

PEMODELAN BANGUNAN CAGAR BUDAYA GEREJA BLENDUK UNTUK KONSERVASI DENGAN METODE *TERRESTRIAL LASER SCANNER*

Nasrul Arfianto, Bandi Sasmito, S.T., M.T., Hani'ah *)

Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto SH., Tembalang, Semarang, 50239. Telp: (024) 76480785, Fax: (024) 76480788
e-mail : geodesi@undip.ac.id

ABSTRAK

Bangunan cagar budaya adalah susunan binaan yang terbuat dari benda alam atau benda buatan manusia untuk memenuhi kebutuhan ruang berinding dan/atau tidak berinding dan beratap. Sebagai tempat tujuan wisata favorit di provinsi Jawa Tengah-Semarang mempunyai banyak pilihan yang tepat untuk dikunjungi, salah satunya adalah kawasan kota lama. Ada sebuah bangunan yang wajib dikunjungi ketika berada di kota lama yaitu gereja Blenduk yang dibangun pada tahun 1753. Usia bangunan yang lebih dari 250 tahun menjadikan gereja Blenduk sangat layak dan pantas untuk dikategorikan sebagai bangunan cagar budaya. Maka dari itu harus dilakukan konservasi maupun pelestarian agar tetap terjaga secara utuh keaslian bangunan tersebut.

Perkembangan dunia survei dan pemetaan sangatlah pesat. Di era modern saat ini, pemanfaatan teknologi *terrestrial laser scanner* (TLS) dapat memberikan solusi dalam pendokumentasian suatu bangunan maupun pengukuran topografi. *Laser scanner* digunakan untuk keperluan pengukuran objek-objek yang rumit dan memerlukan tingkat ketelitian tinggi. Pengambilan data dilaksanakan dengan teknologi FARO *Laser Scanner Focus 3D* menggunakan metode target to target registration. Hasil proses *scanning* (penyiaman) data berupa *points clouds* (titik-titik awan) dalam bentuk tiga dimensi. Pengolahan data dalam pengukuran ini dengan perangkat lunak *Scene 5.1*.

Dalam penelitian tugas akhir ini, hasil yang dicapai adalah model 3D bangunan cagar budaya gereja Blenduk. Proses pengolahan data juga menggunakan perangkat lunak *Autodesk Revit 2014* untuk membuat model 3D *solid*. Hasil registasi data diperoleh total nilai RMS 0.032 m dengan nilai rata-rata RMS di setiap *scanworld* (titik berdiri alat) adalah 0.004 m. Hasil pengukuran TLS dan pengukuran *electronic total station* (ETS) dilakukan uji perbandingan panjang antar sisi untuk mengetahui data kualitas hasil ukuran, diperoleh nilai RMS sebesar 0.00446318 m.

Kata Kunci: *Electronic Total Station, Gereja Blenduk, Model 3D, Terrestrial Laser Scanner*

ABSTRACT

Heritage building has built from natural or human made objects full fill the space of walls and or no walls and roof. As a favorite tourist destination in the province of Central Java-Semarang has many options right to visit, one of them is the old town area. A building that must be visited in the old town area namely Blenduk Church was built in 1753. The building more than 250 years old was made Blenduk church very reasonable to be a heritage building. Therefore, it needs conservation and preservation to keep the authenticity of the building.

The development of surveying and mapping are very rapid. In this modern era, the using of terrestrial laser scanner technology can gives the solution to document of a building and topography measurements. Laser scanner is use to measurement the difficult objects which need a high degree of precision. Data collection was carried out with the FARO Laser Scanner Focus 3D technology that is using target to target registration method. Result of data scanning process is point clouds data in three dimension state. The data processing use software Scene 5.1 in this measurement.

*) Penulis, Penanggung Jawab

In this final task research, the result achieved was 3D model of Blenduk church heritage building. The data processing use software Autodesk Revit 2014 to create a 3D solid model. The result of registration data is reach the total number RMS value 0.032 m, with an average of RMS value 0.004 m in each scanworld. The measurement result of TLS and ETS was tested the size of the length between sides to know the quality of measurement result data with the final result of RMS around 0.00446318 m.

Keywords: Blenduk Church, Electronic Total Station, Model 3D, Terrestrial Laser Scanner

1. PENDAHULUAN

Sebagai ibu kota provinsi Jawa Tengah, Semarang memiliki banyak tempat wisata yang menarik untuk dikunjungi, salah satunya adalah kawasan kota lama. Kawasan kota lama merupakan kawasan yang menjadi saksi perkembangan kota, juga merupakan salah satu aset nasional sebagai kawasan cagar budaya di kota Semarang. Transisi wajah kota terekam di sepanjang koridor kawasan kota lama, dimana terjadi kegiatan ekonomi, sosial, budaya dan wisata yang mendukung. Pada dasarnya kawasan kota lama Semarang atau yang sering disebut *Outstadtatau Little Netherland* mencakup setiap daerah dimana gedung-gedung yang dibangun sejak zaman Belanda, namun seiring berjalannya waktu istilah kota lama sendiri terpusat untuk daerah dari sungai Mberok hingga menuju daerah Terboyo.

Dari segi tata kota, kawasan ini dibuat memusat dengan gereja Blenduk dan kantor-kantor pemerintahan sebagai pusatnya. Karena pada saat itu pusat pemerintahan di eropa adalah gereja dan gubernurnya. Gereja Blenduk merupakan gereja di kawasan kota lama yang masih digunakan sampai saat ini. Bangunan ini didirikan pada tahun 1753 yang digunakan untuk gereja *Nederlandsche Indische Kerk* telah mengalami beberapa kali renovasi hingga nampak seperti saat ini. Perancang bangunan ini adalah H.P.A. de Wilde dan W. Westmaas. Gereja Blenduk yang telah usia lebih dari dua abad, gereja ini termasuk dalam kategori bangunan cagar budaya. Untuk itu perlu dilakukan konservasi dan pelestarian agar bagunan tetap terjaga secara utuh sama seperti dahulu.

Pemanfaatan teknologi TLS memberikan ketelitian tinggi untuk pendokumentasian tampak muka bangunan. Teknologi ini dinilai sangat efisien jika dibandingkan dengan teknologi pengukuran konvensional lainnya. Untuk daya jangkauan alat, TLS mempunyai jangkauan maksimal 6000 m (tergantung alat) dan hasil pengukuran berupa titik-titik awan dalam bentuk tiga dimensi.

Prinsip kerja TLS memanfaatkan sinar laser yang dipancarkan ke arah objek, kemudian pantulan sinar laser tersebut ditangkap kembali oleh alat dan direkam ke dalam perangkat komputer yang telah dilengkapi perangkat lunak khusus. Konsep ini mirip dengan prinsip kerja sonar, perbedaannya sonar memancarkan gelombang suara. Laser yang dipancarkan tidaklah kontinyu, melainkan titik per titik yang hasilnya berupa titik-titik awan dengan kecepatan penyiaran yang cukup tinggi, didapatkan hingga ribuan titik dapat direkam dalam satu detik tergantung dari jenis dan merk alat ukur TLS yang dipakai (Barnes, 2012).

Oleh sebab itu, penggunaan teknologi TLS saat ini telah berkembang pesat di bidang survei dan pemetaan dengan kelebihan yang ditawarkan dari alat tersebut, seperti: kecepatan pengambilan data yang tinggi, tingkat akurasi yang baik, lebih efektif dan lebih efisien, mampu mengukur pada objek-objek yang rumit dan kenampakan data hasil pengukuran yang mendekati dengan objek aslinya (Pflipsen, 2006).

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka diangkat perumusan masalah sebagai berikut:

1. Apakah metode TLS 3D dapat menjadi solusi dalam pendokumentasian bangunan cagar budaya gereja Blenduk untuk pekerjaan konservasi?
2. Seberapa besar ketelitian pengukuran dengan metode TLS 3D dibandingkan metode ETS?

Ruang lingkup dalam penelitian ini antara lain:

1. Pengukuran bangunan cagar budaya gereja Blenduk ini berlokasi di kawasan kota lama, Semarang.
2. Proses penyediaan pengambilan data model tiga dimensi bangunan cagar budaya gereja Blenduk menggunakan alat FARO *Laser Scanner Focus 3D*.
3. Pengukuran panjang sisi bangunan cagar budaya gereja Blenduk menggunakan alat TOPCON *Easy Station 105 Series*.
4. Proses pengolahan data model 3D dengan menggunakan perangkat lunak *Scene 5.1* dan perangkat lunak *Autodesk Revit 2014*.
5. Perbandingan ketelitian data ukuran menggunakan data hasil pengukuran TLS 3D dengan melakukan validasi terhadap data ukuran ETS.

Maksud dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menerapkan pengukuran metode TLS 3D untuk pemodelan dalam pendokumentasian bangunan cagar budaya gereja Blenduk sebagai konservasi dan diolah dengan perangkat lunak *Scene 5.1*.
2. Analisis ketelitian data ukuran menggunakan data hasil pengukuran TLS 3D dengan melakukan validasi terhadap data ukuran ETS.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menerapkan cara pengukuran menggunakan metode TLS 3D dengan melakukan proses penyediaan di seluruh bagian luar bangunan cagar budaya gereja Blenduk sebagai salah satu alternatif solusi dalam pekerjaan konservasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pemodelan 3D

Dalam komputer grafis pemodelan 3D adalah proses pengembangan representasi matematis dari setiap permukaan objek 3D, baik objek benda mati maupun hidup melalui perangkat lunak khusus.

2.2. Konservasi

Konservasi adalah upaya pelestarian lingkungan, tetapi tetap memperhatikan manfaat yang dapat diperoleh pada saat itu dengan tetap mempertahankan keberadaan setiap komponen lingkungan untuk pemanfaatan masa depan.

2.3. *Terrestrial Laser Scanner*

3D *laser scanner* atau lebih dikenal dengan *laser scanner* merupakan instrumen analisis objek *real world* yang dapat mengumpulkan data permukaan dan bentuk objek, kemudian ditampilkan dalam bentuk 3 dimensi. Tujuan dari pengukuran dengan metode TLS untuk menciptakan titik-titik awan dari permukaan objek dalam bentuk geometrik yang terdiri dari jutaan titik. Hasil penyiaman berupa titik-titik awan kemudian dilakukan registrasi data untuk menciptakan model lengkap (Wikipedia, 2014).

2.4. Registrasi Data

Registrasi merupakan proses penggabungan data hasil perekaman yang didapat dari beberapa *scanworld* (titik berdiri alat) sehingga terletak dalam satu sistem koordinat (Jacobs, 2005).

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Alat dan Bahan

1. Alat dan Bahan

FARO *Laser Scanner Focus 3D*, TOPCON *Easy Station 105 Series*, GPS *Geodetic* TOPCON Hiper Gb, Tripod Survei, *Sphere Target*, *Checkerboard Target*, Meteran, Payung, Kamera Digital.

2. Perangkat Lunak

Scene 5.1, *Autodesk Revit 2014*, *Topcon Tools 8.2.3*, *TransKoord 1.01*, *SPSS 16.0 for Windows®*, *Microsoft Word 2010*, *Microsoft Excel 2010*, *Microsoft Visio 2010*.

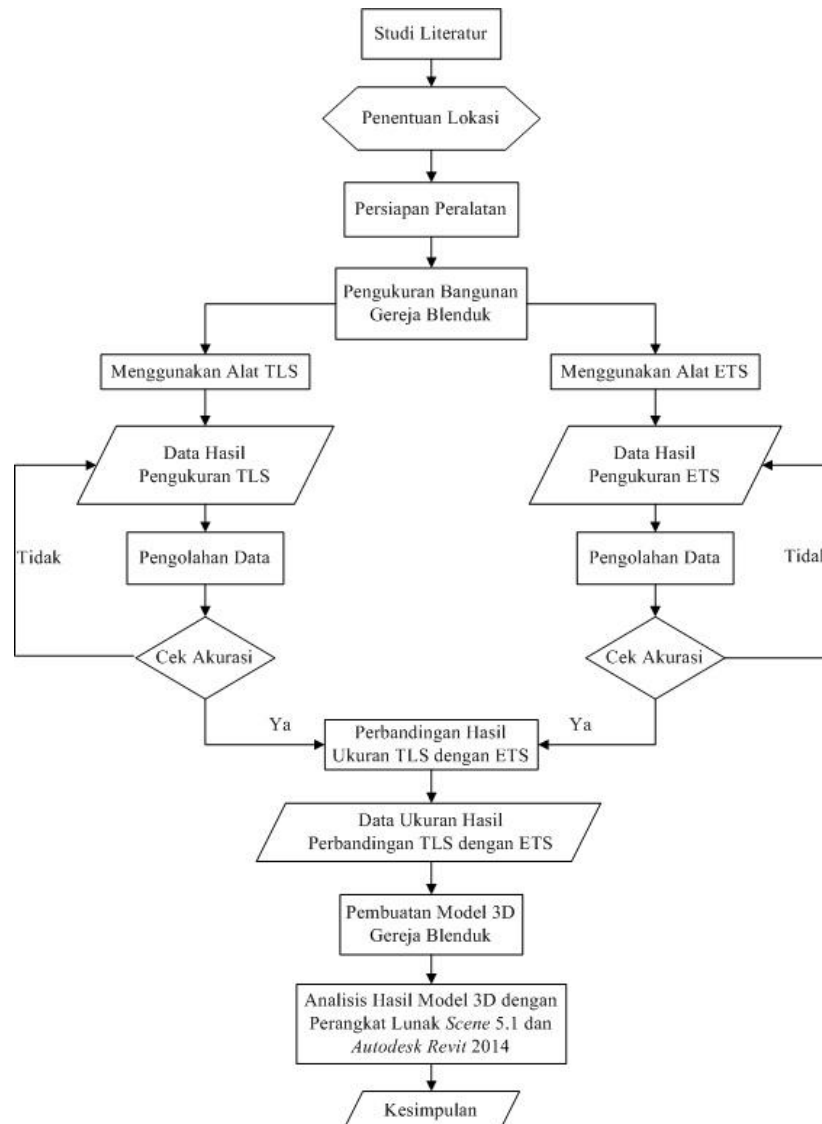
3. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam analisis “Pemodelan Bangunan Cagar Budaya Gereja Blenduk Untuk Konservasi Dengan Metode *Terrestrial Laser Scanner*”, antara lain sebagai berikut:

- a. Data pengukuran hasil penyiaman dengan metode TLS menggunakan alat FARO *Laser Scanner Focus 3D*, dengan perincian:
 - 1) Bagian luar bangunan ada 7 titik berdiri alat dengan durasi per titik yaitu 9 menit 6 detik.
 - 2) Bagian dalam bangunan ada 1 titik berdiri alat dengan durasi yaitu 16 menit 15 detik.
- b. Data pengukuran jarak panjang sisi dengan metode ETS menggunakan alat TOPCON *Easy Station 105 Series*.

3.2. Metodologi Penelitian

Secara garis besar metode penelitian meliputi beberapa hal berikut ini:



Gambar 1. Diagram Alir Metodologi Penelitian

3.3. Pengumpulan Data

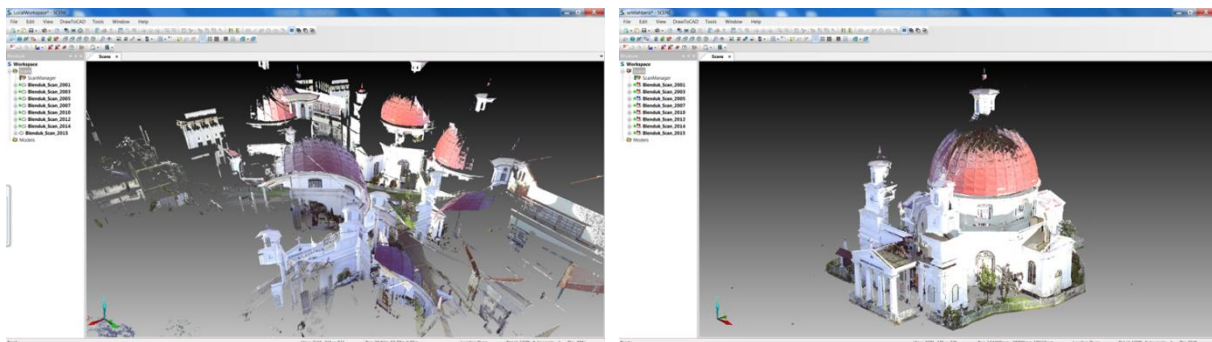
Pekerjaan pengukuran ke lapangan dimulai dengan pengambilan titik-titik referensi yang akan digunakan dengan melakukan pengukuran GPS (*Global Position System*) guna mendapatkan koordinat referensi global UTM yang akurat. Kemudian melakukan pengukuran jarak antar sisi bangunan gereja Blenduk dengan menggunakan ETS. Setelah itu melakukan proses penyiaman tampak 3D bangunan cagar budaya gereja Blenduk baik bagian luar maupun dalam dengan FARO *Laser Scanner Focus 3D*. Berikut langkah dalam pengumpulan data penelitian, antara lain:

1. Pengukuran GNSS Statik
2. Pengukuran dengan *Total Station*

3. Penyiaman FARO *Laser Scanner Focus 3D*
4. Proses Penyiaman Gereja Blenduk

3.4. Pengolahan Data TLS

Dalam pengamatan tampak 3D gereja Blenduk ini dilakukan delapan kali titik berdiri alat agar dihasilkan tampilan 3D gereja Blenduk dari berbagai sisi yang berbeda. Terdapat foto tampilan hasil penyiaman setelah proses penyiaman data selesai dilakukan untuk mengetahui hasil penyiaman data, kenampakan objek, dan posisi saat perekaman. Pada penelitian ini pengolahan data yang ditekankan adalah pengolahan data TLS dengan perangkat lunak *Scene 5.1*. Penggunaan perangkat lunak *Scene 5.1* membutuhkan komputer dengan spesifikasi tinggi agar proses pengolahan data dapat bekerja secara maksimal, dikarenakan hasil pengukuran dengan TLS yang berupa titik-titik awan berjumlah hingga jutaan data. Berikut ini merupakan hasil pengolahan data penyiaman menggunakan perangkat lunak *Scene 5.1*:



(a)

(b)

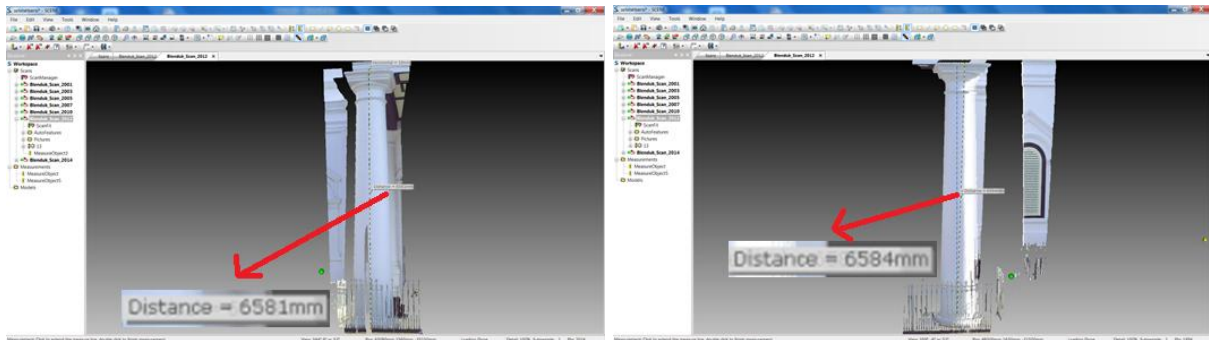
Gambar 2. (a) Tampilan Hasil *Scanning* Awal Sebelum Diolah
(b) Tampak Model 3D Gereja Blenduk Setelah Pembersihan *Noise*

3.5. Perbandingan Hasil Pengukuran TLS dengan ETS

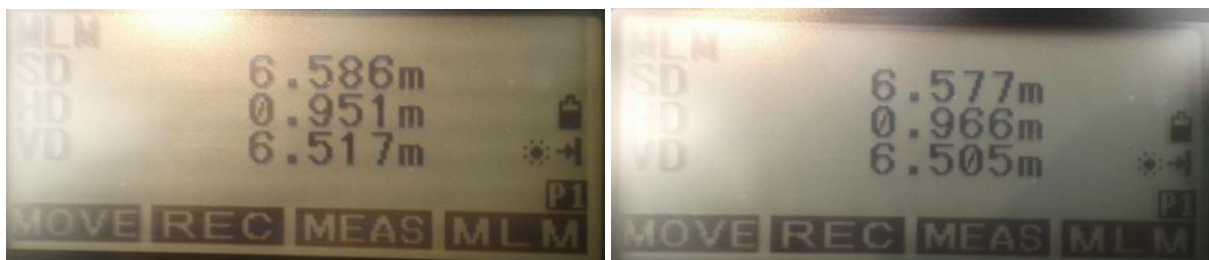
Setelah pengukuran dengan TLS dan ETS selesai dilaksanakan, kemudian langkah selanjutnya adalah membandingkan hasil ukuran antara TLS dengan ETS. Adapun sampel bagian dari sisi-sisi bangunan gereja Blenduk yang dijadikan sebagai perbandingan adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Sketsa Perbandingan Ukuran Panjang Sisi B04 dan B06



Gambar 4. Hasil Ukuran Panjang Sisi B04 dan B06 dengan TSL



Gambar 5. Hasil Ukuran Panjang Sisi B04 dan B06 dengan ETS

3.6. Evaluasi Hasil

Evaluasi hasil dapat dilakukan untuk mencari tingkat akurasi dari model yang terbentuk dengan cara uji empiris terhadap ukuran di lapangan dan membandingkan dengan model yang dihasilkan. Uji empiris dilakukan dengan cara membandingkan nilai RMS dari selisih antara nilai ukuran objek di lapangan dengan nilai ukuran objek yang berupa model 3D (Maharsayanto, 2012).

3.7. Uji Statistika (Uji Signifikansi)

Uji perbedaan dua kali pengukuran (*pretest & posttest*) biasanya diterapkan untuk penelitian eksperimen. Jadi ada dua alat ukur yang digunakan untuk dua kali pengukuran pada sampel atau objek

yang sama, namun dalam jangka waktu yang berbeda. Untuk pengukuran awal atau pertama biasa disebut *pretest* (prates) dan untuk pengukuran sesudahnya atau kedua biasa disebut *posttest* (pascates). Penelitian dua kali pengukuran biasanya untuk menguji apakah perlakuan (*treatment*) pada sampel memberikan hasil yang berbeda secara nyata atau tidak (Sufren, 2013).

1. Uji Normalitas (Distribusi Normal)

Uji normalitas (distribusi normal) adalah uji untuk mengukur apakah data yang didapatkan memiliki distribusi normal, sehingga dapat dipakai dalam statistika parametrik (statistika inferensial). Dengan kata lain, uji normalitas adalah uji untuk mengetahui apakah data empirik yang didapatkan dari lapangan itu sesuai dengan distribusi teoritik tertentu yang diperoleh berasal dari populasi yang berdistribusi normal atau tidak (Stastikian, 2014).

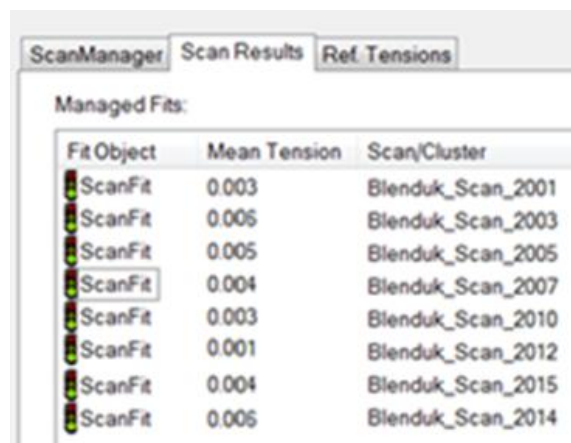
2. Uji Signifikansi

Uji signifikansi adalah salah satu tahap terpenting dalam sebuah riset, wa bil khusus riset yang bermetodologi kuantitatif. Uji ini yang akan menentukan simpulan hasil riset. Uji signifikansi menentukan apakah hipotesis yang dibuat di awal riset akan diterima atau ditolak. Karena peran pentingnya itulah, para ahli mencari cara terbaik yang dapat membedakan hasil pengamatan secara meyakinkan. Tingkat keyakinan yang memadai untuk dapat menerima suatu hipotesis tersebut yang kerap disebut dengan istilah signifikansi statistika (*statistical significance*) (Uliansyah, 2014).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Hasil Registrasi Data

Proses registrasi data merupakan proses yang harus dilakukan dalam pengolahan data dari pengukuran TLS. Proses ini merupakan penggabungan dari beberapa titik berdiri alat menjadi satu sistem koordinat. Dalam registrasi data nilai RMS ICP sangat penting, karena akan berpengaruh terhadap nilai akurasi dan presisi suatu model. Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan metode *target to target registration*. Setelah dilakukan proses registrasi data, maka dapat dilihat hasilnya pada gambar 6 di berikut ini:



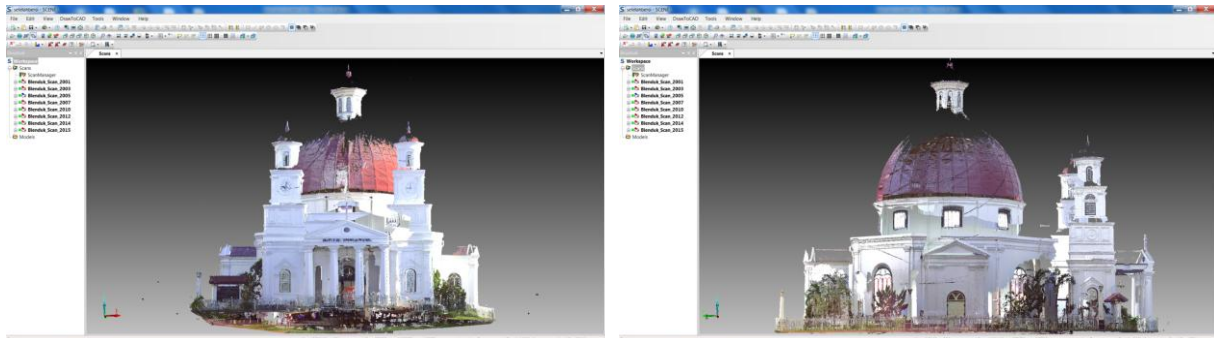
Fit Object	Mean Tension	Scan/Cluster
ScanFit	0.003	Blenduk_Scan_2001
ScanFit	0.006	Blenduk_Scan_2003
ScanFit	0.005	Blenduk_Scan_2005
ScanFit	0.004	Blenduk_Scan_2007
ScanFit	0.003	Blenduk_Scan_2010
ScanFit	0.001	Blenduk_Scan_2012
ScanFit	0.004	Blenduk_Scan_2015
ScanFit	0.006	Blenduk_Scan_2014

Gambar 6. Nilai Hasil Registrasi Data

Total nilai RMS yang diperoleh adalah 0.032 m dengan nilai rata-rata RMS di setiap titik berdiri alat 0.004 m. Sesuai spesifikasi alat FARO *Laser Scanner Focus 3D*, nilai kesalahan (*error*) tiap penyiaman 10 m yaitu 2 mm. Dengan daya jangkauan penyiaman data dalam penelitian ini adalah 25 m, maka nilai toleransi kesalahan maksimal yaitu sebesar 5 mm. Diperoleh nilai rata-rata ketelitian ukuran standar deviasi atau RMS di setiap titik berdiri alat adalah 0.004 m, maka nilai rata-rata registrasi data dalam penelitian ini memenuhi standar deviasi (masuk dalam toleransi).

4.2. Analisis Pengolahan Model 3D Gereja Blenduk dengan Perangkat Lunak *Scene 5.1*

Pengolahan data model 3D gereja Blenduk ini dilakukan dengan perangkat *Scene 5.1* bawaan dari perangkat FARO *Laser Scanner Focus 3D*. Pada pengukuran tampak 3D gereja Blenduk ini dilakukan delapan kali penyiaman dengan delapan posisi titik berdiri alat yang berbeda untuk mendapatkan hasil 3D dari berbagai posisi pada bangunan tersebut. Berikut adalah hasil pengolahan dari penyiaman data penampakan 3D gereja Blenduk.

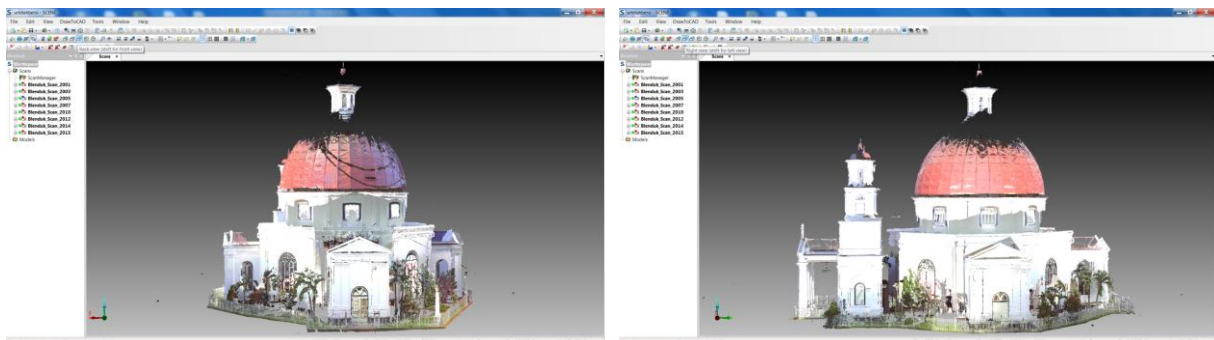


(a)

(b)

Gambar 7. (a) Tampilan Model 3D Bangunan Gereja Blenduk Sisi Depan

(b) Tampilan Model 3D Bangunan Gereja Blenduk Sisi Samping Kanan



(a)

(b)

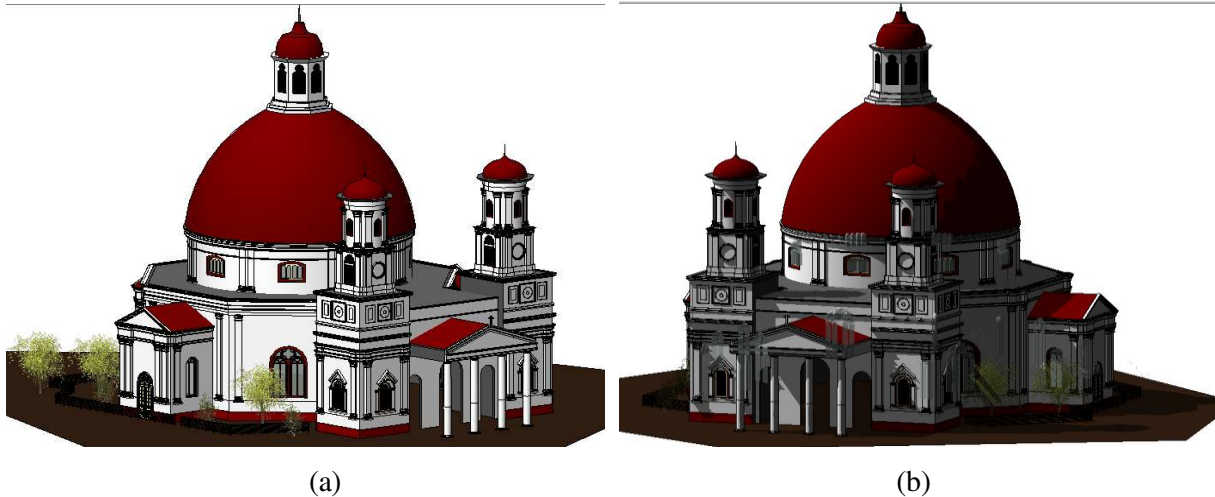
Gambar 8. (a) Tampilan Model 3D Bangunan Gereja Blenduk Sisi Belakang

(b) Tampilan Model 3D Bangunan Gereja Blenduk Sisi Samping Kiri

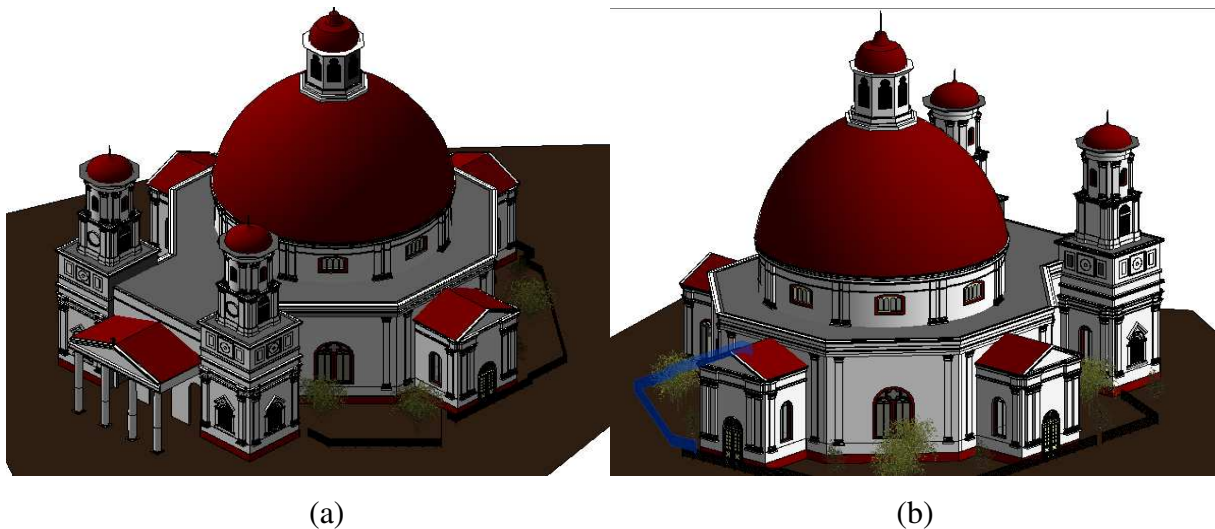
4.3. Analisis Pengolahan Model 3D dengan Perangkat Lunak *Autodesk Revit 2014*

Selain dengan perangkat lunak *Scene 5.1* bawaan dari perangkat FARO *Laser Scanner Focus 3D*, pengolahan data model 3D gereja Blenduk ini dilakukan juga dengan perangkat lunak *Autodesk Revit 2014*. Hal ini perlu dilakukan untuk menyempurnakan hasil model 3D gereja Blenduk dengan

Scene 5.1 yang masih terlihat ada beberapa bagian dari bangunan gereja Blenduk tidak terlihat atau kosong, akibat adanya *noise* dan obstruksi sebagai penghalang saat dilakukan proses penyiaman data. Hasil akhir olah data dengan *revit* adalah berkas dalam format *.jpeg (single)* berbentuk *solid (padat)* maupun *.avi (animasi)*. Berikut adalah hasil model 3D gereja Blenduk dengan *Autodesk Revit 2014*.



Gambar 9. (a) Tampilan Model 3D dengan *Autodesk Revit 2014* Sisi 1
(b) Tampilan Model 3D dengan *Autodesk Revit 2014* Sisi 2



Gambar 10. (a) Tampilan Model 3D dengan *Autodesk Revit 2014* Sisi 3
(b) Tampilan Model 3D dengan *Autodesk Revit 2014* Sisi 4

4.4. Analisis Perbandingan Model 3D dengan Perangkat Lunak *Scene 5.1* dan Perangkat Lunak *Autodesk Revit 2014*

Pada sub bab sebelumnya telah diuraikan mengenai analisis pengolahan model 3D dengan perangkat lunak *Scene 5.1* dan perangkat lunak *Autodesk Revit 2014*. Maka dalam sub bab ini akan dibahas mengenai analisis dari segi visualisasi perbandingan model 3D hasil dari perangkat lunak *Scene 5.1* dan perangkat lunak *Autodesk Revit 2014*. Bagian dari bangunan gereja Blenduk yang dianalisis dapat dilihat pada gambar 11 berikut ini.



Gambar 11. (a) Tampilan Model 3D dengan Scene 5.1 (b) Tampilan Model 3D dengan Autodesk Revit 2014

Berikut ini merupakan uraian dari analisis perbedaan hasil model 3D dari dua perangkat lunak yang digunakan pada penelitian dalam pengolahan data model 3D bangunan gereja Blenduk.

Tabel 1. Analisis Perbandingan Hasil Model 3D dengan Scene 5.1 Dibandingkan dengan Autodesk Revit 2014

No.	Jenis dan Bagian Perbedaan	Dengan Perangkat Lunak Scene 5.1	Dengan Perangkat Lunak Autodesk Revit 2014
1.	Bentuk dan Jenis Model	Terdiri dari jutaan titik-titik awan, digabungkan dalam satu sistem koordinat yang sama.	Merupakan hasil dari rancangan, kemudian dibentuk sesuai bangunan asli dengan karakteristik padat (<i>solid</i>).
2.	Warna yang Dihasilkan	Sesuai dengan bangunan asli, tidak ada perbedaan sama sekali.	Ada sedikit perbedaan hasil, dikarenakan pewarnaan model ditentukan oleh pembuat model
3.	Keutuhan Model	Sekitar 80% sesuai dengan bangunan asli, karena ada beberapa faktor penghalang.	Mencapai 100% model tersebut utuh, tidak ada bagian yang kurang atau hilang.
4.	Bagian Selain Model 3D yang Dihasilkan	Ada beberapa pohon-pohon dan pagar di sekitar bangunan yang tidak dapat dihilangkan.	Bisa ditambahkan beberapa pohon-pohon dan pagar di sekitarnya yang menyesuaikan dengan keadaan sebenarnya.
5.	Data Masukan untuk Pembuatan Model	Dari pengukuran langsung ke lapangan, dengan cara penyiaman di seluruh bagian luar bangunan.	Berasal dari pengolah data Scene 5.1 dahulu, baru disempurnakan dengan membentuk model 3D baru yang bertekstur padat (<i>solid</i>).

4.5. Analisis Terhadap Sumber-Sumber Kesalahan dan Kendala

Apapun jenis pekerjaan yang dilakukan pasti tidak ada hasil yang sempurna. Begitu juga dalam penelitian ini, hasil model 3D yang dihasilkan belum mencapai kesempurnaan sesuai dengan yang diharapkan. Adanya beberapa kesalahan dan kendala menjadi beberapa faktor yang mempengaruhinya, antara lain sebagai berikut:

1. Kesalahan Terkait Objek

Pada penelitian ini, faktor objek dalam pengukuran juga menjadi salah satu sumber kesalahan yaitu adanya beberapa bagian dari bangunan gereja Blenduk terutama untuk permukaan luar. Bagian sisi tersebut, misalnya kubah atau blenduk itu memantulkan cahaya matahari ke alat FARO *Focus* 3D sehingga membuat data hasil penyiaman tidak sepenuhnya dapat terekam. Cara mengatasinya dengan memberikan lapisan khusus pada permukaan yang berkilauan agar cahaya matahari tidak dipantulkan ke arah scanner. Selain itu juga tingginya objek menjadi faktor kesalahan terkait objek. Alat FARO *Focus* 3D maksimal berdiri 2.5 meter dengan tripod bawaan, sedangkan objek yang dilakukan penyiaman tingginya lebih dari 10 meter. Maka tentu saja ada beberapa bagian dari gereja Blenduk terutama pada bagian atas tidak terekam datanya saat proses penyiaman dilakukan. Cara mengatasinya yaitu FARO *Focus* 3D minimal berdiri sejajar lantai dua, kurang lebih empat meter di atas permukaan tanah agar semua bagian dari bangunan gereja Blenduk dapat terekam datanya.

2. Kesalahan Terkait Lingkungan Sekitar

Kesalahan lain yang terjadi dalam penelitian ini adalah kesalahan terkait objek lingkungan sekitar. Maksudnya adalah banyak penghalang yang menutupi objek bangunan gereja Blenduk pada saat proses penyiaman data berlangsung, atau lebih dikenal dengan *noise* (kebisingan). Dari hasil model 3D gereja Blenduk dalam penelitian ini, ada beberapa titik-titik awan dari bagian jendela, atap bangunan dan bagian-bagian lain yang terkena obstruksi. Obstruksi yang merupakan *noise* pada hasil pengukuran TLS disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya:

- a. Pohon yang menutupi dan menghalangi bangunan.
- b. Aktivitas manusia di sekitar objek bangunan gereja Blenduk.
- c. Banyak kendaraan bermotor yang berlalulalang.
- d. Bagian permukaan objek yang memantulkan cahaya matahari.

Berikut ini merupakan beberapa cara yang dilakukan untuk mengatasi agar obstruksi yang merupakan *noise* sebagai penghalang saat penyiaman data dilakukan dapat dikurangi atau bahkan dapat dihilangkan. Langkah pertama adalah pemilihan waktu pada saat pengukuran TLS. Sebaiknya penyiaman data dilaksanakan pada pagi hari dari jam 06.00-09.00 dan pada sore hari dari jam 15.00-18.00, karena sinar matahari tidak terlalu panas yang nantinya akan mempengaruhi pencahayaan ke permukaan objek. Langkah kedua yaitu menghentikan sejenak aktivitas di sekitar objek, kendaraan bermotor dan manusia yang akan melewati jalan di sekeliling gereja Blenduk harus ditutup total agar hasil penyiaman yang diperoleh lebih baik. Untuk *noise* lain seperti pohon-pohon yang berada tepat di sebelah gereja Blenduk memang sulit atau bahkan tidak bisa dihilangkan, karena tujuan ditamani pohon-pohon di sekitar gereja Blenduk agar menjaga sirkulasi udara tetap sejuk walaupun keadaan panas pada saat siang hari.

4.6. Analisis Perbandingan Panjang Sisi Pengukuran TLS dengan ETS

Bagian ini membahas tentang analisis perbandingan panjang sisi terhadap sisi-sisi bangunan gereja Blenduk. Pengukuran tersebut menggunakan alat ETS sebagai metode pembandingnya. Adapun jumlah panjang sisi yang akan dibandingkan adalah 50 sisi, tersebar di seluruh bagian luar dari bangunan gereja Blenduk. Adapun sisi-sisi yang dijadikan sebagai perbandingan ukuran, yaitu:

1. Pilar / tiang utama
2. Segitiga gunung-gunung utama
3. Bagian pilar utama atas
4. Tiang samping jendela kreyak
5. Ornamen / aksen di bawah jam
6. Garis lurus bawah jendela kreyak
7. Segitiga gunung samping kiri
8. Garis lurus di atas jendela *gothic*
9. Tinggi tiang lampu
10. Segitiga di atas jendela kreyak

Nilai perbandingan panjang sisi antara pengukuran TLS dan ETS terdapat pada tabel berikut.

Tabel 2. Perbandingan Panjang Sisi Antara Pengukuran TLS dengan ETS

isi	Panjang (Meter)		Δ (Meter)
	TLS	ETS	
A01	4.819	4.815	0.004
A02	4.818	4.821	0.003
A03	1.630	1.631	0.001
A04	0.885	0.883	0.002
A05	1.598	1.601	0.003
A06	0.890	0.896	0.006
A07	1.635	1.630	0.005
A08	1.633	1.632	0.001
A09	1.658	1.658	0.000
A10	1.622	1.627	0.005
B01	2.483	2.481	0.002
B02	3.537	3.541	0.004
B03	1.362	1.363	0.001
B04	6.581	6.586	0.005
B05	1.366	1.366	0.000
B06	6.584	6.577	0.007
B07	11.045	11.032	0.013
B08	1.278	1.276	0.002
B09	2.491	2.495	0.004
B10	4.261	4.259	0.002
C01	4.249	4.253	0.004
C02	1.803	1.796	0.007
C03	2.813	2.811	0.002
C04	1.778	1.783	0.005
C05	2.814	2.814	0.000
C06	1.791	1.788	0.003
C07	2.468	2.467	0.001
C08	3.695	3.691	0.004
C09	3.690	3.693	0.003
C10	7.362	7.351	0.011
D01	3.214	3.211	0.003
D02	4.236	4.232	0.004
D03	1.758	1.760	0.002
D04	5.025	5.025	0.000
D05	3.700	3.706	0.006
D06	3.766	3.767	0.001
D07	2.513	2.511	0.002
D08	6.631	6.639	0.008
D09	1.772	1.770	0.002
D10	1.808	1.805	0.003
E01	5.086	5.076	0.010
E02	4.448	4.440	0.008
E03	4.247	4.249	0.002
E04	4.263	4.267	0.004
E05	0.643	0.646	0.003
E06	0.585	0.584	0.001
E07	0.641	0.639	0.002
E08	0.586	0.589	0.003
E09	1.519	1.518	0.001
E10	1.491	1.493	0.002

Dari data perbandingan panjang sisi tabel 2, maka dapat dihitung nilai:

Jumlah Δ	= 0.176 m	Min Δ	= 0.000 m
Mean Δ	= 0.00352 m	Maks Δ	= 0.013 m

Nilai RMS = 0.00446318 m

4.7. Analisis Gereja Blenduk Sebagai Bangunan Cagar Budaya

Gereja Blenduk mulai dibangun pada tahun 1753 berbentuk rumah panggung Jawa dengan atap yang sesuai dengan arsitektur Jawa. Hal ini dapat dilihat pada peta kota Semarang tahun 1756 yang menunjukkan konfigurasi massa yang berbeda dari sekarang. Dengan usia lebih dari 250 tahun sampai sekarang ini, tentunya gereja Blenduk sangat layak dan pantas untuk dikategorikan sebagai bangunan cagar budaya. Selain itu dapat dianalisis dari segi kriteria baik fisik maupun nonfisik, gereja Blenduk memenuhi persyaratan sebagai bangunan cagar budaya yang sudah tercantum dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2010 tentang cagar budaya. Antara lain sebagai berikut:

1. Bentuk, struktur, dan ornamen dari gereja Blenduk memiliki nilai keindahan arsitektural. Baik dalam hal penampakan dari luar maupun dalam bangunan.
2. Gereja Blenduk dijadikan sebagai *landmark* kawasan kota lama karena memiliki nilai keistimewaan, keunikan, dan kelangkaan bangunan.
3. Tetap mempertahankan keaslian bentuk yang berkaitan dengan tingkat perubahan bentuk fisik, baik melalui penambahan atau pengurangan jumlah ruang, elemen struktur, konstruksi, dan detail atau ornamen.
4. Dilihat dari segi keterawatan yang berkaitan dengan kondisi fisik bangunan baik tingkat kerusakan, persentase sisa bangunan, dan kebersihan bangunan. Maka dapat dilihat dan dibuktikan sendiri sampai sekarang ini, bentuk dari keaslian bangunan gereja Blenduk tetap utuh dan terjaga dengan baik.

4.8. Analisis Uji Statistika (Uji Signifikansi)

Pada sub bab ini dilakukan analisis deterministik menggunakan metode uji statistika dengan cara teknik uji *Paired Samples T-Test*. Uji statistika yang dilakukan didasarkan atas uji signifikansi terhadap dua metode pengamatan di lapangan (data ETS dan TLS). Untuk lebih jelasnya, analisis uji statistika dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Tes Satu Sampel *Kolmogorov-Smirnov*

Dasil hasil pengukuran menggunakan ETS dan TLS dapat dilakukan pengujian statistika dengan metode uji normalitas data (tes *Kolmogorov-Smirnov*). Sebelum dilakukan pengujian dengan SPSS berdasarkan uji *Kolmogorov-Smirnov*, maka perlu disusun hipotesa awal yang akan diuji sebagai berikut:

H_0 : Sampel berasal dari populasi yang berdistribusi normal ($\alpha > 0,05$)

H_A : Sampel berasal dari populasi yang berdistribusi tidak normal ($\alpha < 0,05$)

Tabel 3. Keluaran Uji SPSS Uji Normalitas Data ETS dan TLS

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		ETS	TLS
N		50	50
Normal Parameters ^a	Mean	3050.88	3051.42
	Std. Deviation	2.096E3	2.097E3
	Absolute	.184	.183
Most Extreme Differences	Positive	.184	.183
	Negative	-.120	-.120
Kolmogorov-Smirnov Z		1.300	1.296
Asymp. Sig. (2-tailed)		.068	.069

Setelah dilakukan pengujian dengan SPSS berdasarkan pada uji *Kolmogorov-Smirnov* dengan tingkat kepercayaan 95%, maka data dari hasil pengukuran menggunakan ETS dan TLS terdistribusi normal (H_0). Hal ini dibuktikan dengan nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* berturut-turut data ETS dan TLS adalah 0,068 dan 0,069 yang keduanya lebih besar dari 0,05 (batas kepercayaan).

2. Tes Korelasi Sampel *Paired*

Tahapan selanjutnya adalah melakukan pengujian statistika dengan metode uji korelasi sampel *paired*. Sebelum dilakukan pengujian dengan SPSS berdasarkan uji *Paired Samples Correlations*, maka perlu disusun hipotesa awal yang akan diuji sebagai berikut:

H_0 : Sampel berasal dari populasi yang ada hubungan erat ($\alpha < 0,05$)

H_A : Sampel berasal dari populasi yang tidak ada hubungan erat ($\alpha > 0,05$)

Tabel 4. Keluaran SPSS Korelasi Data ETS dan TLS

Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	ETS & TLS	50	1.000	.000

Setelah dilakukan pengujian dengan SPSS berdasarkan pada uji *Paired Samples Correlations* dengan tingkat kepercayaan 95%, maka data dari hasil pengukuran menggunakan ETS dan TLS ada hubungan erat (H_0). Hal ini dibuktikan dengan nilai *Correlation* sebesar 1 yang artinya data ini berkorelasi sempurna (dengan nilai $|\Delta|$ di bawah milimeter). Untuk nilai *Sig.* sebesar 0,000 lebih kecil dari 0,05 (batas kepercayaan) yang berarti ada hubungan erat antara data hasil pengukuran ETS dan data hasil pengukuran TLS. Maksud dari hubungan erat yaitu hasil antara pengukuran ETS dan TLS mempunyai selisih yang sangat kecil.

3. Tes Sampel *Paired*

Untuk tahapan terakhir dilakukan pengujian statistika dengan metode uji tes sampel *paired*. Sebelum dilakukan pengujian dengan SPSS berdasarkan uji *Paired Samples Tes*, maka perlu disusun hipotesa awal yang akan diuji sebagai berikut:

H_0 : Sampel berasal dari populasi yang ada perbedaan signifikan ($\alpha < 0,05$)

H_A : Sampel berasal dari populasi yang tidak ada perbedaan signifikan ($\alpha > 0,05$)

Tabel 5. Keluaran SPSS Hasil Signifikansi Uji Perbedaan Dua Kali Pengukuran

Paired Samples Test

		Paired Differences					T	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	ETS - TLS	-.540	4.537	.642	-1.829	.749	-.842	49	.404

Setelah dilakukan pengujian dengan SPSS berdasarkan pada uji *Paired Samples Tes* dengan tingkat kepercayaan 95%, maka data dari hasil pengukuran menggunakan ETS dan TLS tidak ada perbedaan signifikan (H_A). Hal ini dibuktikan dengan nilai *Sig. (2-tailed)* atau nilai signifikansi sebesar 0,404 lebih besar dari 0,05 (batas kepercayaan) yang berarti tidak ada perbedaan signifikan dari kedua data hasil pengukuran ETS dan TLS.

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Metode TLS dapat digunakan untuk pemodelan 3D bangunan cagar budaya gereja Blenduk, yang berfungsi sebagai solusi dalam pendokumentasian untuk pekerjaan konservasi yang bersifat detail dan mempunyai tingkat keakurasian tinggi. Hal ini dibuktikan dengan membandingkan ukuran panjang sisi gereja Blenduk antara pengukuran TLS dan ETS, diperoleh nilai RMS sebesar 4 mm di bawah batas toleransi nilai standar deviasi yang telah ditentukan yaitu sebesar 5 mm.
2. Besar nilai ketelitian pengukuran dengan metode TLS dibandingkan metode ETS adalah sebagai berikut:
 - a. Berdasarkan hasil analisis perbandingan panjang sisi antara pengukuran TLS dengan pengukuran ETS diperoleh jumlah nilai selisih sebesar 0.176 m dan nilai rata-rata selisih dari setiap sisi pengukuran sebesar 0.00352 m dengan nilai selisih minimal sebesar 0.000 m dan nilai selisih maksimal sebesar 0.013 m, serta diperoleh nilai RMS sebesar 0.00446318 m.
 - b. Total nilai RMS dari hasil registrasi data pengukuran TLS sebesar 0.032 m, dengan nilai rata-rata RMS di setiap titik berdiri alat adalah 0.004 m. Dalam penelitian ini batas nilai toleransi kesalahan maksimal yang ditentukan sebesar 5 mm. Dengan nilai rata-rata

ketelitian ukuran standar deviasi (nilai RMS) adalah 0.004 m atau 4 mm, maka nilai rata-rata hasil registrasi data ini memenuhi standar deviasi (masuk dalam toleransi). Maka untuk pengukuran panjang sisi gereja Blenduk, metode TLS sama-sama teliti dengan metode ETS.

c. Setelah dilakukan uji normalitas (tes *Kolmogorov-Smirnov*), maka diperoleh nilai *Asymp Sig. (2-tailed)* sebagai berikut:

1) Nilai (α) ETS = 0,068

2) Nilai (α) TLS = 0,069

Berdasarkan pada uji *Kolmogorov-Smirnov* dengan tingkat kepercayaan 95%, maka data hasil pengukuran dengan ETS dan TLS terdistribusi normal (H_0) karena nilai (α) ETS dan nilai (α) TLS > dari $\alpha = 0,05$ (batas kepercayaan).

d. Setelah dilakukan uji korelasi, maka diperoleh nilai sebagai berikut:

1) Nilai *Correlation* = 1,000

2) Nilai *Sig.* = 0,000

Berdasarkan pada uji *Paired Samples Correlations* dengan tingkat kepercayaan 95%, maka data hasil pengukuran dengan ETS dan TLS ada hubungan erat (H_0). Hal ini dibuktikan dengan nilai *Correlation* sebesar 1,000 yang artinya data ini mempunyai korelasi sempurna (dengan nilai $|\Delta|$ di bawah milimeter). Untuk nilai *Sig.* sebesar $0,000 < \text{dari } \alpha = 0,05$ (batas kepercayaan) yang berarti ada hubungan erat antara data hasil pengukuran ETS dan pengukuran TLS.

e. Setelah dilakukan uji signifikansi diperoleh nilai *Sig. (2-tailed)* atau nilai signifikansi = 0,404. Berdasarkan pada uji *Paired Samples Tes* dengan tingkat kepercayaan 95%, maka data hasil pengukuran dengan ETS dan TLS tidak ada perbedaan signifikan (H_A). Hal ini dibuktikan dengan nilai *Sig. (2-tailed)* atau nilai signifikansi sebesar $0,404 > \text{dari } \alpha = 0,05$ (batas kepercayaan) yang berarti tidak ada perbedaan signifikan dari kedua data hasil pengukuran ETS dan TLS.

5.2. Saran

1. Pengukuran objek menggunakan TLS sebaiknya dilakukan pada pagi hari dari jam 06.00-09.00 dan pada sore hari dari jam 15.00-18.00, karena akan mempengaruhi tingkat kecerahan hasil pemotretan objek yang berdampak pada hasil penyiaman objek. Hindari posisi pengukuran objek yang menentang matahari karena dapat menimbulkan efek *flare* (cahaya masuk dan menyebar di dalam lensa melalui mekanisme yang tidak diharapkan). Posisi berdiri alat sangat menentukan kualitas dari hasil penyiaman objek. Untuk itu diusahakan menghindari halangan yang mengganggu objek (hindari adanya *noise*). *Laser scanner* tidak efektif jika digunakan pada area pengukuran yang terlalu banyak sinar matahari menerangi objek pengukuran tersebut. Pelaksanaan *scanning* sebaiknya dilakukan secara berkala, agar dapat dilakukan analisis *time series*.

2. Untuk meningkatkan kualitas hasil pemodelan 3D bangunan, gedung, maupun objek-objek penyiaman yang lain, sebaiknya pada saat proses penyiaman data menggunakan Metode Kombinasi antara metode *target to target registration* dan metode *cloud to cloud registration*. Metode tersebut merupakan suatu metode dengan proses registrasi yang dilakukan secara kombinasi yaitu antara metode *target to target registration* dan metode *cloud to cloud registration*, sehingga untuk kualitas hasil registrasi dan ukurannya untuk metode ini memiliki kualitas yang lebih baik dibanding dengan metode *target to target registration* maupun metode *cloud to cloud registration*.
3. Penelitian lebih lanjut mengenai alat ini terutama mengeksplorasi masalah resolusi dan akurasi dari alat ini, serta pengolahan data untuk mendapatkan hasil kenampakan objek yang lebih baik sangat disarankan.

DAFTAR PUSTAKA

- Barnes, A. (2012) : *Penggunaan Metode Fotogrametri Rentang Dekat dan Laser Scanning dalam Pembuatan Dense Point Cloud (Studi Kasus: Candi Cangkuang)*. Tugas Akhir. ITB. Bandung
- Jacobs, G. (2005) : *High Definiton Surveying: 3D Laser Scanning Use in Building and Architectural*. Professional Surveyor Magazine.
- 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
- Pflipsen. (2006) : *Laser Scanning Principle and Applications*. Institute of Fotogrammetry and Remote Sensing. Vienna University of Technology. Austria
- Sufren dan Natanael, A. (2013) : *Mahir Menggunakan SPSS Secara Otodidak*. PT. Elex Media Komputindo. Jakarta

Dari Situs Internet

- Stastikian. (2014). <http://statistikian.blogspot.com/2013/01/uji-normalitas.html> diunduh pada tanggal 30 Juni 2014.
- Uliansyah. (2014). <http://www.uliansyah.or.id/tag/uji-signifikansi> diunduh pada tanggal 30 Juni 2014.
- Wikipedia. (2014). http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner diunduh pada tanggal 22 Februari 2014.