



TUGAS AKHIR - RG 141536

**VISUALISASI 3D BANGUNAN CAGAR BUDAYA
(*CULTURAL HERITAGE*) MENGGUNAKAN
TERRESTRIAL LASER SCANNER
(Studi Kasus : Tugu Pahlawan, Surabaya, Jawa Timur)**

FIRDIANSYAH EKA RACHMAWAN
NRP 3511 100 011

Dosen Pembimbing
Hepi Hapsari Handayani , ST, M.Sc

JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



FINAL ASSIGNMENT - RG 141536

3D VISUALIZATION OF CULTURAL HERITAGE USING TERRESTRIAL LASER SCANNER

(Case Study : Monument of Heroes, Surabaya, East Java)

FIRDIANSYAH EKA RACHMAWAN
NRP 3511 100 011

Advisor
Hepi Hapsari Handayani , ST, M.Sc

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya
2016

**VISUALISASI 3D BANGUNAN CAGAR BUDAYA
(CULTURAL HERITAGE) MENGGUNAKAN
TERRESTRIAL LASER SCANNER
(Studi Kasus : Tugu Pahlawan, Surabaya, Jawa Timur)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Jurusan S-1 Teknik Geomatika

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FIRDIANSYAH EKA RACHMAWAN

3511100011

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc

NIP. 1978 1212 2005 01 2 001



SURABAYA, JANUARI 2016

**VISUALISASI 3D BANGUNAN CAGAR BUDAYA
(CULTURAL HERITAGE) MENGGUNAKAN
TERRESTRIAL LASER SCANNER
(Studi Kasus : Tugu Pahlawan, Surabaya, Jawa Timur)**

Nama Mahasiswa : Firdiansyah Eka Rachmawan
NRP : 3511100011
Jurusan : Teknik Geomatika
Dosen Pembimbing : Heki Hapsari Handayani , ST, M.Sc

ABSTRAK

Subjek penelitian yang dilaporkan adalah visualisasi tiga dimensi (3D) permukaan model dalam survei pemetaan tiga dimensi menggunakan terrestrial laser scanning (TLS). Tugu Pahlawan yang berlokasi di pusat Kota Surabaya dekat kantor Gubernur Jawa Timur ini terpilih sebagai objek penelitian. Instrumen teknologi laser yang digunakan sebagai pembanding adalah Geomax Zoom 300 (Terrestrial Laser Scanner) dan Gowin TKS-202 (Electronic Total Station) serta GPS Geodetik untuk pengukuran acuan koordinat dan ketinggian Tugu Pahlawan yang bergeoreferensi. Koordinat hasil pengukuran Electronic Total Station dan Terrestrial Laser Scanner kemudian diubah menjadi koordinat global (UTM) menggunakan proses georeferensi hasil pengukuran GPS Geodetik. Koordinat, diameter dan ketinggian Tugu Pahlawan dihitung untuk setiap model. Uji statistik kemudian digunakan sebagai validasi data terrestrial laser scanner dengan electronic total station. Dengan interval kepercayaan 90% pada uji statistik, 80% diantaranya masuk kedalam interval kepercayaan. Tinggi Tugu Pahlawan menurut data arsip adalah 41,448 m, berbeda dengan hasil pengukuran Total Station adalah 41,144 m sedangkan hasil TLS adalah 41,447 m. Hasil uji statistik ketinggian disimpulkan bahwa ketinggian TLS berada diluar interval kepercayaan. Diharapkan pada masa depan, 3D seperti visualisasi model permukaan dapat digunakan untuk dokumentasi, pelestarian dan rekonstruksi bangunan cagar budaya (cultural heritage).

3D VISUALIZATION OF CULTURAL HERITAGE USING TERRESTRIAL LASER SCANNER (Case Study : Monument of Heroes, Surabaya, East Java)

Student Name : Firdiansyah Eka Rachmawan
NRP : 3511100011
Department : Geomatics Engineering
Advisor : Heps Hapsari Handayani ,ST, M.Sc.

ABSTRACT

Research subjects reported was the visualization of three-dimensional (3D) surface models in three-dimensional mapping survey using terrestrial laser scanning (TLS). Tugu Pahlawan (Heroes Monument), located in Surabaya city center near the office of the Governor of East Java was chosen as the research object. Laser technology instruments used for comparison is GeoMax Zoom 300 (Terrestrial Laser Scanner) and Gowin TKS-202 (Electronic Total Station) as well as for geodetic GPS coordinates and altitude reference measurement Heroes Monument are georeferenced. Coordinate measurement results Electronic Total Station and Terrestrial Laser Scanner are then converted into global coordinates (UTM) using georeferencing process from Geodetic GPS measurement results. Coordinates, diameter and height of Tugu Pahlawan calculated for each model. Statistical test is used as data validation terrestrial laser scanner with electronic total station. With a 90% confidence interval on statistical tests, 80% of them into confidence intervals. Height of Tugu Pahlawan according to archived data is 41.448 m, in contrast with the results of measurements from Total Station is 41.144 m, while the results of TLS is 41.447 m. Statistical test results concluded that the height of heights TLS is outside the confidence interval. Expected in the future, such as the visualization of 3D surface models can be used for documentation, preservation and reconstruction of cultural heritage.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT, karena atas ridho, hidayah dan inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini untuk memenuhi persyaratan kelulusan strata I pada Jurusan Teknik Geomatika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Sholawat serta salam penulis tujukan kepada Nabi Muhammad SAW.

Penulis menyadari penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis yang tercinta (Bapak Prihat Rachmawan dan Ibu Dyah Ganefowati (Almh.)) atas curahan kasih sayang, doa dan dukungan secara moril maupun materil kepada penulis.
2. Ibu Hepi Hapsari Handayani, ST, M.Sc selaku dosen pembimbing atas kritik, saran dan motivasinya.
3. Bapak Dr. Ir. M. Taufik selaku dosen wali.
4. Bapak Mukhamad Nur Cahyadi, ST, M.Sc, D.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS
5. Dinas Kebudayaan dan Pariwisata Kota Surabaya dan UPT Tugu Pahlawan dan Museum Sepuluh Nopember atas data dan informasi yang diberikan.
6. Pihak PT. Sistem Solusi Geospasial yang telah memberikan sarana dalam pelaksanaan tugas akhir.
7. Seluruh dosen pengajar yang telah membimbing dan memberikan materi perkuliahan kepada penulis.
8. Seluruh staff TU dan Karyawan Teknik Geomatika ITS atas bantuannya.
9. Seluruh angkatan 2011 Teknik Geomatika ITS, terima kasih atas kebersamaan, bantuan, doa dan dukungannya.
10. Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis merasa masih menemui beberapa kendala maka

dari itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak.

Sebagai penutup, inilah karya yang dapat penulis berikan dalam Tugas Akhir ini. Penulis berharap keberadaan Tugas Akhir ini bermanfaat banyak bagi berbagai pihak yang bersangkutan.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

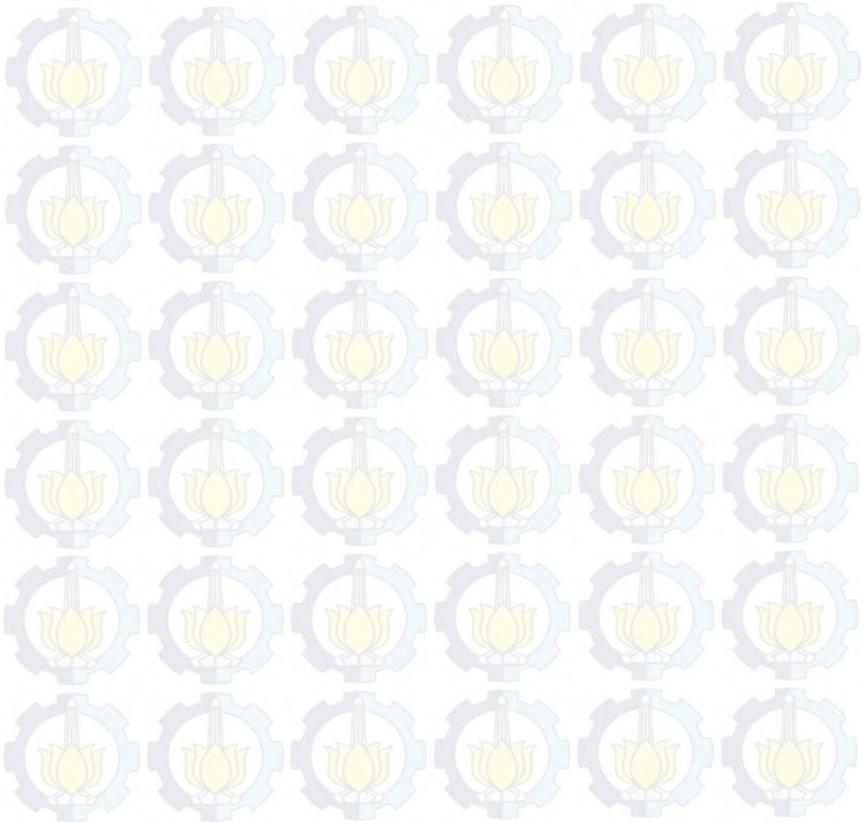
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
HALAMAN PENGESAHAN.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi
BAB I LATAR BELAKANG.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Tugas Akhir.....	4
1.5 Manfaat Tugas Akhir.....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	7
2.1 Pengukuran Terestris.....	7
2.1.1 Pengukuran Polygon Tertutup.....	7
2.1.2 Toleransi Pengukuran.....	9
2.1.3 Pengukuran Detil.....	10
2.1.4 Metode <i>Tachimetry</i>	10
2.1.5 <i>Electronic Total Station</i>	11
2.2 <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	12
2.2.1 Teknologi <i>Terrestrial Laser Scanning</i>	12
2.2.2 Definisi <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	12
2.2.3 Prinsip Dasar <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	13
2.2.4 Teknik Pengukuran <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	14
2.2.5 <i>Point Clouds</i>	18
2.2.6 Teknik Registrasi Data.....	19
2.2.7 <i>Noisy Filtering</i>	22
2.2.8 Georeferensi.....	24
2.3 Uji Statistik.....	28
2.4 Tugu Pahlawan.....	30
2.4.1 Sekilas Tugu Pahlawan.....	30
2.4.2 Sejarah Berdirinya Tugu Pahlawan.....	32

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	35
3.1 Lokasi Penelitian	35
3.2 Data dan Peralatan	36
3.2.1. Data	36
3.2.2 Peralatan	36
3.3 Metodologi Penelitian.....	37
3.3.1 Tahapan Pelaksanaan.....	37
3.3.2 Tahapan Pengolahan Data.....	39
BAB IV HASIL DAN ANALISA	43
4.1 Hasil Penelitian.....	43
4.1.1 Hasil Pengamatan Terestris.....	43
4.1.2 Perencanaan <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	47
4.1.3 Pengukuran <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	48
4.1.4 Georeferensi	48
4.1.5 <i>Filtering</i>	49
4.1.6 Model 3 Dimensi	51
4.1.7 Pengukuran Ketinggian Tugu Pahlawan.....	51
4.2 Analisis Penelitian	53
4.2.1 Analisis Polygon.....	53
4.2.2 Analisis Visualisasi <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	53
4.2.3 Analisis Proses Georeferensi	57
4.2.4 Analisis SOF (<i>Strength of Figure</i>).....	58
4.2.5 Analisis <i>Filtering</i>	59
4.2.6 Analisis Planimetrik	60
4.2.6 Analisis Ketinggian Bangunan	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....	69
LAMPIRAN.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Polygon tertutup sudut dalam	8
Gambar 2. 2	Rumus Dasar <i>Tachymetry</i>	10
Gambar 2. 3	<i>Electronic Total Station</i>	11
Gambar 2. 4	<i>Terrestrial Laser Scanner Geomax Zoom300</i>	12
Gambar 2. 5	Teknik pengukuran statis pada sebuah bangunan.....	15
Gambar 2. 6	<i>Point cloud</i> yang belum terorganisir.....	17
Gambar 2. 7	Hasil sebaran percikan titik laser (kiri), perbesaran gambar dari percikan laser (kanan).....	18
Gambar 2. 8	Sistem koordinat <i>laser scanner</i>	19
Gambar 2. 9	Registrasi dua <i>point clouds</i> hasil pemindaian	21
Gambar 2. 10	Ilustrasi teknik registrasi <i>surface matching</i>	22
Gambar 2. 11	Pendekatan <i>Noise Filtering</i>	24
Gambar 2. 12	Georeferensi secara langsung	26
Gambar 2. 13	Georeferensi tidak langsung dengan dua tahap pendekatan	27
Gambar 2. 14	Registrasi tidak langsung dengan pendekatan satu tahap	28
Gambar 2. 15	Tugu Pahlawan	31
Gambar 2. 16	<i>Blue print</i> atau sketsa Tugu Pahlawan	32
Gambar 2. 17	Rencana Konstruksi Tugu Pahlawan	33
Gambar 3. 1	Lokasi Tugu Pahlawan.....	35
Gambar 3. 2	Tahapan Penelitian.....	37
Gambar 3. 3	Tahapan Pengolahan Data.....	39
Gambar 4. 1	Poligon dan Posisi Titik.....	43
Gambar 4. 2	Sebaran Titik Berdiri Alat <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	47
Gambar 4. 3	Hasil proses georeferensi.....	49
Gambar 4. 4	<i>Point Clouds</i> Tugu Pahlawan Sebelum Proses <i>Filtering</i>	50
Gambar 4. 5	<i>Point Clouds</i> Tugu Pahlawan Setelah Proses <i>Filtering</i>	50
Gambar 4. 6	Gambar 3D Modelling Tugu Pahlawan	51
Gambar 4. 7	Grafik total sebaran <i>point clouds</i> di setiap titik berdiri alat.....	54

Gambar 4. 8	Sebaran <i>point clouds</i> di posisi berdiri alat titik ke-5	55
Gambar 4. 9	Sebaran <i>point clouds</i> di posisi berdiri alat titik ke-6	56
Gambar 4. 10	Lokasi <i>blank spot</i> di sekitar Tugu Pahlawan.....	56
Gambar 4. 11	Lokasi <i>blank spot</i> yang terletak di ujung Tugu Pahlawan.....	57
Gambar 4. 12	Gambar Jaring Kontrol Tugu Pahlawan.....	59
Gambar 4. 13	Grafik Perbandingan Jumlah <i>Point Clouds</i> Sebelum dan Sesudah <i>Filtering</i>	60



DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1	Data Koordinat GPS	44
Tabel 4. 2	Data Koordinat Kerangka Kontrol.....	45
Tabel 4. 3	Data Koordinat Titik Kontrol pada Objek (ICP).....	46
Tabel 4. 4	Hasil proses georeferensi.....	49
Tabel 4. 5	Hasil <i>tachymetry</i> tugu dengan <i>Total Station</i>	52
Tabel 4. 6	Hasil <i>scanning</i> tingu tugu dengan <i>Terrestrial Laser Scanner</i>	52
Tabel 4. 7	List Kesalahan dan Toleransi Koreksi Sudut dan Jarak.....	53
Tabel 4. 8	Tabel Error.....	57
Tabel 4. 9	Data Koordinat Titik Kontrol pada Objek (ICP TLS).....	61
Tabel 4. 10	Uji Statistik.....	61
Tabel 4. 11	Hasil Uji Statistik Rentang Kepercayaan pada X	61
Tabel 4. 12	Hasil Uji Statistik Rentang Kepercayaan pada Y	62
Tabel 4. 13	Hasil Uji Statistik Rentang Kepercayaan pada Z.....	63
Tabel 4. 14	Hasil Analisa ICP	63
Tabel 4. 15	Hasil Uji Statistik Diameter Tugu Pahlawan	65
Tabel 4. 16	Ketinggian Tugu Pahlawan.....	65
Tabel 4. 17	Hasil Uji Statistik Ketinggian Tugu Pahlawan	66

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Dokumentasi Pengambilan Data
- Lampiran 2 Pengukuran *GPS*
- Lampiran 3 Sampel Data *Point Clouds TLS* Format ASCII





BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Surabaya disebut sebagai Kota Pahlawan dan mewakili semangat heroisme dan patriotisme dapat dilihat dari sisa-sisa bangunan yang tersebar di sekitar wilayah Surabaya Pusat dan Surabaya Utara yang pada saat itu berperan sebagai basis perjuangan. Keberadaan bangunan pendukung perjuangan inilah yang kemudian dirumuskan sebagai benda cagar budaya oleh Pemerintah Daerah Tingkat II Kotamadya Surabaya. Kondisi cagar budaya sebagian besar tidak begitu terawat, tingkat kepedulian dan peranan lingkungan semakin mengaburkan nilai-nilai historis keberadaan cagar budaya yang ada sehingga kesadaran pentingnya cagar budaya sebagai sumber belajar dapat dimanfaatkan dengan baik. Cagar budaya sebagai tempat terjadinya peristiwa penting atau bersejarah dapat dipergunakan sebagai media penghubung dengan masa lalu dapat dijadikan sarana pembelajaran serta membuka kesadaran pentingnya menghayati proses nilai historis yang tersirat didalamnya. Keberadaan cagar budaya Surabaya bisa mewakili proses pembangunan bangsa ini karena beberapa bangunan cagar budaya tersebut mampu menanamkan nilai-nilai luhur perjuangan bangsa Indonesia secara nasional (Alrianingrum, 2010).

Saat ini Kota Surabaya memiliki 169 bangunan cagar budaya. Sebelumnya telah ada 167 bangunan yang ditetapkan sebagai cagar budaya (Abdul Hakim, 2013). Wacana penelusuran nilai-nilai historis akan sejarah suatu kota perlu disosialisasikan. Sosialisasi dan visualisasi peninggalan sejarah ini menjadi titik awal pengenalan kesadaran dan komitmen melestarikan cagar budaya sebagai aset pembangunan bangsa. Jadi fungsi cagar budaya tidak hanya sebagai penggalan dan peninggalan sejarah belaka tetapi menjadi dasar untuk memahami nilai-nilai perjuangan. Selain itu pemanfaatan cagar budaya sebagai

identitas Surabaya dapat meningkatkan posisi Surabaya dalam peranan pembangunan serta dapat meningkatkan kapasitas kota sebagai kota tujuan wisata untuk cagar budaya.

Tugu Pahlawan merupakan salah satu bangunan cagar budaya di Surabaya. Monumen ini berada di tengah-tengah kota di Jalan Pahlawan Surabaya, dekat dengan Kantor Gubernur Jawa Timur. Tugu Pahlawan merupakan salah satu ikon Kota Surabaya sebagai Kota Pahlawan. Berdiri di atas tanah lapang seluas 1,3 hektar, dan secara administratif berada di wilayah Kelurahan Alun-Alun Contong, Kecamatan Bubutan, Kota Surabaya. Tugu Pahlawan dahulu merupakan Kantor Raad Van Justitie atau Gedung Pengadilan Tinggi pada masa penjajahan Belanda. Gedung ini pada akhirnya runtuh saat gempa bumi di Surabaya. Kemudian dari reruntuhan gedung dibangun Tugu Pahlawan adalah tak lain untuk mengenang sejarah perjuangan *arek-arek Suroboyo* sekaligus seluruh masyarakat Indonesia yang ikut serta dalam mempertahankan kemerdekaan dalam momen bersejarah “10 Nopember 1945” di Surabaya. Monumen yang dibangun selama sepuluh bulan ini, diresmikan oleh Presiden Soekarno pada tanggal 10 November 1952 (Badan Arsip dan Perpustakaan Kota Surabaya, 2007).

Sebuah riset studi internasional *3D Laser Scanning* untuk bangunan cagar budaya dilakukan oleh Barber dan Mills dengan objek riset yang dimodelkan adalah objek arkeologi industri di Lion Salt Works, Inggris. Objek ini merupakan bekas kompleks pabrik pembuatan garam yang dijadikan museum dan sudah dibangun sejak abad ke-19. Riset dalam penggunaan *Terrestrial Laser Scanner* untuk bangunan cagar budaya juga dilakukan oleh Rezza Riawan dengan memodelkan Monumen Bandung Lautan Api secara 3D.

Penggunaan metode alternatif yang relatif murah untuk melakukan pemodelan suatu bangunan, yakni dengan teknologi *Close Range Photogrametry* (CRP) atau Fotogrametri Rentang Dekat, dengan memanfaatkan kamera *Digital Single Lens Reflex* (DSLR) . Dalam teknik CRP, kualitas proses penentuan koordinat

dapat ditingkatkan dengan cara melakukan pembidikan ke objek secara konvergen dari kamera agar diperoleh ukuran lebih. Teknik ini mempunyai kelebihan terutama jika objek yang akan diukur sulit untuk dijangkau dan atau memiliki dimensi yang kecil (Handayani H.H. et.al., 2015). Dengan aplikasi lain yaitu dalam penentuan volume suatu bidang (Mulia, D, Handayani, H.H., 2014).

Dari pemodelan yang dilakukan pada objek ini didapatkan kesimpulan bahwa pemodelan menggunakan *laser scanner* bisa berkontribusi dalam melakukan perekaman sebuah objek untuk dilakukannya renovasi yang akan membantu dalam proses desain ulang objek maupun pengarsipan objek cagar budaya (Barber, 2007).

Teknologi *laser scanning* adalah salah satu teknik terbaru untuk melakukan pekerjaan survei tiga dimensi. Kelebihan dari teknologi ini adalah hal tersebut dirancang untuk melakukan akuisisi 3 dimensi (3D). Model 3 dimesi ini memungkinkan untuk mengakses banyak data geometris dan visual yang diperlukan. Dengan demikian, penggunaan *TLS* telah meningkat pesat dan saat ini telah diterapkan di banyak bidang seperti mendokumentasikan warisan budaya, pengukuran deformasi, aplikasi perencanaan, kontrol kualitas, produksi prototipe, analisis tempat kejadian perkara (TKP) dan industri pembuatan film (Alkan, 2012).

3D Modelling adalah metode survei menggunakan *3D laser scanner* yang menghasilkan satu set informasi baru dalam *point clouds*. Bila dibandingkan dengan metode tradisional, *point clouds* memberikan tingkat signifikan lebih tinggi dengan kelengkapan geometris benar dan detail (Charles. E, 2004).

Laser scanning menawarkan metode yang sangat efektif untuk mengumpulkan titik dalam jumlah yang besar dengan tepat. Sehingga dengan resolusi tinggi dalam *point clouds* dengan informasi 3D ini sangat cocok untuk aplikasi inventarisasi data 3D. Tidak seperti teknik survei tradisional yang mengumpulkan ratusan titik data diskrit selama beberapa hari, pencitraan *laser*

mampu menangkap beberapa juta *3D point clouds* hanya dalam beberapa menit (Lichti et al., 2000). Beberapa pencitraan dapat melengkapi cakupan yang lengkap dari objek, deformasi permukaan, jembatan, bangunan dengan detail rumit, dan struktur lainnya. Sistem *laser scanning* yang tersedia di pasar saat ini sudah menjadi teknologi yang praktis, dengan sebagian besar kesulitan teknis perangkat keras dan masalah integrasi sistem telah terpecahkan. Sistem ini, menjadi lebih 'geodesi' yang sangat kompleks pada bagian akuisisi data dan lebih 'fotogrametri' pada bagian pengolahan data. Pengembangan algoritma dan metode untuk interpretasi serta pemodelan data *laser scanner* begitu pesat, sehingga representasi dapat berguna untuk suatu tampilan dalam 3D.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang dimunculkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana visualisasi 3D Tugu Pahlawan dengan pengukuran menggunakan *Terrestrial Laser Scanner*?
2. Bagaimana analisa ketelitian *Terrestrial Laser Scanner* terhadap *Electronic Total Station* dengan menggunakan uji statistika?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengukuran menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner*.
2. Objek yang dimodelkan adalah Monumen Tugu Pahlawan untuk pengarsipan objek cagar budaya.
3. Menggunakan data *Electronic Total Station* sebagai validasi data.
4. Evaluasi ketelitian dengan uji statistika.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Visualisasi pada Tugu Pahlawan menggunakan *Terrestrial Laser Scanner*.
2. Evaluasi ketelitian planimetrik dan ketinggian hasil data pengamatan *Terrestrial Laser Scanner* dengan data *Electronic Total Station* sebagai pembanding.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Data dan hasil penelitian dapat memberikan pengetahuan mengenai visualisasi 3 dimensi bangunan Tugu Pahlawan kepada Dinas Pariwisata Kota Surabaya.
2. Informasi mengenai Tugu Pahlawan dapat digunakan dalam pemantauan dan inventarisasi model di masa yang akan datang oleh Dinas Pariwisata Kota Surabaya.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pengukuran Terestris

Di dalam pemetaan topografi cara terestris, titik-titik di muka bumi dikelompokkan menjadi dua kelompok besar yaitu kelompok titik-titik kerangka dasar dan kelompok titik-titik detail. Titik-titik kerangka dasar adalah sejumlah titik yang di buat dan di pasang di lapangan (dengan tanda pengenalan patok kayu dan pilar beton) yang merupakan kerangka dasar pemetaan dengan fungsi sebagai titik pengikat pengukuran titik-titik detail, serta pengontrol pengukuran titik-titik lainnya. Titik-titik detail adalah titik-titik yang ada di lapangan yang merupakan antara lain titik-titik pojok bangunan, titik-titik batas tanah, titik-titik sepanjang pinggiran jalan serta titik-titik lain yang letak dan kerapatannya ditentukan untuk menggambarkan bentuk dari permukaan tanah (Nurjati, C. 2004).

2.1.1. Pengukuran Polygon Tertutup

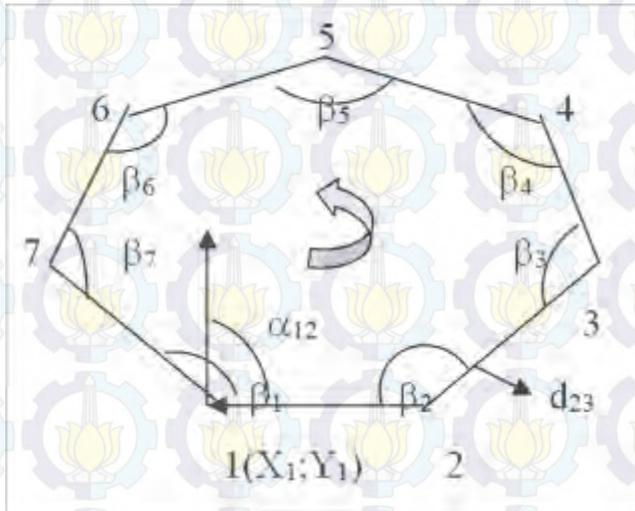
Poligon berasal dari kata *poli* yang berarti banyak dan *gonos* yang berarti sudut. Secara harfiahnya, poligon berarti sudut banyak. Namun arti yang sebenarnya adalah rangkaian titik-titik secara berurutan sebagai kerangka dasar pemetaan (Nurjati, C. 2004).

Sebagai kerangka dasar, posisi atau koordinat titik-titik poligon harus diketahui atau ditentukan secara teliti. Karena akan digunakan sebagai ikatan detail, pengukuran poligon harus memenuhi kriteria atau persyaratan tertentu.

Berdasarkan dasar bentuknya, poligon dibedakan menjadi tiga macam, yaitu poligon terbuka, tertutup, dan bercabang.

Poligon tertutup (Gambar 2.1) adalah titik awal dan akhirnya menjadi satu. Poligon ini merupakan poligon yang paling disukai dan paling banyak dipakai di lapangan karena tidak

membutuhkan titik ikat yang banyak yang memang sulit didapatkan di lapangan. Namun demikian hasil ukurannya cukup terkontrol.



Gambar 2.1 Polygon tertutup sudut dalam
(Sumber : Basuki, 2006)

Karena bentuknya tertutup, maka akan terbentuk segi banyak atau segi n , dengan n adalah banyaknya titik poligon. Oleh karenanya syarat-syarat geometris dari poligon tertutup adalah:

- a. Syarat sudut:
 - $\beta = (n-2) \cdot 180^\circ$, apabila sudut dalam
 - $\beta = (n+2) \cdot 180^\circ$, apabila sudut luar
2. Syarat absis

Adapun prosedur perhitungannya sama dengan prosedur perhitungan pada poligon terikat sempurna. Pada poligon terikat sepihak dan poligon terbuka tanpa ikatan, syarat-syarat geometris tersebut tidak dapat diberlakukan di sini. Hal ini mengakibatkan posisinya sangat lemah karena tidak adanya kontrol pengukuran dan kontrol perhitungan. Jadi sebaiknya poligon semacam ini

dihindari. Posisi titik-titik poligon yang ditentukan dengan cara menghitung koordinat-koordinatnya dinamakan penyelesaian secara numeris atau poligon hitungan (Nurjati, C. 2004).

Syarat yang harus dipenuhi untuk poligon terbuka terikat sempurna:

$$(\alpha \text{ akhir} - \alpha \text{ awal}) = \Sigma\beta - n \cdot 180^\circ + f\beta \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\Sigma d \sin \alpha + f(x) = X_{\text{akhir}} - X_{\text{awal}} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\Sigma d \cos \alpha + f(y) = Y_{\text{akhir}} - Y_{\text{awal}} \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

$\Sigma\beta$: jumlah sudut

Σd : jumlah jarak

$f(s)$: kesalahan sudut

$f(x)$: salah penutup absis (X)

$f(y)$: salah penutup ordinat (Y)

2.1.2. Toleransi Pengukuran

Toleransi pengukuran terbagi menjadi dua yaitu Toleransi sudut dan jarak. Toleransi kesalahan penutup sudut tidak boleh lebih dari $i\sqrt{n}$, dengan n adalah jumlah titik poligon. Toleransi kesalahan penutup linear tidak boleh lebih dari 1 : 2500 (Nurjati, C. 2004). Untuk penjabaran rumus toleransi sudut dan jarak dapat dilihat di rumus 2.1 dan 2.2.

$$f\beta \leq i\sqrt{n} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

$f\beta$ = salah penutup sudut

i = bacaan skala terkecil alat (ketelitian)

n = jumlah sudut yang diukur

$$\frac{\sqrt{f_x^2 - f_y^2}}{\Sigma D} \leq \frac{1}{2500} \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

$\sqrt{f_x^2 - f_y^2}$ = salah linier

ΣD = jumlah jarak antar sudut (Nurjati, C. 2004)

2.1.3. Pengukuran Detil

Detil adalah segala objek yang bersifat alamiah seperti sungai, lembah, bukit, alur, dan rawa, maupun hasil budaya manusia seperti jalan, jembatan, gedung, lapangan, stasiun, selokan, dan batas-batas pemilikan tanah yang akan dijadikan isi dari peta yang dibuat (Basuki, 2006). Ada beberapa metode pengukuran titik detil, antara lain:

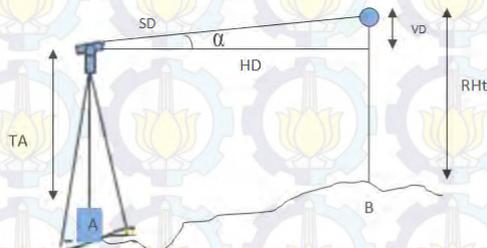
1. Metode *offset*
2. Metode polar (*tachimetry*)
3. Metode perpotongan ke muka

2.1.4. 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 Metode*. Metode yang digunakan untuk menentukan dengan cepat jarak horizontal dan elevasi sebuah titik (Paul R. Wolf dan Charles D. Ghilani, 2001). Metode ini dibagi menjadi:

1. Pengukuran dengan azimuth
2. Pengukuran dengan sudut

Adapun ilustrasi rumus dasar *tachymetry* dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Rumus Dasar *Tachymetry*

(Sumber : Basuki, 2006)

Persamaan rumus dasar *tachymetry*:

$$HD = SD \cdot \cos \alpha \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\Delta HAB = TA + VD - Rht \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

HD : jarak horizontal

SD : jarak miring

α : sudut

TA : tinggi alat

VD : jarak vertikal

2.1.5. Electronic Total Station

Electronic Total Station (ETS) adalah suatu alat yang merupakan kombinasi theodolit elektronik, *Electronic Distance Meter* (EDM) dan perangkat lunak yang berfungsi sebagai kolektor data. Data yang diperoleh dari pengukuran menggunakan *Electronic Total Station* berupa sudut dan jarak, kemudian dengan menggunakan persamaan trigonometri dapat diperoleh koordinat suatu titik relatif terhadap titik tertentu (Hendriatiningsih, S. 2015). EDM dan ETS menggunakan radiasi inframerah (panjang gelombang $\lambda = 915$ nm) sebagai gelombang 'pembawa' (*carrier wave*).



Gambar 2.3 *Electronic Total Station*
(Sumber : <http://geog.sfsu.edu>, 2015)

2.2 *Terrestrial Laser Scanner*

2.2.1. Teknologi *Terrestrial Laser Scanning*

Sistem *Terrestrial Laser Scanning* telah tersedia selama sepuluh tahun dan dalam lima tahun terakhir *laser scanning* telah diterima sebagai metode standar untuk pengambilan akuisisi data dalam 3D, sejajar dengan samping metode yang sudah ada seperti *tacheometry*, fotogrametri dan GPS. Secara khusus, dokumentasi yang terbangun pada industri sistem *Terrestrial Laser Scanning* telah memainkan peran penting karena ketersediaan pertama mereka sebagai sistem komersial.



Gambar 2.4 *Terrestrial Laser Scanner Geomax Zoom300*
(Sumber : www.geomaxpositioning.com, 2015)

Keuntungan utama dari sistem pengukuran ini adalah akuisisi data 3D yang lengkap dan rinci pada objek untuk aplikasi yang berbeda. Secara khusus, penggunaan *Terrestrial Laser Scanning* untuk 3D *modelling*, pengukuran deformasi, pemantauan dan analisis telah meningkat selama beberapa tahun terakhir (Kersten dkk, 2009). Pengembangan luas ini telah difasilitasi oleh perangkat lunak baru dan komputer dengan peningkatan daya CPU dan penyimpanan yang dapat memproses data titik 3D dari laser (Pinarci, 2007).

2.2.2. Definisi *Terrestrial Laser Scanner*

3D Laser Scanner atau lebih dikenal dengan sebutan *Laser Scanner* merupakan instrumen analisis objek *real world*

yang dapat mengumpulkan data permukaan dan bentuk objek kemudian ditampilkan dalam bentuk tiga dimensi (www.trimble.com, 2015). Data yang terkumpul dapat digunakan untuk mengkonstruksi bentuk suatu objek tiga dimensi secara digital.

Pengkombinasian antara laser dengan pemindaian (*scanner*) secara optis dengan kecepatan tinggi dapat menghasilkan model tiga dimensi suatu objek industri, bangunan, dan struktur yang sulit dijangkau secara detail dan akurat. Alat ini dapat secara langsung menghasilkan data tiga dimensi dalam jumlah yang besar, kompleks, tidak beraturan, standar atau objek yang tidak standar, dan dapat dengan cepat membuat kembali model tiga dimensi yang meliputi garis, permukaan dan fitur tiga dimensi lainnya.

2.2.3. Prinsip Dasar Terrestrial Laser Scanner

Terrestrial Laser Scanner termasuk dalam kategori *laser scanner non-contact* aktif yaitu *scanner* yang dapat memancarkan radiasi atau suatu cahaya dan mendeteksi pantulannya untuk mendapatkan data mengenai suatu objek. Dalam melakukan pengambilan data *Terrestrial Laser Scanner* menggunakan suatu teknologi yang disebut dengan *Time Of Flight*. *Terrestrial Laser Scanner Time Of Flight* merupakan suatu teknologi yang banyak digunakan saat ini (Lichti, 2002).

Time-of flight Terrestrial Laser Scanner merupakan suatu *laser scanner* aktif yang menggunakan sinar untuk mendeteksi suatu objek. Inti dari teknologi ini adalah *time-of-flight laser rangefinder*. *Laser Rangefinder* ini digunakan untuk mengetahui jarak dari permukaan suatu objek dengan menghitung waktu tempuh pulang-pergi dari suatu pulsa cahaya. Satu pulsa cahaya digunakan untuk mengukur satu jarak dari waktu tempuhnya dari mulai dipancarkannya pulsa hingga mengenai objek, kemudian diterima kembali pantulan dari pulsa tersebut oleh detektor, karena cepat rambat cahaya

(c) telah diketahui dan waktu tempuh cahaya tersebut dari mulai dipancarkan sampai diterima kembali oleh sensor diketahui juga sehingga dapat dihitung jaraknya sebagai berikut (Firdaus, 2008):

$$d = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \Delta t \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan:

- d : Jarak dari alat ke objek (meter)
- c : Cepat rambat gelombang (meter/detik)
- Δt : Waktu tempuh (detik)

Laser Rangefinder hanya mengukur jarak pada arah pandangnya. Dengan mengubah arah pandang *laser rangefinder* didapat jarak suatu titik pada arah yang berbeda pula. Perubahan arah pandang dapat dilakukan dengan memutar *Laser Rangefinder* maupun dengan suatu sistem putaran cermin. Sistem putaran cermin lebih banyak digunakan karena lebih ringan dan dapat diputar lebih cepat dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Teknologi tersebut memungkinkan *Terrestrial Laser Scanner* untuk mengukur jarak sebanyak 10.000~100.000 titik per detik. *Laser Rangefinder* sendiri menggunakan *laser class 1* beroperasi di *near-infrared* (NIR) dengan panjang spektrum di $\lambda = 905$ sampai 1550 nm (Lichti, 2002).

Terrestrial Laser Scanner dapat diputar 360° pada arah horisontal dan 270° pada arah vertikal. Seperti halnya pada *Electronic Total Station*, pada *laser scanner* pun memiliki suatu lingkaran horisontal dan vertikal yang digunakan untuk mengukur sudut vertikal dan horisontal agar diperoleh koordinat 3D suatu titik.

2.2.4. Teknik Pengukuran *Terrestrial Laser Scanner*

Secara umum teknik pengukuran dalam *laser scanning* dibagi menjadi 2 macam, yaitu teknik statis dan teknik dinamis. Teknik pengukuran statis adalah teknik pengukuran yang

dilakukan apabila pada saat melakukan akuisisi data, *alat scanner* dalam posisi tetap (tidak bergerak). Teknik pengukuran statis ini memiliki kelebihan, yaitu memiliki tingkat presisi yang lebih baik dan memberikan kerapatan titik yang lebih tinggi. Ilustrasi pengukuran menggunakan teknik pengukuran statis bisa dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Teknik pengukuran statis pada sebuah bangunan
(Sumber : archaeogeomancy.net, 2015)

Teknik pengukuran dinamis adalah teknik pengukuran yang dilakukan apabila pada saat melakukan akuisisi data, alat scanner berada dalam wahana yang bergerak (*mobile platform*). Penambahan sistem penentuan posisi ini membuat teknik pengukuran dinamis memiliki sistem yang lebih kompleks dan mahal (Quintero, 2008).

Prinsip pengukuran *terrestrial laser scanner* dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu berdasarkan prinsip pengukuran berbasis pulsa (*Pulse Based*) dan berdasarkan prinsip

pengukuran berbasis fase (*Phase Differenced Based*). *terrestrial laser scanner* yang menggunakan prinsip pengukuran berbasis pulsa (*Pulse Based*), memiliki prinsip pengukuran jarak berdasarkan waktu tempuh laser yang mulai dipancarkan hingga kembali ke sensor penerima *laser scanner*. Kelebihan dari penggunaan *terrestrial laser scanner* berbasis pulsa dapat digunakan untuk pengukuran dengan jarak objek yang cukup jauh.

Terrestrial laser scanner yang menggunakan prinsip pengukuran berdasarkan fase (*Phase Difference Based*), memiliki prinsip pengukuran jarak berdasarkan perbedaan fase laser saat dipancarkan dengan saat laser saat diterima kembali oleh sensor penerima *laser scanner*. Kelebihan dari penggunaan *terrestrial laser scanner* berbasis fase memiliki tingkat presisi yang lebih baik dari penggunaan *terrestrial laser scanner* berbasis pulsa. Tetapi biasanya penggunaan *terrestrial laser scanner* berbasis fase hanya digunakan untuk pengukuran obyek pada jarak yang dekat.

Berdasarkan jarak tempuh laser, *terrestrial laser scanner* dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu *short range*, *medium range* dan *long range*. *Terrestrial laser scanner* dengan jenis *short range*, dapat melakukan pengukuran jarak 0.5 – 2 m. *Terrestrial laser scanner* dengan jenis *short range* memiliki prinsip pengukuran berbasis pulsa atau berbasis fase. Dapat diaplikasikan untuk *reverse engineering* (teknik pemodelan balik), kepolisian, pemindaian tubuh dan kesehatan.

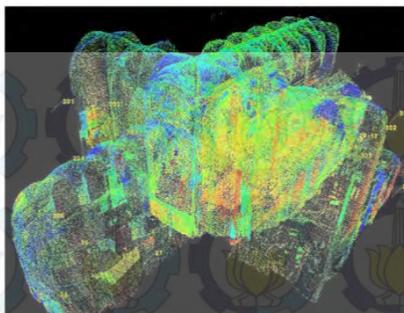
Terrestrial laser scanner dengan jenis *medium range*, dapat melakukan pengukuran dari jarak 2 - 150 m. Pada *terrestrial laser scanner* berjenis *medium range* biasa menggunakan prinsip pengukuran jarak berbasiskan pulsa. Dapat diaplikasikan untuk manajemen fasilitas, industri, teknik sipil, geologi, arsitektur dan dokumentasi warisan budaya.

Terrestrial laser scanner dengan jenis *long range*, dapat melakukan pengukuran mencapai 150 sampai 1000 m. Semua *terrestrial laser scanner* berjenis ini menggunakan prinsip pengukuran jarak berbasis pulsa. Dapat digunakan untuk monitoring, pemodelan kota dan pertambangan.

Terrestrial laser scanner dapat melakukan pemindaian yang menghasilkan titik dalam jumlah yang besar dengan akurasi tinggi dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini yang memberikan kelebihan pengukuran menggunakan *terrestrial laser scanner* dari teknik pengukuran tradisional yang lain. Kelebihan pengukuran menggunakan *terrestrial laser scanner*, yaitu:

1. Pengambilan obyek geometri dilakukan secara langsung, cepat dan detail.
2. Adanya reduksi biaya dan penyelesaian pekerjaan yang lebih cepat.
3. Memungkinkan pelaksanaan survey di tempat yang kompleks dimana teknik tradisional gagal.
4. Tidak dibutuhkan cahaya untuk akuisisi data.
5. Kelengkapan dalam akuisisi data, proses pemindaian mengambil seluruh data yang berada di obyek maupun dapat mengambil data disekitar obyek.

Selain memiliki kelebihan *terrestrial laser scanner* juga mempunyai kekurangan, yaitu tidak mampu untuk mengambil warna sesuai dengan warna tampak objek, melainkan warna yang didapatkan hanyalah warna intensitas dari gelombang pantulan (Quintero, 2008).



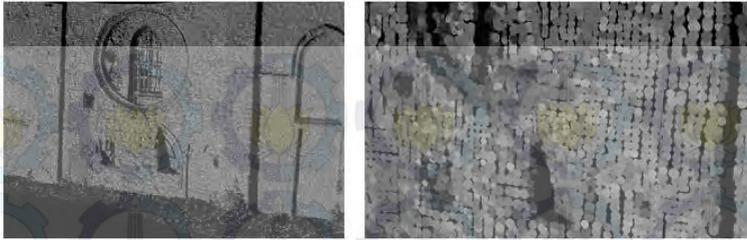
Gambar 2.6 *Point cloud* yang belum terorganisir
(Sumber : Lichti D. & S.J. Gordon, 2004)

Hasil dari proses *scanning 3D point clouds* digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk untuk membuat model 3D CAD untuk pemeriksaan mutu, visualisasi, animasi, *rendering* dan aplikasi kustomisasi massal (Linsen. L , 2001).

2.2.5. Point Clouds

Point clouds adalah sekumpulan titik data yang di beberapa koordinat dan membentuk suatu objek tertentu. Dalam sistem koordinat tiga dimensi, titik-titik ini biasanya ditentukan oleh koordinat X, Y, dan Z. Koordinat ini sering dimaksudkan untuk mewakili permukaan luar objek (Lichti D. & S.J. Gordon, 2004).

Point clouds dihasilkan dari proses perangkat *scanner 3D*. Perangkat tersebut mengukur sejumlah besar titik pada permukaan objek, menghasilkan *point clouds* sebagai file data. Biasanya *point clouds* tidak langsung dapat digunakan di sebagian besar aplikasi 3D, oleh karena itu biasanya dikonversi ke model CAD melalui suatu proses.



Gambar 2.7 Hasil sebaran percikan titik laser (kiri), perbesaran gambar dari percikan laser (kanan)
(Sumber : Lichti D. & S.J. Gordon, 2004)

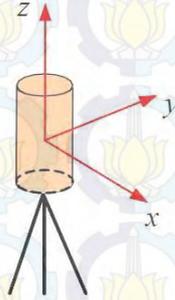
Pengolahan data *laser scanner* sering bertujuan baik untuk menghapus pengukuran yang tidak diinginkan dalam suatu pengukuran, atau untuk membuat suatu data pemodelan. Pada pengukuran yang tidak diinginkan, seperti dalam kasus klasifikasi tutupan lahan, dalam konteks ini disebut sebagai *filtering image*. Metode untuk *filtering*, klasifikasi dan pemodelan dengan demikian didefinisikan menurut tujuan, bukan metode. Sebagian besar aplikasi memerlukan algoritma khusus dan strategi untuk klasifikasi dan interpretasi. Pengembangan aplikasi algoritma bergantung pada objek klasifikasi dan pemodelan.

2.2.6. Teknik Registrasi Data

Objek yang dapat dipindai oleh laser scanner dapat berupa objek yang besar dan memiliki bentuk yang kompleks. Oleh karena itu, dibutuhkan beberapa kali proses pemindaian. Proses pemindaian dilakukan dalam beberapa tempat berdiri alat agar didapatkan hasil pemindaian yang lengkap dari suatu objek. *Point clouds* yang dihasilkan pada tiap pemindaian, mengacu pada sistem koordinat internal yang direferensikan terhadap alat (Gambar 2.8). Sistem koordinat internal tersebut bisa didefinisikan sebagai berikut.

1. Origin, didefinisikan pada *scanner electro optical center*.
2. Sumbu z, berada sepanjang sumbu vertikal (rotasi alat).

3. Sumbu x, berada sepanjang sumbu optis alat.
4. Sumbu y, orthogonal terhadap sumbu z dan sumbu x, dengan bentuk sistem kaidah tangan kanan.



Gambar 2.8 Sistem koordinat *laser scanner*

(Sumber : Balis dkk. dalam Reshetyuk, 2009)

Perlu dilakukan suatu proses untuk mendapatkan representasi hasil pemindaian yang lengkap dari suatu objek, yang dalam prosesnya melakukan proses transformasi pada hasil pemindaian objek ke dalam suatu sistem koordinat, tahapan ini disebut registrasi. Tahapan registrasi perlu dilakukan untuk menggabungkan data hasil pemindaian dari beberapa tempat berdiri alat. Agar proses registrasi bisa dilakukan, proses pemindaian harus terdapat area yang overlap antara proses pemindaian dari satu titik ke proses pemindaian titik berikutnya. Dalam melakukan proses registrasi dilakukan transformasi hasil pemindaian yang didalamnya dilakukan penentuan nilai parameter transformasi, yaitu 3 parameter translasi (ΔX , ΔY , ΔZ) yang tergabung dalam komponen translasi \vec{t} dan 3 parameter rotasi (κ, ϕ, ω) yang tergabung dalam matriks rotasi R .

Transformasi antara dua sistem koordinat yang berbeda \vec{x}_g dan \vec{x}_l bisa di deskripsikan secara matematis menggunakan *rigid body transformation* (Schluz, 2007).

$$\vec{x}_g = R \cdot \vec{x}_l + \vec{t} \dots \dots \dots (2.9)$$

Di mana:

\vec{x}_g : vektor koordinat dalam sistem koordinat global

\vec{x}_l : vektor koordinat dalam sistem koordinat lokal

R : matriks rotasi (κ, φ, ω)

\vec{t} : komponen translasi ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$)

Selanjutnya, faktor skala, atau matriks skala dari sumbu yang berbeda bisa diberikan. Biasanya, matriks rotasi merupakan matriks yang ortogonal, di mana harus memenuhi 3 syarat (Schluz, 2007).

$$\begin{aligned} R^T &= R^{-1} \\ R \cdot R^T &= R^T \cdot R = I \\ \det R &= \pm 1 \dots\dots\dots(2.10) \end{aligned}$$

Di mana:

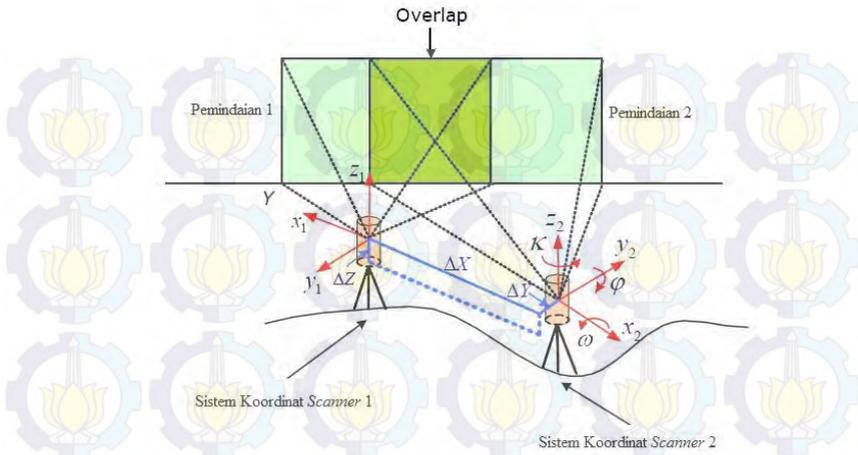
R : Matriks rotasi

R^T : tranpose dari matrks rotasi

R^{-1} : inverse dari matriks rotasi

Ada beberapa metode registrasi data *point clouds* yang bisa digunakan, teknik registrasi yang dipilih akan mempengaruhi teknik survei yang akan dilakukan nantinya sehingga harus dipilih berdasarkan kondisi objek dan area di sekitar objek (Quintero, 2008).

Ilustrasi proses registrasi bisa dilihat pada Gambar 2.9

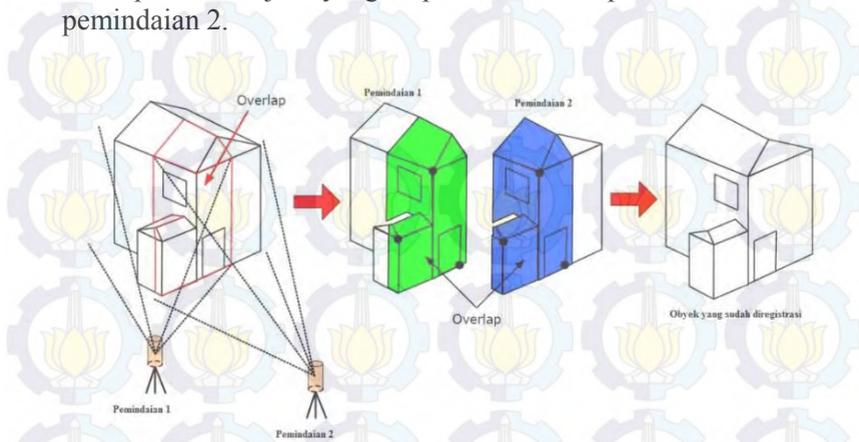


Gambar 2.9 Registrasi dua *point clouds* hasil pemindaian
(Sumber : Reshetyuk, 2009)

Untuk melakukan proses registrasi terhadap hasil pemindaian, dapat dilakukan berbagai macam teknik registrasi sesuai kebutuhan. Menurut Reshetyuk (2009), terdapat empat macam teknik registrasi menurut, yaitu *target based registration*, *registration using natural point feature*, *surface matching* dan *registration using common geometrical object*.

Teknik registrasi *surface matching* adalah sebuah teknik registrasi yang menggunakan pendekatan kesesuaian *point clouds* yang bertampalan. Dengan adanya area yang *overlap* yang terdiri dari banyak titik, redundansi titik-titik tersebut akan memberikan hasil yang lebih baik daripada menggunakan titik ikat yang diskrit (Barber 2001 dalam Reshetyuk 2009). Algoritma dari *surface matching* pada umumnya berdasarkan metode *iterative closed point* (ICP). Registrasi ini didasarkan menggunakan referensi *point clouds* yang dimodelkan dengan permukaan, kemudian registrasi dilakukan dengan meminimalkan jumlah jarak antara titik pada *point clouds* dan permukaan. Ketika menggunakan teknik registrasi *surface matching* sangat perlu diperhatikan

geometri area yang *overlap*. Dibutuhkan minimal 30% area yang *overlap* dari objek yang dipindai antara pemindaian 1 dan pemindaian 2.



Gambar 2.10 Ilustrasi teknik registrasi *surface matching* (Sumber : Pfeifer dan Lichti (2004) dalam Reshetyuk (2009))

2.2.7. *Noise Filtering*

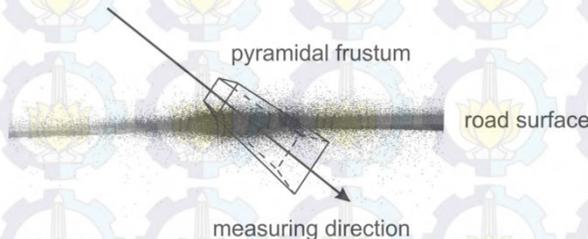
Langkah pertama dalam proses *meshing* adalah menghilangkan data *noise* dari *point clouds*. *Mesh* akan berisi segitiga yang menghubungkan *noisy point* ini untuk membenarkan *points*. Hal ini akan menghasilkan *mesh* yang penuh dengan *spike*. Oleh karena itu menghilangkan *noisy point* ini merupakan hal yang penting (Quintero, 2008).

Algoritma otomatis untuk menghilangkan *noisy points* biasanya berdasarkan dua prinsip. Prinsip yang pertama adalah titik yang memiliki sedikit atau tidak ada titik lain di sekitarnya, dianggap sebagai objek asing. Mereka biasanya berasal dari orang atau benda lain yang bergerak di depan *scanner* saat sedang proses *scanning* dan bukan merupakan bagian dari objek yang di *scan*. Titik seperti ini bisa diidentifikasi dengan mudah menggunakan beberapa setelan parameter dan dihilangkan dari *point clouds* (Quintero, 2008).

Prinsip penghilangan *noise* lainnya adalah dengan menggerakkan titik sedikit untuk mendapatkan kehalusan permukaan yang optimal. Algoritma ini mencoba untuk mencocokkan bidang secara lokal terhadap titik di *point clouds*. Ketika titik pusat berada sangat jauh dari bidang yang dicocokkan, titik pusat dipindahkan ke arah bidang sehingga memberikan konsistensi bagi tetangganya (Quintero, 2008).

Terdapat *noise filter* lainnya, beberapa yang khusus berdasarkan tipe *scanner*, yang lain menghilangkan kesalahan sistematis. Tentu saja saat menghilangkan *noisy points* harus berhati – hati. Fitur bisa hilang ketika *dataset* dihaluskan secara berlebihan atau menghilangkan terlalu banyak titik (Quintero, 2008).

Sebagai contoh, sekumpulan data yang memiliki bias bisa di lihat di gambar 2.8. *Noise* dari data umumnya disebabkan oleh sudut kecil insiden dan warna permukaan yang gelap. *Pyramidal frustum* dibuat sepanjang arah pengukuran. Tinggi dari *pyramidal frustum* di buat untuk menentukan ketebalan dari *noise*.



Gambar 2.11 Pendekatan *Noise Filtering*

Sumber: (Schluz, 2007)

Penghilangan *noise* dilakukan dengan merata – rata semua titik di dalam *pyramidal frustum*. Perataan berperan sebagai *low pass filtering* yang mengurangi *noise* pada sinyal. Sinyal diasumsikan sebagai nilai *mean*. Jika titik dideskripsikan oleh

koordinat lokal *scanner*, maka nilai *mean* bisa dihitung dengan:

$$h = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i, v = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i, s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i \dots \dots \dots (2.11)$$

$$|h - h_i| \leq \Delta h, |v - v_i| \leq \Delta v, |s - s_i| \leq \Delta s \dots \dots \dots (2.12)$$

Di mana:

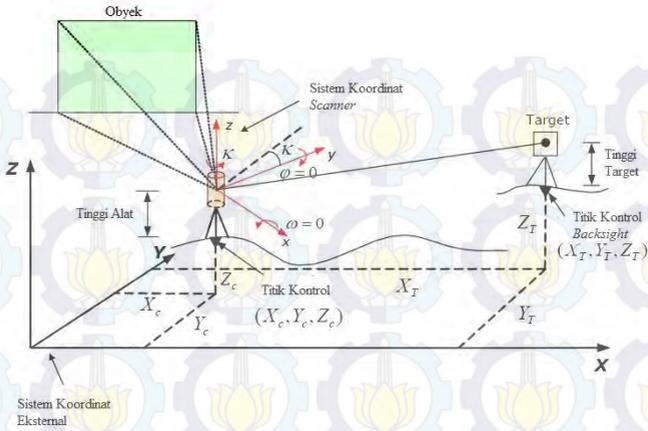
- n : nomor dari titik di dalam *pyramidal frustum*.
 h, v, s : titik yang dipilih
 h_i, v_i, s_i : semua titik lain dari *point cloud*
 $\Delta h, \Delta v, \Delta s$: diensi dari *pyramidal frustum*

Secara matematis, titik dipilih menggunakan persamaan 2.12. Apabila sebuah titik berada di dalam *pyramidal frustum*, maka titik ini ditandai sesuai (Schluz, 2007).

2.2.8. Georeferensi

Georeferensi dilakukan agar data TLS terintegrasi dalam data geospasial. Georeferensi dilakukan dengan meregistrasi seluruh data *point clouds* dari objek ke dalam sistem koordinat eksternal. Sebagian besar proses georeferensi diubah ke sistem koordinat geosentrik berdasarkan data pengukuran *benchmark* GPS Geodetik. Terdapat dua jenis metode georeferensi, yaitu secara langsung dan tidak langsung (Reshetyuk, 2009).

Pada georeferensi secara langsung, perlu dua titik referensi yang diketahui koordinatnya. Satu titik referensi yang diketahui koordinatnya merupakan tempat berdiri alat sedangkan satu titik yang lain merupakan tempat berdiri target yang digunakan sebagai *backsight*. Tingkat akurasi teknik georeferensi secara langsung bergantung pada akurasi *centering* laser scanner, pendataran, pengukuran *backsight* dan pengukuran tinggi alat. Ilustrasi teknik georeferensi secara langsung dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.12 Georeferensi secara langsung (Gordon (2005) dalam Reshetyuk (2009))

Pada georeferensi secara tidak langsung, digunakan target-target sebagai titik kontrol. Target-target tersebut diketahui nilai koordinatnya dalam sistem koordinat eksternal untuk mentransformasikan *point clouds* hasil pemindaian. Pada teknik georeferensi secara tidak langsung dibutuhkan minimal tiga titik target yang digunakan. Tiga titik target yang digunakan tersebut dibutuhkan untuk menentukan enam parameter orientasi luar. Ada tiga pendekatan dalam melakukan *georeferencing* secara tidak langsung, yaitu pendekatan dua tahap, satu tahap dan menggunakan *surface matching* (Reshetyuk, 2009). Tujuan georeferensi adalah menemukan transformasi yang tepat dari *point clouds* ke posisi sebenarnya berdasarkan koordinat *benchmark*. Untuk rumus georeferensi diasumsikan memiliki kesamaan rumus transformasi dalam persamaan 2.4 dan 2.5.

$$x'_i = Ax_i + By_i + C = sx_i \cos \theta + sy_i \sin \theta + t_x \dots \dots \dots (2.13)$$

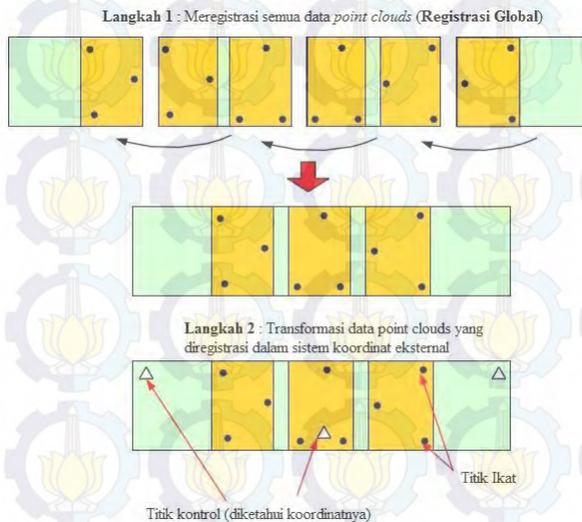
$$y'_i = -Bx_i + Ay_i + D = -sx_i \sin \theta + sy_i \cos \theta + t_y \dots \dots \dots (2.14)$$

Keterangan:

- x'_i, y'_i : koordinat hasil
- x_i, y_i : koordinat awal

- A, B, C, D : fungsi transformasi
 s : perbesaran skala
 θ : sudut rotasi
 t_x, t_y : arah translasi

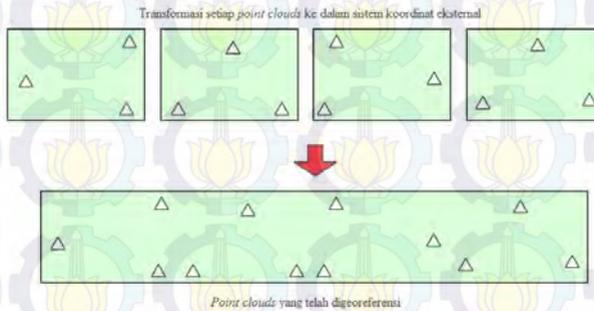
Pada georeferensi secara tidak langsung dengan pendekatan dua tahap, terlebih dahulu dilakukan registrasi *point clouds* yang diambil dari beberapa tempat berdiri alat. Tahap ini biasa disebut dengan *global registration*. Setelah melakukan tahapan *global registration*, *point clouds* ditransformasikan ke koordinat sistem eksternal. Untuk melakukan transformasi, diperlukan minimal tiga titik kontrol yang terdistribusi secara merata. Ilustrasi georeferensi secara tidak langsung dengan pendekatan dua tahap bisa dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Georeferensi tidak langsung dengan dua tahap pendekatan (Sumber : Jacobs (2005) dalam Reshetyuk (2009))

Pada georeferensi secara tidak langsung dengan pendekatan satu tahap, tidak dibutuhkan pertampalan antara

scanning dari tempat berdiri alat yang berbeda. Pada georeferensi secara tidak langsung dengan pendekatan satu tahap point clouds dapat ditransformasi ke dalam sistem koordinat eksternal dengan menggunakan titik kontrol. Pada tahap ini dibutuhkan minimal tiga titik kontrol pada masing-masing tempat berdiri alat. Ilustrasi georeferensi tidak langsung dengan tempat pendekatan 1 tahap bisa dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Registrasi tidak langsung dengan pendekatan satu tahap
(Sumber : Reshetyuk, 2009)

2.3 Uji Statistik

Hipotesis merupakan jawaban sementara yang hendak diuji kebenarannya. Tidak semua penelitian memerlukan hipotesis, penelitian yang bersifat eksploratif dan deskriptif tidak memerlukan hipotesis. Pengujian hipotesis dengan distribusi t adalah pengujian hipotesis yang menggunakan distribusi t sebagai uji statistik. Tabel pengujiannya disebut tabel *t-student*. Distribusi t pertama kali diterbitkan pada tahun 1908 dalam satu makalah oleh W.S Gosset. Uji statistik ini kemudian dibandingkan dengan nilai yang ada pada tabel untuk kemudian menerima atau menolak hipotesis nol (H_0) yang dikemukakan (Mikhail, 1981).

Pengujian sampel dalam distribusi t dibedakan menjadi dua jenis hipotesa, yaitu :

- a. Satu Rata – Rata

$$t_o = \frac{x - \mu}{s/\sqrt{n}} \dots \dots \dots (2.15)$$

rumus diatas adalah untuk menghitung nilai t dengan t_o adalah nilai t yang dihitung, x adalah rata-rata sampel, μ adalah rata-rata populasi, s adalah standar deviasi dan n adalah jumlah sampel.

Penyusunan hipotesanya adalah :

- i. $H_o : \mu_1 = \mu_2$
 $H_a : \mu_1 \neq \mu_2$
- ii. $H_o : \mu_1 \leq \mu_2$
 $H_a : \mu_1 > \mu_2$
- iii. $H_o : \mu_1 \geq \mu_2$
 $H_a : \mu_1 < \mu_2$

Apabila data yang diambil dari hasil eksperimen, maka langkah yang harus dilakukan sebelum mencari t hitung adalah :

- i. Menentukan rata-ratanya terlebih dahulu :

$$x_i = \frac{\sum x}{n} \dots \dots \dots (2.16)$$

Rumus di atas adalah untuk mencari nilai rata-rata dari suatu sampel. Dengan x_i adalah nilai rata-rata sampel, x adalah sampel dan n adalah jumlah sampel.

- ii. Menentukan standar deviasi :

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - x)^2}{n - 1}$$

$$S = \sqrt{S^2} \dots \dots \dots (2.17)$$

Rumus di atas adalah untuk mencari nilai standar deviasi dari suatu sampel. Dengan S^2 adalah simpangan baku suatu sampel, x adalah sampel, n adalah jumlah sampel dan S adalah standar deviasi.

- b. Dua Rata – Rata

$$t_o = \frac{(x_1 - x_2) - d_o}{\sqrt{(s_1^2/n_1) + (s_2^2/n_2)}} \dots \dots \dots (2.18)$$

Rumus di atas adalah untuk mencari nilai rata-rata dua kelompok sampel dengan syarat $S_1 \neq S_2$. \bar{X} adalah sampel (pertama dan kedua). Do adalah selisih μ_1 dengan μ_2 ($\mu_1 - \mu_2$). S adalah standar deviasi dan n adalah jumlah sampel.

Penyusunan hipotesisnya adalah :

- i. $H_0 : \mu_1 - \mu_2 = do$
 $H_a : \mu_1 - \mu_2 \neq do$
- ii. $H_0 : \mu_1 - \mu_2 \leq do$
 $H_a : \mu_1 - \mu_2 > do$
- iii. $H_0 : \mu_1 - \mu_2 \geq do$
 $H_a : \mu_1 - \mu_2 < do$

\bar{X} diasumsikan terdistribusi normal, atau setidaknya didistribusikan mendekati normal. Berdasarkan hipotesis bahwa $\mu = \mu_0$, pernyataan probabilitas berikut dapat berasal dari rumus 2.19 dengan asumsi σ diketahui yaitu.

$$P[(\mu_0 - c) < \bar{X} < (\mu_0 + c)] = 2\phi(z) - 1 \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana $c = z\sigma/\sqrt{n}$

Jika σ tidak diketahui, pernyataan probabilitas berikut dapat diturunkan dari persamaan 2.20 berikut.

$$P[(\mu_0 - c) < \bar{X} < (\mu_0 + c)] = 2F(t) - 1 \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana $c = ts/\sqrt{n}$

H_0 diterima jika \bar{x} , nilai tertentu \bar{X} dihitung dari sampel, terletak di antara $\mu_0 - c$ dan $\mu_0 + c$; sebaliknya, H_0 ditolak (Mikhail, 1981).

2.4 Tugu Pahlawan

2.4.1 Sekilas Tugu Pahlawan

Monumen Tugu Pahlawan terletak di Jl. Pahlawan Surabaya. Letaknya sangat strategis karena berada di tengah Kota

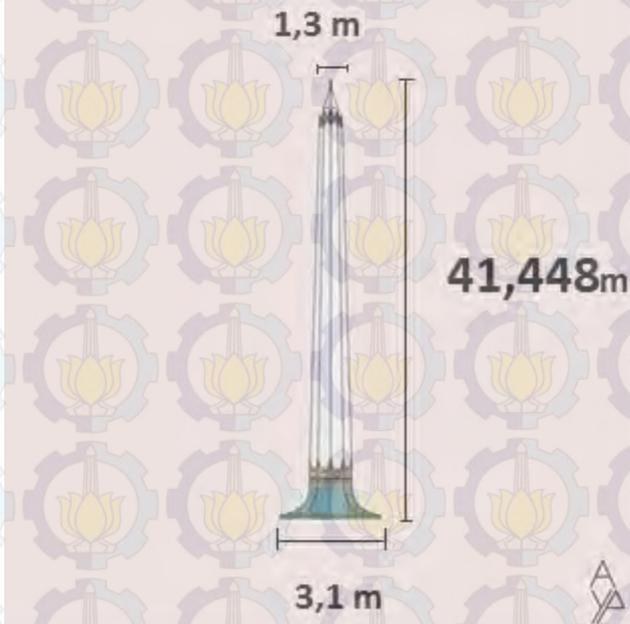
Surabaya, yaitu antara Jl. Bubutan, Jl. Tembaan, Jl. Pahlawan dan Jl. Kebon Rojo.



Gambar 2.15 Tugu Pahlawan
(Sumber : www.eastjava.com, 2012)

Sebagai monumen kebanggaan kota Surabaya, Tugu Pahlawan mempunyai ketinggian 45 yard atau 40,50 meter, dengan diameter bawah 3,10 meter dan diameter atas 1,30 meter dengan bentuk tugu yang menyerupai “Paku Terbalik”. Tubuh

monumen berbentuk lengkungan-lengkungan (*canalures*) sebanyak 10 lengkungan yang terbagi atas 11 ruas. Tinggi, ruas, dan canalures mengandung makna tanggal 10, bulan 11, tahun 1945. Pada bagian bawah tugu dihiasi ukiran gambar *trisula*, *cakra*, *stamba* dan *padma* sebagai simbol api perjuangan.



Gambar 2.16 *Blue print* atau sketsa Tugu Pahlawan

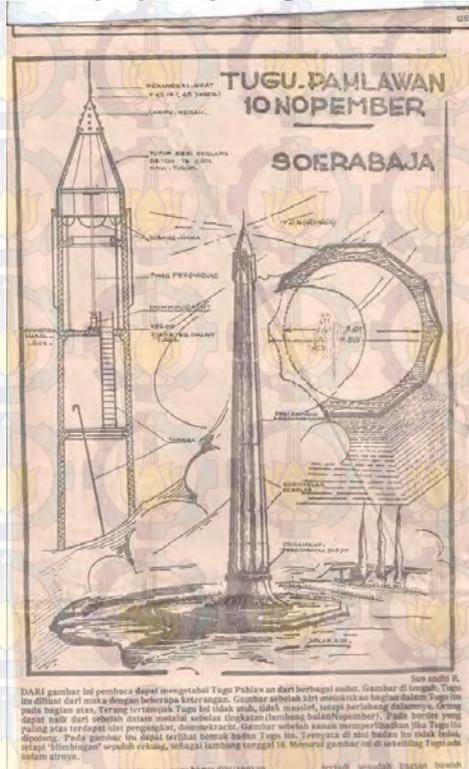
(Sumber : UPT Tugu Pahlawan dan Museum Sepuluh Nopember, 2014)

Di dalam Tugu Pahlawan terdapat Museum 10 November. Museum Sepuluh Nopember dibangun untuk memperjelas keberadaan Tugu Pahlawan tersebut dan sebagai penyimpang bukti-bukti sejarah di 10 November 1945.

4.2.1 Sejarah Berdirinya Tugu Pahlawan

Monumen Tugu Pahlawan yang dibangun dalam bentuk “paku terbalik” dipandang mempunyai nilai filosofis monumental

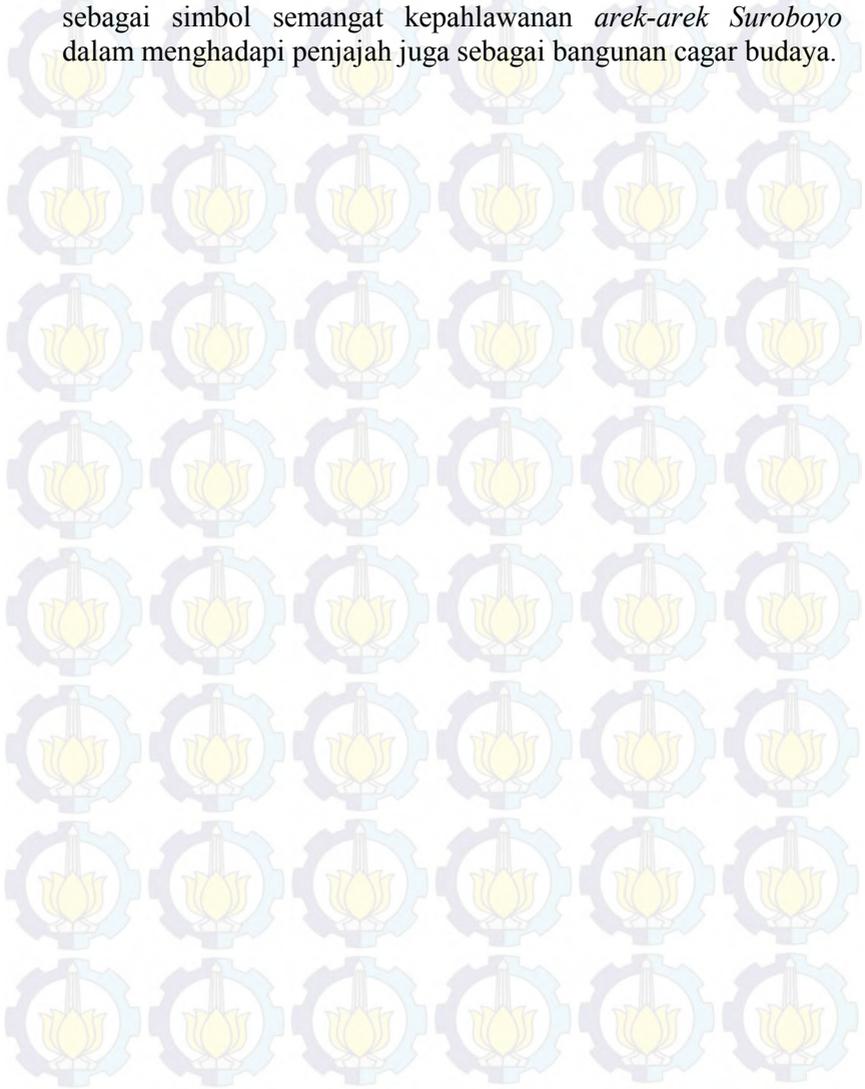
dimana peletakan batu pertama dilakukan oleh Presiden Republik Indonesia yang pertama, Ir. Soekarno pada tanggal 10 Nopember 1951 dan diresmikan pada tanggal 10 Nopember 1952 juga oleh Ir. Soekarno dengan mengambil lokasi tepat di atas areal bekas gedung Raad van Justitie, yang pada jaman pendudukan Jepang juga digunakan sebagai gedung Kempetai.



Gambar 2.17 Rencana Konstruksi Tugu Pahlawan
(Sumber : Surabaya Post, 1976)

Di masa pemerintahan pendudukan Jepang gedung ini dipergunakan Kempetai Jepang untuk mengadili, menyiksa, dan menahan pejuang-pejuang Indonesia. Pada waktu pecah pertempuran Surabaya, gedung ini dikuasai oleh pemuda-pemuda

dan menjadi pusat perjuangan. Gedung inipun hancur terkena tembakan artileri Sekutu. Monumen Tugu Pahlawan dibangun sebagai simbol semangat kepahlawanan *arek-arek Suroboyo* dalam menghadapi penjajah juga sebagai bangunan cagar budaya.

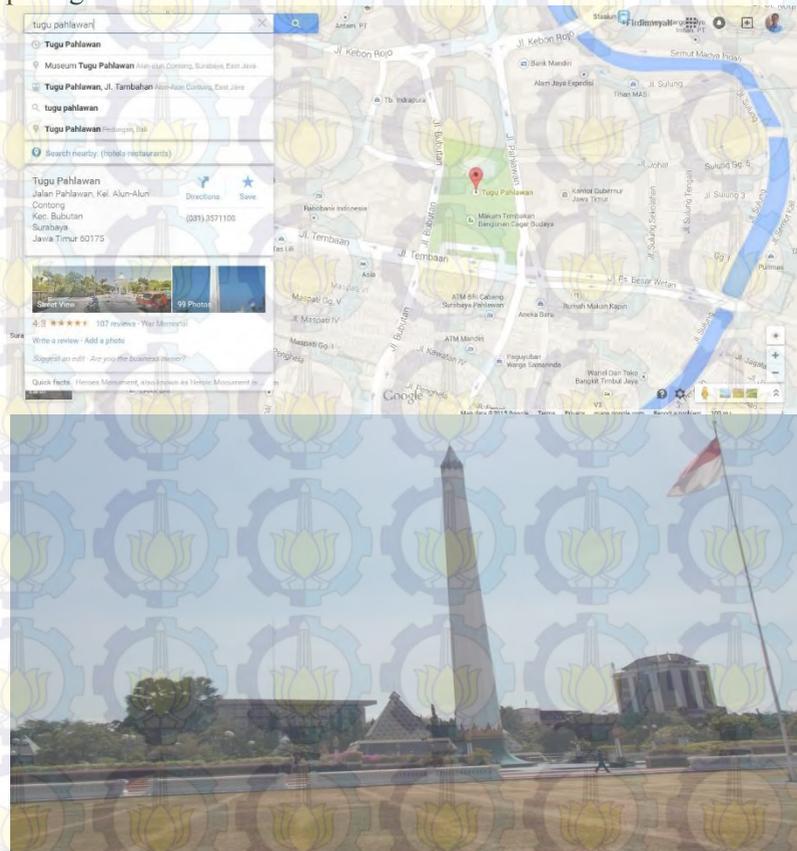


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian tugas akhir ini adalah Tugu Pahlawan pada koordinat 7.245° LS dan 112.738° BT. Lokasi dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Lokasi Tugu Pahlawan
(Sumber: Google Maps, 2015)

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data ukuran bidang kalibrasi.
2. Data spesifikasi *Terrestrial Laser Scanner* GEOMAX ZOOM300 yaitu sebagai berikut :
 - a. Jarak pemindaian terjauh 300m
 - b. Rata-rata pemindaian 40.000 *points/sec*
 - c. Akurasi 6mm @ 50m
 - d. 2 kamera terintegrasi 5+5 Mpx
 - e. Integrasi dengan data GPS
 - f. *Laser class 1* – aman tanpa proteksi mata
 - g. Kuat dan ringan (7 kg termasuk baterai)
 - h. Lebih dari 6 jam dalam pekerjaan berkelanjutan dengan 2 baterai yang tersedia
 - i. Temperatur pengoperasian dari suhu -10°C sampai +50°C
 - j. *Wi-Fi functionality* – mengoperasikan pemindai langsung dari PC atau *Smartphone (iOS, Android dan Windows Mobile)*
 - k. Kualitas “*fast performance*” (Maksimal *point clouds* : 4.000.000, *Time x 360°* : 0h 04m 10s, *Grid step distance* : 7.85cm)
3. Data ukuran geometris bangunan Tugu Pahlawan.

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- A. Perangkat Keras (*Hardware*)
 1. *Terrestrial Laser Scanner* GEOMAX ZOOM 300
 2. *Electronic Total Station (ETS)*.
 3. Penggaris atau pita ukur
 4. Tribrach
 5. Statif
 6. Laptop.

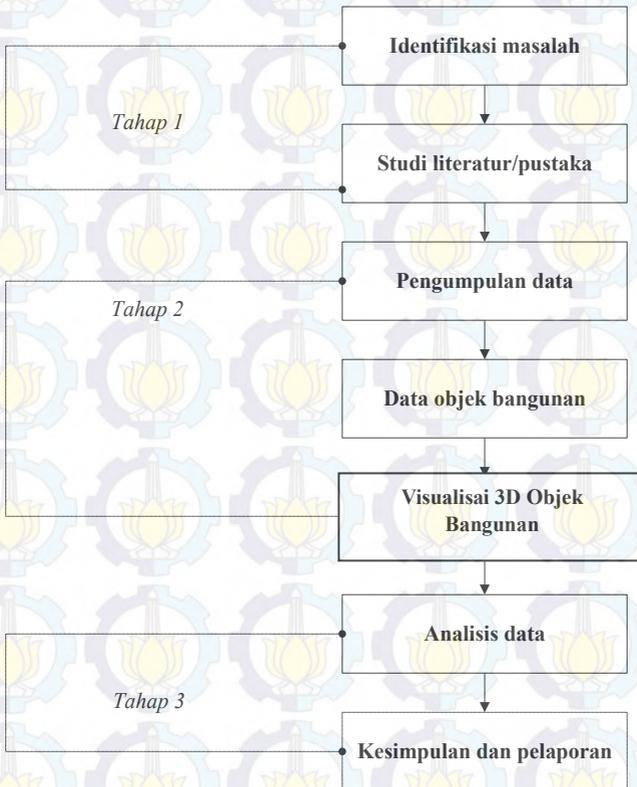
B. Perangkat Lunak (*Software*)

1. *Software CloudCompare (Open Source)*.
2. *Software pengolahan 3D Modelling*.

3.3 Metodologi Penelitian

4.1.1 Tahapan Pelaksanaan

Adapun diagram alir tahapan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 2 Tahapan Penelitian

Penjelasan dari diagram tahapan penelitian di atas sebagai berikut.

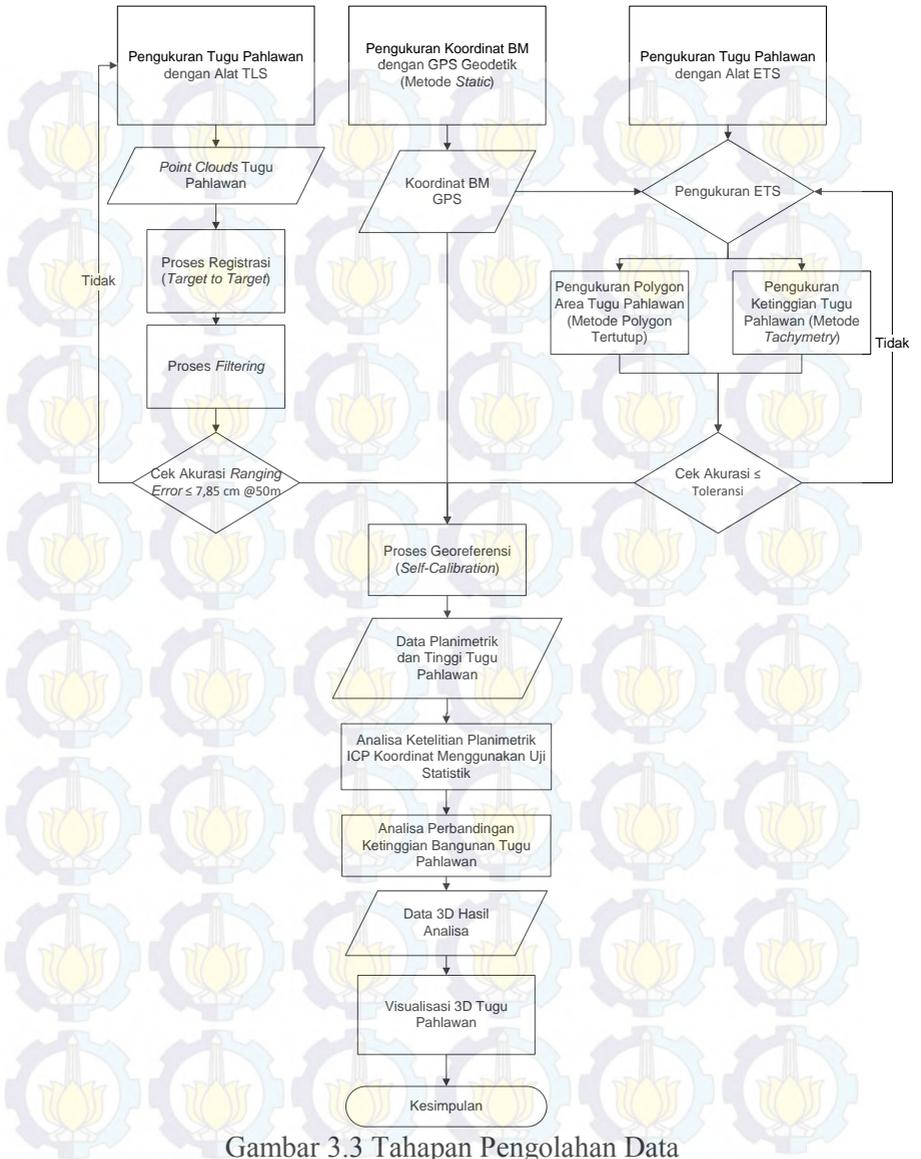
1. Identifikasi masalah, dalam tahapan ini terlebih dahulu penulis melihat fakta serta perkembangan suatu permasalahan. Dari hal tersebut dapat dirumuskan suatu permasalahan yang diangkat. Agar pembahasan lebih terarah dituliskan juga batasan masalah yang dibahas dalam suatu penelitian.
2. Studi literatur/pustaka, dalam tahapan ini penulis mulai mempelajari referensi terkait topik yang diangkat. Hal ini merupakan landasan dalam menganalisis dan menyelesaikan suatu permasalahan.
3. Pengumpulan data, tahapan ini adalah tahapan dimana penulis mulai melakukan pengumpulan data, baik data itu berupa data primer maupun data sekunder. Dari data ini akan dilakukan pengolahan untuk menjawab permasalahan yang ada. Data utama yang diambil adalah data objek pemodelan bangunan. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan kamera dan menggunakan alat ukur jarak untuk menentukan data geometrisnya.
4. Pengolahan data, tahap ini dilakukan untuk pengolahan data yang sudah terkumpul dalam ruang lingkup masalah yang sedang dikaji. Mulai dari melakukan pengolahan terhadap bidang kalibrasi sehingga dapat digunakan untuk keperluan pemodelan bangunan. Pada pemodelan bangunan ini digunakan *software* pengolahan model 3 dimensi.
5. Analisis data, setelah data diolah, selanjutnya data tersebut dianalisis sehingga mendapatkan suatu fakta terkait masalah yang dikaji. Dari tahapan ini dapat dilihat apakah penelitian yang dilakukan sesuai dengan teori yang sudah ada atau melahirkan fakta baru.
6. Kesimpulan, pada tahap ini disimpulkan hasil penelitian yang telah dilakukan berdasarkan hasil analisa.

Kemudian membuat pelaporan hasil penelitian secara keseluruhan, sehingga bisa menjadi pengetahuan baru untuk penelitian selanjutnya.

4.1.2 Tahapan Pengolahan Data

Adapun diagram alir tahapan pengolahan data pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* dan *Electronic Total Station* dalam penelitian ini adalah seperti gambar 3.3 berikut.



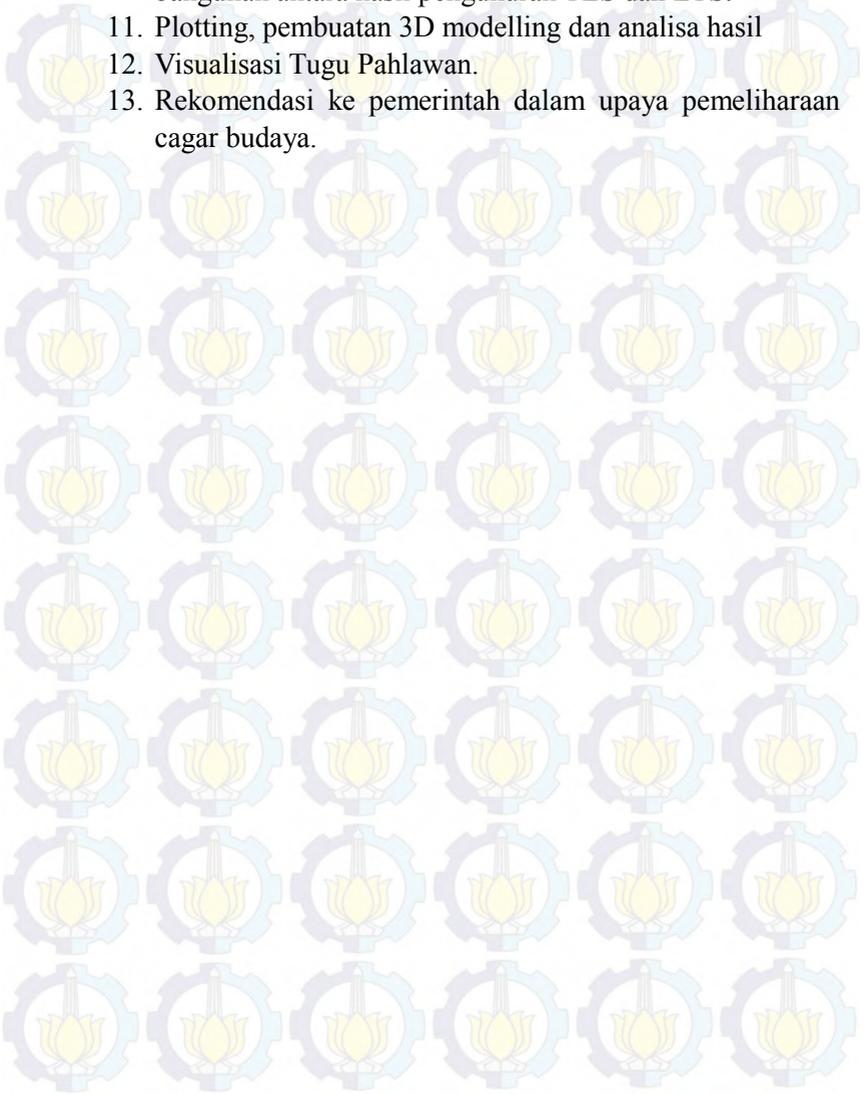


Gambar 3.3 Tahapan Pengolahan Data

Penjelasan dari diagram pengolahan data di atas adalah:

1. Melakukan pengukuran 3D dengan menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner* (TLS)
2. Registrasi, registrasi adalah langkah pertama pengolahan yaitu transformasi semua *point clouds* dari sistem pemindai dalam koordinat lokal ke dalam sistem koordinat yang dituju. Tiga proses yang tersedia untuk registrasi *point clouds* sebagai berikut.
 - a. Registrasi dilakukan untuk *point clouds* dengan ketelitian ± 10 mm.
 - b. Registrasi dapat menggunakan target sebagai titik sekutu untuk meningkatkan akurasi.
 - c. Langkah terakhir dalam registrasi adalah, transformasi *point clouds* ke sistem koordinat geodetik lokal menggunakan titik-titik kontrol yang ditentukan menggunakan Total Station.
3. Melakukan filterisasi pada *noisy point* pada *point clouds* setelah registrasi.
4. Melakukan pengukuran Titik *Benchmark* (BM) menggunakan GPS Geodetik
5. Melakukan pengukuran poligon tertutup menggunakan alat ETS dan memenuhi toleransi salah penutup sudut dan salah linier jarak.
6. Melakukan pengukuran Titik *Ground Control Point* (GCP) yang tersebar di sekitar Tugu Pahlawan.
7. Melakukan penghitungan planimetrik poligon tertutup dan mengikatkannya ke titik BM.
8. Melakukan penghitungan tinggi bangunan Tugu Pahlawan menggunakan metode *tachymetry* untuk menghasilkan tinggi bangunan yang akurat.
9. Proses Georeferensi dilakukan dengan cara transformasikan koordinat lokal hasil dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* ke dalam koordinat global.

10. Menganalisa dan membandingkan planimetrik dan tinggi bangunan antara hasil pengukuran TLS dan ETS.
11. Plotting, pembuatan 3D modelling dan analisa hasil
12. Visualisasi Tugu Pahlawan.
13. Rekomendasi ke pemerintah dalam upaya pemeliharaan cagar budaya.



BAB IV

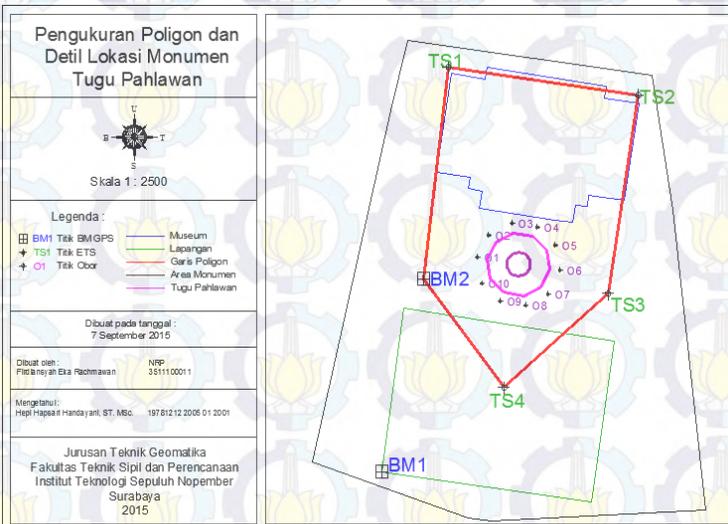
HASIL DAN ANALISA

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Hasil Pengamatan Terestris

Pengamatan terestris terbagi menjadi pengamatan menggunakan GPS Geodetik dan *Electronic Total Station*. Pengamatan GPS pada penelitian ini bertujuan dalam penentuan posisi titik BM yang digunakan untuk pembuatan kerangka kontrol. Pengukuran lapangan dilakukan untuk mendapatkan data terkini tentang kondisi di lapangan, data ini akan dijadikan sebagai acuan posisi dan ketinggian.

Pengukuran lapangan ini membutuhkan alat *GPS Geodetic* dan Data GPS kemudian diolah menggunakan *software Topcon Tools*. Berikut adalah hasil pengukurannya :



Gambar 4.1 Poligon dan Posisi Titik

Tabel 4.1 Data Koordinat GPS

Nama	<i>Northing</i> (m)	<i>Easting</i> (m)	<i>Elevation</i> (m)
BM1 (Base)	9198629,768	691820,565	33,698
BM2 (Rover)	9198701,376	691836,165	34,477

Pada tabel 4.1 didapatkan informasi mengenai koordinat dari setiap titik pengukuran GPS bersama ketelitian yang didapatkan. Letak Base dan GPS Rover dari pengukuran GPS adalah berada diarea Tugu Pahlawan Surabaya.

Pengukuran GPS menggunakan metode statis dengan meletakkan GPS Base pada titik yang ditentukan yang berada di ujung lapangan area Tugu pahlawan.

Pengukuran ditujukan untuk mencari selisih ketinggian dari elipsoid pada BM dan objek yang akan dilakukan pengukuran, sehingga dapat diketahui kemiringan permukaan tanah yang ada. Data kemiringan tanah ini selanjutnya ditambahkan pada data ketinggian GCP (*Ground Control Point*), sehingga ketinggian bangunan yang diukur telah beracuan pada permukaan area Tugu Pahlawan.

Kerangka kontrol pada penelitian ini digunakan dalam pengukuran titik kontrol pada objek. Alat yang digunakan dalam pengukuran kerangka kontrol adalah Total Station. Data yang diambil dalam pengukuran adalah sudut horizontal, sudut zenith, dan jarak miring. Hasil dari pengamatan GPS digunakan sebagai titik ikat dalam perhitungan, berikut adalah hasilnya:

Tabel 4.2 Data Koordinat Kerangka Kontrol

Nama	<i>Northing</i> (m)	<i>Easting</i> (m)	<i>Elevation</i> (m)
TS1	9198661,014	691866,154	33,458
TS2	9198715,093	691758,578	33,809
TS3	9198644,426	691748,042	33,820
TS4	9198633,909	691821,659	34,388

Pengukuran kerangka kontrol berbentuk polygon tertutup. Polygon ini membentuk segi lima mengitari area utama Tugu Pahlawan dengan dua titik berada di utara tugu, di barat dan timur masing-masing satu titik, sedangkan satu titik lainnya berada di selatan Tugu Pahlawan yaitu di area lapangan.

Sama halnya dengan pengukuran kerangka kontrol, alat yang digunakan dalam pengukuran titik kontrol (ICP) pada objek adalah Total Station dan data yang diambil adalah sudut horizontal, sudut zenith, dan jarak miring. Untuk titik yang tidak bisa dijangkau prisma, sudut horizontalnya dicatat dan koordinat (*northing* dan *easting*) akan didapatkan melalui pengikatan ke muka, sedangkan elevasi didapatkan melalui perhitungan tinggi bangunan.

Dari pengukuran kerangka kontrol dapat mengetahui beberapa titik objek yang ingin diketahui. Dalam hal ini objek yang ingin diketahui posisinya adalah objek Tugu Pahlawan. Berikut adalah hasil koordinatnya:

Tabel 4.3 Data Koordinat Titik Kontrol pada Objek (ICP)

Objek	<i>Northing</i> (m)	<i>Easting</i> (m)	<i>Elevation</i> (m)
O1	691856,217	9198750,076	48,1986
O2	691860,392	9198749,948	39,94275
O3	691869,07	9198710,063	73,7442
O4	691878,512	9199870,001	36,3029
O5	691885,198	9198710,022	36,289
O6	691886,973	9198719,988	36,1776
O7	691882,545	9198720,062	36,2388
O8	691874,137	9198689,977	36,3271
O9	691864,663	9198690,015	36,3837
O10	691857,835	9199870,062	36,2897

Dari tabel 4.3 terlihat koordinat X, Y, dan Tinggi dari setiap objek bangunan yang dilakukan pengukuran. Posisi ICP yang dilakukan pengukuran berada pada area sekitar Tugu Pahlawan.

Pengukuran lapangan tersebut dapat diketahui berbagai jenis objek yang menjadi acuan georeferensi kawasan Tugu Pahlawan dengan ketinggian yang bervariasi beserta posisi koordinatnya.

Data tersebut selanjutnya digunakan untuk analisa koordinat dan proses georeferensi pada hasil data *Terrestrial*

Laser Scanner.

4.1.2 Perencanaan *Terrestrial Laser Scanner*

Dalam penelitian ini menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner* dimana dalam penentuan perencanaan penelitian membutuhkan sebuah rencana pengukuran. Sehingga *Terrestrial Laser Scanner* diletakkan pada titik-titik posisi dimana daerah penelitian berada. Berikut merupakan gambaran *site plan* posisi alat *Terrestrial Laser Scanner* berdiri. Berbeda dengan posisi titik control pada table 4.3, titik ini merupakan posisi berdiri alat TLS yang direncanakan agar terhindar dari cahaya yang menghalangi proses pemindaian dan menjaga kualitas *point clouds* tetap baik



Gambar 4.2 Sebaran Titik Berdiri Alat *Terrestrial Laser Scanner*

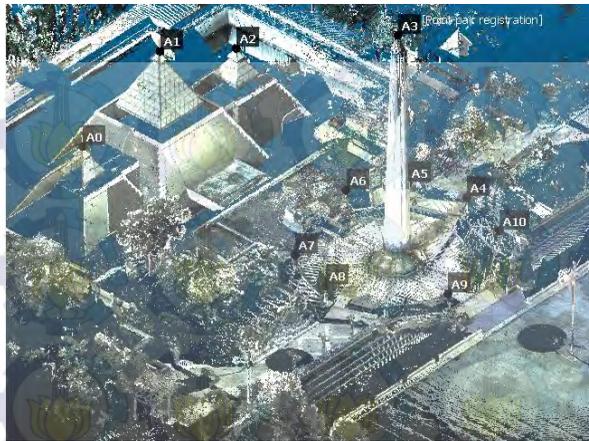
Pada gambar diatas *Terrestrial Laser Scanner* berdiri alat sebanyak 6 kali dan posisi berdiri alat berada di luar koordinat polygon yang diukur oleh *Electronic Total Station*. Setelah diketahui tempat dimana *Terrestrial Laser Scanner* berdiri maka dapat dilaksanakan pengukuran dengan menggunakan *Terrestrial Laser Scanner*.

4.1.3 Pengukuran *Terrestrial Laser Scanner*

Dalam penelitian ini pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* menggunakan metode “*fast*” dalam Geomax Zoom 300 dengan 5 titik berdiri alat *Terrestrial Laser Scanner*. Jarak yang digunakan pada setiap titiknya adalah per 50 meter sekitar area Tugu Pahlawan, sesuai dengan *site plan* perencanaan pengukuran *Terrestrial Laser Scanner*. Hasil yang didapatkan dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* ini adalah *point clouds* daerah penelitian. Selanjutnya akan diolah menjadi bentuk model 3 dimensi. Untuk data dari pengukuran dapat dilihat di data yang terlampir. Dibawah ini merupakan gambar hasil dari pengukuran *Terrestrial Laser Scanner*.

4.1.4 Georeferensi

Dalam proses georeferensi ini titik GCP yang digunakan didapat hasil pengukuran polygon dibandingkan dengan pengukuran menggunakan *Terrestrial Laser Scanner*. Pada proses selanjutnya dikarenakan hasil pengukuran TLS masih menggunakan koordinat lokal maka dilakukan proses georeferensi pada titik GCP di pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* dengan acuan pada hasil pengukuran polygon menggunakan GPS dan Total Station.



Gambar 4.3 Hasil proses georeferensi

Proses ini dilakukan dengan mengambil tiga titik yaitu A5, A8 dan A9 terlihat pada gambar 4.3 yang akan diikaatkan dengan data koordinat geosentrik hasil pengukuran menggunakan GPS Geodetik. Setelah dilakukan proses georeferensi maka akan diketahui koordinat pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* yang sudah terkoreksi. pada tabel 4.4 memaapkan hasil dari koordinat yang telah tergeoreferensi.

Tabel 4.4 Hasil proses georeferensi

Name	Northing (m)	Easting (m)	Elevation (m)
A5	919987,0342	9199870,001	36,3029
A8	919876,0386	9198760,053	39,6687
A9	919868,9566	9198689,977	36,3271

4.1.5 Filtering

Proses *filtering* bertujuan untuk membuang titik yang tidak

diperlukan dari data *point clouds*. Proses ini dilakukan secara manual menggunakan software pengolahan data 3D, berikut adalah contoh sebelum dan sesudah proses *filtering* untuk data Tugu Pahlawan:



Gambar 4.4 *Point Clouds* Tugu Pahlawan Sebelum Proses *Filtering*



Gambar 4.5 *Point Clouds* Tugu Pahlawan Setelah Proses *Filtering*

Jumlah titik dalam *point clouds* Tugu Pahlawan mengalami penurunan hingga 90%, yaitu dari 5.599.525 menjadi hanya 537.727 titik.

4.1.6 Model 3 Dimensi



Gambar 4.6 Gambar 3D Modelling Tugu Pahlawan

Gambar 4.6 ini menunjukkan hasil dari proses 3D modelling yang didapat setelah melakukan proses georeferensi hasil pengukuran *Terrestrial Laser Scanner*. Pada gambar tersebut menunjukkan gambaran daerah penelitian yang didapat dengan menggunakan software *open source* Cloudcompare. Sehingga dapat dianalisa proses 3D modellingnya.

4.1.7 Pengukuran Ketinggian Tugu Pahlawan

Pada pengukuran menggunakan Total Station tipe Gowin yang dilakukan dengan metode *tachymetry*. Pada pengukuran ini menggunakan Total Station didapatkan hasil pengukuran tinggi Tugu Pahlawan. Hasil dapat diketahui pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Hasil *tachymetry* tugu dengan *Total Station*

Objek	Tinggi Objek (m)
Tugu	41,147

Dengan *tachymetry* metode *inaccessible point problem* menurut Wolf & Ghilani (2002). Pada metode ini ketinggian Tugu Pahlawan dihitung dari dua titik yang diketahui tinggi alat (TA), sudut vertikal (α), jarak horizontal (HD), elevasi titik berdiri alat (Δh_{AB}) dan jarak miring (SD). Tinggi alat di titik A 1,443 m. Sudut vertikalnya sebesar $27,285^\circ$. jarak horizontal sebesar 77,4235 m dan jarak miringnya 39,93605 m. Kemudian dihitung total ketinggiannya sehingga didapatkan elevasi Tugu Pahlawan. Dari elevasi Tugu Pahlawan dapat diketahui tinggi monumen Tugu Pahlawan yaitu 41,447 m.

Pada pengukuran menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* tipe Geomax Zoom 300 dengan hasil koordinat lokal. Pada pengukuran ini menggunakan TLS didapatkan hasil pengukuran tinggi tugu pahlawan. Hasil dapat diketahui pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil *scanning* tinggu tugu dengan *Terrestrial Laser Scanner*

Objek	<i>Northing</i> (m)	<i>Easting</i> (m)	Tinggi Objek (m)
Tugu	9198710	691875	41,144

4.2 Analisis Penelitian

4.2.1 Analisis Polygon

Berdasarkan analisa yang didapat dari hasil pengukuran polygon maka dapat diketahui beberapa kesalahan yang terjadi. Kesalahan-kesalahan tersebut antara lain kesalahan sudut dan linier jarak. Kesalahan sudut dan jarak tidak bisa dihindari, oleh karena itu diperlukan nilai toleransi kesalahan sudut dan jarak agar posisi dan jarak memiliki keakuratan yang baik.

Tabel 4.7 List Kesalahan dan Toleransi Koreksi Sudut dan Jarak

Kesalahan Sudut (detik)	Toleransi Sudut (detik)	Kesalahan Jarak (meter)	Toleransi Jarak (meter)
2,99	11,1803	0,000154	0,0004

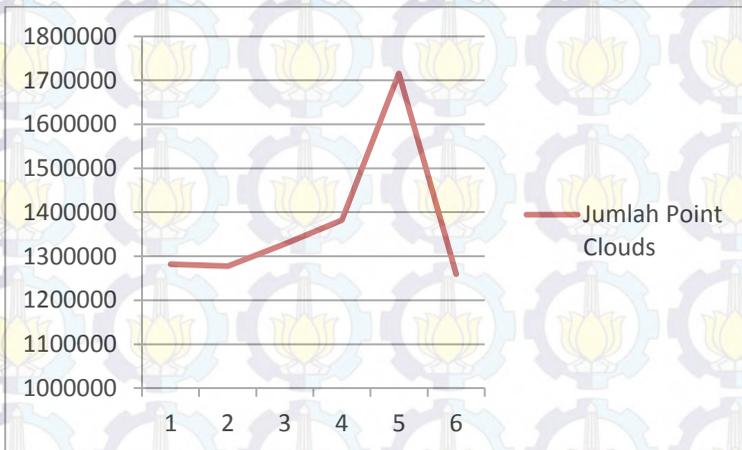
Dari tabel 4.7 dapat diketahui bahwa kesalahan jarak sebesar 0,000154 dan kesalahan sudut adalah sebesar 2,99". Pada toleransi sudut yang memiliki rumus $f\beta \leq i\sqrt{n}$ dimana $f\beta$ sebesar 2,99" yang berasal dari hasil hitungan koreksi total penutup sudut, i merupakan bacaan alat pada ETS yaitu 5" dan n merupakan jumlah sudut yang diukur yaitu berjumlah 6. Sedangkan pada

toleransi jarak berasal dari rumus $\frac{\sqrt{f_x^2 - f_y^2}}{\sum D} \leq \frac{1}{2500}$, kesalahan jarak berasal dari hasil bagi antara kesalahan linier dengan $\sum D$ yaitu jumlah jarak antar sudut. Dari pemaparan kesalahan jarak dan sudut tersebut dapat dikatakan polygon yang diukur ini memenuhi toleransi.

4.2.2 Analisis Visualisasi Terrestrial Laser Scanner

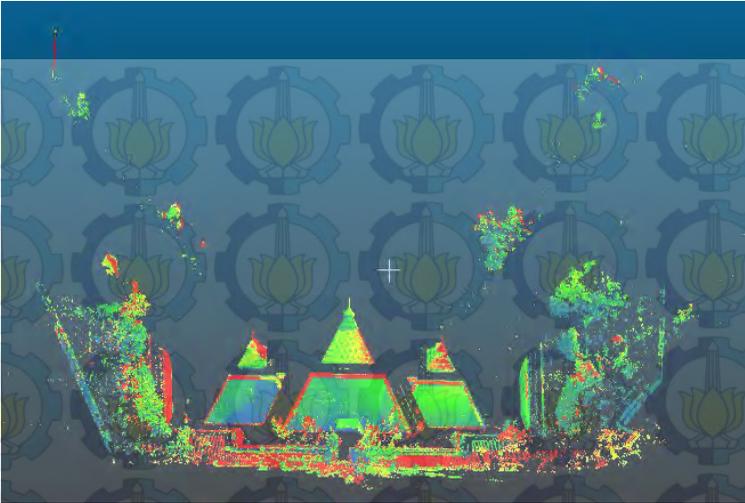
Dari hasil pengukuran dapat diketahui bahwa pengukuran menggunakan kualitas "fast" memiliki durasi 4 menit 10 detik

untuk setiap titiknya selama 6 kali berdiri alat dengan total menghasilkan 8.244.103 titik *point clouds*. Pada mode “fast” ini menghasilkan jarak grid yang kurang rapat yaitu 7,85cm untuk rentang berdiri alat per 50 m, sehingga banyak spot yang kosong dalam pengukuran untuk jarak yang melebihi rentang tersebut.



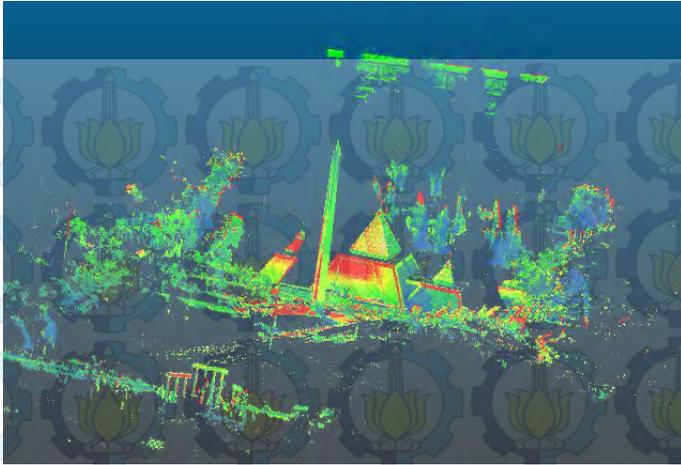
Gambar 4.7 Grafik total sebaran *point clouds* di setiap titik berdiri alat

Pada grafik terlihat banyaknya jumlah *point clouds* hasil pemindaian *terrestrial laser scanner* pada masing-masing titik berdiri alat. Dapat dilihat bahwa pada titik berdiri alat ke-5 *terrestrial laser scanner* memindai paling banyak *point clouds* yaitu sebesar 1.715.724 titik. Pada grafik juga terlihat posisi titik berdiri alat yang memindai *point clouds* paling rendah adalah pada titik berdiri alat ke-6 yaitu berjumlah 1.259.276 titik.



Gambar 4.8 Sebaran *point clouds* di posisi berdiri alat titik ke-5

Pada gambar 4.8 terlihat sebaran *point clouds* berjumlah lebih banyak dibandingkan dengan gambar 4.9. Sebab pada posisi berdiri alat ke-5 terletak di utara Tugu Pahlawan sehingga dengan maksimal rentang pemindaian 300m alat *terrestrial laser scanner* mampu memindai banyak objek seperti pepohonan, piramida museum, dan objek diluar Tugu Pahlawan.



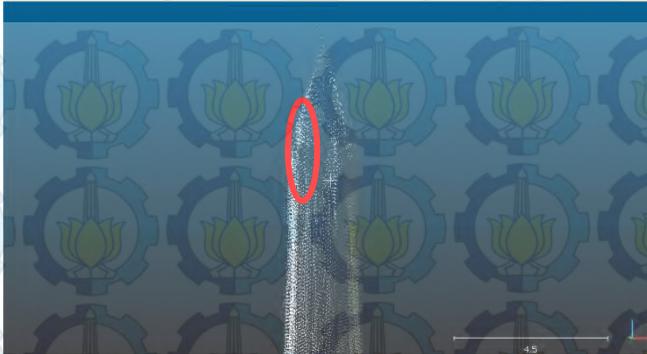
Gambar 4.9 Sebaran *point clouds* di posisi berdiri alat titik ke-6

Pada gambar 4.9 terlihat lebih sedikit objek yang terpindai karena posisi berdiri alat titik ke-6 ini terdapat pada timur Tugu pahlawan. Di selatan titik terpindai beberapa objek di area Tugu Pahlawan seperti gerbang dan monumen, walaupun terlihat yang terlihat cukup luas namun terdapat banyak blankspot seperti di lapangan selatan Tugu Pahlawan.

Berikut beberapa gambar *blank spot* hasil dari *terrestrial laser scanning*.



Gambar 4.10 Lokasi *blank spot* di sekitar Tugu Pahlawan



Gambar 4.11 Lokasi *blank spot* yang terletak di ujung Tugu Pahlawan

Pada gambar di atas menunjukkan bahwa terdapat beberapa lokasi dengan titik-titik kosong (*blank spot*), dikarenakan; a.) lokasi tersebut merupakan lokasi tempat berdiri alat TLS sehingga terdapat ruang kosong disekitar alat dengan diameter 5m dengan pusat lingkaran terdapat pada sumbu pusat alat TLS. b.) lokasi tersebut tidak dapat terjangkau oleh bidikan laser *terrestrial laser scanner* dikarenakan terhalang oleh objek yang berupa tembok, beton, maupun pohon atau jumlah berdiri alat kurang, sehingga terdapat banyak ruang kosong (*blank spot*).

4.2.3 Analisis Proses Georeferensi

Pada proses georeferensi dari hasil pengukuran TLS dihasilkan RMS Error sebesar 0,015 m. Pada tabel 4.8 menunjukkan hasil *Error* dari masing-masing GCP.

Tabel 4.8 Tabel RMS Error

Name	Error (m)
R0	0.0047

Name	Error (m)
R1	0.0164
R2	0.0209
Average RMSE	0.0156109

Dengan demikian dapat diketahui bahwa proses georeferensi ini berhasil dikarenakan RMS Error masih memenuhi toleransi pengukuran TLS mode “fast”. Dengan *RMS Error* sebesar 0,015 m atau setelah dikonversi menjadi 1,5 cm dengan batas toleransi sebesar 7,85 cm menurut spesifikasi dari alat GEOMAX Zoom300 maka dapat disimpulkan RMS Error memenuhi toleransi.

4.2.4 Analisis SOF (*Strength of Figure*)

SOF (*Strength of Figure*) merupakan kekuatan geometrik rangkaian segitiga yang menentukan penyebaran kesalahan dalam perataan jaring. Kekuatan geometrik jaring segitiga yang baik dicerminkan oleh harga SOF yang kecil dan akan menjamin ketelitian yang merata pada seluruh jarring. Perhitungan ini sangat penting untuk menentukan susunan pada sistem triangulasi. SOF dapat disebut juga kekuatan jaring polygon. Menghitung SOF pada jaring poligon ICP Tugu Pahlawan dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan jaring kontrol area tersebut. Berikut merupakan penjabaran rumus menghitung SOF.

$$C = (n - S + 1) + (n - 2S + 3) \dots \dots \dots (4.1)$$

Dimana:

n' adalah total *number of lines observed in both direction*

S adalah *The total number of Station*

S' adalah *The total number of station occupied*

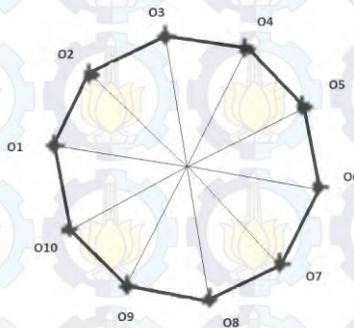
$$D = 2 \times (n - 1) + \text{number of lines observed}$$

$$SOF = \frac{D-C}{D} \cdot (\delta_a^2 + \delta_a \delta_b + \delta_b^2) \dots \dots \dots (4.2)$$

Dimana :

δ_a adalah Harga diferensial pada desimal keenam dari $\log \sin A$, dimana A adalah sudut yang berhadapan dengan sisi yang dihitung.

δ_b adalah Harga diferensial pada desimal keenam dari $\log \sin B$, dimana B adalah sudut yang berhadapan dengan sisi yang dihitung.



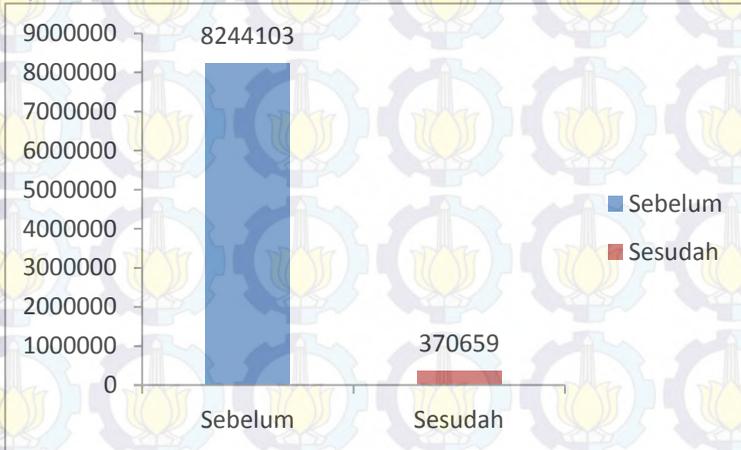
Gambar 4.12 Gambar Jaringan Kontrol Tugu Pahlawan

Dengan diketahui dari jaring poligon Tugu Pahlawan, nilai n adalah 20, sedangkan n' adalah 17, S dan S' sejumlah 10 maka dapat diketahui nilai C yaitu sebesar 11. Kemudian juga didapatkan nilai D yaitu sebesar 41. Nilai C dan D dapat dimasukkan kedalam rumus SOF dan dihasilkan 0,7317. Sehingga dengan nilai SOF Tugu Pahlawan sebesar 0,7317 yang bernilai dibawah 1 dapat dikatakan bahwa jaring poligon Tugu Pahlawan memiliki kekuatan yang baik.

4.2.5 Analisis *Filtering*

Point cloud yang dihasilkan proses registrasi berjumlah 8.244.103 titik. *Filtering* dilakukan untuk membuang titik yang

tidak digunakan. Proses ini dilakukan secara manual dengan 2 parameter, adalah titik bukan merupakan bagian dari objek penelitian kemudian *noise* yang tidak seharusnya terdapat pada objek.



Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Jumlah *Point Clouds* Sebelum dan Sesudah *Filtering*

Setelah dilakukan proses *filtering* secara manual, proses secara manual dilakukan dengan menghapus *noisy point* yang tidak diperlukan seperti *point clouds* tumbuhan maupun titik-titik yang bukan merupakan bagian dari Tugu Pahlawan. Jumlah titik pada *point cloud* ini mengalami pengurangan sebesar 95% menjadi 370.659 titik. Pengurangan jumlah titik sebesar ini akan meringankan proses pengolahan data selanjutnya.

4.2.6 Analisis Planimetrik

Pada bagian analisa ini digunakan perbandingan koordinat GCP dari hasil pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* terhadap Total Station. Dalam analisa koordinat menggunakan metode Uji Statistik. ICP yang dianggap benar adalah ICP TS sehingga ICP TLS mengacu pada hasil ICP TS.

Pada pengukuran menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* menghasilkan koordinat ICP TLS yang akan dianalisa terhadap ICP TS. Berikut merupakan ICP TLS.

Tabel 4.9 Data Koordinat Titik Kontrol pada Objek (ICP TLS)

Objek	<i>Northing</i> (m)	<i>Easting</i> (m)	<i>Elevation</i> (m)
O1	691857,049	9198750,83	47,7666
O2	691860,3736	9198749,43	39,88725
O3	691869,1442	9198710,126	73,1022
O4	691878,854	9199870,012	36,2787
O5	691885,2214	9198710,044	36,355
O6	691886,9574	9198719,862	36,2332
O7	691882,6006	9198720,134	36,1828
O8	691874,1136	9198689,953	36,3505
O9	691864,7162	9198690,172	36,38038
O10	691857,8703	9199870,125	36,2367

Sedangkan rentang kepercayaan yang didapat untuk masing-masing koordinat adalah sebagai berikut.

Tabel 4.10 Uji Statistik

	X (m)	Y (m)	Z (m)
c	0,168853716	0,284948384	0,124975686

Dari hasil rentang maka dapat menghasilkan rentang atas (μ_0+c) dan rentang bawah (μ_0-c). Kemudian hasil tersebut dapat didistribusikan pada koordinat TS. Hasil dari uji statistik tersebut diterangkan pada tabel 4.11 dibawah ini.

Tabel 4.11 Hasil Uji Statistik Rentang Kepercayaan pada X

Nama	Min. Interval (m)	Max. Interval (m)	TLS (m)
ICP1	691856,0624	691856,3716	691857,049
ICP2	691860,2374	691860,5466	691860,3736
ICP3	691868,9154	691869,2246	691869,1442
ICP4	691878,3574	691878,6666	691878,854
ICP5	691885,0434	691885,3526	691885,2214
ICP6	691886,8184	691887,1276	691886,9574
ICP7	691882,3904	691882,6996	691882,6006
ICP8	691873,9824	691874,2916	691874,1136
ICP9	691864,5084	691864,8176	691864,7162
ICP10	691857,6804	691857,9896	691857,8703

Pada tabel 4.11 dapat dilihat bahwa pada point ke-1 dan ke-4 berada diluar rentang interval kepercayaan. Dari sepuluh ICP, point X yang masuk pada interval kepercayaan berjumlah delapan atau sebesar 80%.

Tabel 4.12 Hasil Uji Statistik Rentang Kepercayaan pada Y

Nama	Min. Interval (m)	Max. Interval (m)	TLS (m)
ICP1	9198749,865	9198750,286	9198750,83
ICP2	9198749,737	9198750,158	9198749,43

Nama	Min. Interval (m)	Max. Interval (m)	TLS (m)
ICP3	9198709,853	9198710,274	9198710,126
ICP4	9199869,791	9199870,212	9199870,012
ICP5	9198709,812	9198710,233	9198710,044
ICP6	9198719,777	9198720,198	9198719,862
ICP7	9198719,852	9198720,273	9198720,134
ICP8	9198689,766	9198690,187	9198689,953
ICP9	9198689,805	9198690,226	9198690,172
ICP10	9199869,852	9199870,273	9199870,125

Pada tabel 4.12 dapat dilihat bahwa pada point ke-1 dan ke-2 berada diluar rentang interval kepercayaan. Dari sepuluh ICP, point Y yang masuk pada interval kepercayaan berjumlah delapan atau sebesar 80%.

Tabel 4.13 Hasil Uji Statistik Rentang Kepercayaan pada Z

Nama	Min. Interval (m)	Max. Interval (m)	TLS (m)
ICP1	48,07984789	48,31735211	47,7666
ICP2	39,82399789	40,06150211	39,88725
ICP3	73,62544789	73,86295211	73,1022
ICP4	36,18414789	36,42165211	36,2787
ICP5	36,17024789	36,40775211	36,355
ICP6	36,05884789	36,29635211	36,2332
ICP7	36,12004789	36,35755211	36,1828
ICP8	36,20834789	36,44585211	36,3505
ICP9	36,26494789	36,50245211	36,38038
ICP10	36,17094789	36,40845211	36,2367

Pada tabel 4.13 dapat dilihat bahwa pada point ke-1 dan ke-3 berada diluar rentang interval kepercayaan. Dari sepuluh ICP, point Z yang masuk pada interval kepercayaan berjumlah delapan atau sebesar 80%.

Pada tabel 4.11, 4.12 dan 4.13 analisa 10 koordinat *Independent Check Point* (ICP) yang diukur menggunakan TLS yang di bandingkan dengan TS. Sebagai parameter yang dianggap benar dengan menggunakan uji statistik dengan tingkat kepercayaan 90%, Berdasarkan tabel 4.11, 4.12 dan 4.13 di atas terlihat bahwa sebagian besar nilai koordinat ICP berada di dalam interval kepercayaan. Beberapa nilai yang berada di luar interval ditandai dengan warna merah. Pada sumbu X dan Y, terdapat 2 koordinat yang ditolak untuk kedua metode. Untuk sumbu Z hanya 2 koordinat TLS yang ditolak.

Tabel 4.14 Hasil Analisa ICP

Nama	ICP diterima	Persentase
TLS	24	80%

Secara keseluruhan, terdapat 24 koordinat TLS yang diterima atau sebesar 80%. Hal ini menandakan pengukuran TLS memiliki hasil yang baik, di mana memberikan hasil di atas 70%. Berdasarkan hasil analisa terlihat bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan pada metode ini.

Pada bagian analisa diameter digunakan perbandingan diameter atas maupun diameter bawah Tugu Pahlawan dari hasil pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* dan ETS. Hasil pengukuran diameter pada kedua alat tersebut kemudian dilakukan uji statistik terhadap nilai diameter menurut data arsip UPT Tugu Pahlawan dan Museum Sepuluh Nopember Surabaya. Diketahui diameter atas dan diameter bawah Tugu Pahlawan masing-masing sebesar 3,1 m dan 1,3 m. Berikut merupakan hasil uji statistik diameter Tugu Pahlawan Surabaya.

Tabel 4.15 Hasil Uji Statistik Diameter Tugu Pahlawan

Nama	Min. Interval (m)	Max. Interval (m)	TLS (m)	ETS (m)
Diameter Atas	3,0984	3,1015	3,10032	3,1014
Diamater Bawah	1,2961	1,3038	1,3026	1,30032

4.2.7 Analisis Ketinggian Bangunan

Pada bagian analisa ini digunakan perbandingan ketinggian dari hasil pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* terhadap TS. Hasil ketinggian Tugu Pahlawan pada *Total Station* didapatkan dari *tachymetry*. Hasil ketinggian *Terrestrial Laser Scanner* didapat dari perhitungan selisih elevasi pada 2 titik hasil TLS dan dibandingkan dengan hasil elevasi yang didapatkan oleh ETS metode *tachymetry*. Dengan selisih sebesar 0.003 meter.

Tabel 4.16 Ketinggian Tugu Pahlawan

H TLS (m)	H ETS (m)	H Data Museum (m)
41.144	41.147	41.148

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan ketinggian Tugu Pahlawan, dari pengukuran ETS didapatkan 41.147 meter, sedangkan hasil pemindaian TLS didapatkan 41.144 meter, sedangkan menurut data UPT Monumen Tugu pahlawan Surabaya memiliki ketinggian 45 yard atau setara dengan 41.148 meter.

Dalam analisa ketinggian menggunakan metode Uji Statistik. Ketinggian yang dianggap benar adalah data ketinggian Tugu Pahlawan dari data Arsip UPT Tugu Pahlawan dan Museum

Sepuluh Nopember Surabaya.

Berdasarkan tabel distribusi *t student*, dengan menggunakan tingkat kepercayaan 90% dan derajat kebebasan sebesar 2, didapatkan nilai $t = 3,08$.

Tabel 4.17 Hasil Uji Statistik Ketinggian Tugu Pahlawan

Nama	Min. Interval (m)	Max. Interval (m)	TLS (m)	ETS (m)
H TP	41,145	41,150	41,144	41,147

Berdasarkan tabel 4.12 di atas terlihat bahwa tinggi hasil pengukuran ETS berada di antara interval kepercayaan. Tinggi hasil pengukuran TLS berada di luar interval. Sehingga dari hasil uji statistik disimpulkan bahwa hasil pengukuran ketinggian menggunakan ETS diterima sedangkan hasil pengukuran ketinggian TLS tidak diterima.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

- a. Pada penelitian ini dapat diketahui bahwa pengukuran menggunakan jenis kualitas “*fast*” mengalami beberapa hambatan. Pada mode “*fast*” ini menghasilkan jarak grid yang kurang rapat yaitu 7,85cm untuk rentang berdiri alat per 50m, sehingga banyak spot yang kosong (*blank spot*) dalam pengukuran untuk jarak yang melebihi rentang tersebut.
- b. Analisa 10 koordinat *Independent Check Point* (ICP) yang diukur menggunakan TLS yang di bandingkan dengan TS, sebagai parameter yang dianggap benar dengan menggunakan uji statistik dengan tingkat kepercayaan 90%, hasil yang diperoleh bahwa dari total koordinat X,Y dan Z sejumlah 30 koordinat didapat 24 titik koordinat TLS masih berada di dalam rentang interval kepercayaan (*region of acceptance*) dan 6 titik diantaranya ditolak, karena berada di luar interval. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengukuran memenuhi toleransi dikarenakan hasil diatas 80% menurut uji statistik.
- c. Hasil ketinggian *Terrestrial Laser Scanner* didapat dari perhitungan selisih elevasi pada dua titik hasil TLS yang sebesar 41,144 m dan dibandingkan dengan hasil elevasi yang didapatkan oleh ETS sebesar 41,147 m metode pengikatan kemuka. Dengan dilakukan uji statistika menggunakan acuan tinggi menurut arsip data UPT Tugu Pahlawan Kota Surabaya yaitu 41,148 m, hasil yang diperoleh bahwa dari ketinggian Tugu Pahlawan hasil titik koordinat ETS masih berada di dalam rentang

interval kepercayaan (*region of acceptance*) sedangkan TLS masih berada diluar rentang, karena berada di luar interval yang berarti pengukuran ketinggian tidak diterima.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mendapatkan pengukuran *terrestrial laser scanner* yang lebih baik sebaiknya waktu pelaksanaan pengukuran dilakukan pada pagi hari dikarenakan pada waktu siang atau menjelang matahari terbenam terganggu oleh silau sinar matahari, untuk menghindari *blank spot* pada objek.
- b. Sebaiknya dilakukan pengukuran *terrestrial laser scanner* untuk objek yang memiliki tinggi maksimal 30m.
- c. Diperlukannya 3D modelling dalam penelitian selanjutnya untuk lebih memudahkan pemerintah dalam inventarisasi bangunan cagar budaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkan, R.H., dan Karsidag, G., (2012), *Analysis of The Accuracy of Terrestrial Laser Scanning Measurements*, FIG Working Week 2012 - Commission: 6 and 5 - *Knowing to Manage the Territory, Protect the Environment, Evaluate The Cultural Heritage Rome*, Italy, 6-10 May 2012, Editors: Prof. Rudolf Staiger & Prof. Volker Schwieger, TS07A - Laser Scanners I, 6097, 2012 (Conference Proceedings ISBN 97887-90907-98-3).
- Alrianingrum, S. (2010). Cagar Budaya Surabaya Kota Pahlawan sebagai Sumber Belajar (Studi Kasus Mahasiswa Pendidikan Sejarah Fakultas Ilmu Sosial di Universitas Negeri Surabaya). Tesis. UNESA. Surabaya.
- Badan Arsip dan Perpustakaan Kota Surabaya. 2007. Monumen - Monumen Bersejarah di Surabaya. <http://digital-library.surabaya.go.id/index.php?vf44wghj8j=ljsldfuoue687hjj>. Diakses pada tanggal 8 Juni 2015.
- Barber, D. Mills, J. (2007). *3D Laser Scanning for Heritage: Advice and Guidance to Users on Laser Scanning in Archeology and Architecture*. United Kingdom: English Heritage Publishing
- Barnes, A. (2012). *Penggunaan Metode Fotogrametri Rentang Dekat dan Laser Scanning dalam Pembuatan Dense Point cloud (Studi Kasus: Candi Cangkuang)*. Tugas Akhir. ITB. Bandung
- Basuki, S. (2006) : *Ilmu Ukur Tanah*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press
- Charles, E. (2004). *Parametric 3D Modeling in Building Construction with Examples from Precast Concrete, Automation in Construction*, 13 (2004) 291-312. Georgia Tech. School of Architecture
- Cyra, (2003a). *Cyra Technologies-3D Laser Scanning*.

<http://cyra.com> (visited 18 February 2015).

Cyra, (2003b). *Cyclone 4.0 and cyrax basic Training Course Sesion I, Cyra Tecnologies Inc., Europan Office, Rijswijk, The Netherlands.*

Firdaus, W. (2008). Sistem dan Aplikasi Laser Scanner, Studi Kasus Pengukuran Konstruksi Anjungan Minyak Lepas Pantai. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika. Institut Teknologi Bandung.

Jacobs, G. (2005) : *High Definiton Surveying: 3D Laser Scanning Use in Building and Architectural.* Professional Surveyor Magazine.

Hakim, Abdul. (2013). Jelajah Bangunan Bersejarah di Surabaya.

<http://www.antarajatim.com/lihat/berita/120908/jelajah-bangunan-bersejarah-di-surabaya>. Diakses pada tanggal 18 Februari 2015.

Handayani, H.H., Yuwono, Taufik.M., 2015, Preliminary Study of Bridge Deformation Monitoring Using GPS and CRP (Case Study: Suramadu Bridge), *Procedia Environmental Sciences* Vol.24 pp.266-276, Elsevier.

Kersten, T., Sternberg, H. and Mechelke, K., (2009). *Geometrical Building Inspection by Terrestrial Laser Scanning*, FIG Working Week, Surveyors Key Role in Accelerated Development, Eilat, Israel, May 3-8.

Leitch, Kenneth. (2002). *Close range Photogrammetric Measurement of Bridge Deformation.* Disertasi New Mexico State University. Meksiko

L. Linsen. *Point Cloud Representation.* Technical report, Faculty of Computer Science, University of Karlsruhe, 2001.

Litchi, et al. – (2004). *Measurement Of Structural Deformation Using Terrestrial Laser Scanners.* 1st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering Nottingham, United Kingdom, 28 June – 1 July 2004

- Lichti, D. & S.J. Gordon. (2004). *Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point clouds for Cultural Heritage Recording*. In Proc. Of FIG Working Week – The Olympic Surveying Spirit. Athens, Greece. 22-27 May 2004.
- Lichti, D., Gordon, S., and Stewart, M., 2002, *Ground-based laser scanners: Operation, systems and applications*. Geomatica, Vol. 56, No. 1, pp. 21–33.
- 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
- Mikhail, Edward M., and Gracie, Gordon. 1981. *Analysis and Adjustment of Survey Measurements*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Mulia, D., Handayani H.H., 2014, Studi Fotogrametri Jarak Dekat dalam Pemodelan 3D dan Analisis Volume Objek, Jurnal Geoid Vol.10 No.1 hal.32-39.
- Pflipsen. (2006) : *Laser Scanning Principle and Applications*. Institute of Fotogrammetry and Remote Sensing. Vienna University of Technology.
- Pinarci, E., (2007): *Applying Two Dimensional Kalman Filtering to Terrestrial Laser Scanner Data*, Licentiate thesis in Gebze Institute of Technology, Institute of Science and Engineering, Department of Geodetic and Photogrammetric Engineering, Gebze, İstanbul, Turkey.
- Quintero, M. S., Genechten, B. V., Bruyne, M. D., Ronald, P., Hankar, M., Barnes, S. (2008). *Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning*. The Learning Tools for Advanced Three-dimensional Surveying in Risk Awareness Project (3D Risk Mapping).
- Riawan, R. (2013). Pemodelan 3D Monumen Bandung Lautan Api menggunakan *Terrestrial Laser Scanner*. Tugas Akhir. ITB. Bandung

Schulz, T. 2007. Calibration of a Terrestrial Laser Scanner for Engineering Geodesy. Technical University of Berlin. Thesis Doctoral of Science.

Trimble Navigation Limited. 2015. TRIMBLE TX-5. http://www.trimble.com/3d-laser-scanning/tx5.aspx?tab=Technical_Specs. Diakses pada tanggal 8 Juni 2015.

Wolberg, George. 1994. *Digital Image Warping*. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA.

Wolf, Paul R. & Charles DG. (1997). *Adjustment Computation Statistic and Least Squares in Surveying and GIS*. John Willey & Sons, Inc. New York. ISBN 0-471-16833-5.

Wolf, P. R. & Ghilani, C, D. (2001) : *Elementary Surveying - An Introduction Geomatics*. Prentice-Hall. Upper Saddle River, New Jersey

Wolf, P. R. & Bon A. Dewitt. (2004). *Elements of Photogrammetry with Application in GIS (3rd International Edition)*. McGraw-Hill Press, Melbourne. ISBN 10: 0-071-23689-9.

LAMPIRAN LAMPIRAN 1

Lampiran Dokumentasi Pengambilan Data



LAMPIRAN 2

Lampiran Pengukuran GPS



Name	Ground Northing (m)	Ground Easting (m)	Elevation (m)
T0	9198629.838	691820.642	33.331
T2	9198701.447	691836.242	34.104

Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
T0-T2	71.608	15.600	0.773	0.005	0.009

LAMPIRAN 3

Lampiran Sampel Data Point Clouds TLS Format ASCII

<i>No</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>Scalar field</i>	<i>R</i>	<i>G</i>	<i>B</i>
1	18.9949	18.1537	-1.9439	125	113	113	127
2	19.2939	13.9997	-1.9519	243	115	222	242
3	15.7589	16.3876	-1.9339	207	122	195	209
4	17.0119	15.1896	-1.9349	254	87	251	255
5	15.9219	15.8146	-1.9009	86	57	87	96
6	19.3179	20.8437	-1.9349	49	90	52	53
7	17.2779	21.8787	-1.9549	255	100	235	255
8	8.7539	23.6646	-1.2359	255	173	219	248
9	17.9579	18.1996	-1.9369	164	124	164	171
10	9.1509	20.3596	-2.1489	52	244	59	63
11	14.8579	13.6966	-1.9209	118	98	127	128
12	18.7349	12.2577	-1.9579	255	138	253	255
13	19.0489	23.0126	-2.0109	254	92	253	255
14	17.7479	15.0126	-1.9389	244	118	221	242
15	18.8319	18.8836	-1.9479	126	137	112	129
16	9.2729	16.2887	-1.9499	122	170	117	133
17	15.8249	12.2396	-1.9239	112	57	131	137
18	9.4119	18.1576	-1.9389	108	255	116	123
19	17.6419	12.4236	-1.9519	252	156	228	252
20	10.1149	11.6397	-0.9319	255	197	255	254
21	18.6319	14.9057	-1.9569	240	129	219	239
22	9.5099	22.9097	-2.0809	152	148	159	181
23	15.4229	11.0967	-2.1469	125	131	118	126
24	19.0629	23.1926	-2.0699	236	96	255	255
25	14.3299	22.8967	-1.8989	255	68	238	255
26	9.2919	18.9806	-2.0999	75	181	77	85
27	17.0629	12.0296	-1.9469	112	116	114	118
28	15.4509	12.8476	-1.9369	137	86	127	134

29	9.4299	19.1686	-2.1569	57	255	67	69
30	9.1549	19.7236	-2.2149	36	157	39	40
31	19.3819	19.3316	-1.6429	70	58	69	80
364090	17.7209	5.2337	1.4411	213	106	143	189
364091	17.7899	5.3946	1.3341	118	153	107	132
364092	17.7799	5.2256	1.4501	71	125	81	83
364093	17.8179	5.1786	1.4181	45	14	36	47
364094	17.7989	5.1716	1.3611	51	99	49	39
364095	17.7019	5.2267	1.3841	141	104	78	104
364096	17.8539	5.1986	1.3251	71	128	59	73
364097	17.7269	5.2986	1.4431	255	113	250	255
364098	17.7739	5.1967	1.4051	79	101	56	77
364099	17.7879	5.3556	1.4841	168	104	193	197
364100	17.7409	5.2106	1.4431	87	100	71	78
364101	17.6829	5.2807	1.3561	88	175	59	60
364102	17.8419	5.2007	1.4481	63	163	84	71
364103	17.7349	5.3007	1.4731	255	114	255	254
364104	17.7839	5.2287	1.5121	64	223	72	76
364105	17.7579	5.2176	1.4711	86	117	69	75
364106	17.6739	5.2776	1.3261	251	119	231	236
364107	17.7229	5.3286	1.4451	255	121	198	248
364108	17.8539	5.2407	1.4001	93	194	79	91
364109	17.7459	5.2436	1.5001	96	108	70	87
364110	17.8749	5.2306	1.3621	64	182	56	67
364111	17.6739	5.3087	1.3561	213	125	198	194
364129	18.0129	5.1047	1.3841	109	244	113	122
364130	17.6859	5.3127	1.3851	255	104	184	242
364131	17.6919	5.2537	1.3841	255	193	251	253
364132	17.8089	5.2056	1.4761	58	122	45	59
364135	17.7079	5.2297	1.4131	225	135	146	193
364136	17.7209	5.2027	1.3851	161	115	104	141

BIOGRAFI PENULIS



Firdiansyah Eka Rachmawan dilahirkan di Sidoarjo, 7 April 1993. Penulis merupakan putra pertama dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Islam Bakti Sidoarjo, SDN 2 Sidokare Sidoarjo, SMPN 1 Sidoarjo, dan SMAN 3 Sidoarjo. Setelah lulus dari SMAN 3 Sidoarjo, penulis melanjutkan kuliah S-1 dan diterima di Program Studi Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) tahun 2011 dan terdaftar sebagai mahasiswa ITS dengan NRP 3511100011.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan Himpunan Mahasiswa Geomatika (HIMAGE) serta seminar yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Geomatika ITS. Penulis pernah menjabat sebagai Staf Geomatics Islamic Study HIMAGE periode 2012-2013. Penulis memilih bidang keahlian fotogrametri untuk menyelesaikan studi Tugas Akhir dengan judul “Visualisasi 3D Bangunan Cagar Budaya (*Cultural Heritage*) Menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* (Studi Kasus : Tugu Pahlawan, Surabaya, Jawa Timur)”.

Ketertarikan penulis tidak hanya pada bidang akademis dan keorganisasian, penulis juga gemar membaca dan melakukan kegiatan sosial. Penulis dapat dihubungi melalui pesan elektronik di firdiansyaheka@gmail.com.