

SEMINAR TUGAS AKHIR

STUDI PEMODELAN 3D MENGGUNAKAN *TERRESTRIAL LASER SCANNER* BERDASARKAN PROSES REGISTRASI *CLOUD TO CLOUD* DAN *TARGET TO TARGET* (Studi Kasus: Candi Brahu, Mojokerto)

ALDINO ZAKARIA

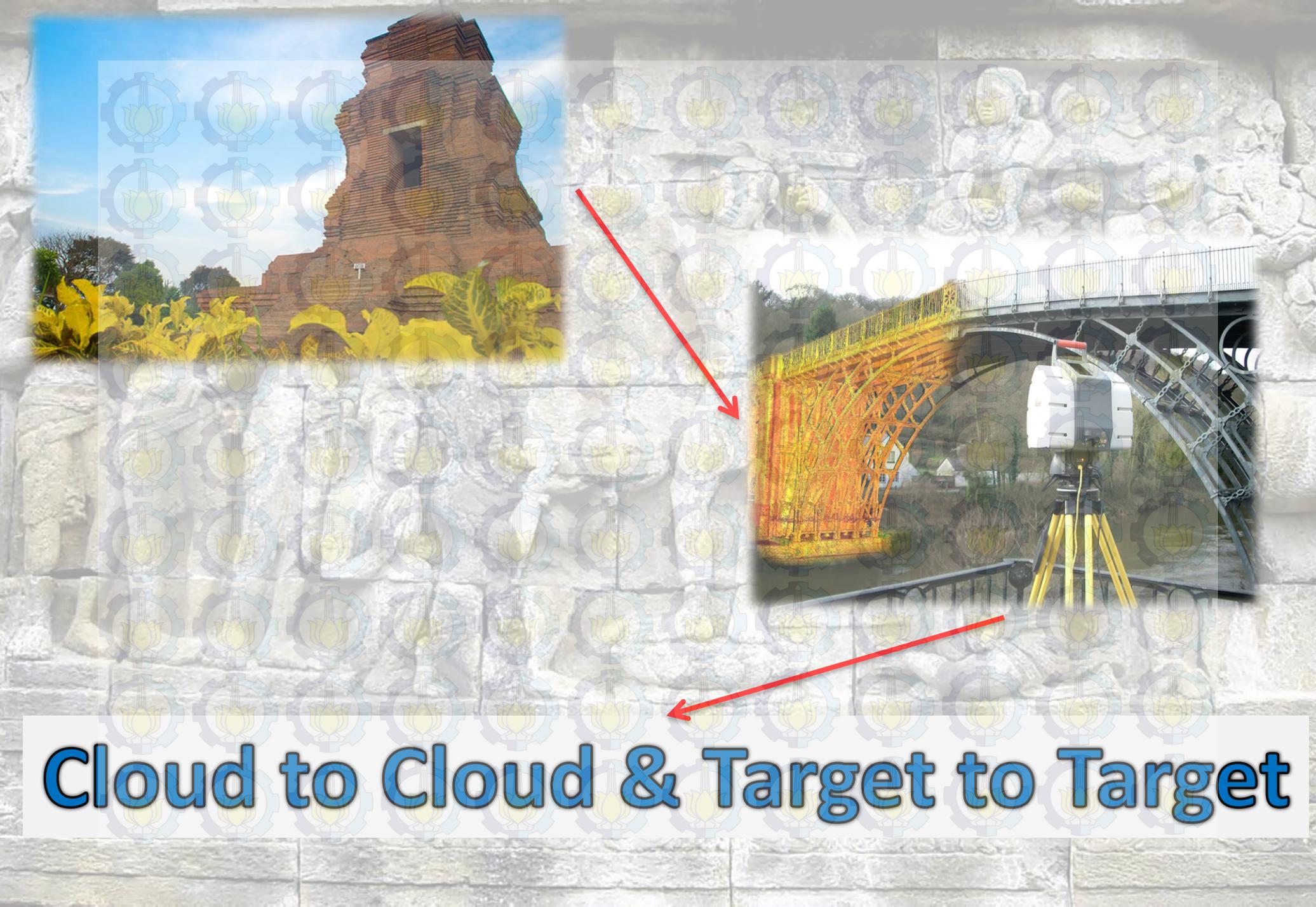
3512100086



LATAR BELAKANG



- Candi Brahu sebagai salah satu cagar budaya yang berada pada situs trowulan memiliki ukuran panjang sekitar 22,5 m, dengan lebar 18 m, dan ketinggian 20 meter.
- Salah satu bentuk pelestarian, perawatan, dan pengarsipan yang bisa dilakukan adalah dengan melakukan pemodelan 3D
- Laser scanning menawarkan metode yang sangat efektif untuk mengumpulkan titik dalam jumlah yang besar & tepat dengan waktu cukup singkat
- Studi kali ini akan mengkaji jenis registrasi *cloud to cloud (CTC)* dan *target to target (TTT)* untuk mengetahui metode pengambilan dan perencanaan yang efektif.



Cloud to Cloud & Target to Target

FOKUS PENELITIAN



Penelitian kali ini akan difokuskan pada hal:



Memodelkan Candi Brahu menggunakan alat Terrestrial Laser Scanner



Validasi data menggunakan alat Electronic Total Station



Melakukan pengolahan data meliputi registrasi, georeference, filterisasi, penggambaran model 3D

TUJUAN PENELITIAN



Tujuan Penelitian kali ini adalah:

Membuat visualisasi 3D model dari Candi Brahu dengan menggunakan *Terrestrial Laser Scanning* berdasarkan dengan registrasi *target to target* dan *cloud to cloud*.

Melakukan analisa terhadap koordinat (X, Y, Z) ICP dari kedua model yang dihasilkan berdasarkan ukuran *total station*.

MANFAAT PENELITIAN



Manfaat dari Penelitian ini adalah:

Pemodelan 3D Candi Brahu sebagai salah satu bentuk pelestarian, perawatan, dan pengarsipan cagar budaya

Referensi untuk melakukan rekonstruksi ulang jika terjadi bencana alam atau peristiwa yang dapat merubah bentuk dari Candi Brahu

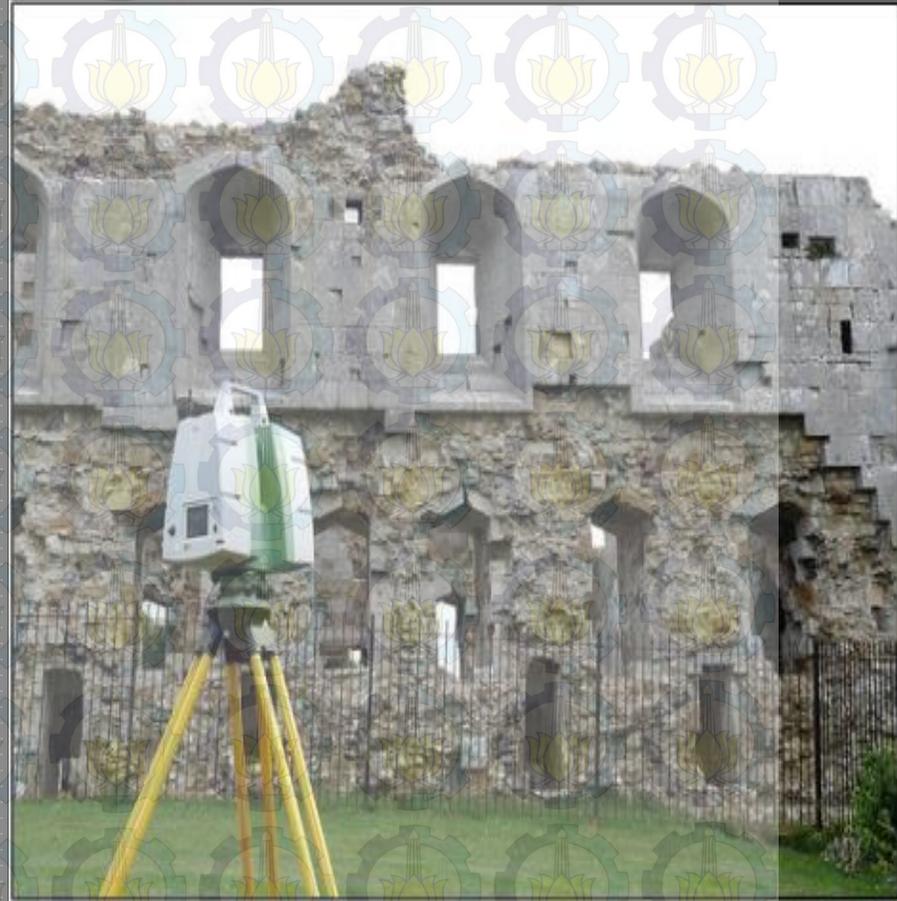
KAJIAN PUSTAKA



Terrestrial Laser Scanning

Terrestrial laser scanning -> metode standar untuk pengambilan akuisisi data dalam 3D, sejajar dengan metode yang sudah ada seperti *tacheometry*, fotogrametri dan GPS. Pengkombinasian antara laser dengan pemindaian (*scanner*) secara optis dengan kecepatan tinggi dapat menghasilkan model tiga dimensi struktur yang sulit dijangkau secara detail dan akurat.

3D Laser Scanner -> instrumen analisis objek *real world* yang dapat mengumpulkan data permukaan dan bentuk objek kemudian ditampilkan dalam bentuk tiga dimensi



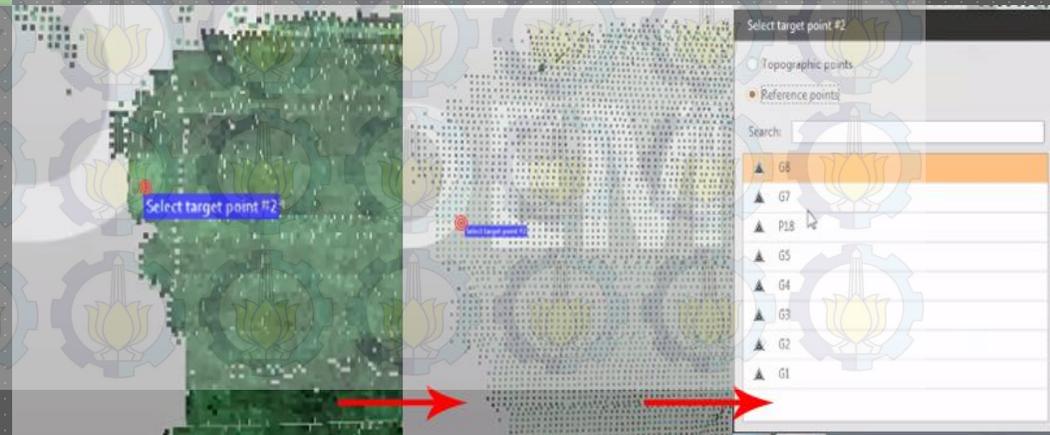
Teknik Registrasi

Registrasi adalah tahapan penggabungan data point clouds dari beberapa kali pengambilan data menjadi kedalam satu sistem koordinat

Cloud to Cloud (CtC)



Target to Target (TtT)



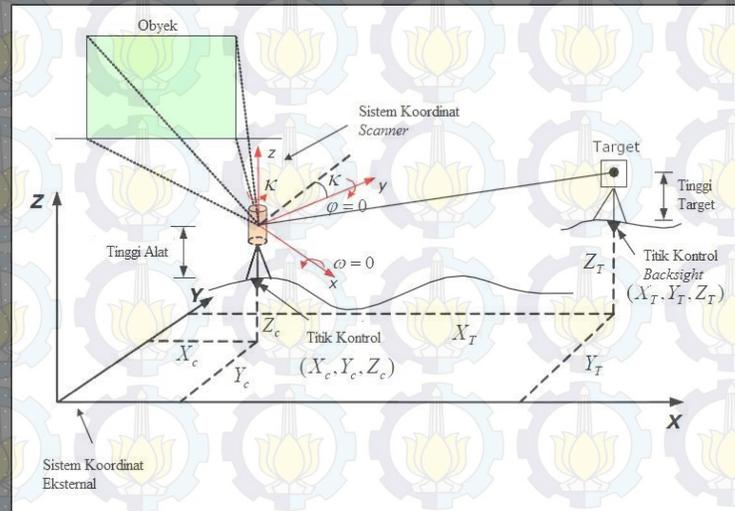
Metodologi

Filterisasi

Tahap filterisasi merupakan proses menghilangkan point clouds yang tidak dibutuhkan dalam proses pemodelan 3D. Kesalahan dalam pengukuran dapat menghasilkan karakteristik data yang kurang baik. Beberapa penyimpangan ini dapat diselesaikan dengan melakukan analisa statistik dan penghapusan titik (noise) yang berada disekitar titik objek pemodelan.



Georeferensi



Georeferensi dilakukan agar data TLS terintegrasi dalam data geospasial. Georeferensi dilakukan dengan meregistrasi seluruh data *point clouds* dari obyek ke dalam sistem koordinat eksternal.

Metode Tachimetry

Tachymetry berasal dari kata dasar tacheo, yang berarti cepat dan metry, yang berarti pengukuran (Basuki, 2006). Di Amerika lebih dikenal dengan nama Stadia Method. Metode yang digunakan untuk menentukan dengan cepat jarak horizontal dan elevasi sebuah titik (Wolf P. R., 2001). Metode ini dibagi menjadi :

- Pengukuran dengan azimuth
- Pengukuran dengan sudut

Persamaan rumus dasar tachymetry:

$$HD = SD \cdot \cos \alpha \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\Delta H_{AB} = TA + VD - R_{ht} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

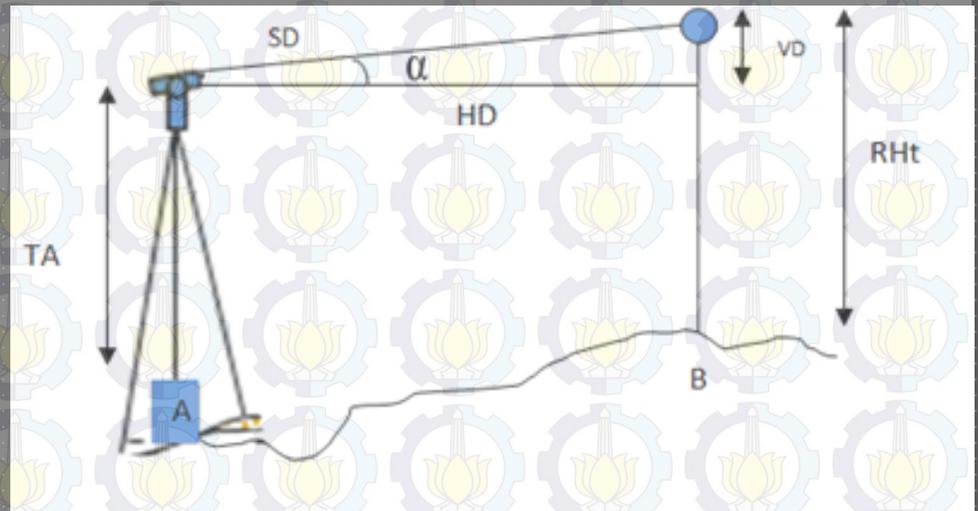
HD : jarak horizontal

SD : jarak miring

α : sudut

TA : tinggi alat

VD : jarak vertical



Strenght Of Figure

Strength of figure adalah kekuatan dari bentuk kerangka yang digunakan untuk menentukan kekuatan kerangka dari jaring geodesi menggunakan gambar, di mana kekuatannya akan setara dengan kerangka yang akan dibuat di lapangan. Nilai Strength of figure dipengaruhi oleh penentuan posisi dan jumlah GCP yang digunakan, di mana hal ini akan menentukan ketelitian kerangka tersebut. Kekuatan geometrik dicerminkan dengan harga strength of figure yang paling kecil, hal ini akan menjamin ketelitian yang merata pada seluruh jaringan.

$$SOF = \frac{\text{trace}(A^T \cdot A)^{-1}}{u}$$

Uji Statistik

Uji-t termasuk dalam golongan statistika parametrik. Statistik uji ini digunakan dalam pengujian hipotesis. Uji-t digunakan ketika informasi mengenai nilai varians (ragam) populasi tidak diketahui. Rumus yang digunakan dalam uji-t adalah sebagai berikut:

$$t = \frac{\sum d}{\sqrt{\frac{N\sum d^2 - (\sum d)^2}{N - 1}}}$$

Di mana:

t = t-hitung

$\sum d$ = Jumlah Selisih Tiap Titik

N = Jumlah Titik yang Digunakan

$[\sum d]^2$ = Jumlah dari Kuadrat Selisih Tiap Titik

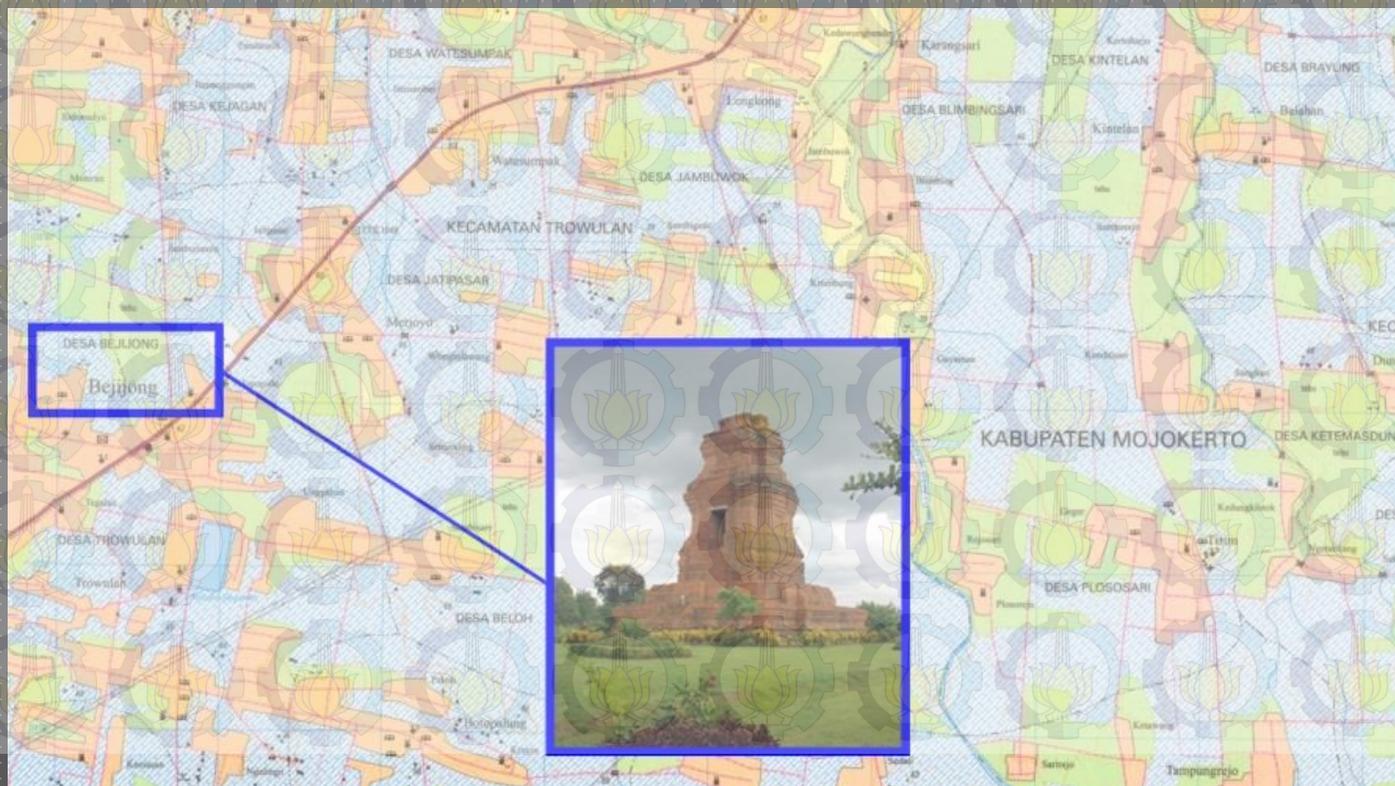
$[(\sum d)]^2$ = Kuadrat dari Jumlah Selisih Tiap Titik

METODOLOGI



Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah Candi Brahu yang berlokasi pada Desa Bejjong, Kec. Trowulan, Kab. Mojokerto dengan koordinat $07^{\circ} 32'' 34,9''$ LS dan $112^{\circ} 22'' 23,2''$ BT.



Data dan Peralatan

Data

- Data *3D point clouds* candi
- Data ukuran koordinat (X, Y, Z) GCP dan ICP pada candi
- Data ukuran kerangka kontrol

Peralatan

a. Perangkat Keras (Hardware)

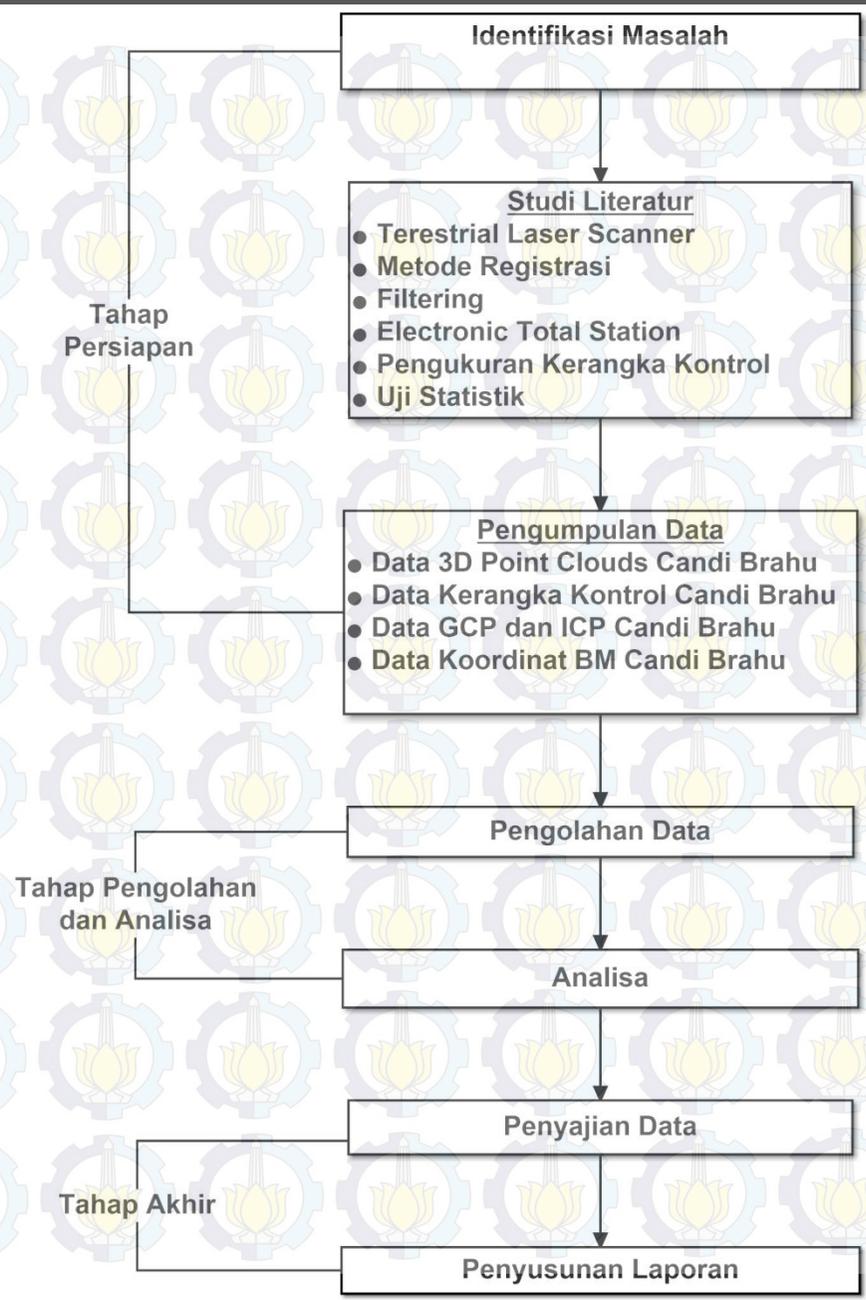
- Terrestrial Laser Scanner GeoMax Zoom 300
- Total station Topcon GTS-235
- Laptop Asus N46V

b. Perangkat Lunak (Software)

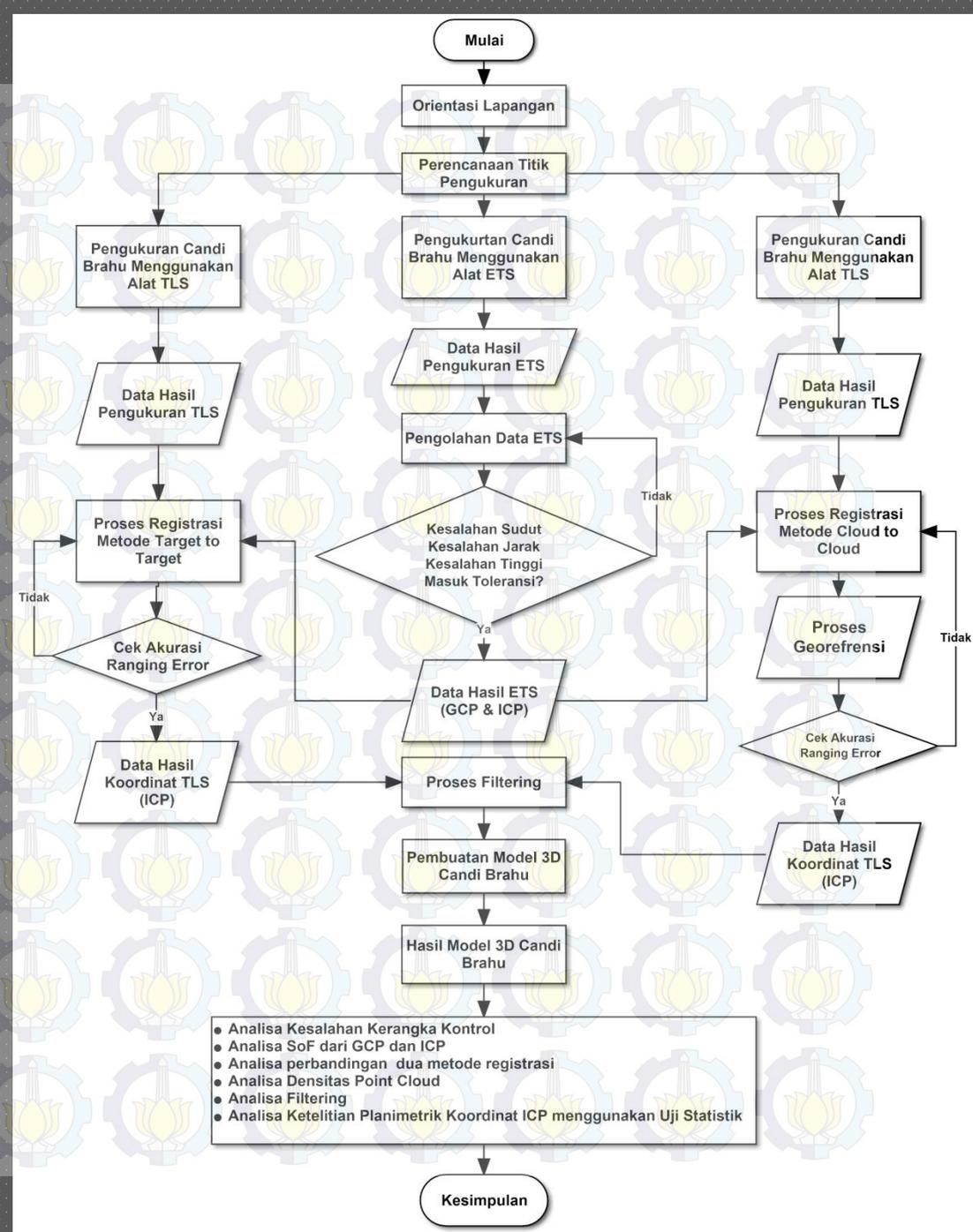
- X-PAD Office MPS
- CloudCompare
- Autodesk ReCap 2016
- Microsoft Office 2010



Tahapan Penelitian



Tahapan Pengolahan Data



Spesifikasi TOPCON GTS-235

- Panjang teropong : 150mm
- Diameter lensaobjektif : 45mm
- Perbesaran : 30x
- Gambar : Tegak
- Jarak fokus minimum : 1.3 meter
- Pengukuran jarak : 3,000m
- Akurasi jarak : $\pm (2\text{mm} + 2\text{ppmxD})$
- Pengukuransudut : 2 sisi horizontal dan 1 sisi vertikal
- Akurasi sudut : 5 "
- Bacaan sudut minimal : 1" / 5"
- Display : 2 sisi
- Tipe display : Dot Matrix Graphic LCD



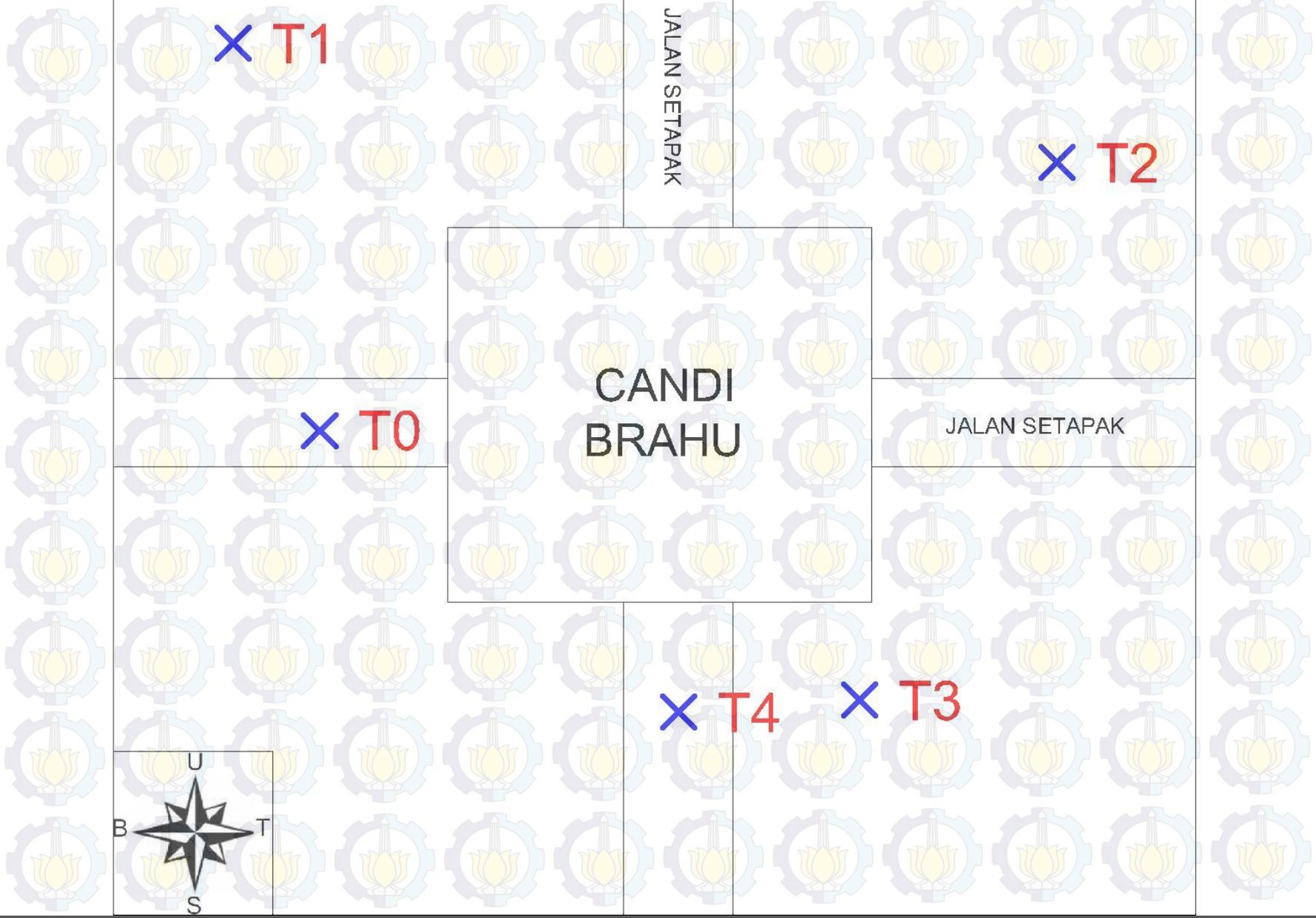
Spesifikasi Terrestrial Laser Scanner GeoMax Zoom 300

- Maksimal rata 300m
- Rata-rata pemindaian 40.000 points/sec
- Akurasi Densitas 6mm @ 50m
- Akurasi Ranging Error $\leq 2.35\text{cm}$ @ 0~30m
- 2 kamera terintegrasi 5+5 Mpx
- Integrasi dengan data GPS
- Laser class 1 – aman tanpa proteksi mata
- Kuat dan ringan (7 kg termasuk baterai)
- Lebih dari 6 jam dalam pekerjaan berkelanjutan dengan 2 baterai yang tersedia
- Temperatur pengoperasian dari suhu -10°C sampai $+50^{\circ}\text{C}$



PENGUKURAN POLIGON





X T1

X T2

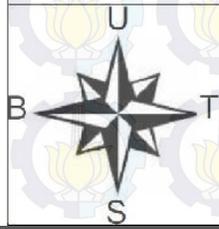
X T0

CANDI
BRAHU

JALAN SETAPAK

X T4

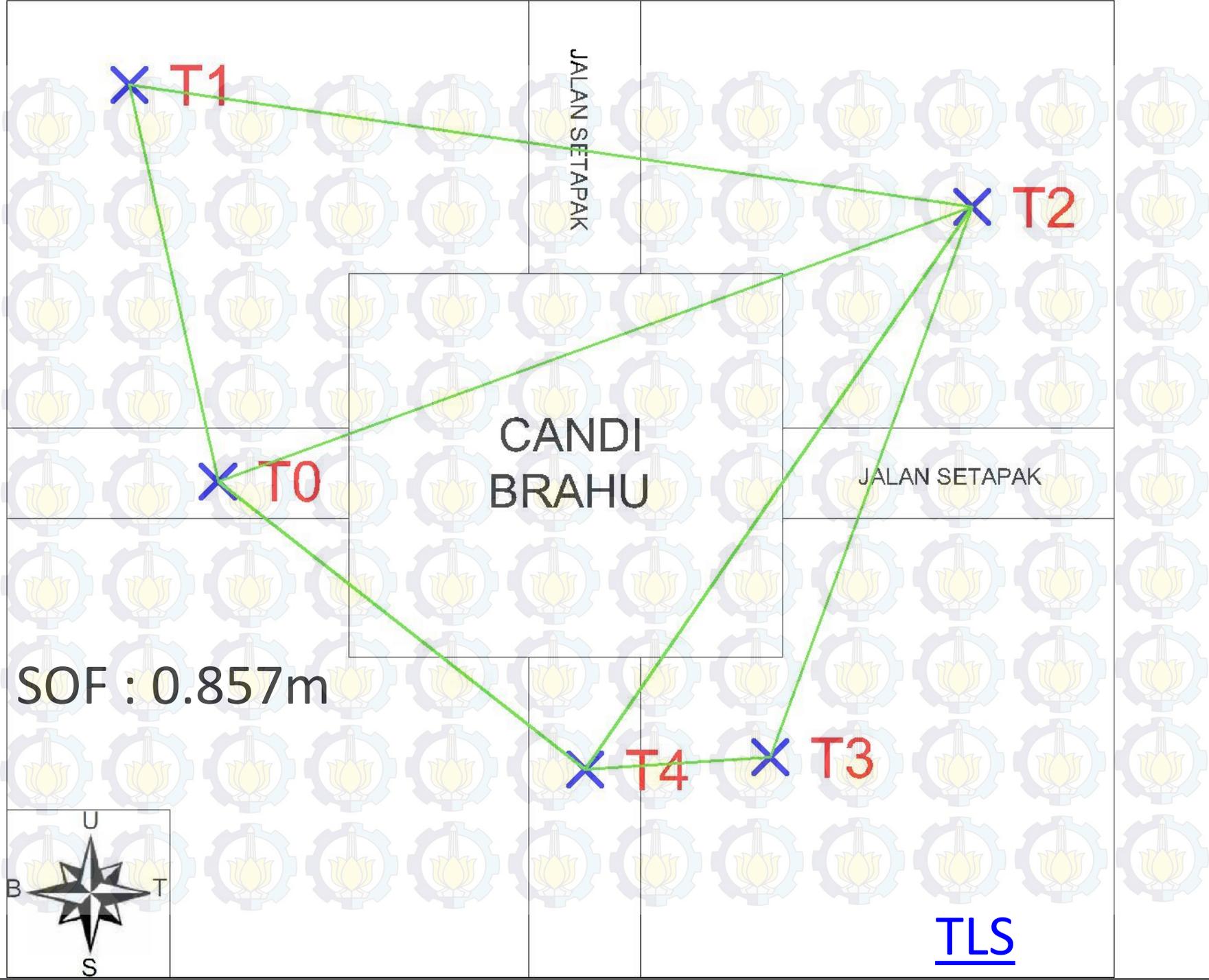
X T3



Kerangka kontrol pada penelitian ini terdiri dari 4 titik. Kerangka kontrol ini digunakan dalam pengukuran *GCP* dan *ICP* objek. Alat yang digunakan dalam pengukuran kerangka kontrol adalah *Total Station*. Data yang diambil dalam pengukuran adalah sudut horizontal, sudut zenith, dan jarak miring, berikut adalah hasilnya:

Hasil perhitungan dari kerangka kontrol ini memiliki nilai kesalahan penutup sudut sebesar 8 detik dan kesalahan penutup tinggi sebesar 2,1 milimeter.

Nama	X	Y	Z
T0	651647	9165982	32.000
T1	651639	9166017	31.994
T2	651714	9166006	31.691
T3	651696	9165957	32.024
T4	651679	9165956	32.098



LETAK GCP & ICP



SISI BARAT

ICP6

ICP7

ICP4

ICP5

ICP1

ICP2

ICP3

GCP2

GCP1



SISI UTARA

GCP4



ICP8



GCP3



SISI TIMUR

GCP6



ICP9



GCP5



SISI SELATAN

ICP10

GCP7

GCP8



PERHITUNGAN GCP & ICP



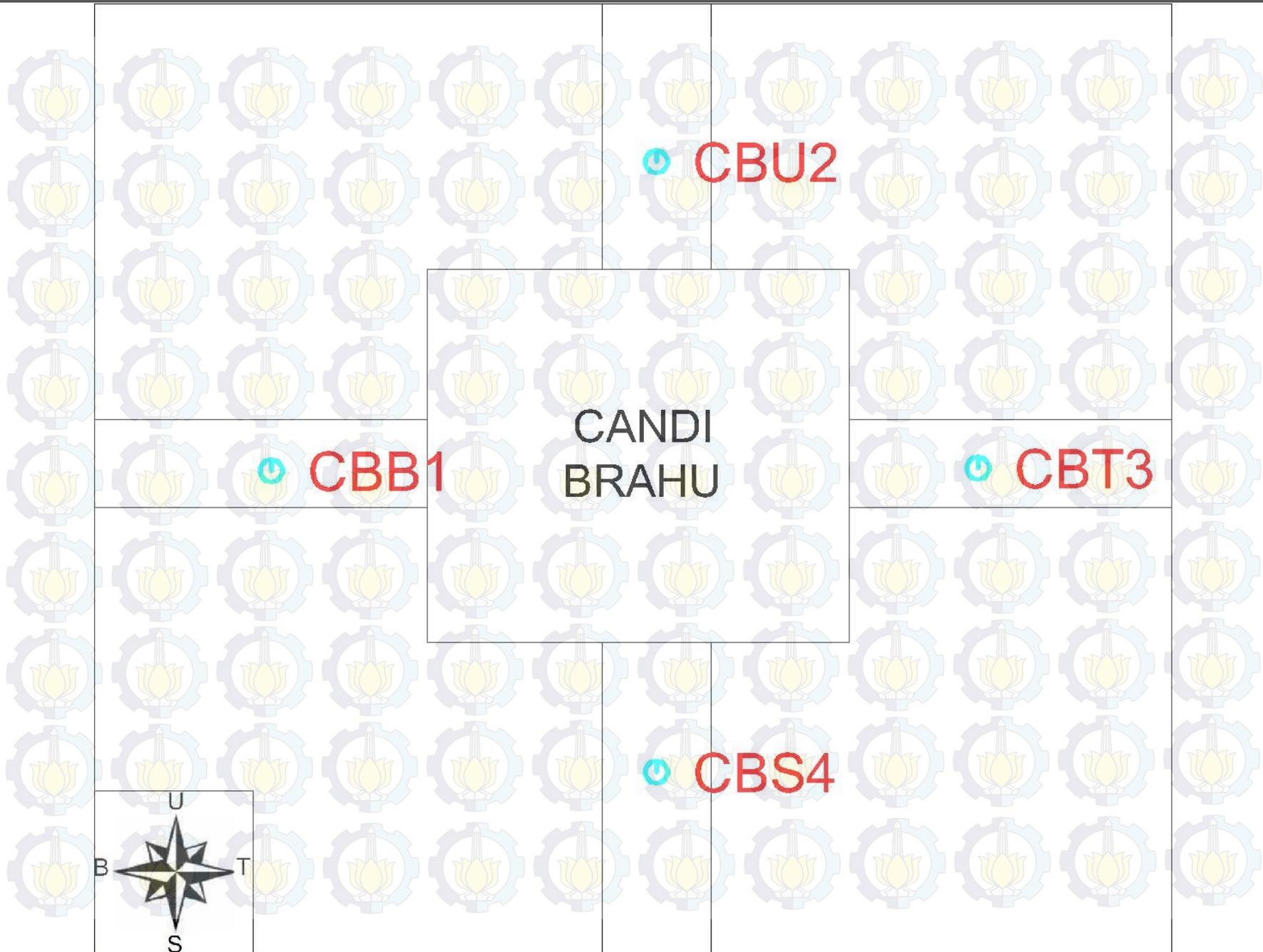
8 buah *GCP* akan digunakan dalam proses *georeferencing*, sedangkan 10 *ICP* akan digunakan sebagai titik pembandingan dalam proses uji statistik. Berikut adalah hasil perhitungannya:

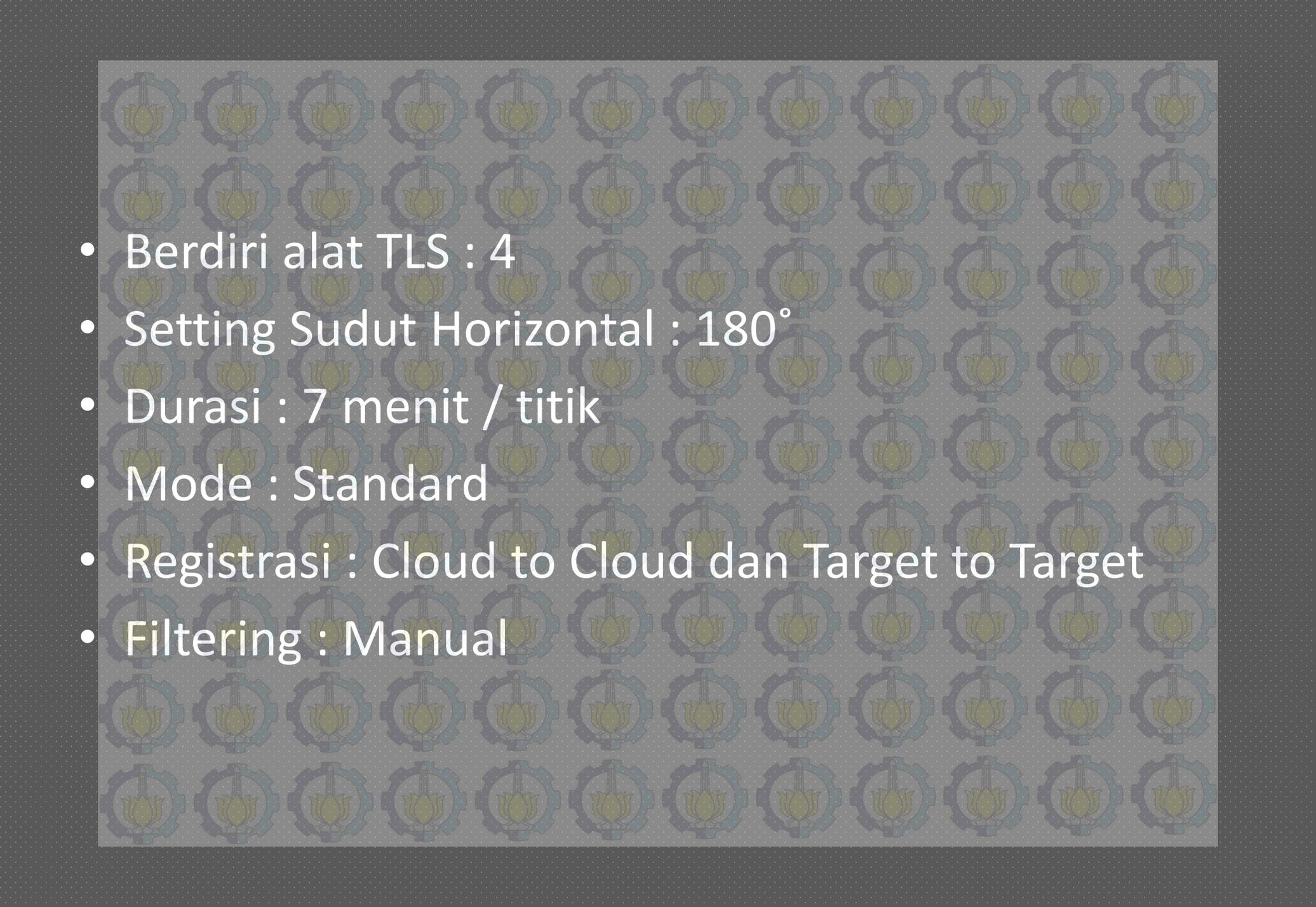
Nama	X	Y	Z
GCP1	651669.2183	9165971.3192	34.4927
GCP2	651670.3510	9165988.8438	34.5341
GCP3	651670.4429	9165988.9232	34.41737
GCP4	651688.1023	9165988.0290	34.1460
GCP5	651688.1838	9165987.9490	34.49687
GCP6	651684.4087	9165973.1670	36.9720
GCP7	651686.9546	9165970.1362	34.42446
GCP8	651669.2628	9165971.2507	34.4486

Nama	X	Y	Z
ICP1	651672.7975	9165986.1053	36.78526
ICP2	651671.0496	9165980.2425	36.91359
ICP3	651678.6705	9165965.4473	38.0351
ICP4	651674.5141	9165980.8686	40.33623
ICP5	651674.3973	9165978.9259	40.35068
ICP6	651674.7620	9165980.7980	43.7616
ICP7	651674.6997	9165978.9480	43.75572
ICP8	651672.9676	9165986.1795	36.89459
ICP9	651685.2015	9165985.4146	37.02089
ICP10	651684.3337	9165973.0940	37.00166

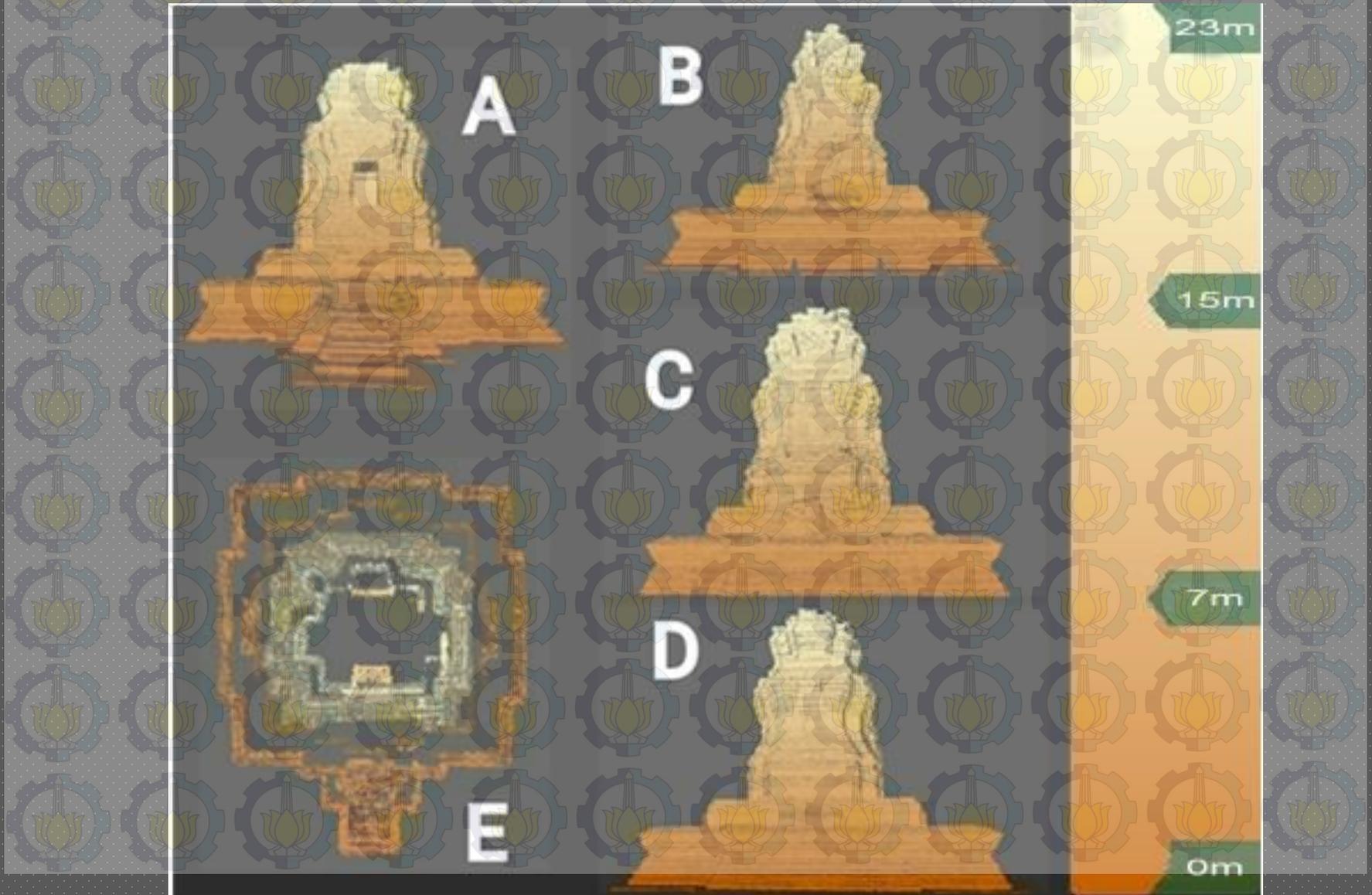
PENGAMBILAN DATATLS





- 
- Berdiri alat TLS : 4
 - Setting Sudut Horizontal : 180°
 - Durasi : 7 menit / titik
 - Mode : Standard
 - Registrasi : Cloud to Cloud dan Target to Target
 - Filtering : Manual

Model Candi Brahu dari registrasi *cloud to cloud*



Model Candi Brahu dari registrasi *target to target*



ANALISA



Analisa Kerangka Kontrol

Kerangka kontrol hasil pengukuran di analisa terhadap 3 kriteria, yaitu kesalahan linier, kesalahan penutup sudut, dan kesalahan penutup tinggi.

No.	Nama	Nilai
1	Kesalahan Linier	0.0003
2	Kesalahan Penutup Sudut	8"
3	Kesalah Penutup Tinggi	2 mm

Nilai 0.0003 di dapat dari persamaan kesalahan linier. Nilai ini lebih kecil dari standar minimal yaitu $1/2500$ atau 0,0004, oleh karena itu nilai linear memasuki nilai ketelitian.

Nilai toleransi didapat dari persamaan kesalahan penutup sudut adalah 10 detik, di mana nilai ini lebih besar dari kesalahan penutup sudut milik kerangka kontrol, yaitu 8 detik. Dengan ini nilai kesalahan penutup sudut memasuki nilai ketelitian.

3.570 mm nilai maksimal dari kesalahan penutup tinggi. Kerangka kontrol memiliki nilai kesalahan penutup tinggi sebesar 2 mm sehingga kesalahan penutup tinggi memasuki nilai ketelitian.

Analisa Metode Registrasi

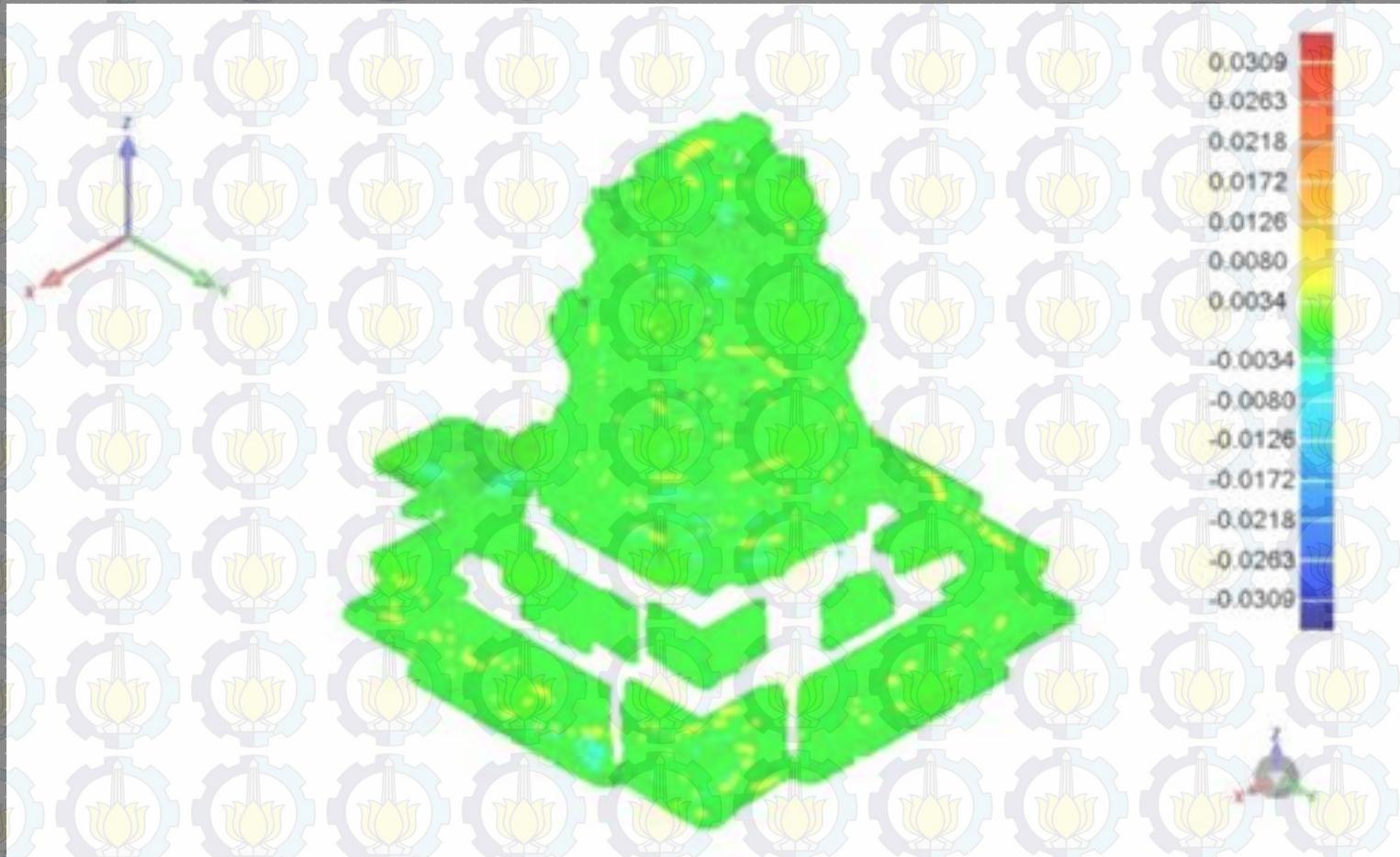
Tabel perbandingan registrasi dari segi perencanaan dan pengambilan data:

Hal	Cloud to Cloud	Target to Target
Jumlah Target	Tidak dibutuhkan	Minimal 2
Persiapan pemindaian	Sentring TLS	Sentring TLS dan pemasangan target
Proses pemindaian	Memindai objek	Memindai objek dan target
Cara Registrasi	Natural Target	Known Target
Sistem Koordinat	Lokal	Lokal / Global

Tabel Rata – rata kesalahan kedua metode registrasi :

Registrasi	RMSE (m)
Cloud To Cloud	0.0083
Target To Target	0.0014

Analisa Perbandingan Model Hasil Registrasi CTC dan Registrasi TTT

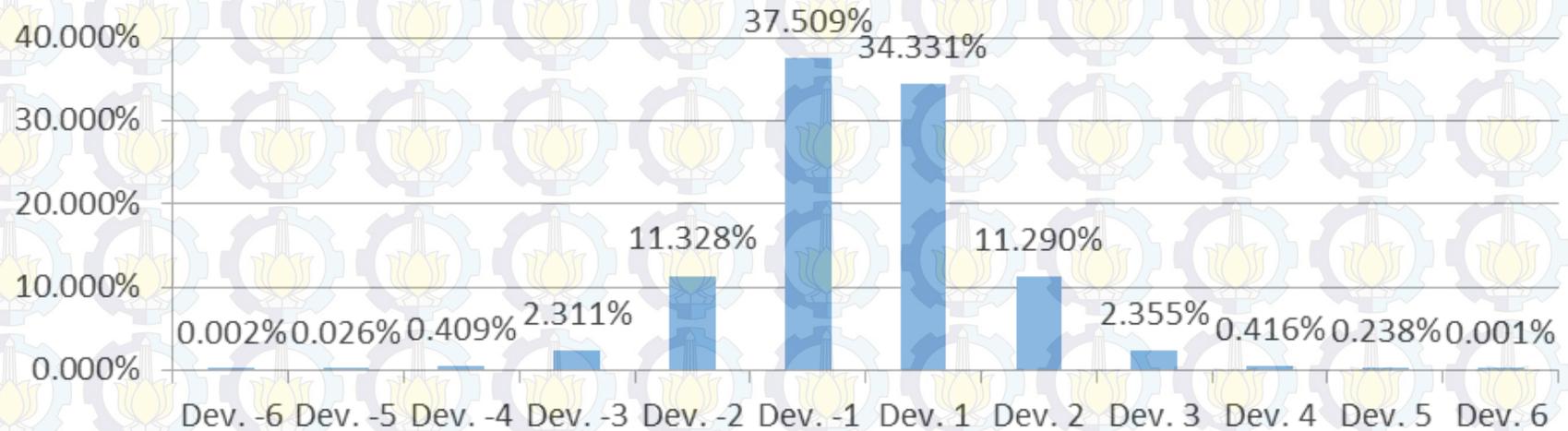


Deviasi jarak dua model candi didominasi warna hijau dengan persentase 86,31%.

Analisa Perbandingan Model Hasil Registrasi CTC dan Registrasi TTT

Hasil perbandingan model antara registrasi ctc dan registrasi ttt:

Distribusi deviasi jarak komparasi model 3D *cloud to cloud* terhadap *target to target*

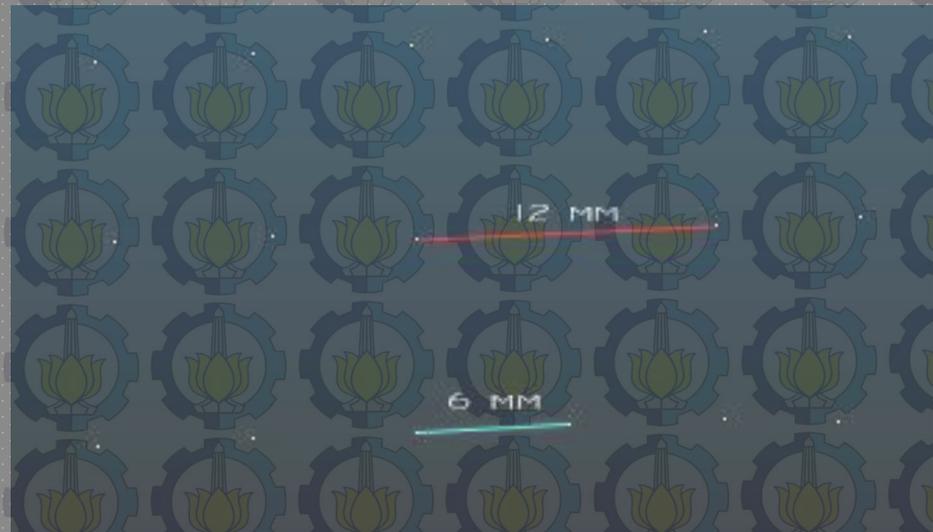


Nilai standar deviasi hasil komparasi adalah 0,0036m. 95% berada pada rentang standard deviasi -2 sampai +2 , sisanya berada pada rentang -6 ~ -3 dan +3 ~ +6. Oleh karena itu model 3D Candi Brahu data cloud to cloud dan target to target tidak signifikan perbedaanya dari segi ukurannya.

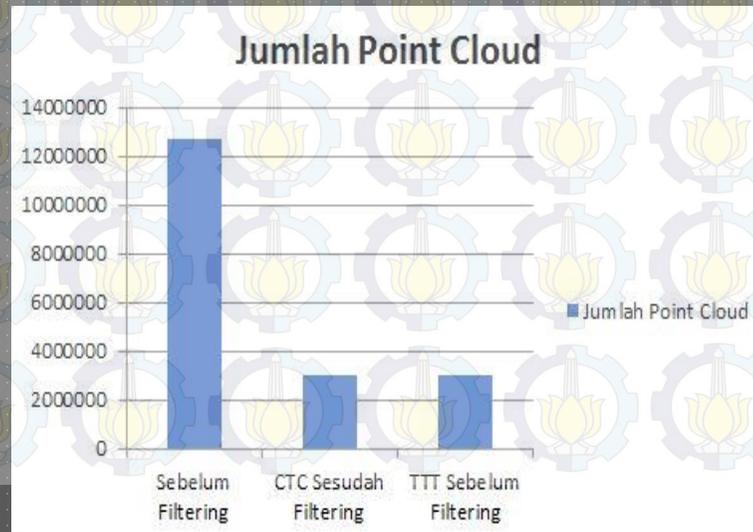
Analisa Ukuran Geometris Model

	Panjang (m)	Lebar(m)	Tinggi(m)
BPCB	18.4	18.4	23.2
CTC	18.853	18.915	23.958
TTT	18.521	18.624	23.623
Δ BPCB-CTC	0.453	0.515	0.758
Δ BPCB-TTT	0.121	0.224	0.423

Analisa Densitas Point Cloud



Analisa Filtering



Uji Statistika t-Student Koordinat X
Nilai Kepercayaan 90%

Nama	Min Interval	Max Interval	CTC	TTT
ICP1	651672.775	651672.820	651672.792	651672.798
ICP2	651671.027	651671.072	651671.042	651671.050
ICP3	651678.648	651678.693	651678.670	651678.660
ICP4	651674.492	651674.536	651674.525	651674.611
ICP5	651674.375	651674.420	651674.393	651674.382
ICP6	651674.740	651674.784	651674.752	651674.767
ICP7	651674.678	651674.722	651674.691	651674.679
ICP8	651672.945	651672.990	651672.917	651672.977
ICP9	651685.179	651685.224	651685.291	651685.207
ICP10	651684.312	651684.356	651684.353	651684.314

Uji Statistika t-Student Koordinat Y
Nilai Kepercayaan 90%

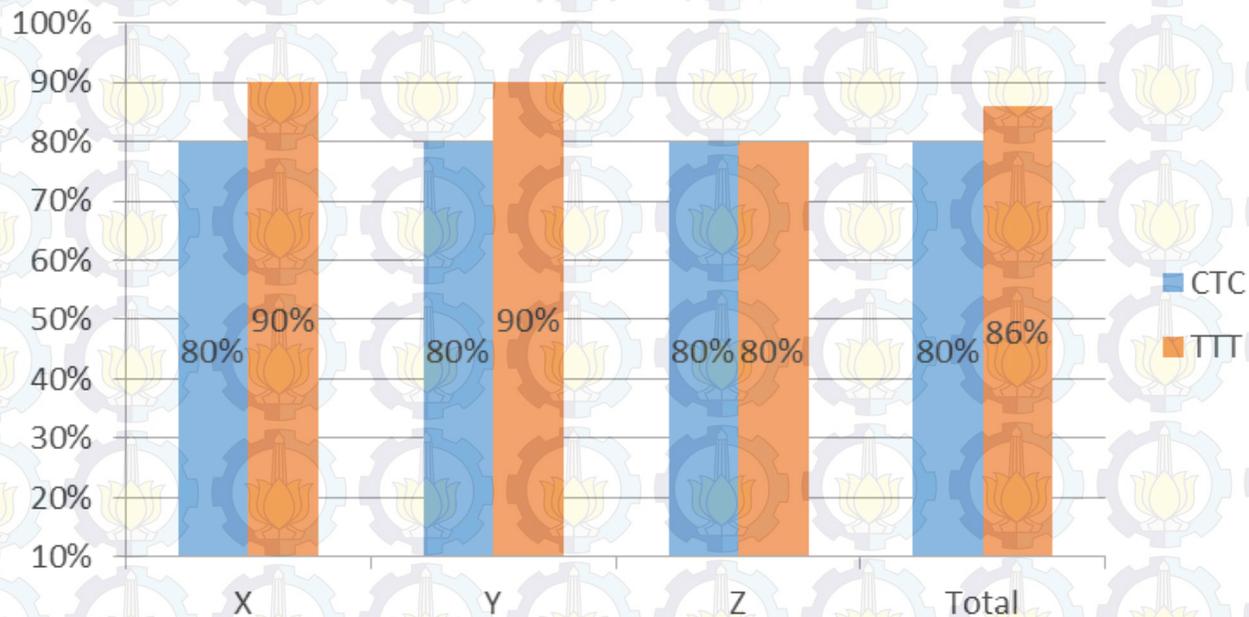
Nama	Min Interval	Max Interval	CTC	TTT
ICP1	9165986.073	9165986.138	9165986.105	9165986.103
ICP2	9165980.210	9165980.275	9165980.293	9165980.242
ICP3	9165965.415	9165965.480	9165965.443	9165965.427
ICP4	9165980.836	9165980.901	9165980.864	9165980.869
ICP5	9165978.893	9165978.959	9165978.915	9165978.726
ICP6	9165980.765	9165980.831	9165980.791	9165980.798
ICP7	9165978.915	9165978.981	9165978.943	9165978.948
ICP8	9165986.147	9165986.212	9165986.160	9165986.180
ICP9	9165985.382	9165985.447	9165985.415	9165985.414
ICP10	9165973.061	9165973.127	9165973.034	9165973.084

Uji Statistika t-Student
Nilai Kepercayaan 90%

Nama	Min Interval	Max Interval	CTC	TTT
ICP1	36.767	36.804	36.786	36.786
ICP2	36.895	36.932	36.914	36.913
ICP3	38.017	38.053	38.031	38.036
ICP4	40.318	40.355	40.336	40.336
ICP5	40.332	40.369	40.360	40.351
ICP6	43.743	43.780	43.711	43.792
ICP7	43.737	43.774	43.755	43.755
ICP8	36.876	36.913	36.815	36.895
ICP9	37.003	37.039	37.011	37.091
ICP10	36.983	37.020	37.002	37.001

Uji Statistika t-Student Koordinat Z
Nilai Kepercayaan 90%

Prosentase jumlah ICP yang diterima



KESIMPULAN

- a. Sesuai dengan analisa model dari kedua metode registrasi, tidak ada perbedaan yang signifikan pada segi jarak dengan deviasi jarak sebesar 95% berada pada ± 2 *standar deviasi. Sedangkan RMSE kedua metode memenuhi toleransi dengan masing RMSE sebesar 0.0083m untuk CTC, dan 0.0014m untuk TTT.
- b. Berdasarkan hasil analisa uji t student, terlihat bahwa tidak ada perbedaan yang cukup berarti/signifikan antara kedua metode ini. Secara keseluruhan, terdapat 24 titik koordinat metode cloud to cloud yang diterima atau sebesar 80%, sedangkan untuk metode target to target sebanyak 26 titik atau 83%.

SARAN

1. Untuk penelitian selanjutnya, pengambilan data menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* sebaiknya menggunakan tingkat *overlap* yang tinggi, sehingga hasil yang lebih baik dapat diperoleh dari proses registrasi dan *georeferencing*.
2. Pemasangan tanda atau titik kontrol pada objek penelitian akan sangat membantu dalam pemodelan 3D, terutama pada saat melakukan *georeferencing*.

