi dari suatu model. Dalam penelitian ini akan dibandingkan nilai RMS dari dua metode registrasi yaitu *target to target registration* dan *cloud to cloud registration*.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Group
t3	ScanWorld [R...	Station-003: S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.000 m	(0.000, 0.000, 0.000) m	Ungrouped
t4	ScanWorld [R...	Station-003: S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.001 m	(-0.001, -0.001, 0.000) m	Ungrouped
t2	ScanWorld [R...	Station-003: S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.002 m	(-0.002, 0.000, 0.000) m	Ungrouped
t1	ScanWorld [R...	Station-003: S...	Coincident: Vertex - Vertex	On	1.0000	0.003 m	(0.003, 0.001, 0.000) m	Ungrouped

Gambar 2. Nilai RMS target to target registration

Dalam proses registrasi *target to target*, syarat titik target minimal adalah 3 titik. Namun dalam penelitian kali ini jumlah target yang digunakan dalam proses registrasi berjumlah 4 titik yang berfungsi sebagai titik ikat dari setiap *scanworld*. Nilai total RMS yang didapat dengan metode *target to target registration* berjumlah 0,006 m dengan nilai rata-rata RMS sebesar 0,0015 m. Jika dilihat dari spesifikasi alat *Leica Scansection C10* dengan nilai toleransi kesalahan maksimal sebesar 2 mm, maka nilai rata-rata registrasi data dengan metode *target to target registration* dalam penelitian ini dinyatakan masuk dalam toleransi.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Group
Cloud/Mes...	Station-001: S...	ScanWorld [R...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.009 m	aligned [0.015 m]	Ungrouped

Gambar 3. Nilai RMS *cloud to cloud registration*

Melihat nilai RMS yang didapatkan dari keseluruhan proses registrasi melalui metode *cloud to cloud registration* yaitu dengan nilai RMS sebesar 0.009 m, maka dapat dikatakan bahwa hasil pengolahan data dengan metode *cloud to cloud registration* masih belum memenuhi standar deviasi jika nilai tersebut ditetapkan berdasarkan spesifikasi alat ukur dengan *target acquisition* sebesar 2 mm. Namun karena dalam proses pengolahan data ini menggunakan metode *cloud to cloud registration* yang tidak menggunakan target maka untuk mengetahui apakah nilai RMS memenuhi toleransi atau tidak, dapat dilakukan dengan menghitung nilai *single point positional accuracy*.

Untuk memperoleh data pengukuran yang optimal dengan kualitas yang baik ada beberapa hal yang perlu diperhatikan baik dalam proses pengambilan data ataupun pengolahan data. Berikut beberapa hal yang dapat mempengaruhi kualitas data pemindaian dari suatu objek.

1. Pertampalan data saat proses pengambilan data yaitu diusahakan lebih dari 20 %
2. Spasi antar titik saat pengambilan data.
3. Banyaknya jumlah titik ikat yang digunakan dalam proses registrasi (*cloud to cloud registration*)
4. Banyaknya target yang digunakan saat pengambilan data.

Dalam penelitian ini telah dicoba pengolahan data dengan menggunakan jumlah titik ikat yang berbeda yaitu dengan jumlah 3,4 dan 8 titik. Berikut nilai RMS yang didapat dari proses registrasi dengan jumlah titik ikat yang berbeda.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Group
Cloud/Mes...	Station-001: S...	ScanWorld [R...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.009 m	aligned [0.019 m]	Ungrouped

Gambar 4. Nilai RMS dengan 3 titik ikat

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Group
Cloud/Mes...	Station-001: S...	ScanWorld [R...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.009 m	aligned [0.015 m]	Ungrouped

Gambar 5. Nilai RMS dengan 4 titik ikat

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Group
Cloud/Mes...	Station-001: S...	ScanWorld [R...	Cloud: Cloud/Mesh - Cloud...	On	1.0000	0.008 m	aligned [0.016 m]	Ungrouped

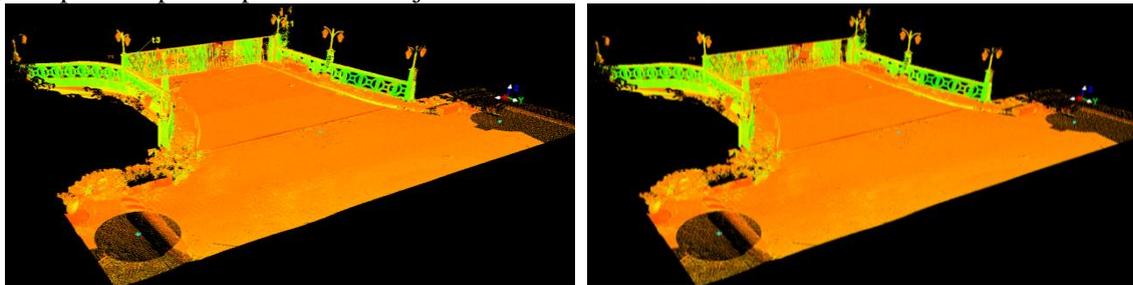
Gambar 6. Nilai RMS dengan 8 titik ikat

Dari nilai RMS yang diperoleh dapat dilihat bahwa jumlah titik ikat yang digunakan dalam proses registrasi mempengaruhi nilai RMS yang didapat. Pada proses registrasi dengan 3 dan 4 titik ikat menghasilkan nilai RMS yang sama yaitu sebesar 0,009 m dan pada proses registrasi dengan 8 titik ikat menghasilkan nilai RMS sebesar 0,008 m. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin banyak titik ikat

yang digunakan maka nilai RMS yang diperoleh juga akan semakin baik. Namun dalam penelitian kali ini perbedaan nilai RMS yang diperoleh dari proses registrasi dengan 8 titik ikat dan 4 titik ikat tidak terlalu besar karena pertampalan data antar *scanworld* sudah melebihi 20% bahkan jika dilihat dari sketsa pengukuran pertampalan data saat pengukuran mencapai 40%.

Perbandingan Model Space

Pengolahan data pemindaian jembatan Gading Batavia dalam penelitian ini diolah dengan menggunakan *software* bawaan alat yaitu *Cyclone* dengan versi 8.1. Dalam penelitian ini dilakukan 4 kali pemindaian dengan posisi berdiri alat menyebar di sekitar area jembatan. Dan dilakukan melalui dua metode registrasi yaitu *target to target registration* dan *cloud to cloud registration*. Berikut *model space* yang didapat dari proses pemindaian objek.

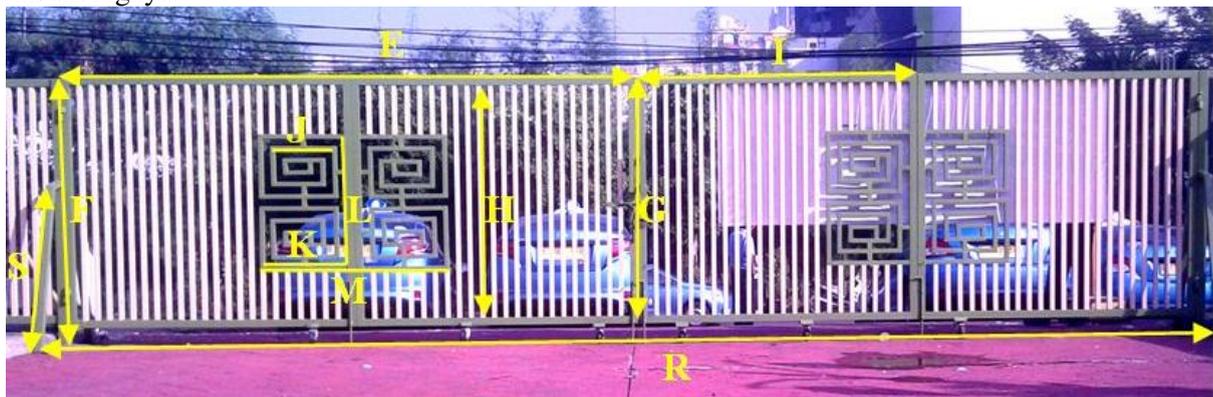


Gambar 7. Model Space (a) *Target to Target Registration* (b) *Cloud to cloud Registration* dari sisi kiri jembatan

Dari *model space* yang didapat dari masing-masing proses registrasi dapat dilihat bahwa pada kedua *model space* tersebut tidak terjadi perbedaan yang signifikan, secara keseluruhan *model space* dapat dikatakan sama dan pada masing-masing bagian *model space* juga tidak terdapat pergeseran (*shifting*).

Evaluasi Perbandingan Jarak

Analisis perbandingan jarak antar objek yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 21 sisi. Pengukuran jarak antar objek ini menggunakan nilai panjang sisi yang didapat melalui pengukuran *model space* dari kedua metode registrasi yang kemudian divalidasi dengan data pengukuran ETS sebagai data pembandingnya.



Gambar 8. Sketsa pengukuran panjang sisi jembatan Gading Batavia

Berikut perbandingan pengukuran panjang sisi antara *Terrestrial Laser Scanner* dengan *electronic total station* dari masing-masing metode registrasi.

Tabel 1. Perbandingan Panjang Sisi ETS dengan TLS metode *target to target*

Sisi	Jarak Antar Objek		Δ (m)	Sisi	Jarak Antar Objek		Δ (m)
	ETS (m)	<i>target to target</i> (m)			ETS (m)	<i>target to target</i> (m)	
A	0,6998	0,699	0,0008	L	1,0014	1,005	0,0036

B	1,9139	1,903	0,0109	M	1,3965	1,391	0,0055
C	9,4987	9,503	0,0043	N	5,0628	5,075	0,0122
D	13,1463	13,152	0,0057	O	5,0470	5,038	0,009
E	4,4138	4,415	0,0012	P	1,9432	1,945	0,0018
F	2,0692	2,065	0,0042	Q	0,4588	0,459	0,0002
G	1,9480	1,937	0,011	R	8,8583	8,854	0,0043
H	1,8270	1,822	0,005	S	1,2874	1,291	0,0036
I	2,2030	2,203	0	T	1,3180	1,315	0,003
J	0,4975	0,502	0,0045	U	0,6478	0,65	0,0022
K	0,6421	0,639	0,0031	Σ			0,0961

Tabel 2. Perbandingan Panjang Sisi ETS dengan TLS metode *cloud to cloud*

Sisi	Jarak Antar Objek		Δ (m)	Sisi	Jarak Antar Objek		Δ (m)
	ETS (m)	target to target (m)			ETS (m)	target to target (m)	
A	0,6998	0,691	0,0088	L	1,0014	0,991	0,0104
B	1,9139	1,907	0,0069	M	1,3965	1,386	0,0105
C	9,4987	9,497	0,0017	N	5,0628	5,07	0,0072
D	13,1463	13,141	0,0053	O	5,0470	5,033	0,0140
E	4,4138	4,418	0,0042	P	1,9432	1,943	0,0002
F	2,0692	2,071	0,0018	Q	0,4588	0,459	0,0002
G	1,9480	1,943	0,0050	R	8,8583	8,859	0,0007
H	1,8270	1,821	0,0060	S	1,2874	1,285	0,0024
I	2,2030	2,191	0,0120	T	1,3180	1,322	0,0040
J	0,4975	0,507	0,0095	U	0,6478	0,638	0,0098
K	0,6421	0,623	0,0191	Σ			0,1397

Dari perbandingan data panjang sisi objek diatas, maka dapat diketahui nilai-nilai sebagai berikut:

1. Untuk perbandingan panjang sisi antara pengukuran ETS dan TLS melalui metode *target to target* diperoleh nilai selisih maksimum sebesar 0,0122 meter (sisi N) dan minimum 0,000 meter (sisi I), total nilai selisih panjang sisi sebesar 0,0961 m. Sedangkan untuk nilai rata-rata selisih tiap sisi sebesar 0,00457 meter dengan nilai RMS sebesar 0,00581 meter.
2. Untuk perbandingan panjang sisi antara pengukuran ETS dan TLS melalui metode *cloud to cloud* diperoleh nilai selisih maksimum sebesar 0,0191 meter (sisi K) dan minimum 0,0002 meter (sisi P&Q), total nilai selisih panjang sisi sebesar 0,1397 m. Sedangkan untuk nilai rata-rata selisih tiap sisi sebesar 0,0066 meter dengan nilai RMS sebesar 0,0084 meter.

Analisis Uji Statistik

Uji statistik dalam penelitian ini didasarkan pada perbedaan data yang diperoleh dari dua metode pengambilan data pengukuran jarak dilapangan dilakukan yaitu data ETS dan TLS. Adapun rinciannya adalah 1 kali pengukuran jarak dengan *Elektronik Total Station (ETS)* dimana data ini dianggap benar dan 2 kali pengukuran jarak dengan *Terrestrial Laser Scanner (TLS)* yaitu 1 kali pengukuran jarak untuk masing-masing metode registrasi. Dengan adanya perbedaan data jarak yang muncul maka perlu dilakukan uji statistik agar secara kualitas dapat diketahui ketelitian data dari hasil pengukuran yang telah dilakukan. Uji ketelitian data pengukuran akan dilakukan dengan metode uji *t-distribution*. Dan berikut hasil uji statistik dari masing-masing metode registrasi.

Tabel 3. Hasil Uji statistik data *target to target* dengan metode *t-distribution*

Sisi	ETS	T2T	X (m)	σ (m)	Selang Kepercayaan (95 %)		Keterangan
	d1 (m)	d2 (m)			Lower (m)	Upper (m)	Diterima/Tidak
A	0,6998	0,699	0,6994	0,000566	0,6986	0,7002	Diterima
B	1,9139	1,903	1,90845	0,007707	1,8971	1,9198	Diterima
C	9,4987	9,503	9,50085	0,003041	9,4964	9,5053	Diterima
D	13,1463	13,152	13,14915	0,004031	13,1432	13,1551	Diterima
E	4,4138	4,415	4,4144	0,000849	4,4132	4,4156	Diterima
F	2,0692	2,065	2,0671	0,00297	2,0627	2,0715	Diterima
G	1,9480	1,937	1,9425	0,007778	1,9311	1,9539	Diterima
H	1,8270	1,822	1,8245	0,003536	1,8193	1,8297	Diterima
I	2,2030	2,203	2,203	0	2,2030	2,2030	Diterima
J	0,4975	0,502	0,49975	0,003182	0,4951	0,5044	Diterima
K	0,6421	0,639	0,64055	0,002192	0,6373	0,6438	Diterima
L	1,0014	1,005	1,0032	0,002546	0,9995	1,0069	Diterima
M	1,3965	1,391	1,39375	0,003889	1,3880	1,3995	Diterima
N	5,0628	5,075	5,0689	0,008627	5,0562	5,0816	Diterima
O	5,0470	5,038	5,0425	0,006364	5,0331	5,0519	Diterima
P	1,9432	1,945	1,9441	0,001273	1,9422	1,9460	Diterima
Q	0,4588	0,459	0,4589	0,000141	0,4587	0,4591	Diterima
R	8,8583	8,854	8,85615	0,003041	8,8517	8,8606	Diterima
S	1,2874	1,291	1,2892	0,002546	1,2855	1,2929	Diterima
T	1,3180	1,315	1,3165	0,002121	1,3134	1,3196	Diterima
U	0,6478	0,65	0,6489	0,001556	0,6466	0,6512	Diterima

Tabel 4. Hasil Uji statistik data *cloud to cloud* dengan metode *t-distribution*

Sisi	ETS	C2C	X (m)	σ (m)	Selang Kepercayaan (95 %)		Keterangan
	d1 (m)	d2 (m)			Lower (m)	Upper (m)	Diterima/Tidak
A	0,6998	0,691	0,6954	0,006223	0,6869	0,7039	Diterima
B	1,9139	1,907	1,91045	0,004879	1,9038	1,9171	Diterima
C	9,4987	9,497	9,49785	0,001202	9,4962	9,4995	Diterima
D	13,1463	13,141	13,14365	0,003748	13,1386	13,1487	Diterima
E	4,4138	4,418	4,4159	0,00297	4,4119	4,4199	Diterima
F	2,0692	2,071	2,0701	0,001273	2,0684	2,0718	Diterima
G	1,9480	1,943	1,9455	0,003536	1,9407	1,9503	Diterima
H	1,8270	1,821	1,824	0,004243	1,8182	1,8298	Diterima
I	2,2030	2,191	2,197	0,008485	2,1855	2,2085	Diterima
J	0,4975	0,507	0,50225	0,006718	0,4931	0,5114	Diterima
K	0,6421	0,623	0,63255	0,013506	0,6142	0,6509	Diterima
L	1,0014	0,991	0,9962	0,007354	0,9862	1,0062	Diterima
Sisi	ETS	C2C	X (m)	σ (m)	Selang Kepercayaan (95 %)		Keterangan
	d1 (m)	d2 (m)			Lower (m)	Upper (m)	Diterima/Tidak

M	1,3965	1,386	1,39125	0,007425	1,3812	1,4013	Diterima
N	5,0628	5,07	5,0664	0,005091	5,0595	5,0733	Diterima
O	5,0470	5,033	5,04	0,009899	5,0265	5,0535	Diterima
P	1,9432	1,943	1,9431	0,000141	1,9429	1,9433	Diterima
Q	0,4588	0,459	0,4589	0,000141	0,4587	0,4591	Diterima
R	8,8583	8,859	8,85865	0,000495	8,8580	8,8593	Diterima
S	1,2874	1,285	1,2862	0,001697	1,2839	1,2885	Diterima
T	1,3180	1,322	1,32	0,002828	1,3162	1,3238	Diterima
U	0,6478	0,638	0,6429	0,00693	0,6335	0,6523	Diterima

Dari tabel hasil uji statistik dapat dilihat bahwa semua nilai yang didapat dari pengukuran jarak setiap metode registrasi masuk dalam rentang, dengan selang kepercayaan sebesar 95%, maka dari itu dapat dikatakan bahwa dari kedua metode pengambilan data tersebut tidak terjadi perbedaan yang signifikan.

PENUTUP

Kesimpulan

- Berdasarkan tingkat akurasi hasil akhir metode *target to target* memiliki tingkat keakuratan data yang lebih baik dibandingkan dengan metode *cloud to cloud*, dan jika dilihat dari sisi kemudahan dalam proses akuisisi data metode *target to target* mudah dalam proses pengolahan data dan tidak praktis dalam proses pengambilan data sedangkan metode *cloud to cloud* mudah dalam proses pengambilan data dan tidak praktis dalam proses pengolahan data, hal tersebut dikarenakan
 - Pada proses pengambilan data dengan metode *target to target* diperlukan adanya pekerjaan *acquire target* yang membuat metode ini lebih memerlukan banyak persiapan baik waktu ataupun peralatan.
 - Pada proses registrasi dengan metode *cloud to cloud* diperlukan adanya proses inialisai *point* sebagai titik ikat, dimana *point* tersebut harus bersesuaian antar *scanworld* dan memiliki persebaran yang merata.
- Berdasarkan nilai ketelitian yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa metode *target to target registration* memiliki kualitas yang lebih baik dibanding metode *cloud to cloud registration*. Hal tersebut dikarenakan nilai RMS yang didapat dari metode *target to target* lebih kecil yaitu 0,0015 m sedangkan metode *cloud to cloud* 0,009 m. Serta pada perbandingan panjang sisi objek antara pengukuran TLS dan ETS diperoleh nilai RMS sebesar 0,00581 m untuk metode *target to target* dan 0,0084 m untuk metode *cloud to cloud*.

Saran

Saran untuk pelaksanaan penelitian berikutnya mengenai “Studi Registrasi *Point Cloud* Pada Pemrosesan Data *Terrestrial Laser Scanner* (TLS)” yaitu:

- Melakukan kajian perbandingan metode registrasi data *terrestrial laser scanner* pada objek yang berbeda seperti lahan terbuka atau hutan.
- Sebaiknya *terrestrial laser scanner* digunakan pada area yang luas dan memiliki banyak detail yang perlu diambil, karena jika tidak maka data yang didapat akan lebih banyak yang dibuang daripada yang digunakan.
- Dalam penelitian selanjutnya sangat disarankan untuk melakukan studi pengaruh persebaran target terhadap ketelitian registrasi *terrestrial laser scanner*.
- Melakukan studi lebih lanjut dalam proses pengambilan data menggunakan jenis target yang berbeda yaitu antara *cyrax* target yang berbentuk planar bulat dan planar target persegi.

DAFTAR PUSTAKA

Andaru, R. (2010) : *Kombinasi Data Laser Scanning dan Fotogrametri Digital Untuk Pemodelan Candi Borobudur*. Thesis. UGM. Yogyakarta

- Charles D. G. dan Paul R. W. (2006) : *Adjustment Computations Spatial Data Analysis*. John Wiley & Sons. Canada.
- Elkhrachy, I. (2008) : *Towards an automatic registration for terrestrial laser scanner data*. Jerman.
- Firdaus, W. (2008) : *Sistem dan Aplikasi Laser Scanner (Studi Kasus : Pengukuran Konstruksi Anjungan Minyak Lepas Pantai)*. Tugas Akhir. ITB. Bandung
- Hasibuan, I. H. (2012) : *Penggunaan Teknologi Laser Scanner dalam Penyediaan Data Pemantauan Longsoran*. Tugas Akhir. ITB. Bandung.
- Jacobs, G. (2005) : *High Definition Surveying : 3D Laser Scanning Use in Building and Architectural*. Professional Surveyor Magazine.
- Jananuragadi. (2010) : *Rekonstruksi Model 3D dengan Menggunakan Alat Image Station dan Terrestrial Laser Scanner*. Tugas Akhir. ITB. Bandung
- Kurniawan, A. (2007) : *Aplikasi High Definition Surveying (HDS) 3000 Laser Scanner Untuk Pemetaan Kerusakan Candi Brahma*. Tugas Akhir. UGM. Yogyakarta
- Leica. Manual Laica Scanstation C10
- Maharsayanto, P. Y. (2012) : *Aplikasi Terrestrial Laser Scanner Untuk Pemodelan Tampak Muka Bangunan (Studi Kasus: Gedung PT. Almega Geosystems, Kelapa Gading-Jakarta)*. Tugas Akhir. UNDIP. Semarang
- Pratama, R. A. (2013) : *Pengamatan Lendutan Vertikal Jembatan Kali Babon Dengan Metode Terrestrial Laser Scanner*. Tugas Akhir. UNDIP. Semarang
- 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)*. 4 juni 2008.
- Wibowo, H. W. (2013) : *Pengukuran Plant Satellite Nilam 2 Pt.Vico Indonesia Menggunakan Laser Scanner Scanstation 2 Dengan Registrasi Metode Target To Target*. Tugas Akhir. UGM. Yogyakarta
- Wicaksono, H. P. (2006) : *Pemetaan Candi Pawon Dengan 3D Laser Scanner HDS 3000 (Target to Target Registration)*. Tugas Akhir. UGM. Yogyakarta
- Wikipedia. (2014). <http://en.wikipedia.org> diunduh pada tanggal 14 Juli 2014
- Wikipedia. (2014). <http://www.hds.leica-geosystems.com> diunduh pada tanggal 21 Juli 2014