

ANALISIS PERBANDINGAN KETELITIAN METODE REGISTRASI ANTARA METODE KOMBINASI DAN METODE TRAVERSE DENGAN MENGGUNAKAN *TERRESTRIAL LASER SCANNER* DALAM PEMODELAN OBJEK 3 DIMENSI

Alfred B S Simbolon, Bambang Darmo Yuwono, Fauzi Janu Amarrohman^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
 Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
 Email : simbolon.alfred21@yahoo.com

ABSTRAK

Pemodelan adalah suatu kegiatan untuk membentuk suatu objek dengan skala yang lebih kecil yang direpresentasikan dalam bentuk tiga dimensi. Perkembangan teknologi di bidang survei khususnya bidang pemodelan saat ini sudah berkembang dengan sangat pesat. Kehadiran *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) memberikan solusi dalam pemodelan suatu objek. TLS biasanya digunakan untuk memodelkan suatu objek dengan bentuk yang rumit dan memerlukan ketelitian yang tinggi. Untuk membuat model tiga dimensi, perlu dilakukan penggabungan data dari beberapa hasil penyiaran, yang biasa disebut dengan registrasi.

Dalam penelitian ini, pemodelan salah satu ikon Kota Semarang yaitu Tugu Muda dilakukan dengan menggunakan menggunakan metode *Terrestrial Laser Scanner*. Proses akuisisi data dilakukan dengan menggunakan metode kombinasi dan metode *traverse* untuk registrasi yang kemudian dilakukan perbandingan terhadap hasil ketelitian metode-metode tersebut. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan GPS Geodetik untuk mengetahui koordinat yang dijadikan sebagai referensi dalam pembuatan jaring poligon dalam metode *traverse*. Penulis menggunakan TLS Topcon GLS-2000 sebagai alat untuk melakukan pemindaian objek. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software Scan Master* untuk registrasi metode *Traverse*, *Maptek I-Site Studio* untuk metode kombinasi, dan *Autodesk Remake* untuk pemodelan. *Model scan* hasil registrasi kemudian dibandingkan jaraknya terhadap objek aslinya dengan menggunakan *Total Station*.

Hasil akhir dari penelitian ini adalah berupa model 3 dimensi Tugu Muda dalam bentuk *point cloud* yang kemudian dimodelkan menjadi objek yang solid. Besar RMS registrasi dari masing-masing metode adalah 0,037 m untuk metode kombinasi dan 0,076 untuk metode *traverse*. Sedangkan besar RMS dari hasil perbandingan jarak dengan *Total Station* adalah sebesar $\pm 0,0051827$ m untuk metode kombinasi dan sebesar $\pm 0,0052574$ m untuk metode *traverse*.

Kata Kunci : Metode Kombinasi, Metode *Traverse*, Pemodelan 3D, *Terrestrial Laser Scanner*, Tugu Muda

ABSTRACT

Modeling is an activity to form an object with a smaller scale which is represented in 3 dimensional form. Technological developments of surveying, especially the part of modeling is now growing very rapidly. The presence of Terrestrial Laser Scanner (TLS) provides a solution in modeling an object. TLS is usually used to model an object with a complex shape and requires high accuracy. To create a 3D model, it is necessary to combine data from some resident results, commonly called registration.

In this research, modeling one of Semarang City's icon Tugu Muda is done by using Terrestrial Laser Scanner method. Data acquisition process is done by using combination method and traverse method for registration which then done comparison to result of accuracy of those methods. In this study, the authors use GPS Geodetic to know the coordinates that serve as a reference in the manufacture of polygon nets in the traverse method. The author uses TLS Topcon GLS-2000 as a tool for performing object scans. Data processing is done by using Scan Master software for registration of Traverse method, Maptek I-Site Studio for combination method, and Autodesk Remake for modeling. Model scan of the results of the registration then compared the distance to the original object by using Total Station.

The final result of this research is a 3 dimensional model of Tugu Muda in the form of point cloud which is then modeled into a solid object. The amount of RMS registration of each method is 0.037 m for the combination method and 0.076 for the traverse method. While the magnitude of RMS from distance comparison with Total Station is $\pm 0,0051827$ m for combination method and $\pm 0,0052574$ m for traverse method.

Keywords: *Terrestrial Laser Scanner, Combination Registration Method, Traverse Registrastion Method, 3D Modelling, Tugu Muda*

^{*)}Penulis, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Pemodelan adalah suatu kegiatan untuk membentuk suatu objek dengan skala yang lebih kecil yang direpresentasikan dalam bentuk 2D atau 3D. Perkembangan teknologi di bidang survei dan pemetaan atau pemodelan saat ini sudah sangat pesat. Begitu juga halnya dengan aspek keilmuan khususnya dalam pelaksanaan survei kegeodesian. Orang-orang geodesi kini beralih dari pengukuran yang dilakukan secara manual dengan alat-alat ukur yang sederhana ke pengukuran yang serba cepat, tepat, instan, dan canggih. Salah satu alat yang sudah cukup canggih pada saat ini adalah *Terrestrial Laser Scanner* (TLS).

Terrestrial Laser Scanner adalah suatu metode pengukuran yang menyajikan hasil olahan data berupa visualisasi dari suatu objek dalam model tiga dimensi dengan proses akuisisi data yang efektif, cepat, efisien, akurat, aktual dan *realtime*. *Terrestrial Laser Scanner* menggunakan prinsip pemancaran gelombang elektromagnetik ke suatu objek yang kemudian akan dipantulkan oleh objek tersebut dan ditangkap kembali oleh alat. *Terrestrial Laser Scanner* mampu merekam sudut horizontal, sudut vertikal, dan jarak antara objek dengan alat yang kemudian ditransformasikan kedalam koordinat kartesian 3 dimensi.

Hasil perekaman *Terrestrial Laser Scanner* adalah berupa jutaan *pointclouds* (titik awan) yang sudah memiliki koordinat, dimana dalam keadaan *default* data koordinat yang disajikan merupakan koordinat lokal. Kelebihan lain dari *Terrestrial Laser Scanner* selain daripada tingkat kedetailan dan ketelitian yang sangat tinggi adalah *Terrestrial Laser Scanner* menggunakan prinsip penginderaan jauh sehingga proses akuisisi data dapat dilakukan dari jarak jauh dan tanpa bersentuhan langsung dengan objek.

Dalam penelitian ini, Monumen Tugu Muda yang berkawasan di Kota Semarang dijadikan sebagai objek penelitian. Objek ini dipilih karena Tugu Muda merupakan salah satu ikon Kota Semarang yang memiliki nilai sejarah yang tinggi. Hasil pemodelan dengan *Terrestrial Laser Scanner* ini antinya dapat dijadikan sebagai arsip *digital* Pemerintah Kota Semarang. Dengan adanya arsip *digital* ini, proses konservasi atau pemugaran pada Tugu Muda akan lebih mudah, lebih terawasi, dan lebih teliti karena sudah memiliki arsip *digital* dalam bentuk tiga dimensi.

Pada penelitian ini, penulis ingin mengkaji lebih lanjut mengenai perbandingan ketelitian antara dua metode registrasi yaitu metode kombinasi dan metode *traverse*. Penulis menggunakan kedua metode registrasi ini sebagai bahan kajian penelitian karena pada penelitian-penelitian sebelumnya kedua metode ini belum pernah dibandingkan ketelitiannya. Sehingga dapat dikatakan bahwa penelitian ini masih bersifat baru. Penulis menggunakan metode kombinasi dan metode *traverse* karena kedua metode ini berbeda secara teknis dalam pengambilan data. Metode

kombinasi dapat dikatakan sebagai metode *free scan* karena tidak memerlukan titik ikat atau *backsight* seperti yang dilakukan pada metode *traverse* atau yang sering disebut dengan metode *backsight*.

I.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang masalah tersebut, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik metode kombinasi dan metode *traverse* ditinjau dari tingkat ketelitian model serta kemudahan proses akuisisi data dalam pemodelan 3D?
2. Bagaimana analisis ketelitian data antara metode kombinasi dan metode *traverse* berdasarkan hasil validasi lapangan dengan data pengukuran menggunakan alat *Electronic Total Station* (ETS)?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Berikut adalah tujuan dan manfaat dari penelitian ini.

I.3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menerapkan metode pengukuran dan mengetahui keefektifan hasil pengukuran dengan menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dalam pemodelan 3D.
2. Mengetahui karakteristik metode kombinasi dan metode *traverse* apabila ditinjau dari tingkat ketelitian data serta kemudahan dalam proses akuisisi data

I.3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Aspek Keilmuan
Memberikan kontribusi bagi keilmuan geodesi di bidang terestris, khususnya dalam hal pemodelan tiga dimensi menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner* (TLS).
2. Aspek Rekayasa
Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi bagi pengguna alat *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dalam melakukan survei atau pengukuran dengan metode registrasi kombinasi dan metode *traverse*.
3. Aspek Kebudayaan
Hasil pemodelan dari penelitian ini dapat dijadikan sebagai pendukung untuk melengkapi arsip-arsip yang sudah ada. Selain itu, hasil dari pemodelan ini juga dapat digunakan sebagai referensi untuk melakukan konservasi dan pelestarian bangunan cagar budaya.

I.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan di Kawasan Monumen Tugu Muda, Semarang, Jawa Tengah, dengan objek penelitian Monumen Tugu Muda, tepatnya pada koordinat 06°59'3,67" LS dan 110°24'33,50" BT.

2. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Topcon GLS-2000 *Laser Scanner* dan *Electronic Total Station (ETS)*.
3. Data yang digunakan adalah data primer yang diperoleh dari hasil pengukuran langsung berupa data *point clouds* menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner (TLS)* dan data hasil validasi lapangan menggunakan *Electronic Total Station (ETS)*.
4. Metode registrasi yang digunakan adalah metode kombinasi dan metode *traverse*.
5. *Software* yang digunakan dalam pengolahan data hasil pengukuran adalah *Scan Master* dan *Maptek I-Site* untuk proses registrasi, Autodesk Remake 2017 untuk pemodelan, dan SPSS untuk uji statistik.
6. Hasil pengolahan data dari penelitian ini adalah berupa bentuk model 3D (kuantitatif) dan hasil analisis ketelitian antar metode (kualitatif).

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Cagar Budaya

Berdasarkan UU No.11 tahun 2010 tentang Cagar Budaya, cagar budaya adalah warisan budaya bersifat kebendaan berupa Benda Cagar Budaya, Bangunan Cagar Budaya, Struktur Cagar Budaya, Situs Cagar Budaya dan Kawasan Cagar Budaya di darat dan/atau di air yang perlu dilestarikan keberadaannya karena memiliki nilai penting bagi sejarah, ilmu pengetahuan, pendidikan, agama, dan/atau kebudayaan melalui proses penetapan.

Berdasarkan definisi di atas, maka Tugu Muda digolongkan kepada Benda Cagar Budaya. Pada umumnya, setiap benda memiliki masa atau usia masing-masing. Usia benda tersebut bisa tergantung pada faktor-faktor seperti bahan material bendanya, faktor mekanis, dan faktor kimiawi. Faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada benda.

Kerusakan benda adalah suatu proses perubahan bentuk yang terjadi pada suatu benda dimana jenis dan sifat fisik maupun sifat kimiawinya ikut berubah. Sedangkan pelapukan adalah proses penguraian dan/atau perubahan pada material penyusun benda tersebut, dari bahan material asli ke bahan lain yang disebabkan oleh adanya reaksi fisik dan/atau reaksi kimia pada bahan atau material penyusun benda tersebut. Ada beberapa jenis kerusakan benda, yaitu kerusakan fisik, pelapukan kimia, pelapukan organik, dan kerusakan mekanis.

II.2 Konservasi

Menurut Adishakti (2007) istilah konservasi yang biasa digunakan para arsitek mengacu pada Piagam dari *International Council of Monuments and Site (ICOMOS)* tahun 1981, yaitu *Charter for the Conservation of Places of Cultural Significance, Burra, Australia*, yang lebih dikenal dengan *Burra Charter*. Disini dinyatakan bahwa konsep konservasi adalah semua kegiatan pelestarian sesuai dengan kesepakatan yang telah dirumuskan dalam piagam

tersebut. Konservasi adalah konsep proses pengelolaan suatu tempat atau ruang atau obyek agar makna kultural yang terkandung di dalamnya terpelihara dengan baik. Kegiatan konservasi meliputi seluruh kegiatan pemeliharaan yang berkelanjutan sesuai dengan kondisi dan situasi lokal maupun upaya pengembangan untuk pemanfaatan lebih lanjut.

Konservasi dapat dilakukan melalui beberapa tindakan seperti restorasi, preservasi, konsolidasi, replikasi, rehabilitasi, revitalisasi, dan pemugaran. Aktivitas tersebut tergantung dengan kondisi, persoalan dan kemungkinan yang dapat dikembangkan dalam upaya pemeliharaan lebih lanjut. Suatu program konservasi diharapkan tidak hanya sebatas mempertahankan keasliannya dan perawatannya, namun juga tetap mampu mendatangkan nilai ekonomi sehingga bermanfaat bagi kemajuan masyarakat dan daerah tersebut.

II.3 Tugu Muda

II.3.1 Sejarah Berdirinya Tugu Muda

Tugu Muda adalah sebuah monumen yang dibuat untuk mengenang jasa-jasa para pahlawan yang telah gugur dalam Pertempuran Lima Hari di Semarang. Tugu Muda ini menggambarkan tentang semangat berjuang dan patriotisme warga Semarang, khususnya para pemuda yang gigih, rela berkorban dengan semangat yang tinggi mempertahankan Kemerdekaan Indonesia.

Pertempuran ini adalah perlawanan terhebat rakyat Indonesia terhadap Jepang pada masa transisi. Lawangsewu menjadi saksi bisu perjuangan anak-anak muda Semarang yang dimulai pada 15 Oktober 1945, hingga kemudian berakhir 20 Oktober 1945.

Bangunan yang berada disekitar Tugu Muda adalah Lawang Sewu, Gedung Pandanaran, Rumah Dinas Gubernur Jawa Tengah, Museum Mandala Bhakti dan Gereja Katedral Semarang. Tugu Muda berada di sebuah bundaran bertemunya jalan-jalan besar di Semarang, yaitu Jalan Pemuda, Jalan Pandanaran, Jalan Imam Bonjol, dan Jalan MGR. Soegijapranata (lebih sering disebut Jalan Siliwangi). Dan sebuah jalan kecil yang berada di sebelah Pasar Bulu, yaitu Jalan HOS. Cokroaminoto. (Merdeka, 2013)

II.3.2 Gambaran Umum Lokasi Tugu Muda

Tugu Muda yang merupakan salah satu ikon dari Kota Semarang ini berada pada koordinat 06°59'3,67" LS dan 110°24'33,50" BT. Tugu Muda Semarang terletak di tengah persimpangan Jalan Pandanaran, Jalan Mgr Soegijapranata, Jalan Imam Bonjol, Jalan Pemuda dan Jalan Dr. Sutomo. Sebelah Utara tugu ini terdapat Gedung Pandanaran yang kini menjadi perkantoran Pemerintah Kota (Pemkot) Semarang. Di sebelah Timur terdapat Lawangsewu, di sebelah selatan berhadapan dengan Museum Mandala Bhakti, dan sebelah barat terdapat Wisma Perdamaian yang merupakan rumah dinas gubernur Jawa Tengah.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

II.4 Pemodelan 3 Dimensi

Pemodelan adalah proses membuat bentuk suatu objek dalam skala yang lebih kecil dengan memperhatikan kemiripan dengan bentuk aslinya. Pemodelan 3 dimensi adalah kegiatan membuat model sebagaimana seperti yang ada di lapangan dimana model yang dibuat tersebut sudah memiliki nilai koordinat X,Y dan Z pada ruang koordinat kartesian. Model 3 dimensi adalah produk dari proses pemodelan 3 dimensi itu sendiri. Model 3 dimensi adalah bentuk digital dari suatu objek yang nyata. Kemiripan antara model dan objek aslinya biasanya tergantung pada proses pengambilan datanya.

Komponen penyusun model 3 dimensi adalah *point cloud*. Bahkan bisa dibilang *point cloud* adalah data paling utama yang dibutuhkan dalam pemodelan 3 dimensi. *Point cloud* adalah sekelompok hasil pengukuran diskrit dalam sistem koordinat tiga dimensi dalam sistem koordinat kartesian (Jananuragadi, 2010). *Point cloud* dapat dihasilkan dari pengukuran dengan menggunakan *Terrestrial Laser Scanner*. Dalam satu kali pekerjaan alat ini dapat menghasilkan ribuan bahkan jutaan *point cloud* tergantung pada besar objek yang dipindai dan tingkat kerapatan antar *point cloud* yang diinginkan.

II.5 Terrestrial Laser Scanner

Terrestrial Laser Scanner (TLS) merupakan suatu teknologi pemetaan yang memanfaatkan pengaplikasian sinar laser untuk mengukur koordinat tiga dimensi suatu kenampakan objek secara otomatis dan real time dengan memanfaatkan sensor aktif. Hasil dari akuisisi data ini adalah berupa *point cloud* yang diperoleh melalui proses penyiaman. *Point cloud* adalah kumpulan titik-titik tiga dimensi yang memiliki koordinat (X, Y, Z) dalam suatu sistem koordinat yang sama.

Apabila dibandingkan dengan alat ukur lainnya, TLS memiliki banyak kelebihan terlebih di bidang pemodelan 3 dimensi. Kelebihan pengukuran menggunakan TLS adalah sebagai berikut.

1. Proses akuisisi data dilakukan secara langsung, cepat dan memiliki akurasi yang tinggi.
2. Tidak membutuhkan cahaya untuk akuisisi data karena TLS memanfaatkan sinar laser dalam pemindaian objek.

3. Data yang diperoleh cukup lengkap karena proses akuisisi data tidak hanya memindai objek saja melainkan objek lain disekitar objek utama juga ikut terekam.
4. Memungkinkan pelaksanaan survei di tempat yang tidak dapat dijangkau oleh alat survei konvensional.
5. Biaya yang dibutuhkan relatif lebih murah karena proses akuisisi data dapat dilakukan oleh satu orang saja.

Dalam suatu pengukuran, tidak ada hasil yang menyatakan bahwa itu adalah yang benar, melainkan mendekati benar. Itulah yang disebut dengan kesalahan pada pengukuran. Sama halnya dengan pengukuran TLS ini yang notabene nya adalah alat survei yang super canggih untuk keperluan terrestrial pada era ini. Perusahaan-perusahaan pembuat alat - *laser scanner* membuat data tentang akurasi dari alat yang mereka produksi. Sementara akurasi untuk setiap alat tentu tidak sama. Untuk mendapatkan data akurasi yang paling akurat dari suatu alat TLS, maka harus dilakukan kalibrasi terhadap alat itu sendiri. Menurut Quintero (2008), banyak faktor-faktor yang mengakibatkan terjadinya kesalahan pada suatu pengukuran dengan menggunakan TLS, yaitu kesalahan pada alat, kesalahan pada objek, kesalahan lingkungan, dan kesalahan pada metodologi pengukuran.

II.6 Terrestrial Laser Scanner Topcon GLS-2000

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Terrestrial Laser Scanner* TOPCON GLS-2000. TOPCON GLS-2000 adalah salah satu produk termutakhir dari perusahaan pembuat alat-alat survey TOPCON. TOPCON GLS-2000 memiliki 3 jenis yang dibedakan atas penggunaannya, yaitu GLS-2000S untuk survei jarak pendek, GLS-2000M untuk survei jarak menengah, GLS-2000L untuk jarak jauh. Setiap jenis alat memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing tergantung kondisi lapangan yang disurvei. Dalam penelitian ini, jenis TLS yang digunakan adalah TOPCON GLS-2000S.

II.7 Registrasi

Proses pengukuran dalam pemodelan 3D menggunakan TLS tidak mungkin dilakukan hanya dari satu kali berdiri alat saja. Akuisisi data perlu dilakukan dari beberapa kali berdiri alat. Data hasil penyiaman dari setiap berdiri alat disebut dengan *scan world*. Semakin banyak jumlah *scan world*, maka akan semakin baik pula hasil pemodelan yang didapatkan. Untuk menggabungkan data *scan world* tersebut dibutuhkan proses registrasi.

Registrasi adalah suatu proses transformasi dari *point cloud* yang dihasilkan dari beberapa *scan world* sehingga berada dalam satu sistem koordinat yang sama (Wibowo, 2015). Seperti halnya kegiatan foto udara, untuk mendapatkan hasil tiga dimensi diperlukan *overlap* pada proses penyiaman dari lokasi pengambilan data yang bersebelahan. Menurut

Reddington (2005), registrasi dapat dibedakan menjadi 3 metode yaitu metode *Cloud to cloud*, *Target to Target*, Kombinasi, dan *Traverse*.

II.7.1 Metode Cloud To Cloud

Prinsip dasar dari metode ini adalah menggabungkan *points cloud* yang sama dari beberapa data hasil *scan world*. Metode registrasi menggunakan teknik *Iterative Closed Point* (ICP) untuk menyelaraskan data dari dua *scan world* yang bersebelahan. Teknik ini mengharuskan operator untuk memilih setidaknya 3 titik yang bersesuaian pada data *point cloud*. Dengan memilih 3 titik yang kira-kira bersesuaian, sistem algoritma ICP secara iteratif akan memeriksa jarak dari semua *point cloud* dan memperkirakan transformasi untuk menyelaraskan kedua *scan world* sehingga menghasilkan koreksi seminimal mungkin (Quintero, 2008). Dalam melakukan pengukuran dengan menggunakan metode ini, terdapat satu syarat yang harus dipenuhi untuk mendapatkan hasil registrasi yang baik, *scan world* dari masing-masing posisi harus memiliki pertampalan sebesar 30-40%.

II.7.2 Metode Target To Target

Prinsip dasar dari metode registrasi ini adalah menggunakan titik ikat berupa target yang dipasang disekitar obyek yang akan direkam (Isnuardani, 2012). Penyebaran target harus dilakukan secara merata pada area sekitar obyek yang akan direkam. Setelah target disebar merata, kemudian dilakukan identifikasi target pada masing masing target tersebut. Penyebaran target yang merata akan menghasilkan kualitas registrasi yang baik, karena pada dasarnya metode *target to target* membutuhkan minimal tiga target terdistribusi pada tiga titik yang tidak terletak pada satu garis untuk mendeterminasi enam parameter transformasi. Enam parameter transformasi tersebut adalah 3 rotasi (ω , ϕ , κ) dan 3 translasi (T_x , T_y , dan T_z) (Vergianto, 2015).

II.7.3 Metode Kombinasi

Metode ini adalah penggabungan antara registrasi dengan metode *cloud to cloud* dan metode *target to target* dalam satu pekerjaan. Dalam metode ini, proses akuisisi data dilakukan dengan menggunakan target yang cukup sehingga terlihat dari posisi setiap kali berdiri alat. Secara umum, proses akuisisi data metode kombinasi dengan metode *target to target* hampir sama persis. Yang membedakan adalah proses registrasi atau penggabungan data *scan world* (data penyiaman dari setiap berdiri alat).

II.7.4 Metode Traverse

Metode Traverse menggunakan prinsip metode poligon tertutup dimana nilai koordinat awal sama dengan koordinat akhir. Metode ini membutuhkan dua acuan dalam satu kali berdiri alat, yakni tempat berdiri alat dan *backsight*, atau tempat berdiri alat dengan *foresight*. Keuntungan dari metode ini adalah koordinat yang dimiliki oleh tiap *point cloud* adalah

bukan lagi koordinat lokal, melainkan koordinat lapangan karena sudah memiliki acuan sebelum melakukan penyiaman. Berikut adalah konsep pengukuran TLS dengan metode *traverse*.

II.7.5 Total Station

Total Station adalah suatu alat yang merupakan kombinasi *theodolit* elektronik, *Electronic Distance Meter*, dan perangkat lunak yang berfungsi sebagai pengumpul dan pemroses data. Data yang diperoleh dari pengukuran menggunakan *Total Station* adalah data berupa sudut dan jarak. Kemudian dengan menggunakan persamaan trigonometri, diperoleh nilai koordinat suatu titik.

Pada dasarnya prinsip pengukuran sudut dengan menggunakan *theodolit* hampir sama dengan *Total Station*, yaitu dengan menggunakan salah satu titik sebagai referensi (*backsight*) kemudian mengukur titik lain (*foresight*) untuk dicari sudut ukurannya. Dari sudut ukuran ini nantinya akan digunakan untuk mencari azimuth. Dalam *Total Station*, pengukuran jarak dilakukan dengan memanfaatkan sistem *Electronic Distance Meter* (EDM). Untuk mendapatkan data jarak suatu titik, *Total Station* memancarkan suatu gelombang, kemudian objek tersebut akan memantulkan gelombang tersebut dan diterima kembali oleh alat. Kemudian perangkat lunak di dalam alat akan menghitung secara otomatis jarak dari tempat berdiri alat dengan titik yang diukur.

II.8 Penentuan Posisi Dengan Menggunakan GPS

GPS (*Global Positioning System*) adalah sebuah sistem yang dapat digunakan untuk menentukan posisi dan navigasi secara global dengan menggunakan satelit. Sistem ini awalnya dikembangkan oleh Badan Pertahanan Amerika Serikat untuk kepentingan militer dan akhirnya pemanfaatannya dikembangkan untuk kepentingan survei dan pemetaan.

Secara garis besar, metode penentuan posisi dibagi menjadi 2 yaitu metode diferensial dan metode relatif.

1. Metode Diferensial

Metode diferensial disebut juga dengan metode *point positioning*. Penentuan posisi dengan metode ini dilakukan dengan menggunakan satu *receiver* saja. Oleh sebab itu, metode ini biasanya memiliki akurasi yang tidak terlalu baik yaitu sekitar 5-10 meter. Penentuan posisi biasanya dilakukan dengan menggunakan referensi WGS 1984. Penentuan posisi suatu titik bisa dilakukan dalam keadaan diam (statis) ataupun bergerak (kinematis).

2. Metode Relatif

Penentuan posisi dengan metode ini dilakukan secara relatif/diferensial terhadap titik lain yang telah diketahui koordinatnya. Pengukuran dilakukan secara bersamaan pada dua titik dalam selang waktu tertentu. Metode ini memiliki tingkat ketelitian yang cukup tinggi yakni kurang dari 1 meter bahkan bisa mencapai

hitungan milimeter. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan minimal 2 receiver.

II.9 Uji Validitas

Validasi data adalah proses memperoleh data yang harus dilakukan sebelum melanjutkan ke proses uji validitas. Dalam penelitian ini, validasi data dilakukan dengan cara mengukur jarak antar titik pada objek penelitian. Validasi data dilakukan menggunakan alat *Total Station* dengan jenis *reflectorless*. Data ini adalah data yang dianggap benar dan dijadikan sebagai acuan untuk menguji seberapa teliti hasil pemodelan dengan menggunakan TLS. Berikut adalah contoh proses validasi data terhadap objek penelitian.



Gambar 2 Validasi data jarak pada Tugu Muda

Pada gambar 2 di atas, D menunjukkan panjang ukuran yang akan diukur dengan menggunakan *Total Station*. Pada titik yang sama tersebut, dilakukan pengukuran jarak pada model 3D yang telah diukur sebelumnya menggunakan TLS. Setelah didapatkan data jarak dilapangan dan jarak pada model, kemudian dilakukan uji statistik untuk mendapatkan besar ketelitian hasil pengukuran TLS.

II.10 Uji Normalitas

Uji normalitas adalah uji statistik yang bertujuan untuk mengetahui apakah distribusi sebuah data mengikuti atau mendekati distribusi normal, yakni distribusi data dengan bentuk lonceng (*bell sheped*). Data yang baik adalah data yang mempunyai pola seperti distribusi normal, yaitu distribusi data tersebut tidak menceng kekiri atau kekanan.

Dalam penelitian ini, jenis uji normalitas yang digunakan adalah uji *Kolmogorov-Smirnov*. Uji ini dipilih karena uji ini merupakan uji normalitas yang paling baik dan merupakan uji yang syarat-syarat nya terpenuhi oleh data dan keperluan dalam penelitian ini. Uji *Kolmogorov-Smirnov* digunakan untuk menetapkan apakah skor-skor dalam sampel (observasi) dapat secara masuk akal dianggap berasal dari suatu populasi tertentu.

Uji ini memiliki kelebihan sederhana dan tidak menimbulkan perbedaan persepsi antara satu pengamat dengan pengamat yang lainnya, yang sering terjadi pada normalitas dengan menggunakan grafik. Kelemahan uji ini adalah apabila suatu data yang diuji memiliki distribusi yang tidak normal, maka tidak bisa dilakukan transformasi yang dilakukan untuk normalisasi. Uji ini baik digunakan pada populasi data yang cukup besar (>30).

II.11 Uji Ketelitian Hasil Pengukuran

Tiap pengukuran pasti memiliki koreksi. Begitu juga halnya dengan proses pengolahan data khususnya proses registrasi. Besar kesalahan ditunjukkan dengan nilai RMSE (*root mean square error*). RMSE adalah nilai perbedaan antara nilai sebenarnya dengan nilai hasil ukuran. Semakin besar nilai RMSE semakin besar pula nilai kesalahan hasil ukuran terhadap kondisi sebenarnya. Berikut adalah rumus untuk menghitung besar RMSE.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (R - R_1)^2}{n}} \dots\dots\dots(1)$$

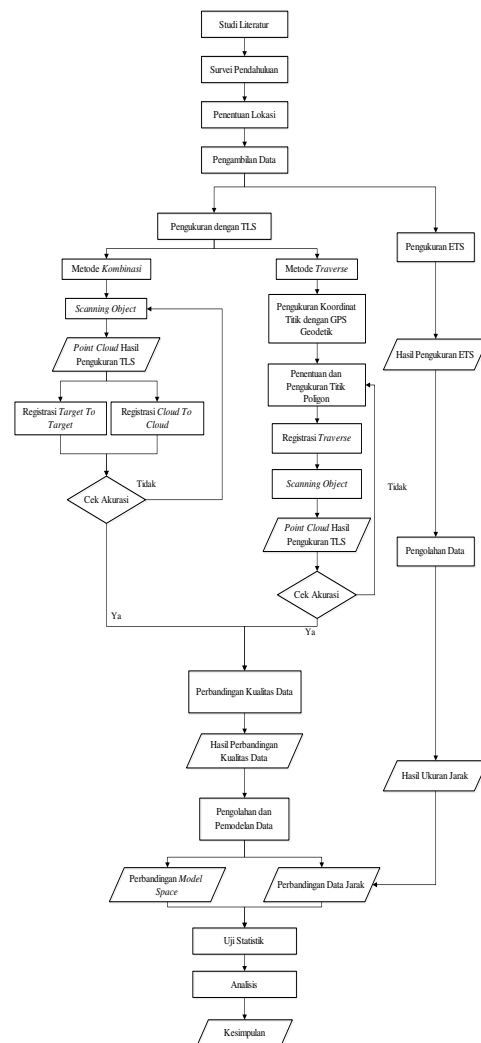
Keterangan:

- RMSE : *Root Mean Square Error*
- R : Nilai yang dianggap benar
- R₁ : Nilai hasil ukuran
- n : Banyak ukuran yang digunakan

III. Metodologi Penelitian

III.1 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Secara umum, prosedur pelaksanaan penelitian ini digambarkan dalam diagram alir berikut.



Gambar 3 Diagram alir metodologi penelitian

III.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini mempunyai beberapa tahapan berikut:

1. Studi literatur, perizinan lokasi penelitian, dan pengadaan alat dan bahan.
2. Survei Pendahuluan
3. Pengukuran GPS metode diferensial yang dilakukan untuk mencari koordinat titik yang akan dijadikan sebagai referensi dalam pembuatan jaring poligon.
4. Pengukuran dan Pengolahan Jaring Poligon
Pembuatan jaring poligon dilakukan dengan melakukan pengukuran *Total Station*. Koordinat jaring poligon Tugu Muda dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

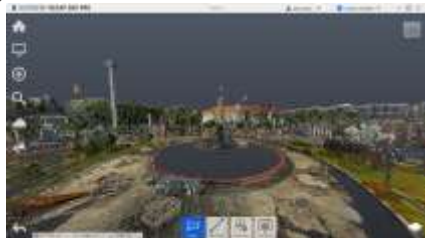
Tabel 1 Koordinat Jaring Poligon

Titik	X (meter)	Y (meter)	Z (meter)
0	434777,896	9227962,858	33,703
1	434767,989	9227969,961	33,683
2	434751,871	9227974,480	33,389
3	434736,634	9227959,409	33,233
4	434708,016	9227934,646	33,297
5	434729,662	9227918,893	33,404
6	434750,611	9227896,635	33,574
7	434773,558	9227929,690	33,482
8	434784,806	9227939,852	33,361

Keterangan:

- Titik 0 dan 1 adalah titik acuan yang diperoleh dari hasil pengukuran GPS.

5. Penyiaman dengan TLS Topcon GLS-2000
Proses penyiaman Tugu Muda dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu metode kombinasi dan metode *traverse*. Untuk metode kombinasi tidak perlu melakukan pengikatan terhadap apapun, hanya perlu memperhatikan target untuk setiap *scan word* nya. Sedangkan untuk metode *traverse*, penyiaman dilakukan pada titik-titik koordinat yang telah diukur sebelumnya.
6. Registrasi data hasil penyiaman.
Point cloud hasil penyiaman TLS harus diregistrasi sehingga dapat membentuk model tiga dimensi. Proses registrasi untuk metode *traverse* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Scan Master*. Sedangkan untuk metode kombinasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Maptek I-Site Studio*. Berikut adalah hasil registrasi Tugu Muda kedua metode.



Gambar 4 Model space Tugu Muda setelah di registrasi dengan metode kombinasi



Gambar 5 Model space Tugu Muda setelah di registrasi dengan metode *traverse*

7. *Filtering*

Langkah selanjutnya adalah melakukan proses *filtering* yang bertujuan untuk membersihkan objek dari objek lain yang tidak diperlukan. Hasil dari proses tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 6 Model space Tugu Muda setelah *filtering*

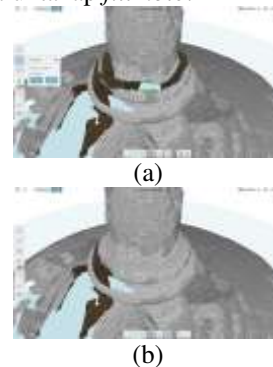
8. *Meshing* dan *Fill Hole*

Meshing bertujuan untuk membentuk permukaan yang solid dan tertutup pada objek. *Meshing* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Autodesk Recap*. Berikut adalah hasil *meshing* Tugu Muda.



Gambar 7 Hasil *meshing* Tugu Muda

Fill Hole dilakukan untuk menutup lubang-lubang yang terdapat pada objek. Proses ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Autodesk Remake*. Berikut adalah hasil model Tugu Muda setelah melalui tahap *fill hole*.



Gambar 8 Hasil *fill hole* (a) sebelum (b) sesudah

9. Validasi Data dan Analisis Ketelitian

Setelah melakukan registrasi dan pemodelan, langkah selanjutnya adalah validasi data model TLS dengan menggunakan *Total Station* terhadap sisi-sisi objek. Data jarak yang digunakan adalah data jarak hasil pengukuran *Total Station* dan data jarak dengan menggunakan perangkat lunak. Pengukuran jarak pada *software* dilakukan pada kedua model hasil metode *Traverse* dan metode kombinasi.

10. Uji Statistik (Uji Normalitas)

Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis deterministik menggunakan metode uji statistika dengan cara teknik uji normalitas Kolmogorov-Smirnov pada aplikasi SPSS. Uji ini dilakukan untuk mengetahui kualitas data sampel yang telah diperoleh. Apabila kualitas data tersebut baik, maka data tersebut dapat dilakukan untuk pengolahan selanjutnya.

11. Perhitungan Tingkat Ketelitian

Pada tahap ini setiap metode akan diuji tingkat ketelitiannya menggunakan rumus 1 dengan menggunakan data validasi jarak.

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Hasil dan Analisis Pengukuran GPS Metode Diferensial

Hasil pengukuran GPS metode diferensial pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 2 dan 3.

Tabel 2 Nilai koordinat diferensial hasil pengukuran GPS

Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
GPS-00	9221962.898	434777.896	30.753	
GPS-01	9221963.961	434767.868	30.883	
bak0	9220426.988	42634.888	158.117	

Tabel 3 Besar RMS pengukuran GPS metode diferensial

Name	HR (m)	VR (m)	HR (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
GPS-00-GPS-01	7.324	0.908	0.024	0.030	0.031
GPS-00-bak0	12900.128	394143.005	127.414	0.083	0.048
GPS-01-bak0	12959.025	394133.099	127.434	0.083	0.048

Pada pengukuran GPS metode diferensial ini, besar nilai RMS yang diperoleh sangat kecil yaitu sebesar 0,083 m dan 0,084 untuk horizontal dan 0,048 m dan 0,046 m untuk vertikal. Nilai RMS yang semakin mendekati angka nol mengindikasikan kualitas suatu pengukuran. Pada penelitian ini, nilai RMS yang diperoleh sudah sangat baik. Hal itu disebabkan oleh beberapa faktor seperti durasi pengukuran, faktor cuaca, dan faktor kondisi lapangan.

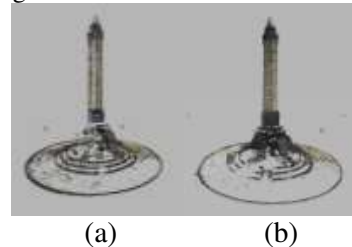
Pada pengukuran ini, nilai RMS tersebut dipengaruhi oleh titik ikat yang digunakan dalam pengolahan. Titik yang digunakan dalam pengolahan ini adalah BAKO. Jarak *baseline* yang semakin besar juga akan mempengaruhi besar nilai RMS dimana nilai RMS tersebut juga akan mempengaruhi nilai koordinat yang akan dicari koordinatnya. Dalam pengukuran ini, *baseline* antara BAKO dan titik yang diukur di Tugu Muda adalah sekitar ±394 km.

Pada penelitian ini, pengukuran GPS metode diferensial dilakukan selama kurang lebih 5 jam. Faktor cuaca yang cukup cerah pada saat melakukan perekaman dengan GPS Geodetik juga merupakan salah satu pendukung dalam suatu pengukuran. Faktor lainnya adalah kondisi lapangan. Monumen Tugu

Muda merupakan lapangan terbuka, sehingga proses perekaman sinyal satelit berlangsung dengan baik.

IV.2 Hasil dan Analisis Registrasi Data

Berikut adalah hasil model registrasi tiga dimensi Tugu Muda untuk kedua metode.



Gambar 9 Model Tugu Muda hasil registrasi, (a) Kombinasi; (b) *Traverse*

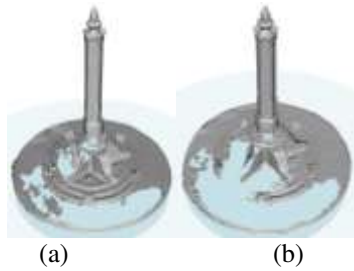
Pada penelitian ini, proses penyediaan untuk metode kombinasi dilakukan dari 12 titik berbeda. Hasil registrasi dengan metode ini menghasilkan RMS sebesar 0,037 m dengan menggunakan 755 *point pair samples*. Sedangkan, penyediaan dengan metode *traverse* dilakukan dari 9 titik berbeda yang telah memiliki koordinat global. Hasil registrasi dengan metode ini menghasilkan RMS sebesar 0,076 m dengan menggunakan 809 *point pair samples*. *Point pair samples* adalah *point cloud* yang saling *match* satu sama lain sehingga membentuk model tiga dimensi. Besar toleransi untuk adalah sebesar 10 cm, dengan kata lain hasil registrasi ini masih memenuhi toleransi dan dapat digunakan untuk pengolahan selanjutnya.

Dalam penelitian ini didapatkan bahwa nilai RMS dari metode kombinasi lebih kecil dibandingkan dengan metode *traverse*. Hal ini disebabkan karena pada metode kombinasi yang sering juga disebut dengan metode *free scan* (tidak perlu melakukan pengikatan terhadap *backsight*) dapat dilakukan proses registrasi secara berulang kali sampai diperoleh ketelitian paling maksimal. Selain itu, pada metode kombinasi juga terdapat target-target yang dapat digunakan sebagai bahan untuk mempermudah registrasi dan mendapatkan ketelitian yang lebih baik lagi.

Sedangkan untuk metode *traverse*, ketelitian dapat dipengaruhi oleh kualitas jaring poligon yang digunakan. ada beberapa hal yang mempengaruhi kualitas hasil registrasi ini, diantaranya adalah kesalahan ketika mengukur tinggi prisma, kondisi lapangan yang sangat ramai sehingga menghasilkan getaran yang mempengaruhi posisi nivo pada alat, dan proses *centering* yang kurang sempurna pada TLS maupun pada prisma.

IV.3 Hasil dan Analisis Pemodelan Tiga Dimensi

Berikut adalah hasil *meshing* awal dari metode kombinasi dan metode *traverse*.



Gambar 10 Hasil *meshing* awal Tugu Muda
(a) Kombinasi (b) *Traverse*

Dalam hasil pemodelan 3 dimensi di atas, terdapat banyak lubang pada tahap *meshing* awal. Bagian berlubang tersebut dipengaruhi oleh adanya air mancur ketika proses penyiaman. Menurut Milan (2010), air akan menyerap energi yang dimiliki oleh laser. Hal ini menyebabkan energi dari pantulan yang akan diterima oleh TLS akan berkurang secara signifikan bahkan bisa saja tidak ada sama sekali pantulan yang dapat diterima oleh alat. Ini lah yang menyebabkan adanya data-data yang kosong pada hasil pemindaian objek tersebut.

Hasil akhir pemodelan 3 dimensi Tugu Muda ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11 Hasil akhir pemodelan 3 dimensi

Pada hasil akhir pemodelan 3 dimensi, luas permukaannya adalah sebesar 327 m². Sedangkan luas permukaan untuk hasil *meshing* model tiga dimensi yang belum diolah sama sekali untuk metode kombinasi adalah sebesar 265 m² dan untuk metode *traverse* sebesar 273 m². Maka dari hasil tersebut diperoleh besar persentase penyiaman untuk metode kombinasi adalah sebesar 81,04% dan untuk metode *traverse* adalah sebesar 83,49%. Hal ini disebabkan karena intensitas air mancur pada saat melakukan penyiaman dengan metode kombinasi lebih tinggi daripada intensitas air mancur ketika melakukan penyiaman dengan metode *traverse*.

IV.4 Hasil dan Analisis Ketelitian Data Antar Metode dengan Uji Ketelitian Jarak

Setelah melakukan pengolahan uji normalitas dengan *software* SPSS dengan tingkat kepercayaan 95%, maka dari jumlah sampel sebanyak 50 data diperoleh nilai *Asymp. Sig (2-tailed)* atau yang lebih sering dikenal dengan signifikansi sebesar 0,529 untuk metode kombinasi dan 0,226 untuk metode *traverse*. Sebuah kumpulan data dapat dikatakan berdistribusi normal adalah ketika nilai *Asymp. Sig (2-tailed)* > 0,05, maka data jarak yang diperoleh dapat digunakan untuk pengolahan selanjutnya.

Selanjutnya adalah melakukan perhitungan terhadap ketelitian antar metode registrasi. dengan menggunakan data ukuran hasil *Total Station* dan dengan menggunakan rumus (1) RMSE pada sub bab II-11, maka diperoleh nilai RMS sebesar ±0,0051827 untuk metode kombinasi dan sebesar ±0,0052574 m untuk metode *traverse*. Nilai RMS ini mengindikasikan kualitas sebuah metode registrasi dalam pengukuran *Terrestrial Laser Scanner*.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan analisis dari tugas akhir yang berjudul “Analisis Perbandingan Ketelitian Metode Registrasi Antara Metode Kombinasi dan Metode *Traverse* dengan Menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* dalam Pemodelan Objek 3 Dimensi”, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari kedua metode registrasi yang telah diteliti, diperoleh kesimpulan bahwa
 - a. Ditinjau dari tingkat ketelitian model, metode kombinasi memiliki tingkat ketelitian yang lebih baik dibandingkan dengan metode *traverse* yang ditunjukkan dengan nilai RMS registrasi sebesar 0,037 m untuk metode kombinasi dan sebesar 0,076 m untuk metode *traverse*.
 - b. Ditinjau dari segi kemudahan dalam akuisisi data, metode kombinasi memiliki tingkat kemudahan paling tinggi dalam hal akuisisi data. Hal ini disebabkan karena pada metode *traverse* memerlukan pembuatan jaring poligon sebelum melakukan proses penyiaman dan harus melakukan penembakan *backsight* ketika melakukan pengukuran.
 - c. Ditinjau dari segi durasi waktu dalam proses akuisisi data, untuk pengaturan atau *setting up (scan range, resolution, range mode, dan pulse select)* yang sama, metode *traverse* membutuhkan durasi waktu yang lebih lama mulai dari persiapan, penyiaman objek, hingga selesai. Hal ini disebabkan karena pada penyiaman dengan metode *traverse* membutuhkan pembuatan jaring radial. Selain itu, metode *traverse* juga memerlukan waktu untuk proses *centering* alat dan proses *backsighting*. Sedangkan untuk metode kombinasi tidak perlu melakukan proses *centering* atau *backsighting*. Hal yang perlu diperhatikan dalam metode kombinasi adalah menempatkan alat sesuai dengan syarat-syarat dari metode *cloud to cloud* dan metode *target to target*.
 - d. Ditinjau dari segi kualitas data, metode *traverse* memiliki kualitas hasil perekaman lebih baik dibandingkan dengan metode kombinasi. Hal ini ditunjukkan dengan nilai persentase

penyiaman sebesar 81,04% untuk metode kombinasi dan sebesar 83,49% untuk metode *traverse*.

- e. Ditinjau dari cara registrasi, metode kombinasi membutuhkan *software* untuk melakukan proses registrasi, dimana *software* tersebut dapat secara otomatis mengenali objek yang sama (*target to target*) dan sekaligus menggabungkan *point cloud* yang dianggap sebagai *point cloud* yang sama dengan menggunakan algoritma *Iterative Closest Point* (ICP). Sedangkan untuk metode *traverse*, proses registrasi terjadi didalam alat secara otomatis.
 - f. Ditinjau dari segi sistem koordinat, *model scan* dari metode kombinasi memiliki sistem koordinat lokal berdasarkan sistem koordinat yang sudah diatur didalam alat. Sedangkan untuk metode *traverse*, sistem koordinat yang digunakan adalah sistem koordinat global dalam UTM.
2. Ditinjau dari tingkat ketelitian terhadap validasi data jarak dari kedua metode registrasi, metode kombinasi memiliki ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode *traverse*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai RMS dalam perhitungan ketelitian jarak sebesar $\pm 0,0051827$ meter untuk metode kombinasi dan sebesar $\pm 0,0052574$ m untuk metode *traverse*. Dengan nilai RMS tersebut dapat disimpulkan bahwa metode kombinsi memiliki kualitas yang lebih baik dalam hal registrasi data untuk pemodelan objek 3 dimensi.

V.2 Saran

Berdasarkan proses persiapan awal, pengolahan, hingga hasil akhir yang diperoleh dalam penelitian ini, ada beberapa saran yang dapat dipertimbangkan dan digunakan dalam penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Peneliti sangat menyarankan untuk menggunakan metode kombinsi dalam melakukan pemodelan objek 3 dimensi.
2. Dalam melakukan penelitian dengan metode *traverse*, maka sebaiknya kualitas dari jaring poligon serta hal-hal kecil seperti penembakan *backsight*, mengukur tinggi alat, dan memperhatikan nivo akibat adanya getaran-getaran kecil harus menjadi perhatian yang serius.
3. Apabila pada objek penelitian terdapat sisi yang berwarna hitam atau gelap, metode *Close Range Photogrametry* (CRP) dapat digunakan untuk melengkapi data yang kurang detail sehingga model tiga dimensi yang diperoleh semakin mirip dengan aslinya.
4. Untuk mendapatkan kualitas model yang lebih baik, hindari penyiaman disekitar air terutama air mancur karena hal tersebut dapat mengganggu pergerakan laser menuju objek

atau pantulan laser dari objek ke alat. Hindari penyiaman objek ketika objek masih dalam keadaan basah karena hal tersebut dapat mengganggu arah pantulan laser sehingga tidak tertangkap oleh alat.

5. Apabila disekitar objek penelitian terdapat air mancur, sebaiknya lakukan survei pendahuluan untuk mengetahui pola pergantian pancaran air mancur.
6. Sebaiknya lakukan penyiaman ketika cuaca sedang terang sehingga objek mendapat pencahayaan yang cukup baik. Hal ini bertujuan agar warna objek dapat ditangkap oleh sensor kamera pada alat TLS dengan baik. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan penelitian mengenai volume suatu objek.

DAFTAR PUSTAKA

- Isnurdani, G. 2012. *Studi Algoritma Registrasi Berbasis Target Pada Pengukuran Terrestrial Laser Scanner Menggunakan Least Square Adjustment*. Skripsi. Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Jananuragadi. 2010. *Rekonstruksi Model 3D dengan Menggunakan Alat Image Station dan Terrestrial Laser Scanner*. Tugas Akhir. ITB. Bandung
- Milan, D.J., Heritage, G.L., Large, A.R.G., Entwisle, N. 2010. *Mapping hydraulic biotopes using terrestrial laser scan data of water surface properties*
- Quintero, M. S., Genechten, B. V., Bruyne, M. D., Ronald, P., Hankar, M., dan Barnes, S., 2008. *Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning. Project (3D Risk Mapping)*. 4 Juni 2008.
- Reddington, J., 2005. *HDS traing manual*. Leica Geosystem.
- Vergianto, A. 2015. *Pemodelan 3D Menara SUTET Menggunakan Terrestrial Laser Scanner Leica C10 dengan Registrasi Metode Traverse*. Skripsi. UGM. Yogyakarta
- Wibowo, H. W. 2013. *Pengukuran Plant Satellite Nilam 2 Pt.Vico Indonesia Menggunakan Laser Scanner Scanstation 2 Dengan Registrasi Metode Target To Target*. Tugas Akhir. UGM. Yogyakarta

Pustaka Dari Internet:

- Adishakti. 2007. *Pelestarian Bahan Pustaka*. <http://www.scribd.com/doc/51637900/PELESTARIAN-BAHAN-PUSTAKA> diakses pada 29 Agustus 2017
- Merdeka.2013. <http://indonesiaindonesia.com/f/89658-sejarah-monumen-tugu-muda-semarang/> diakses pada tanggal 30 Maret 2017