

BAB III

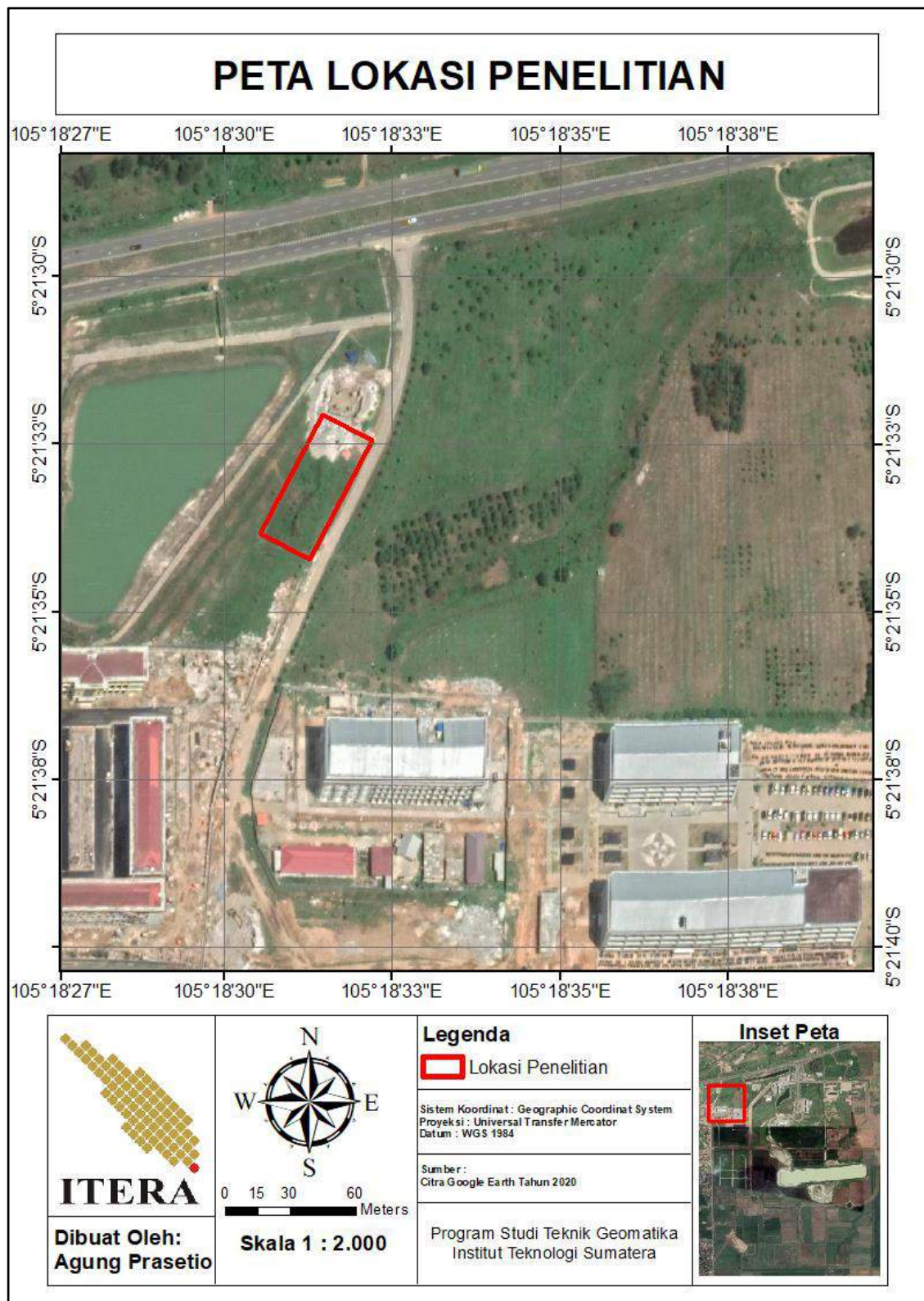
METODE PERHITUNGAN VOLUME DENGAN ALAT UKUR TOTAL STATION, GNSS RTK DAN TERESTRIAL LASER SCANNER

III.1 Lokasi dan Obyek Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di lingkungan kampus Institut Teknologi Sumatera, Desa Way Hui, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan. Area pengukuran terdapat pada koordinat geografis $5^{\circ}21'29,84''$ - $5^{\circ}21'51,27''$ Lintang Selatan dan $105^{\circ}19'0,39''$ - $105^{\circ}19'0,70''$ Bujur Timur. Obyek pada penelitian ini berupa sebuah gundukan tanah padat yang berbentuk tidak beraturan menyerupai bukit kecil yang memanjang dengan luas areal obyek $1280,5 \text{ m}^2$ dan memiliki ketinggian tiga m. Obyek penelitian ini dapat dilihat pada gambar III.1 dan untuk lokasi penelitian dapat dilihat III.2 di bawah ini.



Gambar III.1 Obyek penelitian



Gambar III.2 Peta lokasi penelitian

III.2 Data dan Peralatan

III.2.1 Data

Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu berupa data primer atau data yang diperoleh dari survei langsung di lapangan, adapun data-data tersebut adalah seperti berikut ini:

1. Data koordinat titik kontrol pengukuran atau *Bench Mark* (BM) yang diperoleh dari pengukuran *Global Navigation Sattellite System* (GNSS).
2. Data koordinat *Ground Control Point* (GCP) yang diperoleh dari hasil pengukuran *Static Global Navigation Sattellite System* (GNSS).
3. Data koordinat *Independent Control Point* (ICP) yang diperoleh dari pengukuran *tachymetri*, *rapid static* dan *Real Time Kinematic* (RTK).
4. Data *point clouds* permukaan obyek yang diperoleh dari pengukuran menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner* (TLS).
5. Data koordinat titik detail permukaan obyek yang diperoleh dari pengukuran menggunakan alat *Total Station* (TS).
6. Data koordinat titik detail permukaan obyek yang diperoleh dari pengukuran *Real Time Kinematic* (RTK)

III.2.2 Peralatan

Alat yang diperlukan pada penelitian ini terbagi menjadi perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan pada penelitian ini yaitu berupa alat-alat ukur digital, sedangkan perangkat lunak pada penelitian ini berupa *software* yang digunakan untuk proses pengolahan data. Peralatan tersebut dapat dilihat pada tabel III.1 untuk perangkat keras dan tabel III.2 untuk perangkat lunak.

Tabel III.1 Alat ukur yang digunakan beserta spesifikasi

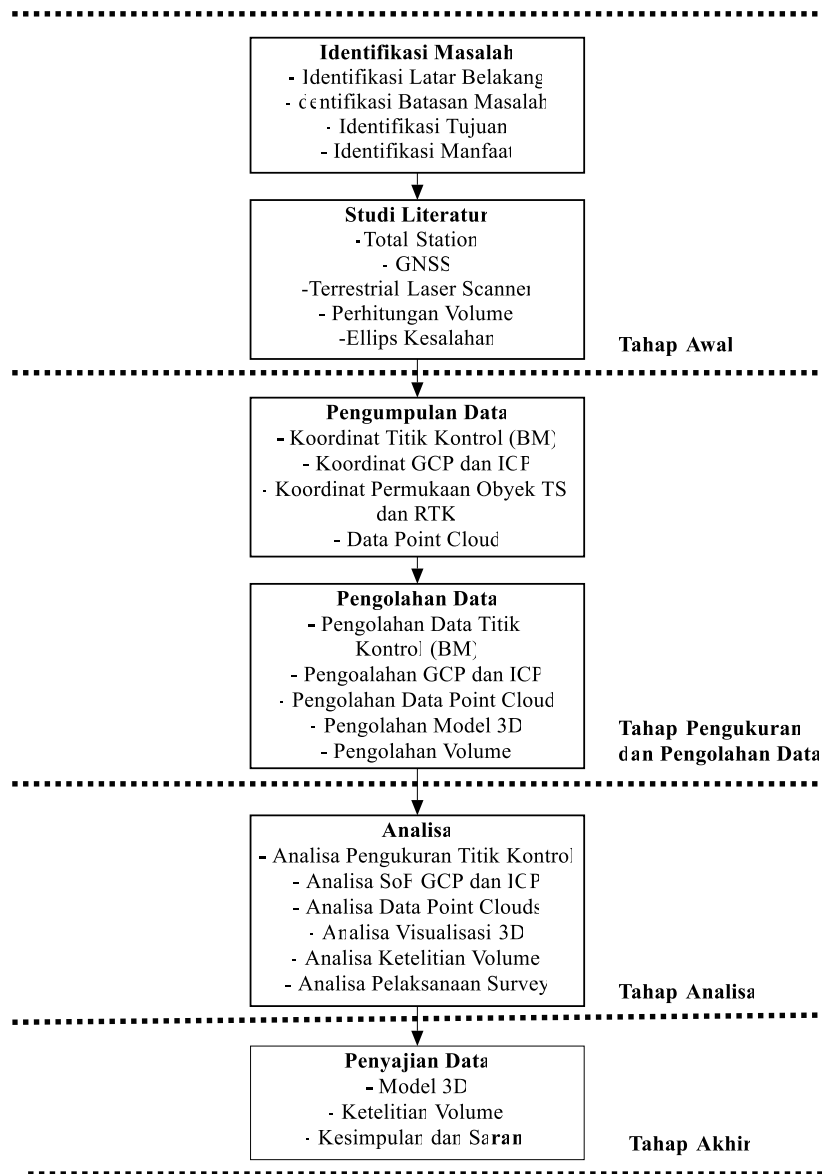
Alat	Type	Spesifikasi	
GNSS Geodetik	Leica GS14	<i>Accuracy Static Mode</i>	= H: 3mm+0.1ppm V: 5mm+0.4ppm
		<i>Accuracy Kinematic Mode</i>	= H: 10mm+1ppm V: 20mm+1ppm
		<i>Raw Data Recording</i>	= Up to 20 Hz
		<i>Angle Measurement</i>	= Accuracy: 5"
Total Station	Topcon ES-105	<i>Prism Accuracy</i>	= 2mm+2ppm
		<i>Non-Prism Accuracy</i>	= 3mm+2ppm
		<i>Measuring Time</i>	Fine: 0,9 sec = Rapid: 0,7 sec Tracking: 0,3 sec
		<i>Wavelength</i>	= 830 nm
Terrestrial Laser Scanner (TLS)	Leica BLK 360	<i>Field of View</i>	= H:360°/ V:360°
		<i>Range</i>	= up to 60m
		<i>Point Measurement Rate</i>	= Up to 360,000 pts/sec
		<i>Rangging Accuracy</i>	= 4mm@10m / 7mm@20m

Tabel III.2 Perangkat lunak yang digunakan beserta fungsinya

Nama Software	Kegunaan
<i>Leica Infinity</i>	Untuk pengolahan data GNSS
<i>Topcon Link</i>	Untuk pengolahan data TS
<i>Cyclone Register 360</i>	Untuk proses registrasi dan georeferensi data <i>point clouds</i> TLS
<i>Cyclone 3DR</i>	Untuk proses <i>filtering</i> data <i>point clouds</i> TLS
<i>Autocad Civil 3D</i>	Untuk melakukan perhitungan Volume obyek
<i>Alltrans EGM 2008 Calculator</i>	Untuk mengkonversi nilai tinggi <i>ellipsoid</i> ke tinggi <i>orthometrik</i>

III.3 Metodologi Penelitian

Beberapa tahapan yang dilakukan guna mencapai tujuan dari penulisan pada penelitian ini terbagi menjadi empat tahapan yaitu tahap awal, tahap pengukuran dan pengolahan data, tahap analisis, dan tahap akhir yang berupa penarikan kesimpulan. Alur dari tahapan penelitian yang dilakukan dijelaskan pada gambar diagram III.3 berikut ini.



Gambar III.3 Diagram metodologi penelitian

Rincian dari empat tahapan kegiatan dalam penelitian ini secara urut diuraikan sebagai berikut:

1. Tahap Awal

Tahap ini terdiri dari dua jenis kegiatan yaitu berupa identifikasi masalah serta studi literatur. Tujuan dari identifikasi masalah adalah untuk mendalami masalah yang diangkat pada penelitian ini, yang dilakukan pada latar belakang, batasan masalah, tujuan, serta mafaat dari penelitian. Inti masalah yang diangkat pada penelitian yang dilakukan yaitu perbandingan nilai volume yang diperoleh dari alat *Total Station* dan GNSS RTK terhadap *Terrestrial Laser Scanner*. Setelah inti dari masalah telah teridentifikasi selanjutnya dilakukan kegiatan studi literatur yang bertujuan untuk mencari referensi demi menunjang penelitian yang akan dilakukan. Bahan literatur yang digunakan dapat berupa buku, jurnal, penelitian sebelumnya, media cetak dan elektronik, serta internet.

2. Tahap Pengukuran dan Pengolahan Data

Tahap ini terdiri dari tahap pengukuran dan tahap pengolahan data. tahap pengukuran pengambilan data di lapangan terdiri dari pengukuran titik BM (*Bench Mark*), titik GCP dan ICP serta pengukuran permukaan obyek menggunakan alat ukur TS, GNSS RTK dan TLS. Setelah data diperoleh dilakukan tahap pengolahan data untuk memperoleh nilai koordinat (x,y,z). Setelah nilai koordinat didapatkan kemudian dilakukan perhitungan volume dan pembuatan model 3D pada setiap data iperoleh menggunakan tiga alat ukur tersebut.

3. Tahap Analisis

Pada tahapan ini, sudah terdapat hasil pengolahan data berupa nilai koordinat (x,y,z), nilai perhitungan volume dan visual model 3D dari masing-masing alat, selanjutnya dilakukan tahap analisis berupa analisis visualisasi 3D dan uji keteletian volume serta beberapa analisis lainnya yang terkait dengan pengukuran dan pengolahan data pada penelitian ini.

4. Tahap Akhir

Tahap ini merupakan proses terakhir dari penelitian ini, tahapan ini berupa penyajian data dan penarikan sebuah kesimpulan dari hasil penelitian yang sudah dilakukan.

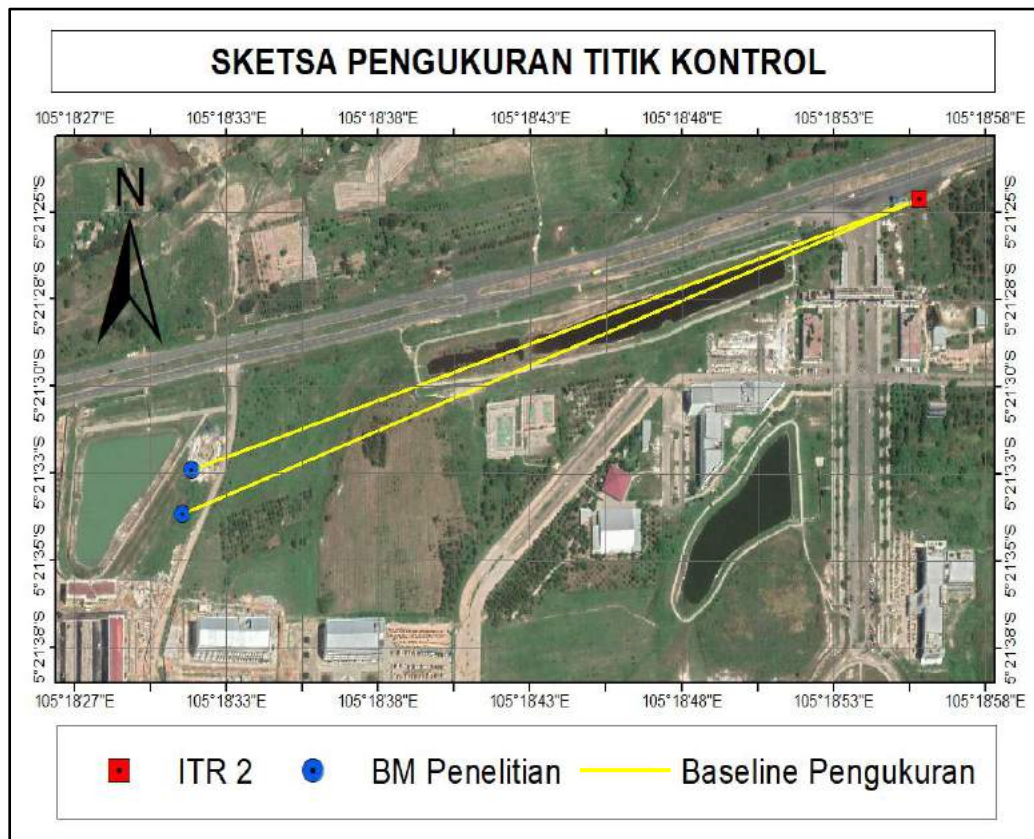
III.4 Metode Pengukuran dan Pengolahan Data



Gambar III.4 Diagram alir pengukuran dan pengolahan data

III.4.1 Pengukuran Titik BM (*Bench Mark*)

Pengukuran titik BM (*Bench Mark*) pada penelitian ini bertujuan untuk digunakan sebagai referensi koordinat dan elevasi pada pengukuran TS (*Total Station*). Titik BM pada penelitian ini berjumlah dua buah yang diukur menggunakan GNSS statik dengan lama waktu pengamatan selama 30 menit pada tiap titik. Titik ikat yang digunakan untuk pengukuran titik kontrol yaitu BM ITR-2 milik Institut Teknologi Sumatera. Untuk sketsa pengukuran titik kontrol dalam penelitian ini disajikan pada gambar III.5 dan gambar III.6, untuk hasil pengukuran disajikan pada tabel III.3 di bawah ini.



Gambar III.5 Sketsa pengukuran titik kontrol (BM)



Gambar III.6 Bentuk BM di lokasi penelitian

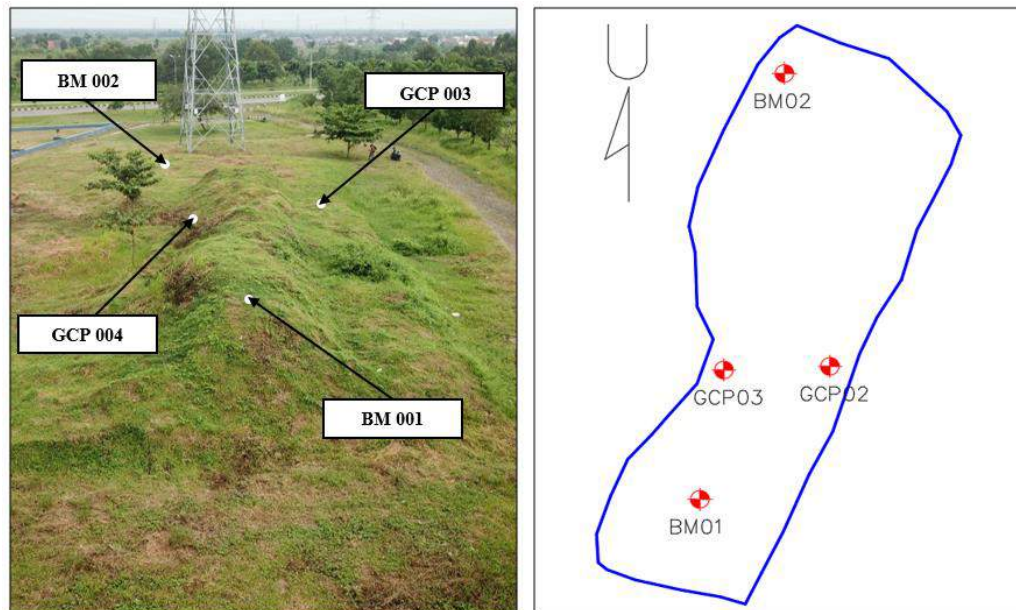
Tabel III.3 Hasil pengukuran pengukura titik kontrol (BM)

Nama Titik	Koordinat			Standar Deviasi		
	<i>Easting</i> (m)	<i>Northing</i> (m)	<i>Elevation</i> (m)	E (m)	N (m)	Z (m)
ITR-2	534940,234	9407886,691	92,467	0,000	0,000	0,000
BM 001	534191,890	9407603,069	108,303	0,002	0,003	0,003
BM 002	534200,674	9407649,757	105,087	0,002	0,002	0,003

III.4.2 Pengukuran Titik GCP (*Ground Control Point*)

Pengukuran *Ground Control Point* (GCP) pada penelitian ini bertujuan untuk digunakan sebagai referensi koordinat pada proses georeferensi data dalam pengolahan data *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). Pengukuran titik GCP pada penelitian ini menggunakan metode *statik* dengan alat ukur GNSS geodetik dengan lama waktu pengamatan 30 menit tiap titik. Titik yang dijadikan sebagai referensi dalam pengukuran ini yaitu titik BM ITR-2 milik Institut Teknologi Sumatera. Jumlah titik GCP dalam penelitian ini berjumlah empat titik yang tersebar disekitaran obyek pengukuran dan ditandai dengan *premark*. Letak posisi GCP pada

obyek disajikan pada gambar III.7 dan hasil dari pengukuran disajikan pada tabel III.4 di bawah ini.



Gambar III.7 Sketsa dan plotting hasil pengukuran titik GCP

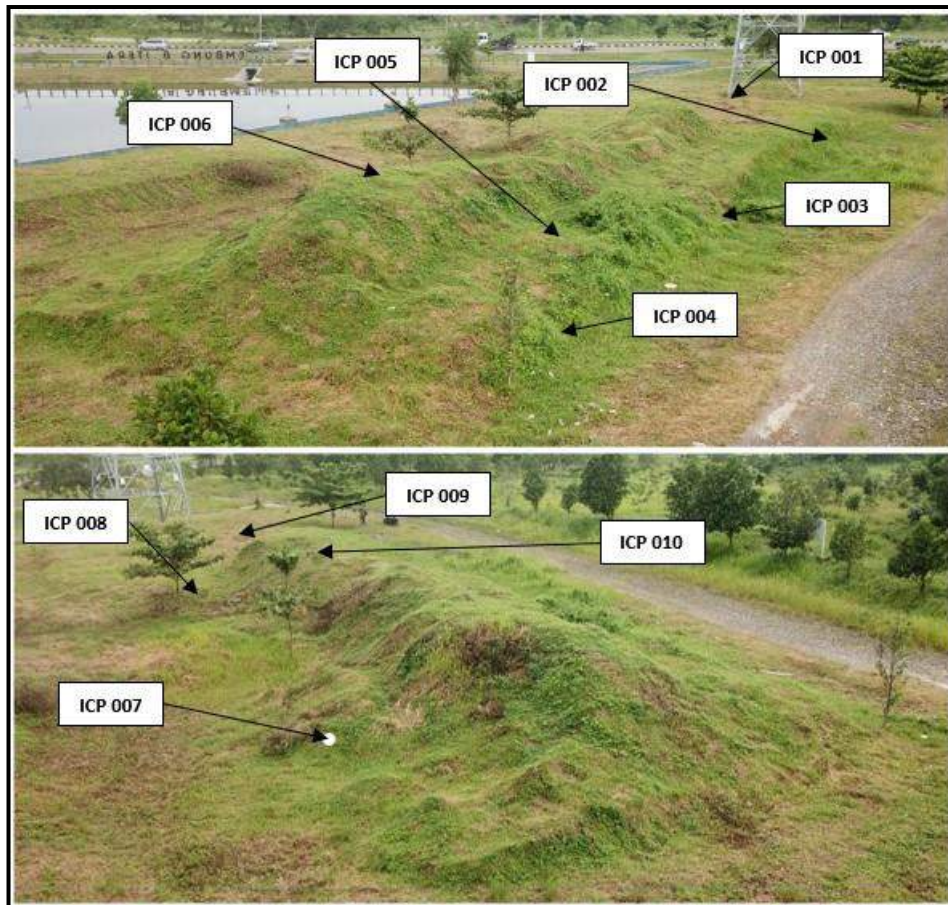
Tabel III.4 Hasil pengukuran titik GCP

Nama Titik	Koordinat			Standar Deviasi		
	<i>Easting</i> (m)	<i>Northing</i> (m)	<i>Elevation</i> (m)	E (m)	N (m)	Z (m)
BM 001	534191,890	9407603,069	108,303	0,002	0,003	0,003
BM 002	534200,674	9407649,757	105,087	0,002	0,001	0,003
GCP 03	534197,473	9407603,460	106,116	0,003	0,002	0,002
GCP 04	534194,210	9407641,763	104,450	0,003	0,001	0,002

III.4.3 Pengukuran Independent Control Point (ICP)

Pengukuran ICP pada penelitian ini berguna untuk sebagai *control point* data *point cloud* hasil pengukuran dari alat TLS. Pengukuran ICP untuk *control point* hasil pengukuran alat TLS menggunakan alat GNSS geodetik metode *rapid static* dengan lama waktu pengamatan 10 menit tiap titik. Titik yang dijadikan sebagai referensi pada pengukuran ini yaitu titik BM ITR-2 milik Institut Teknologi

Sumatera. Jumlah titik ICP pada penelitian berjumlah 10 titik yang tersebar di sekitar obyek penelitian yang di tandai dengan *premark*. Sebaran titik ICP pada penelitian ini disajikan pada gambar III.8 di bawah ini.



Gambar III.8 Sebaran titik ICP pada permukaan obyek penelitian

Titik ICP pada penelitian ini juga diukur menggunakan alat TS dan GNSS RTK, hal tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan nilai koordinat hasil pengukuran dari alat TS, GNSS RTK dan TLS, untuk koordinat ICP hasil pengukuran dengan alat TLS diperoleh melalui proses *checking Point* pada saat tahap pengolahan data TLS. Untuk data hasil pengukuran titik ICP disajikan pada tabel III.5 di bawah ini

Tabel III.5 Koordinat hasil pengukuran titik ICP

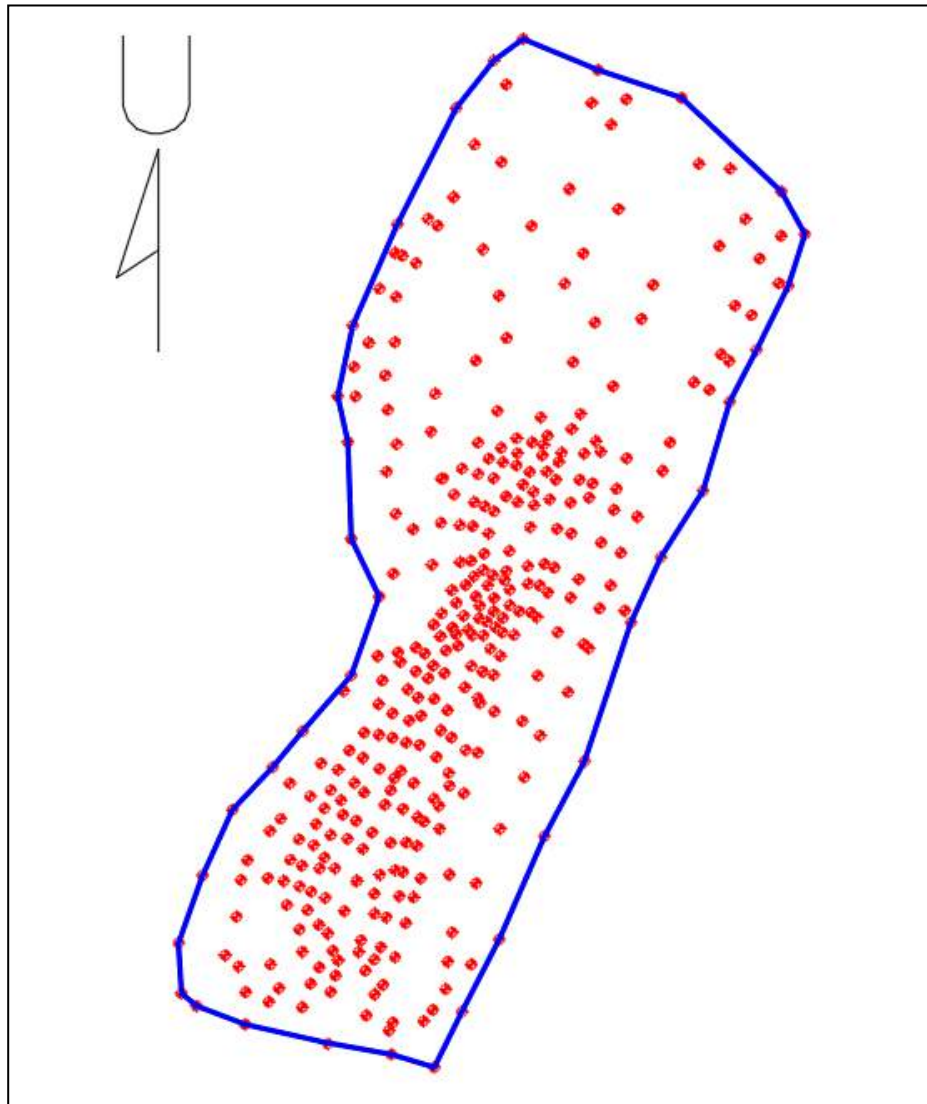
ICP	Easting (m)	Northing (m)	Elevasi (m)	Alat
ICP 001	534208,277	9407651,265	103,719	STATIK
	534208,313	9407651,300	103,669	TS
	534208,213	9407651,311	103,500	RTK
	534208,224	9407651,297	103,682	TLS
ICP 002	534217,204	9407639,902	104,383	STATIK
	534217,381	9407639,790	104,334	TS
	534217,399	9407639,988	104,135	RTK
	534217,289	9407639,969	104,355	TLS
ICP 003	534207,978	9407619,695	104,509	STATIK
	534207,985	9407619,647	104,461	TS
	534208,122	9407619,759	104,267	RTK
	534207,973	9407619,665	104,477	TLS
ICP 004	534198,675	9407598,027	105,092	STATIK
	534198,791	9407597,961	105,068	TS
	534198,837	9407597,938	104,846	RTK
	534198,622	9407597,996	105,083	TLS
ICP 005	534197,473	9407603,460	106,116	STATIK
	534197,475	9407603,446	106,109	TS
	534197,512	9407603,473	105,906	RTK
	534197,472	9407603,454	106,113	TLS
ICP 006	534191,890	9407603,069	108,303	STATIK
	534191,879	9407603,054	108,311	TS
	534191,918	9407603,081	108,283	RTK
	534191,883	9407603,063	108,298	TLS
ICP 007	534194,373	9407617,253	105,466	STATIK
	534194,246	9407617,187	105,395	TS
	534194,409	9407617,184	105,227	RTK
	534194,447	9407617,211	105,423	TLS
ICP 008	534197,154	9407627,888	105,046	STATIK
	534197,038	9407627,900	105,033	TS
	534197,144	9407627,934	104,801	RTK
	534197,147	9407627,884	105,038	TLS
ICP 009	534204,991	9407635,071	105,202	STATIK
	534204,935	9407635,074	105,172	TS
	534205,007	9407635,095	104,969	RTK
	534205,000	9407635,068	105,181	TLS
ICP010	534200,979	9407622,222	106,892	STATIK
	534200,965	9407622,189	106,883	TS
	534200,970	9407622,190	106,866	RTK
	534200,976	9407622,208	106,890	TLS

III.4.4 Pengukuran Obyek Menggunakan Alat TS (*Total Station*)

Pengukuran Obyek menggunakan alat TS menggunakan metode *tachymetri*. Pengukuran dilakukan dengan cara mendirikan alat ukur TS diatas titik *bench mark* (BM) yang telah diketahui koordinatnya melalui proses pengukuran menggunakan GNNS geodetic dan melakukan *backsight* kemudian membidik kearah titik-titik target yang tersebar pada permukaan obyek. Jumlah titik pengukuran pada penelitian ini berjumlah 356 titik dengan jarak interval antar titik bergantung pada keadaan kontur obyek yaitu berkisar antara 30cm – 50cm yang dipasang paku payung yang berfungsi untuk menandai titik-titik detail pada obyek. Pemberian tanda menggunakan paku payung pada obyek bertujuan agar titik yang diukur menggunakan TS dan menggunakan alat GNSS RTK merupakan titik yang sama. Contoh gambar penandaan titik menggunakan paku payung dan sebaran data koordinat hasil pengukuran disajikan pada gambar III.9 dan III.10 di bawah ini.



Gambar III.9 Penandaan titik detail menggunakan paku payung

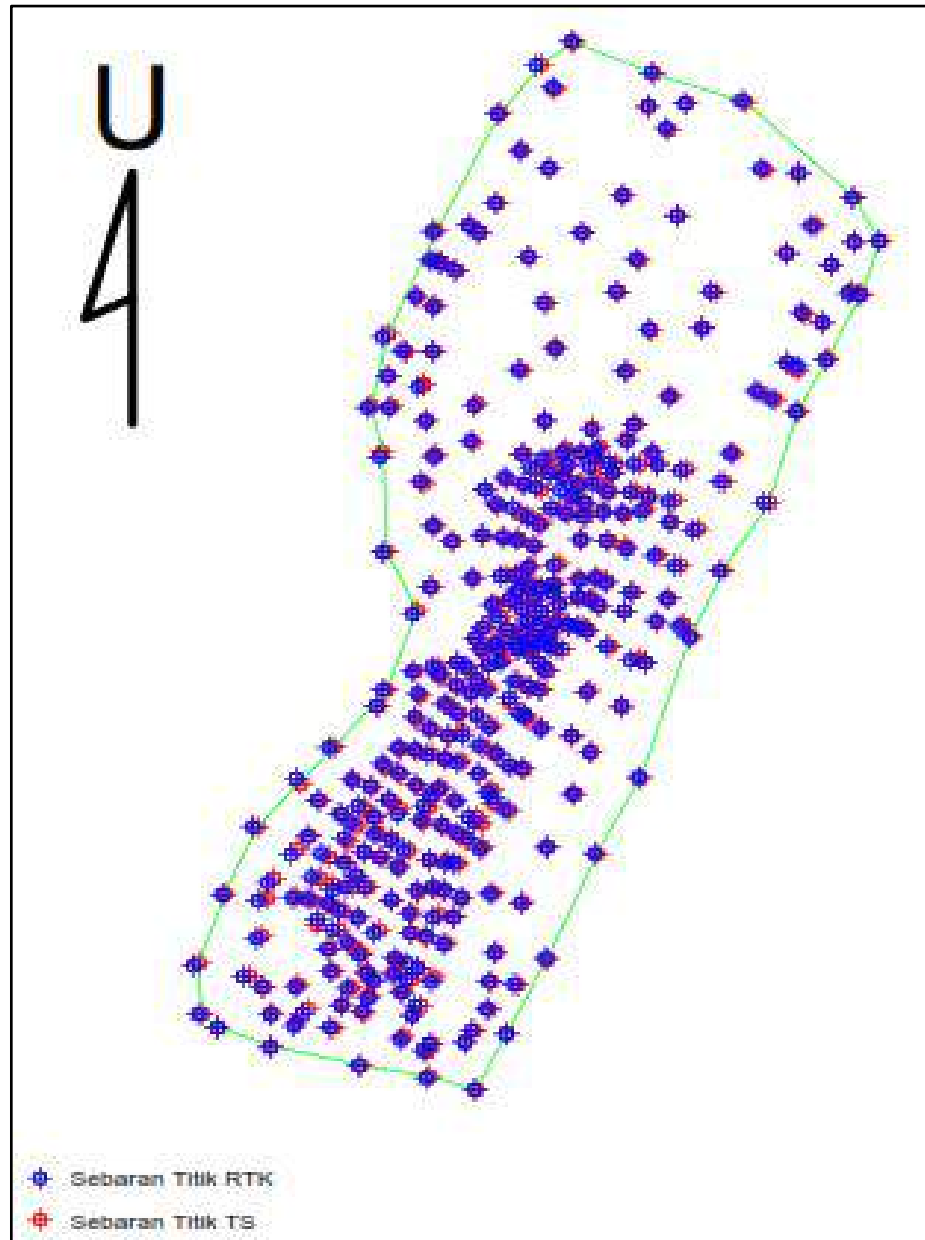


Gambar III.10 Sebaran titik hasil pengukuran Total Station (TS)

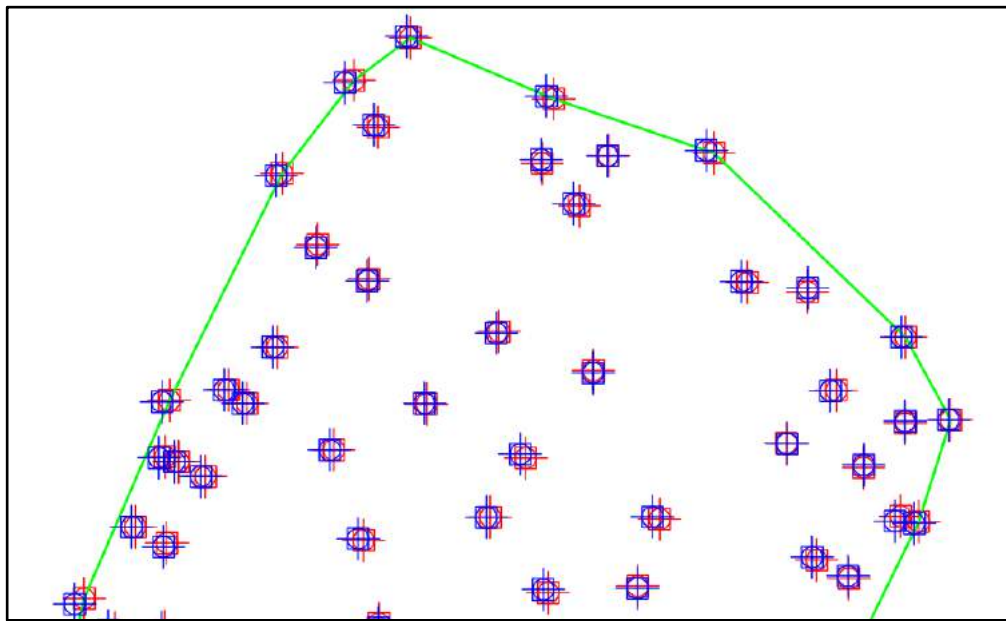
III.4.5 Pengukuran Obyek Menggunakan Alat GNSS RTK

Pengukuran permukaan obyek dengan alat ukur GNSS menggunakan pengaplikasian *Real Time Kinematic* (RTK). Pada pengukuran menggunakan pengaplikasian RTK ini dilakukan dengan cara menggunakan minimal dua buah *receiver* GNSS, satu buah *receiver* sebagai *base* yang berdiri diatas *bench mark* yang telah diketahui koordinatnya yaitu BM ITR-2 dan satu *receiver* lagi sebagai *rover* yang berjalan dan melakukan pengukuran titik detail yang tersebar pada permukaan obyek.

Titik detail yang diukur pada pengukuran menggunakan GNSS RTK adalah titik yang sama dengan titik yang diukur dengan menggunakan alat TS yaitu berjumlah sebanyak 356 titik dengan interval jarak antar titik sebesar 30cm - 50 cm yang telah beri tanda menggunakan paku payung sebelumnya. Sebaran titik hasil pengukuran GNSS RTK yang telah di *overlay* dengan hasil pengukuran menggunakan alat TS disajikan pada gambar III.11 dan III.12 di bawah ini.



Gambar III.11 Overlay hasil pengukuran detail menggunakan GNSS RTK dan Total station



Gambar III.12 Zoom in gambar 9 untuk melihat lebih jelas hasil overlay

III.4.6 Pengukuran Obyek Menggunakan alat TLS

Pada pengukuran permukaan obyek menggunakan alat TLS, Alat TLS yang digunakan adalah *Leica BLK 360* berjenis TLS statis berbasis pulsa dan tipe *panoramic scanner*. hal utama yang perlu disiapkan yaitu pengukuran titik GCP serta ICP yang sudah di jelaskan sebelumnya. Pengukuran GCP serta ICP pada pengukuran obyek menggunakan alat TLS berfungsi untuk digunakan sebagai referensi dan *control point* pada pengukuran permukaan obyek menggunakan alat TLS.

Pengukuran permukaan obyek menggunakan alat ukur TLS ini dilakukan sebanyak 15 kali berdiri alat dengan rata-rata lama waktu *scanning* 5 menit 26 detik pada setiap berdiri alat. Pengukuran permukaan obyek dengan alat TLS pada penelitian ini menggunakan metode *cloud to cloud*.

Pengukuran dilakukan dengan cara mendirikan alat di sekitar obyek dan di dekat titik GCP atau ICP yang telah diukur sebelumnya menggunakan GNSS geodetic. Peletakan posisi berdiri alat TLS didekat titik GCP atau ICP bertujuan agar *premark* penanda titik GCP atau ICP yang terpasang pada permukaan obyek dapat ter-*scanning* dengan jelas dan memudahkan proses georeferensi dan *checking*

point, Jika alat sudah terisntalasi dengan benar dan letak posisi dari alat sudah sesuai dekat dengan titik GCP atau ICP kemudian alat akan menembakan sinar laser secara 360° pada sumbu horizontal dan 360° pada sumbu vertikal. Sinar laser yang dipancarkan akan dipantulkan oleh obyek dan ditangkap kembali oleh sensor yang terdapat pada alat TLS tersebut. Gambar III.13 di bawah ini merupakan proses pengukuran menggunakan alat TLS.



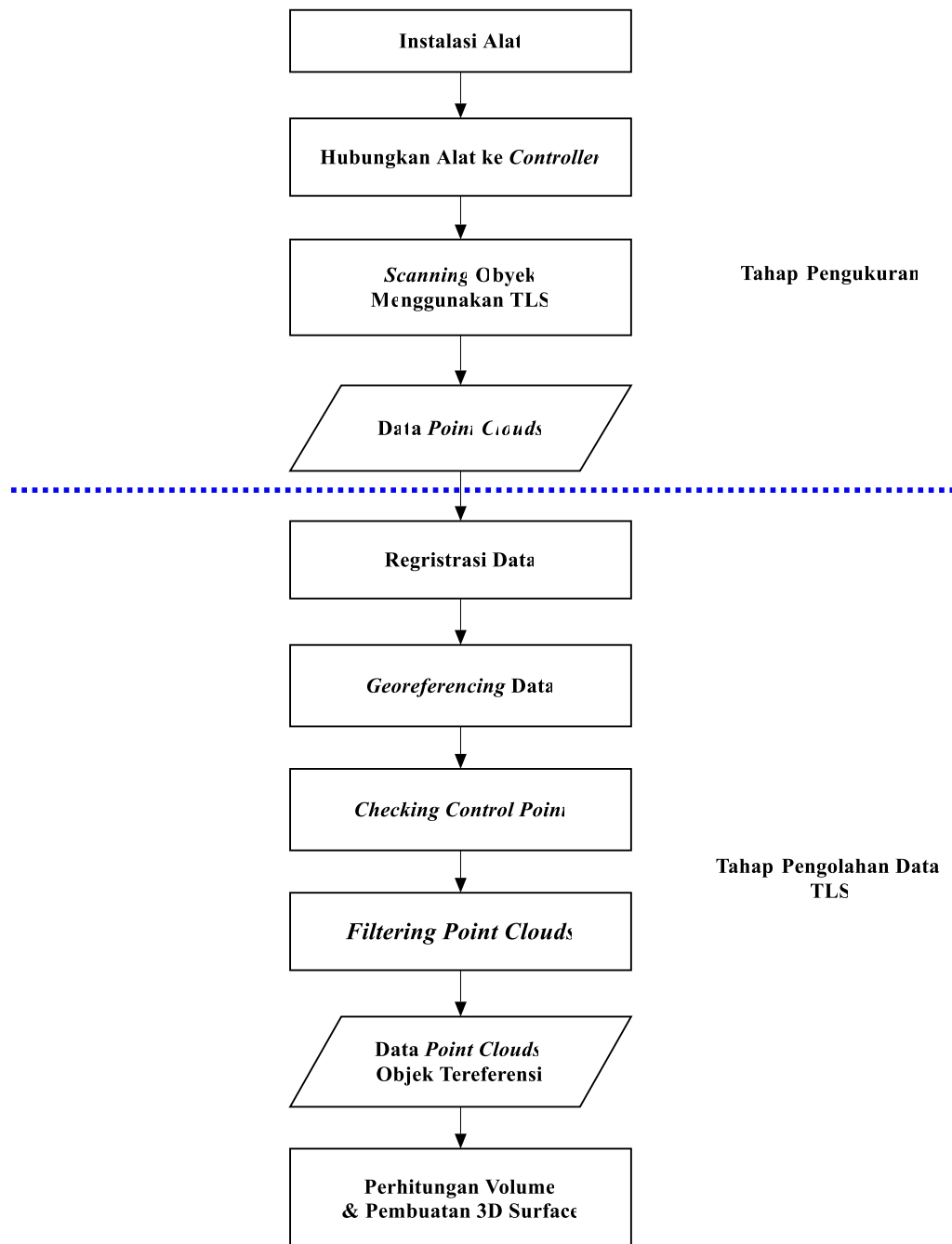
Gambar III.13 Proses pengukuran obyek menggunakan alat TLS dengan peletakan posisi alat TLS berada di dekat premark GCP atau ICP

Pada proses pengukuran, alat TLS yang digunakan merupakan jenis alat TLS yang tidak memiliki nivo tabung maupun nivo kotak sehingga pada saat proses pengukuran alat tidak diletakan diatas titik referensi melainkan didekat titik referensi yang disebut dengan *Ground Control Point* (GCP), sehingga hasil pengukuran dari alat TLS tereferensikan melalui GCP yang diukur menggunakan GNSS geodetik. Dua buah titik kontrol (BM) yang digunakan untuk referensi pengukuran *Total Station* (TS) juga dijadikan sebagai GCP untuk pengukuran TLS

seperti yang terlihat pada gambar III.13 diatas pada titik kontrol (BM) dipasang premark untuk GCP TLS.

III.4.7 Pengolahan Data TLS

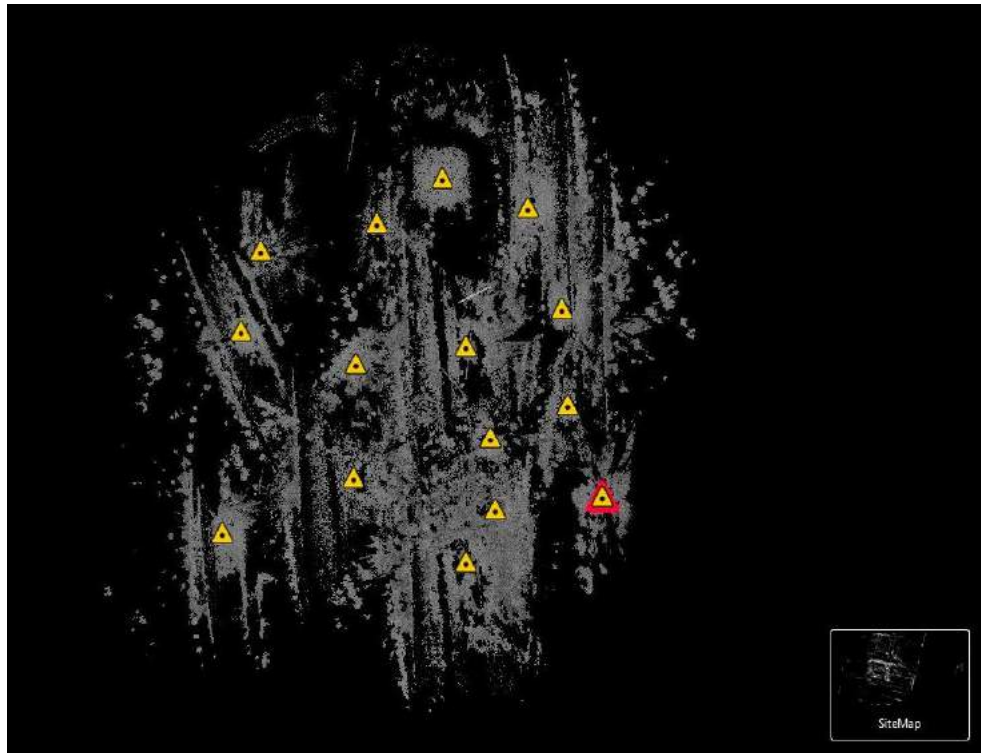
Pengolahan data TLS ini secara garis besar terbagi menjadi tiga buah tahapan utama yaitu *registrasi*, *georeferensi* dan *filtering*. Alur dari tahapan pengukuran dan pengolahan data TLS diuraikan pada gambar III.14 di bawah ini.



Gambar III.14 Diagram alir pengolahan data TLS

III.4.7.1 Tahap Registrasi Data *Point Cloud*

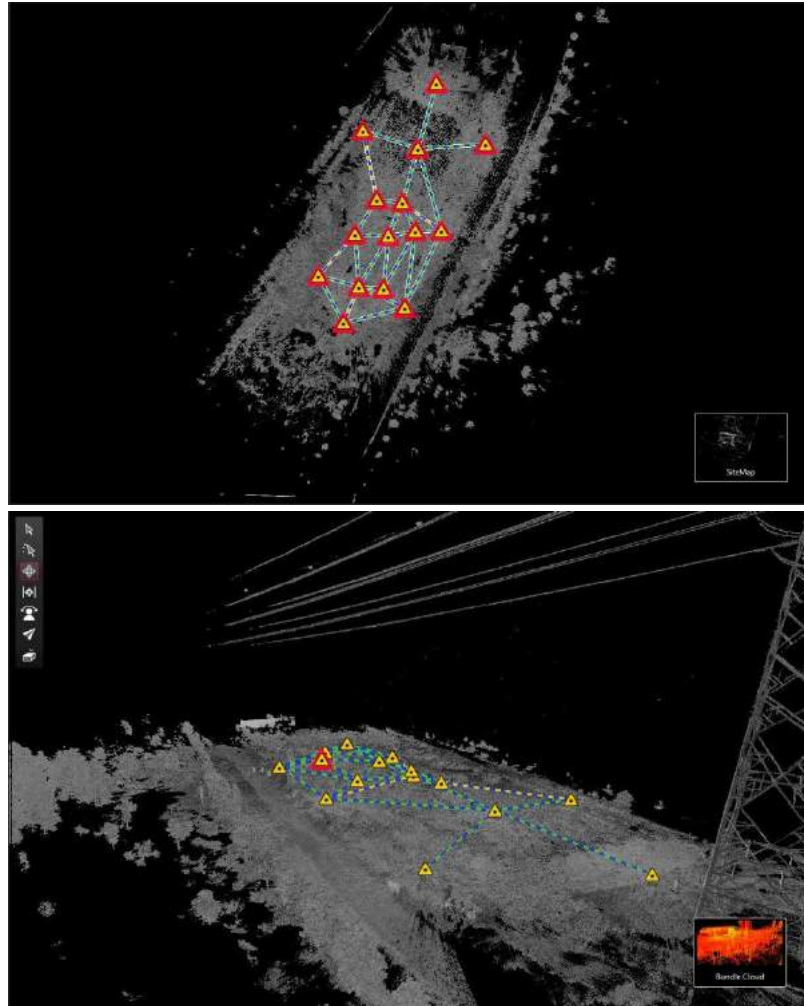
Registrasi data bertujuan untuk menggabungkan hasil dari *scanning* atau pemindaian obyek, karena obyek pada penelitian ini memiliki bentuk cukup besar dan kompleks sehingga dibutuhkan beberapa titik berdiri alat yang pada penelitian ini berjumlah 15 kali berdiri alat agar memperoleh hasil *scanning* yang merepresentasikan permukaan obyek secara keseluruhan dan lengkap. Tahap registrasi data diperlukan karena data *point cloud* hasil pengukuran di lapangan belum membentuk kesatuan data yang merepresentasikan bentuk obyek. Data *point cloud* yang belum dilakukan registrasi disajikan pada gambar III.15 di bawah ini.



Gambar III.15 Data point cloud sebelum diregistrasi

Registrasi data pada penelitian ini menggunakan metode *cloud to cloud* yaitu penggabungan *point clouds* antar tiap berdiri alat atau *stand* dilakukan dengan mencocokkan *point clouds* obyek yang sama dengan besaran *overlap* diatas 40% agar memperoleh ketelitian hasil yang maksimal. Pada tahap registrasi ini juga dilakukan proses *adjustment* kedataran serta kemiringan

data hasil dari *scanning* obyek dilapangan, Data *point cloud* hasil pengukuran dilapang yang sudah dilakukan tahap registrasi disajikan pada gambar III.16 di bawah ini.



Gambar III.16 Hasil data point cloud setelah proses registrasi

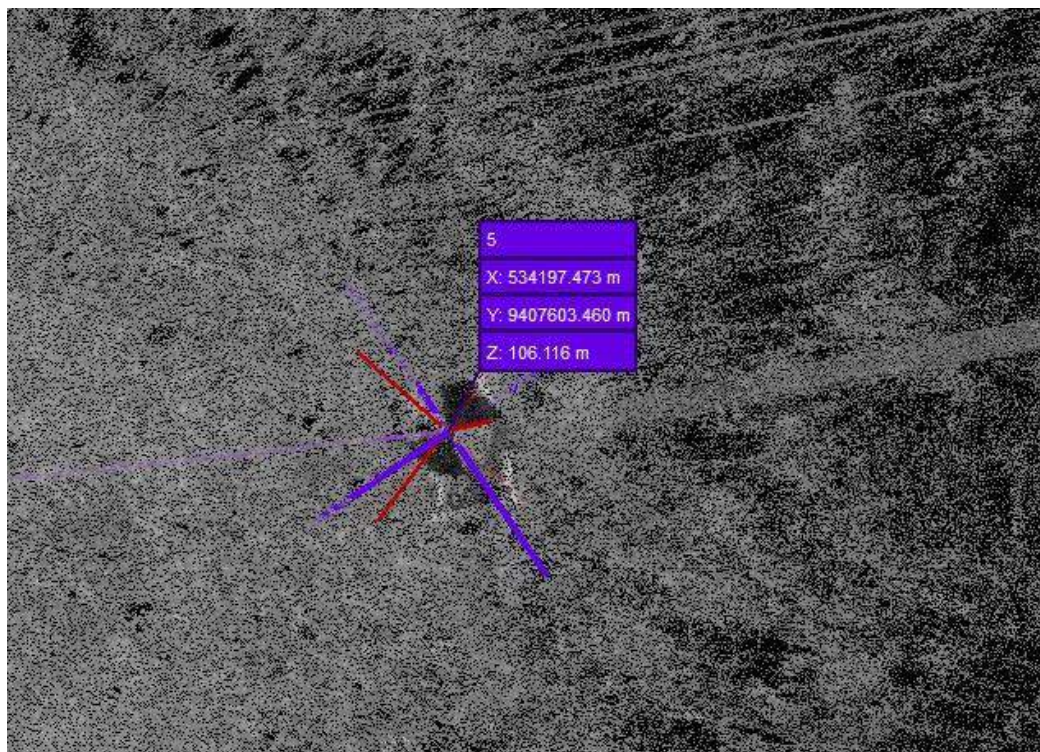
Hasil registrasi data *point clouds* permukaan obyek dari pengukuran menggunakan alat TLS disajikan pada tabel III.6 di bawah ini.

Tabel III.6 Hasil ketelitian registrasi data point cloud

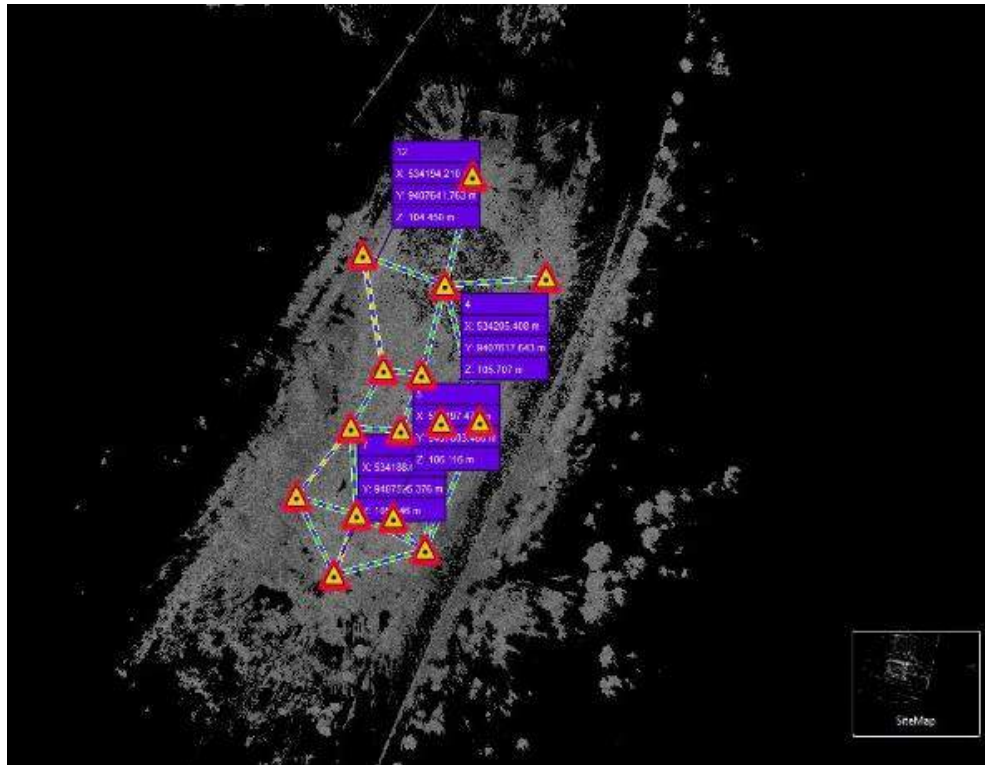
<i>Bundle Error</i>	<i>Overlap</i>	<i>Strength</i>	<i>Cloud to Cloud error</i>
0,012 m	46%	71%	0,012 m

III.4.7.2 Tahap Georeferensi Data *Point Cloud*

Data *point clouds* yang diperoleh dari pengukuran di lapangan belum terintegrasi kedalam data geospasial, dikarenakan data *point clouds* yang diperoleh dari pengukuran di lapangan masih mengacu kepada sistem koordinat lokal. Tahap georeferensi bertujuan untuk mentransformasikan data *point clouds* dari koordinat lokal kedalam koordinat global atau sistem koordinat tertentu berdasarkan data pengukuran GNSS geodetik. Pada proses georeferensi diperlukan target-target sebagai titik GCP (*Ground Control Point*) dan titik ICP (*Independent Control Point*) yang koordinatnya telah diketahui. Titik GCP berfungsi sebagai titik referensi pada penelitian ini, proses georeferensi dapat disajikan pada gambar III.17 dan III.18 di bawah ini.

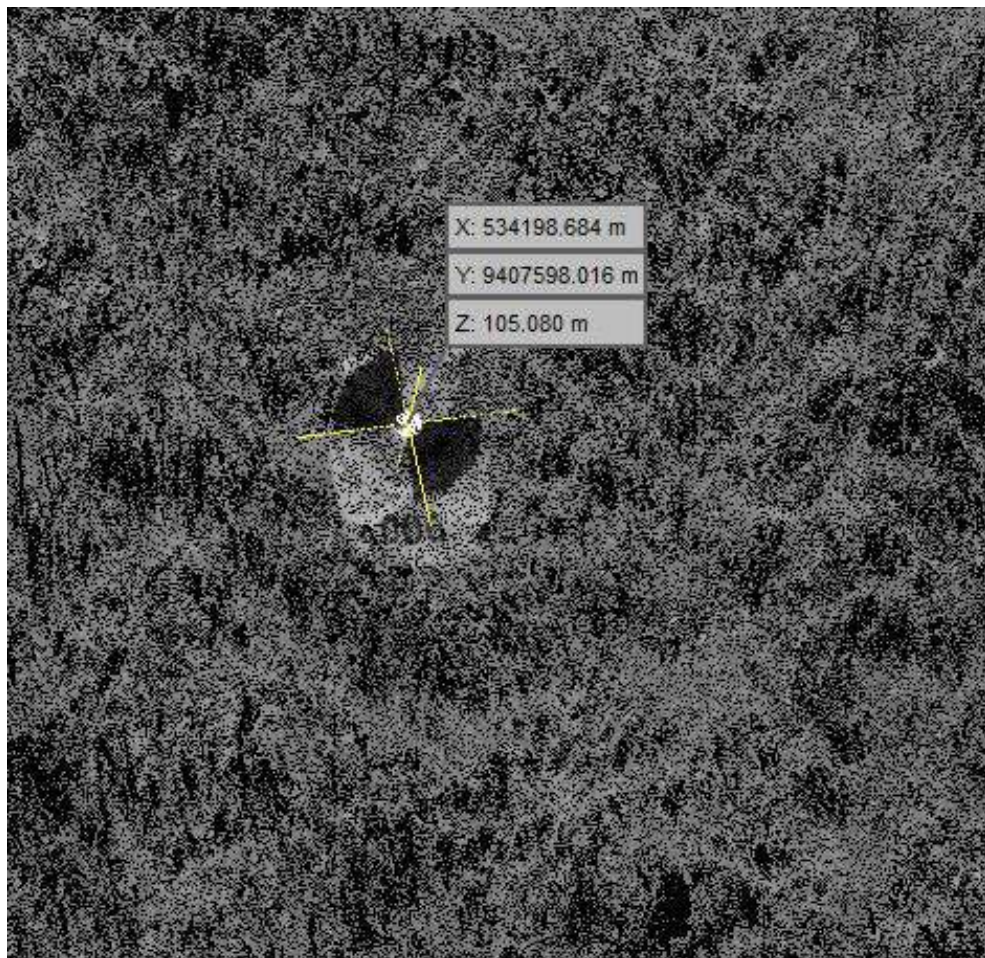


Gambar III.17 Proses georeferensi data point cloud



Gambar III.18 Hasil proses georeferensi data point cloud

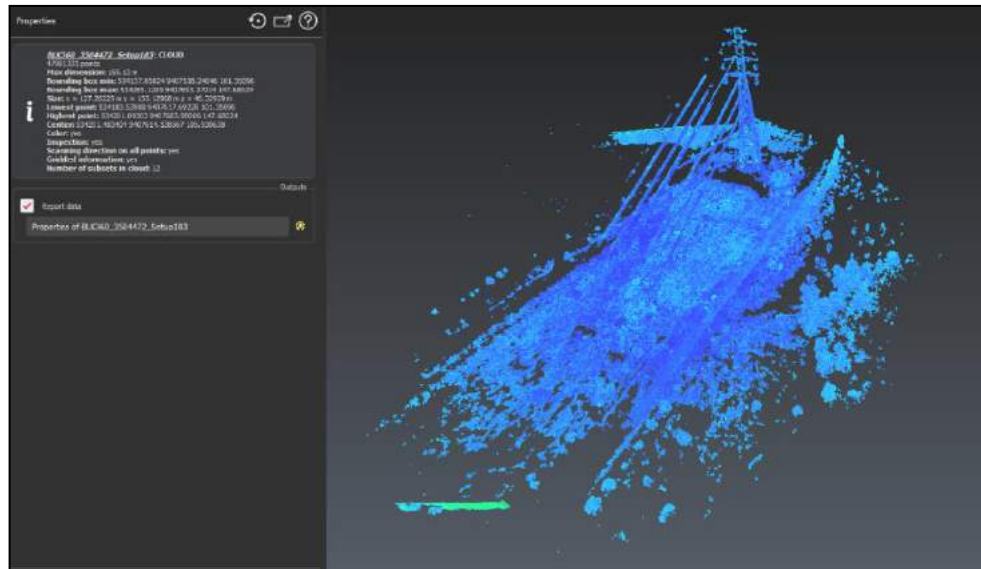
Pada penelitian ini titik GCP dan ICP diukur menggunakan GNSS geodetik. Titik ICP pada penelitian ini bertujuan untuk digunakan sebagai *control point* data koordinat *point cloud* hasil proses georeferensi, yang berfungsi untuk mengetahui hasil dari proses georeferensi sudah baik dan benar atau belum, dengan cara melakukan *checking point* pada marking dan membandingkan hasil koordinat dari proses *checking point* dengan hasil koordinat pengukuran titik ICP menggunakan GNSS geodetik. Apabila hasil koordinat dari proses *checking point* mendekati dan tidak jauh berbeda dengan hasil koordinat pengukuran titik ICP menggunakan GNSS geodetik menandakan bahwa hasil proses georeferensi sudah baik dan benar. Proses *checking point* marking titik ICP pada penelitian ini disajikan pada gambar III.19 berikut ini.



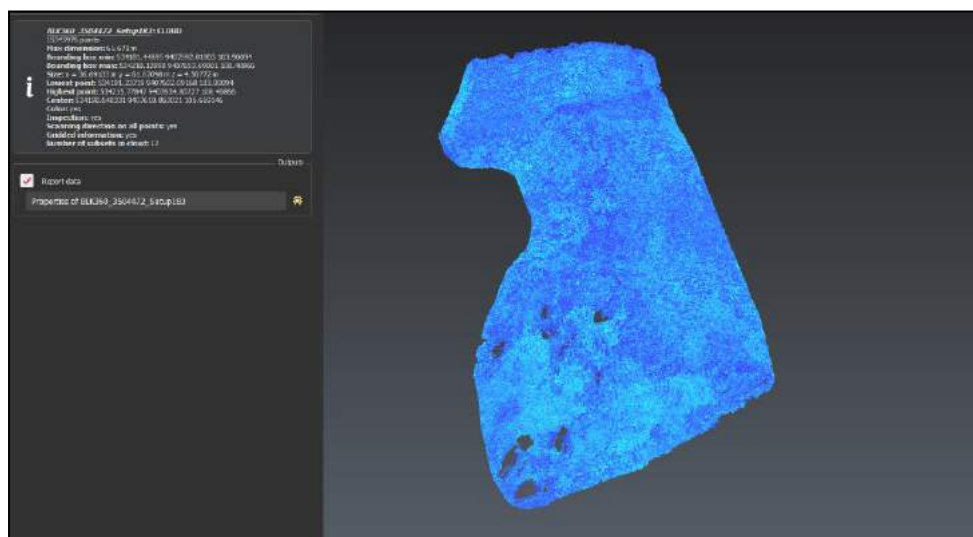
Gambar III.19 Proses checking point pada marking titik ICP

III.4.7.3 Tahap *Filltering* Data *Point Cloud*

Data *point clouds* yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan berjumlah sangat banyak mencapai puluhan juta *point clouds*, dari data tersebut tidak semua *point clouds* digunakan melainkan hanya *point clouds* yang merepresentasikan obyek penelitian saja yang digunakan. Proses *filtering* berguna untuk menyeleksi titik yang tidak diperlukan. Proses *filtering* dilakukan secara manual menggunakan dua parameter. Parameter yang pertama yaitu titik yang bukan merupakan bagian dari obyek penelitian, dan parameter kedua adalah *noise* atau titik yang seharusnya tidak terdapat pada obyek. Data *point cloud* sebelum dan sesudah proses *filtering* disajikan pada gambar III.20 dan III.21 berikut ini.



Gambar III.21 Data point cloud sebelum proses filtering



Gambar III.20 Data point cloud setelah proses filltering

III.4.8 Perhitungan RMSE *Independent Control Point* (ICP)

Perhitungan RMSE dilakukan dilakukan untuk mengetahui ketelitian koordinat hasil pengukuran dari alat yang digunakan dalam penelitian ini. Perhitungan dilakukan dengan cara mengambil titik sampel yaitu titik-titik yang sama pada obyek yang diukur menggunakan empat alat ukur yang berbeda yaitu GNSS *rapid static*, TS, GNSS RTK dan TLS. Titik sampel dalam penelitian ini disebut dengan titik ICP (*Independent Check Point*).

Titik ICP yang telah diperoleh berguna untuk mengetahui ketelitian hasil pengukuran dari ketiga alat ukur yang berbeda dengan cara mencari nilai RMSE (*Root Mean Square Error*). Dalam melakukan perhitungan untuk memperoleh nilai RMSE data yang dianggap benar atau paling baik adalah data yang diperoleh dari pengukuran ICP menggunakan GNSS *static*. Setelah dilakukan perhitungan maka diperoleh besaran nilai RMSE ICP dari pengukuran TS, RTK, dan TLS.

Hasil perhitungan nilai RMSE akan menunjukkan ketelitian hasil pengukuran dari masing-masing alat, apabila semakin kecil nilai RMSE dari suatu pengukuran maka semakin teliti hasil pengukuran dari alat tersebut dan begitu juga sebaliknya. Hasil perhitungan RMSE ini selanjutnya digunakan untuk memperkuat analisis ketelitian perhitungan volume. Hasil dari perhitungan RMSE disajikan pada tabel III.7 berikut ini.

Tabel III.7 Hasil perhitungan RMSE

Alat	Nilai RMSE		
	Easting (m)	Northing (m)	Elevasi (m)
TS	0,089	0,051	0,038
RTK	0,097	0,055	0,211
TLS	0,043	0,031	0,024

III.4.9 *Ellips Kesalahan*

Pada setiap pengukuran, nilai parameter yang ingin didapat tidak ditentukan secara langsung melainkan berasal dari pengolahan data ukuran. Untuk penelitian ini nilai koordinat yang merupakan nilai parameter adalah suatu nilai yang diperoleh dari hasil pengukuran. Seperti diketahui setiap hasil pengukuran selalu mengandung kesalahan maka perambatan kesalahan terjadi karena setiap nilai parameter yang dihitung menggunakan data ukuran yang juga mengandung kesalahan.

Pada penelitian ini titik BM yang dijadikan sebagai titik acuan pada pengukuran permukaan obyek tentunya mengandung kesalahan maka perambatan kesalahan pun terjadi sehingga hasil pengukuran permukaan obyek pun mengandung kesalahan, dan akan berakibat terhadap ketelitian hasil perhitungan

volume. Untuk mengetahui nilai dari ketelitian koordinat yang dihasilkan dapat dilakukan dengan konsep dalil perambatan variansi dan kovariansi. Dan menggunakan perhitungan ellips kesalahan menampilkan nilai ketelitian dalam bentuk grafis. Nilai ketelitian yang dimaksud adalah nilai varian dan kovarian parameter. Secara umum penyajian grafis ellips kesalahan meliputi sumbu semi-minor dan sumbu semi-mayor tidak berimpit pada sumbu X dan Y, melainkan membentuk sebuah sudut θ terhadap sumbu X. Hasil perhitungan dan bentuk ellips kesalahan disajikan pada tabel III.8 di bawah ini.

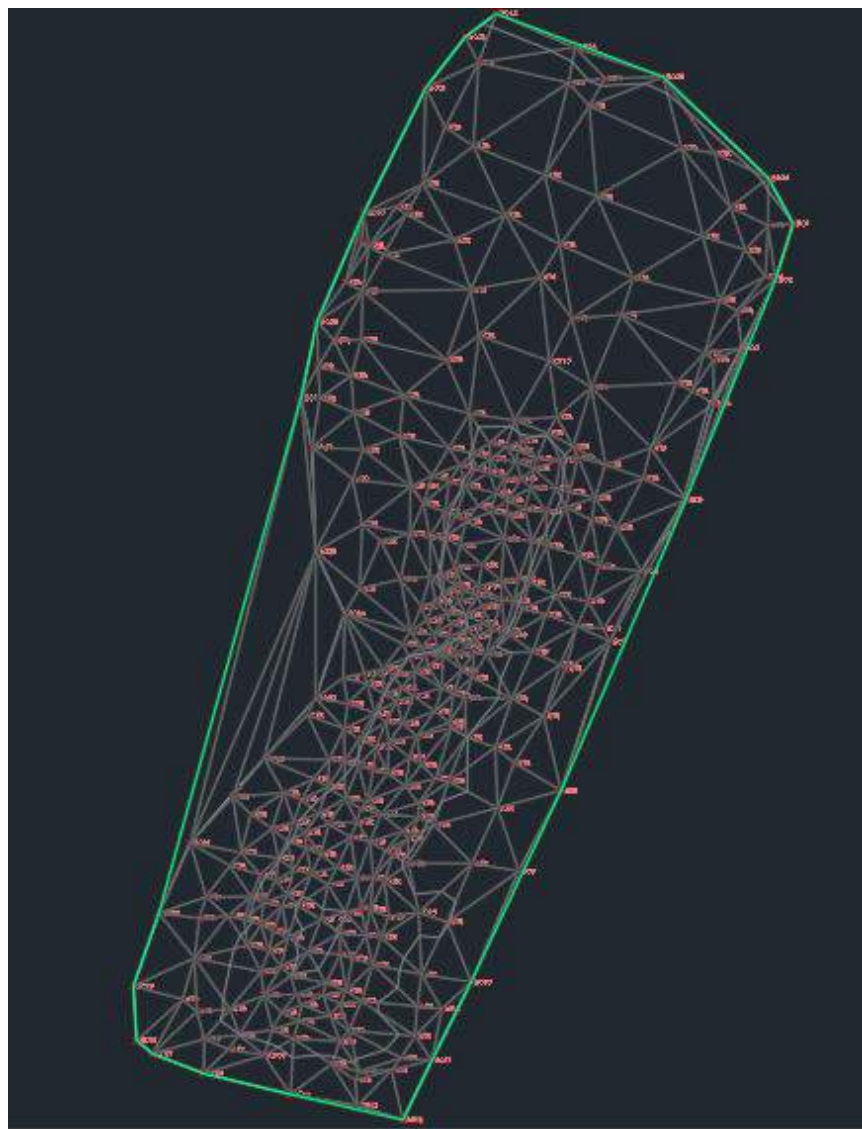
Tabel III.8 hasil perhitungan ellips kesalahan

Titik	X' (m)	Y' (m)	θ (°)	Ellips
BM 001	0,0493	0,0443	39,11	
BM 002	0,0422	0,0392	35,24	
GCP 001	0,0544	0,0494	39,11	
GCP 002	0,0492	0,0452	29,98	

III.4.10 Perhitungan Volume

Proses perhitungan volume obyek dilakukan berdasarkan tiga data pengukuran yang berbeda yaitu data pengukuran menggunakan alat *Total Station* (TS), *Real Time Kinematic* (RTK) dan data pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). Hasil perhitungan volume obyek yang diperoleh dari data TS, GNSS RTK dan TLS dilakukan menggunakan metode *cut and fill*. Perhitungan nilai volume dari ketiga data tersebut dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Autocad Civil 3D*

Prinsip perhitungan volume menggunakan metode *borrow pit* adalah menghitung luasan dua penampang serta jarak antara penampang atas dan penampang bawah tersebut. Dengan mengetahui data penampang atas dan penampang bawah, maka dapat dihitung luas masing-masing penampang. Volume dihitung dari (*Digital Terrain Model*) yang dibentuk dari TIN (*Triangulated Irregular Network*) yang membentuk sebuah geometri bebetuk prisma yang terbentuk dari *design surface* dan *base surface*. Permukaan yang akan dihitung volumenya disebut dengan *design surface* sedangkan permukaan yang dijadikan sebagai alas disebut *base surface*. Proses perhitungan volume metode *cut and fill* dapat disajikan pada gambar III.22 di bawah ini.



Gambar III.22 Proses perhitungan volume obyek menggunakan bantuan software Autocad Civil 3D

III.4.11 Visualisasi 3D Obyek Hasil Pengukuran

Pembuatan visualisasi 3D obyek bertujuan untuk mengetahui bentuk hasil pengukuran dilapangan apakah merepresentasikan obyek dengan baik atau tidak. Proses pembuatan visualisasi 3D obyek dilakukan berdasarkan dari tiga data pengukuran yang berbeda. Bentuk 3D obyek yang terbentuk merupakan hasil dari *point clouds* dan titik-titik detail situasi pengukuran menggunakan alat ukur *Total Station* (TS), *Real Time Kinematic System* (RTK), dan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) yang merepresentasikan bentuk obyek, kemudian hasil visualisasi 3D dari masing-masing pengukuran dibandingkan secara visual dengan obyek real yang berada dilapangan.