

**PEMODELAN MODEL 3D MENGGUNAKAN METODE TLS
(TERRESTRIAL LASER SCANNER)
(STUDI KASUS : CANDI PLAOSAN LOR, KABUPATEN KLATEN)**

Nabila Rahmawati^{*)}, Yudo Prasetyo, Firman Hadi

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email: Nabilabumi@students.undip.ac.id

ABSTRAK

Candi Plaosan merupakan cagar budaya yang menjadi salah satu destinasi wisatawan untuk berkunjung saat berada di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. Guna mempertahankan dan melestarikan candi, dibutuhkan generasi penerus yang paham akan Candi. Kendati hal itu, untuk tetap menjaga dan melestarikan Candi tersebut diperlukan langkah rekonstruksi dan konservasi. Hal ini dapat dilakukan dengan pendokumentasikan 3D Candi secara digital. Salah satu jalan keluar yang ditawarkan oleh teknologi ini adalah pemodelan 3D dengan wahana TLS. TLS dipilih karena perkembangannya yang lebih baik jika di bandingkan dengan pemodelan menggunakan UAV (Bernard Ray, 2017)

TLS melakukan 11 kali perekaman data mengelilingi objek Candi Plaosan. Proses perekaman data dilakukan dengan bantuan BLK seri 360. Setelah data didapatkan, kemudian melakukan registrasi dengan bantuan registrasi *software* Autodesk RecapPro. Tahap selanjutnya adalah pemodelan 3D pada *software* CloudCompare dengan metode *Poisson Surface Reconstruction*. Model 3D yang dihasilkan dianalisis dengan menggunakan standar kualitas *Level of Detail* (LoD) yang dikembangkan oleh *City Geography Markup Language* (CityGML) menurut Biljecki, et al. (2016).

Penelitian ini menghasilkan nilai registrasi *point cloud* pada *overlap* dengan nilai rata-rata 20.2 %, *balance* dengan nilai rata-rata 7.6%, dan *points* dengan nilai rata-rata 95.3%. Model 3D yang tercipta dari proses *Poisson Surface Reconstruction* data TLS menghasilkan 12.959.390 *faces*. Hasil uji kualitatif model menggunakan 5 sampel bagian yang dimiliki model 3D dan kenampakan pada lapangan tingkat ketelitian model 3D yang dihasilkan oleh TLS memiliki tingkat ketelitian pada LoD3.1.

Kata Kunci: 3D Model, Konservasi, LoD, Registrasi, dan TLS

ABSTRACT

Plaosan Temple is a cultural heritage that is one of the destinations for tourists to visit while in Klaten Regency, Central Java. In order to maintain and preserve the temple, it takes the next generation who understands the temple. Despite this, to maintain and preserve the temple, reconstruction and conservation measures are needed. This can be done by digitally documenting the 3D Temple. One of the solutions offered by today's technology is 3D modeling with the TLS vehicle. TLS was chosen because of its better development when compared to modeling using UAVs (Bernard Ray, 2017)

TLS did 11 times recording data around the Plaosan Temple object. The data recording process is carried out with the help of BLK seri 360. After the data is obtained, then register it with the help of Autodesk RecapPro software registration. The next stage is 3D modeling in CloudCompare software with the Poisson Surface Reconstruction method. The resulting 3D model was analyzed using the Level of Detail (LoD) quality standard developed by City Geography Markup Language (CityGML) according to Biljecki, et al. (2016).

This research resulted in point cloud registration values on overlap with an average value of 20.2%, balance with an average value of 7.6%, and points with an average value of 95.3%. A 3D model created from the Poisson Surface Reconstruction data TLS produces 12,959,390 faces. The qualitative test results of the model use 5 part samples that belong to the 3D model and the appearance in the field of detail level of the 3D model produced by TLS has a level of detail in LoD3.1.

Keywords: 3D Model, Conservation, LoD, Registration, and TLS

**) Penulis Penanggung Jawab*

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Provinsi Jawa Tengah merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki daya tarik tinggi karena potensi pariwisatanya yang cukup beragam. Tercatat sebanyak 49.620.775 wisatawan mancanegara maupun domestik yang berkunjung ke tempat ini menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Jawa Tengah (2018). Potensi tersebut datang salah satunya dari wisata sejarah. Satu dari Kabupaten yang menjadi tujuan populer untuk berwisata sejarah di Provinsi ini ialah Kabupaten Klaten. Memiliki luas 2.01% dari Jawa Tengah, Kabupaten Klaten mewakili wisata tersebut karena dikenal menyimpan banyak peninggalan sejarah, termasuk wisata sejarah candi.

Candi yang menjadi salah satu tujuan wisatawan di Kabupaten Klaten adalah Candi Plaosan. Candi ini telah dilakukan pemugaran mulai dari tahun 1940 sampai 2015 secara bertahap untuk menciptakan bangunan terbaik hingga dapat dinikmati bangunannya kini. Masalah yang dihadapi sekarang dikemukakan oleh Aris Banindro, Pengamat Arkeolog BPCP Jateng, Diwawancarai di Satumedia TV (2017) adalah perlunya pelestarian dan konservasi lebih lanjut guna mempertahankan dan melestarikan candi. Dibutuhkannya generasi penerus yang paham akan Candi Plaosan untuk dapat melestarikan keberadaan Candi Plaosan.

Langkan rekonstruksi dan konservasi untuk pelestarian cagar budaya bisa dilakukan dengan proses pendokumentasian dari objek tersebut. Salah satu jalan keluar yang ditawarkan oleh teknologi zaman ini datang dari pemodelan 3D dengan wahana TLS. Perkembangan teknologi pemodelan 3D menggunakan TLS banyak diterapkan untuk pemeliharaan bangunan karena memiliki ketelitian yang lebih baik jika dibandingkan dengan pemodelan menggunakan UAV (Bernard Ray, 2017).

Pada penelitian ini TLS berperan untuk mendokumentasikan bangunan Candi Plaosan. Selain bentuk 3D dari Candi, pada studi ini juga memperlihatkan nilai RMSE yang dihasilkan dari registrasi. Melalui efisiensi yang dimiliki oleh TLS nantinya dapat menjadi jalan keluar bagi cagar budaya terutama Candi Plaosan untuk memelihara dan melestarikan bangunan bersejarahnya.

I.2 Rumusan Masalah

Penelitian kali ini mengangkat beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana analisis registrasi menggunakan metode *cloud to cloud* yang dihasilkan TLS ?
2. Bagaimana analisis hasil visualisasi model 3D Candi Plaosan Lor menggunakan metode *poisson surface reconstruction*?

I.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan akhir sebagai berikut:

1. Mengetahui analisis registrasi menggunakan metode *cloud to cloud* yang dihasilkan oleh TLS.

2. Mengetahui analisis hasil visualisasi model 3D Candi Plaosan Lor menggunakan metode *Poisson Surface Reconstruction*.

I.4 Batasan Penelitian

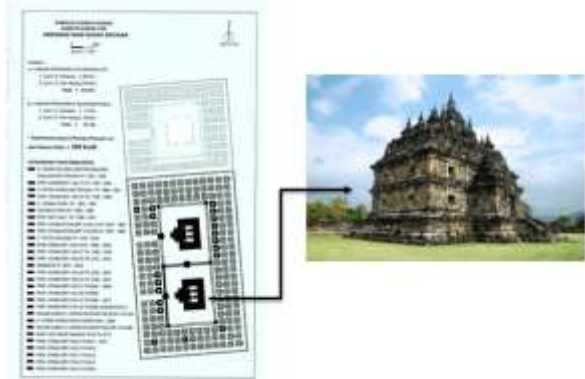
Penelitian ini memiliki batasan yang diharapkan tidak terlalu luas dan fokus pada tujuan tertentu. Batasan penelitian ini sebagai berikut:

1. Proses registrasi *point cloud* data TLS menggunakan *software* RecapPro.
2. Proses pemodelan dan rekonstruksi objek atau proses *surface reconstruction* menggunakan *software* CloudCompare.
3. Model yang dikaji adalah pada penelitian ini merupakan data sekunder dari model yang didapatkan dari hasil penyiaman *point cloud* TLS pada November 2019 oleh PT. Kreasi Handal Selaras. Kajian mengenai pengambilan data atau *pre-processing* tidak dijelaskan secara terperinci.
4. TLS series BLK360 tidak memiliki georeferensi pada alatnya.
5. Proses pengambilan data TLS oleh PT. Kreasi Handal Selaras tidak dilakukan diatas titik tetap.
6. Penelitian ini tidak melakukan koreksi geometrik atau memasukan nilai georeferensi.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Kondisi Umum Wilayah Penelitian

Penelitian berlokasi di Candi Plaosan Lor yang terletak pada koordintat 7°44'26.4" LS 110°30'16.9" BT. Secara administratif lokasi penelitian terletak di Desa Bugisan, Kecamatan Prambanan, Kabupaten Klaten, Provinsi Jawa Tengah. Candi Plaosan lor merupakan salah satu candi di komplek Candi Plaosan. Candi ini memiliki dua bangunan yang dapat dibilang identik sehingga dinamakan candi kembar.



Gambar II-1 Objek Penelitian (BPCB Jawa Tengah, 2017)

Kompleks Candi Plaosan merupakan kompleks candi yang cukup luas. Terdapat dua bagian dari tempat ini yakni Candi Plaosan Kidul dan Candi Plaosan Lor. Kedua kompleks candi dipisahkan oleh jalan aspal yang membentang timur barat dan lingkungan tanah persawahan. Kompleks Candi Plaosan Lor secara keseluruhan terletak di tengah tanah persawahan dan di sebelah barat Kompleks Candi Plaosan Kidul terdapat

perumahan penduduk Dukuh Plaosan. Diperkirakan dibangun pada abad ke-9 Candi Plaosan oleh Raja Rakai Pikatan dan Sri Kahulunan pada masa Kerajaan Mataram Kuno. Tempat ini mengandung kisah romantik di balik pembangunannya Candi ini dibangun sebagai bukti cinta Raja Rakai Pikatan kepada istrinya yaitu Sri Kahulunan.

Dari tahun penemuannya, Candi Plaosan terus melakukan pemegaran-pemegaran mulai dari tahun 1940-2015. Awal mulanya bangunan tertutup oleh tumpukan tanah bekas gunung berapi, kemudian tanah diuruk secara besar-besaran dan ditemukan batu-batu candi tersebut yang dinamakan stupa perwara dan ratna perwara. Pemegaran dilakukan untuk menyatukan bebatuan tersebut untuk disusun menjadi satu kesatuan candi.

II.2 Terrestrial Laser Scanner (TLS)

Terrestrial Laser Scanner (TLS) merupakan salah satu bagian dari teknologi LiDAR sedang populer dan banyak untuk pemetaan 3D. TLS adalah alat yang menggunakan cahaya laser untuk mendapatkan bentuk tiga dimensi dari pengukuran titik-titik dalam sebuah pola secara langsung pada permukaan objek dari sebuah tempat di permukaan bumi (Reshetyuk, 2009). Penyiaran sinar laser yang dilakukan oleh TLS akan menghasilkan *point clouds* yang berkoordinat tiga dimensi terhadap tempat berdiri alat. TLS yang digunakan pada penelitian ini adalah BLK 360 seperti **Gambar II-1**, yang dimiliki PT. Kreasi Handal Selaras.



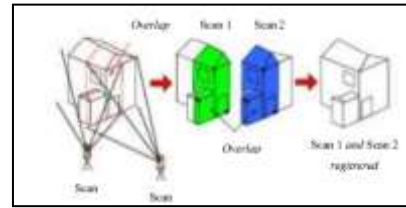
Gambar II-2 BLK 360 (Hexagon System, 2020)

TLS memiliki kelebihan dibandingkan dengan alat ukur konvensional lainnya yaitu pengambilan data lebih cepat dan kualitas hasil pengukuran yang jauh lebih akurat. Tingkat ketelitian geometrik dari TLS dinyatakan lebih tinggi dibandingkan dengan alat lain.

Di antara kelebihan yang dimiliki oleh TLS, terdapat satu kelemahan yaitu ketidakmampuan TLS dalam mengakuisisi warna. Walaupun demikian, hal ini tergantung pada seri alat yang dipakai. Ada seri tertentu yang mampu menghasilkan warna sebagai hasil dari pantulan laser.

II.2.1 Metode Registrasi Cloud To Cloud Data TLS

Registrasi ini menggunakan minimal 3 titik sekutu yang dimiliki dari kedua hasil scan. Konsep registrasi ini menggunakan metode *iterative closest point* (ICP). Maksud dari konsep ini adalah mencari *offset* atau jarak terdekat secara berulang-ulang dari kedua titik yang terdekat antara kedua kumpulan *point clouds*. Meskipun jumlah titik minimal adalah 3 titik namun perlu tetap memperhatikan ketelitian yang sama, dari setiap penggabungan itu diharapkan dapat mencapai 60% (Andi R.P, 2016). Ilustrasi metode registrasi *cloud to cloud* data TLS dapat dilihat pada **Gambar II-2**.



Gambar II-3 Metode Registrasi *Cloud To Cloud* Data TLS (Reshetyuk, 2009)

II.2.2 Registrasi pada Recap Pro

Teknik registrasi dapat dilakukan secara manual dengan bantuan Autodesk Recap Pro. *Software* ini banyak menjadi alat bantu dalam menyatukan antar *point cloud* berdiri alat. Sistemnya dapat menggunakan 2 metode, dengan menggunakan target atau menggunakan *point*. Metode pertama yaitu target. Metode target adalah menyatukan *point cloud* dengan memilih target yang telah dipasang sebelum pengambilan data dilakukan. Metode ini dapat mempermudah penggabungan karena telah memiliki target sebelumnya. Namun, apabila pengguna tidak menggunakan target dapat menggunakan metode kedua yaitu *point*. Metode *point* adalah memilih tiga bagian yang mencolok antar berdiri alat untuk menjadi target penggabungan. Saat memilih metode tersebut terdapat 3 indikator yang didapatkan dari hasil penempatan targetnya. Indikator yang dimaksud sebagai berikut :



Gambar II-4 *Overlap, Balance, dan Points* (Autodesk Recap Pro, 2020)

1. *Overlap*
ReCap Pro merekomendasikan setidaknya 30% nilai *overlap* antara setiap pemindaian agar proses registrasi berjalan dengan baik.
2. *Balance*
Menunjukkan nilai persentase fitur umum dalam pemindaian yang digunakan untuk memastikan penggabungan dari beberapa fitur tiga dimensi dan dua dimensi saling tumpang tindih dengan kesalahan kecil. Nilai *balance* baik antara 0 sampai 1.
3. *Point < 6mm*
Menunjukkan nilai persentase titik yang tumpang tindih dalam 1/4 "(atau 6mm) dari fitur yang sesuai dalam proyek. Nilai ini harus lebih besar dari 90%.

II.3 Poisson Surface Reconstruction

Poisson surface reconstruction merupakan sebuah plugin yang menghasilkan sebuah algoritma tiangulasi

mesh yang dibuat oleh Misha Kazhdan dari Universitas Johns Hopkins. Proses pembangunan model menggunakan *plug-in* ini harus memasukkan nilai normal yang dipastikan sudah bersih dari *noise*. Selain menjadi bentuk 3D, *output* juga dapat memasukkan informasi *density* untuk mendapatkan *mesh* yang lebih valid. Metode *poisson surface reconstruction* menghasilkan permukaan yang kedap air sehingga tidak ada lubang pada permukaannya. Hasil pembangunan model dengan metode ini dapat dilihat pada **Gambar II-4**.



Gambar II-5 Poisson Surface Reconstruction

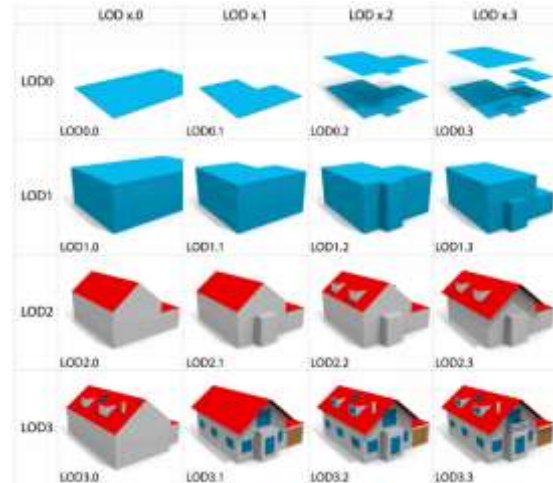
II.3.1 CloudCompare

CloudCompare merupakan *software* pengolah data 3D *point cloud* yang diciptakan oleh Daniel Girardeau-Montaut pada tahun 2003 (CloudCompare, 2018). *Software* ini bersifat *open access*. CloudCompare banyak digunakan untuk pemodelan *point cloud* menjadi model *mesh*. Selain dapat diakses secara terbuka, *software* ini dapat menyimpan hasil pengoalahan dalam berbagai format sehingga banyak sector yang memanfaatkan *software* ini.

Sebelum mengolah data *point cloud*, terlebih dahulu pengguna memasukkan orientasi normal kedalam *point cloud* tersebut. Pertama adalah istilah *octree*. *Octree* sendiri merupakan nilai numerik (*satu/point*) yang menentukan posisi absolut sebuah titik untuk semua tingkat subdivisi, baik digunakan dalam representatif spasial. Pemasukan nilai *Octree* dapat dilakukan secara auto dari hasil perhitungan *software* atau dimasukan nilai secara manual. Selanjutnya, nilai normal akan mengisi kekosongan pada daerah-daerah yang rumpang. Untuk mengatasinya maka dalam pengaturan nanti akan dikenal istilah *minimum spanning tree*.

II.4 Standar Kualitas Level of Detail

Pelaksanaan pembangunan model 3D menjadi populer dikalangan surveyor. Hal tersebut mendorong standarisasi untuk mengukur tingkat kedetailan dari suatu bangunan tersebut. Standarisasi tersebut dikenal dengan istilah *level of detail* (LoD). LoD digunakan dalam banyak disiplin ilmu yang mengangkat kasus grafik, kartografi, hingga desain. LoD yang dikembangkan oleh City Geography Markup Language (CityGML) yang terbagi menjadi 4 level, antara lain LoD0 hingga LoD3 (Biljecki, et al., 2016).



Gambar II-6 LoD (Biljecki, et al., 2016)

III. Metodologi Penelitian

III.1 Data-Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data yang dapat dilihat pada **Tabel III-1** :

Tabel III-1

No.	Data	Tahun	Keterangan
1.	Data Point Cloud TLS	2019	Merupakan data sekunder yang didapatkan dari PT. Kreasi Handal Selaras
2.	Foto Objek Penelitian	2020	Survei lapangan

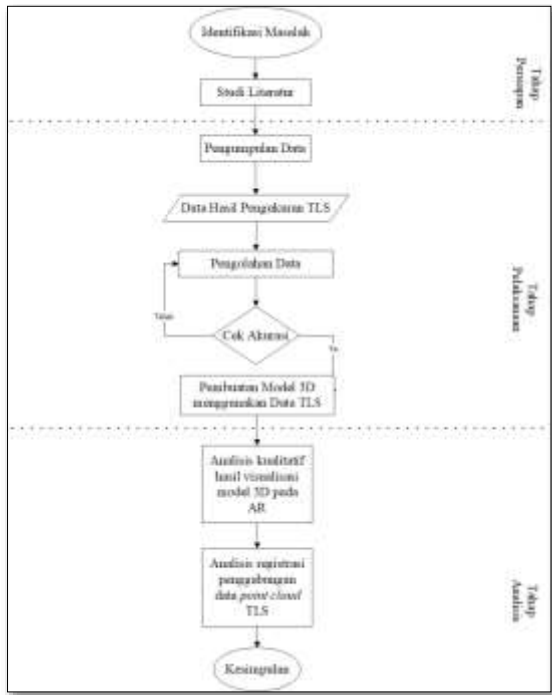
III.2 Alat-Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Laptop Asus VivoBook A442U
2. TLS BLK360
3. Kamera *smartphone*
4. *Software* RecapPro (*License Type* : *Education Stand-alone*)
5. *Software* Microsoft Office 2010 (*License Type* : *Office 365 A1 for faculty*)
6. *Software* CloudCompare 2.11

III.3 Diagram Alir Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir yang dapat dilihat pada **Gambar III-1**.



Gambar III-1 Diagram Alir Penelitian

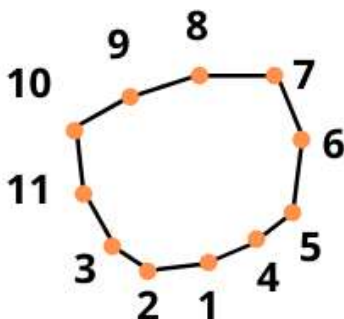
III.4 Tahapan Persiapan

Tahap persiapan terdiri dari perumusan masalah, pencarian studi literatur yang berkaitan dengan penelitian, perizinan untuk melakukan pengumpulan data kepada Badan Pelestarian Cagar Budaya (BPCB) Jawa Tengah serta PT. Kreasi Handal Selaras sebagai pemegang data pihak pertama.

III.5 Tahapan Pelaksanaan

III.5.1 Pengumpulan Data TLS

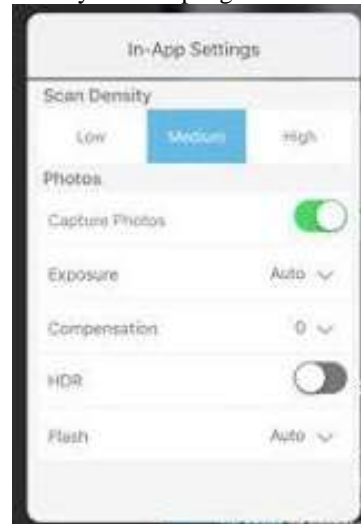
Pengumpulan data TLS dilakukan oleh PT. Kreasi Handal Selaras pada tanggal 14 November 2019 di Candi Plaosan. Pengumpulan data dilakukan mulai pukul 12.00 sampai dengan 15.00 WIB dengan keadaan cuaca yang baik. Terdapat 11 tempat berdiri alat dengan jarak antar titik maksimal 2m (Gambar III-2). Data TLS dihasilkan melalui hardware BLK series 360 dengan bantuan wireless yang menghubungkan alat dengan software pada iPad Autodesk ReCap Pro.



Gambar III-2 Lokasi Tempat Berdiri Alat

Sebelum memulai scanning, terlebih dahulu mengatur pengaturan BLK 360 seperti yang terlihat pada Gambar III-4. Pertama, Scan Density yang merupakan berapa banyak point yang akan ditangkap

dalam satu pemindaian. Scan Density dipilih medium, selain direkomendasi oleh device, juga agar data tidak terlalu berat dan efisien dalam waktu pekerjaan. Kedua, Capture Photo diaktifkan untuk menghasilkan panoramic photo dan memberikan warna RGB pada point cloud nanti. Terakhir, Exposure dan flash dipilih moda auto tujuannya mode dapat menyesuaikan keadaan pencahayaan di lapangan.



Gambar III-3

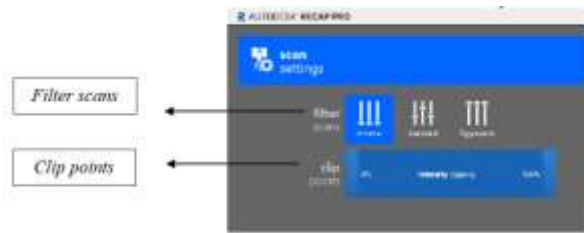
III.5.2 Pengolahan Data TLS

Pengolahan data TLS merupakan langkah awal untuk masuk ke bagian pembentukan 3D. Point cloud yang telah dikumpulkan setelahnya diproses sehingga tercipta bentuk surface yang diharapkan. Pertama adalah melakukan registrasi data point cloud yang dihasilkan dari pengumpulan data TLS.

Proses Registrasi pada Autodesk Recap Pro berguna untuk menyatukan semua point cloud yang didapatkan dari perekaman TLS. Sebanyak 11 tempat berdiri alat, data digabungkan satu-persatu sehingga sesuai dengan urutan perekamannya. Tahap pertama ialah membuat project dengan nama dan tempat penyimpanan yang disesuaikan (E:\FOLDER SKRIPSI\FOLDER DATA DAN PENGOLAHAN TUGAS AKHIR\2. FOLDER TLS) seperti Gambar III-4. Selanjutnya, memasukan data point cloud dari TLS. Setelah itu pengaturan awal registrasi meliputi pengaturan filtering pada Gambar III-5 dan advanced pada Gambar III-6.



Gambar III-4 Penamaan Project

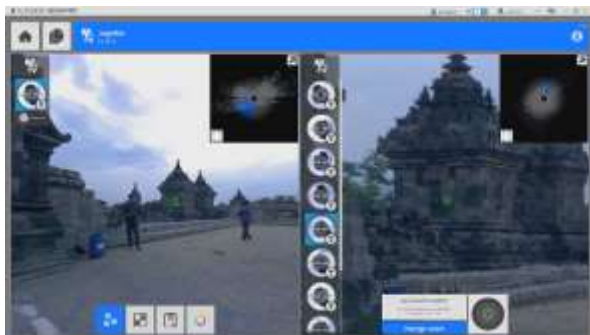


Gambar III-5 Pengaturan Filtering

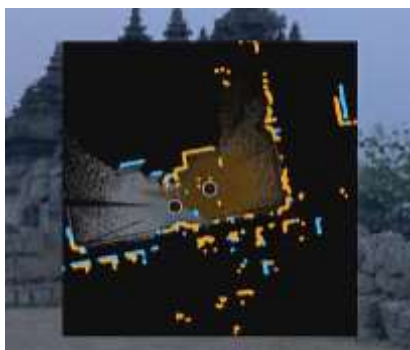


Gambar III-6 Pengaturan Advanced

Pada penelitian ini menggunakan metode registrasi yang mengikat tiga titik. Pemilihan bidang *survey target* sebaiknya tersebar agar titik ikat dapat terkontrol dengan baik. Bidang yang dipilih juga berada di tempat yang datar dan tidak berada di ujung suatu objek hal tersebut bertujuan untuk mengantisipasi kedudukan *point cloud* pada tepi objek yang tidak terdeteksi. Setelah kedua *scene* diikat oleh titik dengan kedudukan yang sama seperti Gambar III-17, lalu akan diperlihatkan hasil sketsa dari penyatuan *point cloud* tersebut seperti Gambar III-8.



Gambar III-7 Penempatan Survei Target



Gambar III-8 Tampilan Point Cloud Setelah Proses Survei Target

Pemindaian yang dipilih secara aktif di sebelah kanan secara otomatis diperiksa kecocokannya dengan pemindaian yang dipilih dalam kelompok pemindaian

di sebelah kiri. Kemudian akan memperlihatkan hasil yang didapatkan dari proses registrasi tersebut. Apabila telah mencapai *indeks* → *approve* → *merge scan* untuk menggabungkan *point cloud* (Gambar III-9). Setelah semua tempat berdiri alat diregistrasikan, selanjutnya *scan alignment* dilakukan untuk menggabungkan semua *point cloud* di setiap tempat berdiri alat dan jalankan *launch project* untuk menampilkan hasil *project*.

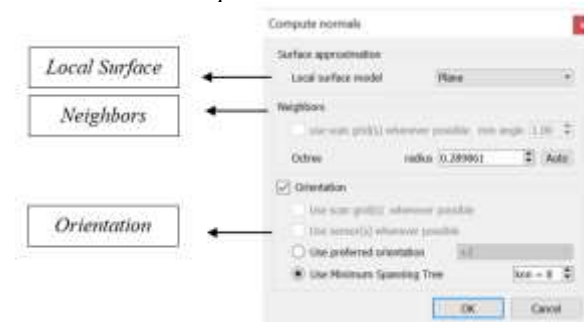


Gambar III-9 Hasil Indeks Merge Scan Points Cloud.

Selanjutnya, proses *filtering* dilakukan untuk membersihkan *point cloud* yang tidak memasuki area objek. Pada penelitian ini filterisasi dilakukan di *software* Autodesk Recap Pro juga. Proses pemilihan menggunakan dua fitur, yaitu *window* dan *fence*. *Window* akan memilih objek dengan bentuk persegi atau persegi panjang sedangkan *fence* lebih fleksibel dengan mengikuti bentuk yang diinginkan. Hal pertama yang dilakukan adalah proses *removal outlier* atau memilih *point cloud* yang *outlier*. Kemudian, pilih *delete* untuk membuang *point cloud* yang telah terpilih.

III.5.3 Pemodelan 3D Candi Plaosan

Proses selanjutnya, adalah pembangunan model 3D dari *point cloud* yang lebih solid. Namun, sebelumnya proses harus memasukan nilai normal terlebih dahulu. Menghitung nilai normal bertujuan untuk membuat visualisasi menjadi lebih baik yang memberikan nilai pada setiap titiknya. Normal pada titik tertentu jelas tegak lurus terhadap rencana garis singgung yang ditentukan untuk titik itu. Normal disimpan sebagai komponen vektor kesatuan dengan arah yang ditentukan. Metode yang dipakai adalah *edit* → *normals* → *compute*.

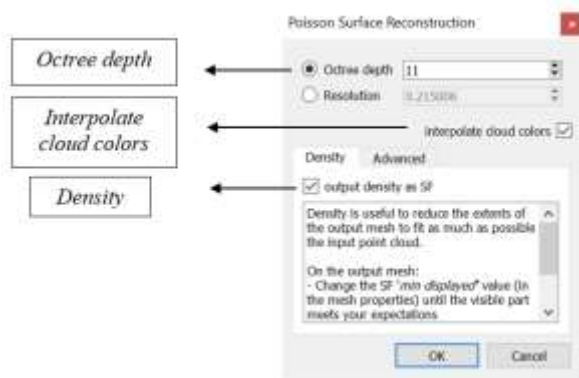


Gambar III-10 Compute Normal to Point Set Data TLS

Penelitian ini memilih *quadric* karena metode tersebut baik digunakan untuk daerah yang

bergelombang. CloudCompare (2016) mengatakan kalau untuk daerah yang bergelombang metode yang baik digunakan adalah metode *quadric*. Nilai yang dipakai dalam penelitian ini merupakan nilai auto yaitu TLS sebesar 0,290. Penelitian ini menggunakan metode *use minimum spanning tree* karena metode ini mencoba untuk mengarahkan kembali semua titik secara konsisten. *Kostanta nearest neighbors* atau knn yang digunakan nilai *default* pada 8.

Surface reconstruction merupakan proses pembangunan model dari *point cloud* yang telah melewati proses *filtering* juga pemasukan nilai normal. Metode yang dipakai adalah *poissonrecon* dipilih melalui *plugins* → *poissonrecon*.



Gambar III-11 Pengaturan *Poisson Surface Reconstruction*

Pada penelitian ini menggunakan nilai 11 karena relief model dapat terwakili dengan baik pada level tersebut. Pada *interpolate cloud color*, dipilih karena merupakan parameter yang dapat dipilih jika hasil model ingin memiliki warna yang sama dengan warna yang dihasilkan dari setiap verteks. Dan densitas dipilih karena parameter yang dapat menghasilkan model memiliki nilai ketinggian tertentu. Dengan memilih *output density as SF*, model yang akan dihasilkan nanti memiliki nilai densitas ketinggian berdasarkan *scalar field* atau nilai ketinggian dari permukaan hasil perekaman data sebelumnya

III.6 Tahapan Pelaksanaan

Tahap analisis terdiri dari menampilkan data hasil registrasi TLS. Kemudian analisis hasil pemodelan 3D dengan metode *poisson surface reconstruction*.

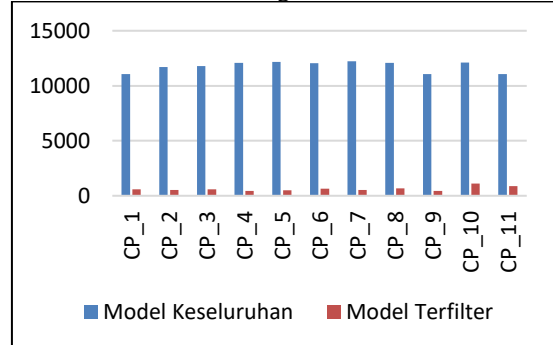
IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Hasil Pengolahan Data TLS

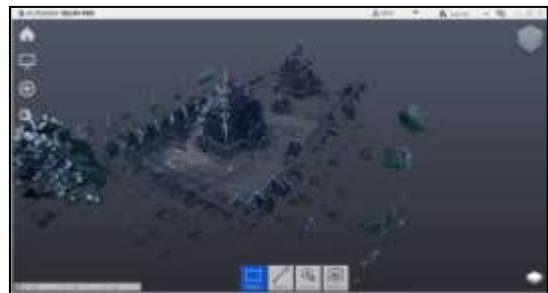
Hasil proses registrasi data TLS diperoleh dari pengolahan pada *software* Recap Pro. Penyiaman dilakukan pada tanggal 14 November 2019. Akuisisi data menghasilkan 11 penyiaman dengan proses registrasi menggunakan metode *cloud to cloud*. Pada **Gambar IV-1** menunjukkan hasil dari registrasi data *point cloud* TLS menggunakan *software* Recap Pro. Proses dilanjutkan dengan filterisasi *point cloud* agar data hanya menampilkan objek penelitian. Proses filterisasi jumlah *point cloud* Candi Plaosan mengalami penurunan hingga 95% (**Gambar IV-2**), yaitu dari 129.429.314 titik (**Gambar IV-3**) menjadi hanya 7.198.274 titik (**Gambar IV-4**).

scan name	overlap	balance	points < 6mm
candi plaosan 2 1	14.4%	5.9%	96.9%
candi plaosan 2 11	16.7%	5.8%	98.2%
candi plaosan 2 12	26.9%	4.1%	97.2%
candi plaosan 2 2	28.2%	5.5%	95.8%
candi plaosan 2 3	30.2%	4.2%	96.8%
candi plaosan 2 4	22.7%	9.8%	96.1%
candi plaosan 2 5	24.4%	6.9%	95.8%
candi plaosan 2 6	19.9%	7.0%	93.0%
candi plaosan 2 7	18.7%	8.4%	94.3%
candi plaosan 2 8	12.7%	11.7%	90.3%
candi plaosan 2 9	7.4%	13.6%	93.5%

Gambar IV-1 RMS Registrasi *Point Cloud* TLS



Gambar IV-2 Grafik Filterisasi *Point Cloud* TLS



Gambar IV-3 Hasil *Point Cloud* TLS Model Keseluruhan



Gambar IV-4 Hasil *Point Cloud* TLS Model Terfilter

Terdapat 9 titik berdiri alat dengan hasil registrasi berindikator kuning. Kuning menunjukkan registrasi bisa benar, tetapi data tidak dikondisikan secara ideal. Sedangkan 2 titik lainnya berindikator merah. Merah menunjukkan hasil yang berada diambang batas karena beberapa nilai tidak memenuhi batas minimal. Selain itu, salah satu indikator juga tidak memenuhi syarat cukup sehingga indeks menggiring untuk indikasi yang kurang baik atau lemah. Indikasi yang menyebabkan nilai registrasi tidak maksimal dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya :

1. Mode yang digunakan saat pemindaian *point cloud* menggunakan medium (**Gambar III-3**). *Scan density* ini mengacu pada seberapa padat *point cloud* 3D dan merupakan ukuran dari berapa banyak titik yang ditangkap selama satu pemindaian. Ini juga memengaruhi kualitas *mesh* 3D. Hal itu yang menyebabkan kualitas medium tidak begitu baik untuk ruangan terbuka dan pemindaian untuk bangunan yang detail seperti candi.
2. Nilai *balance* akan selalu menghasilkan nilai yang kecil dalam kasus ini. Hal itu disebabkan nilai *balance* akan buruk untuk pemindaian pada daerah yang terbuka. Maka nilai akan maksimal diindikator kuning.

IV.2 Hasil Pembentukan Model 3D

Proses pemodelan 3D metode *poisson surface reconstruction* pada CC. Nilai normal yang dimasukan menggunakan *local surface model quadric* karena model tersebut baik digunakan pada daerah yang bergelombang atau tidak teratur seperti Candi Plaosan. Selain itu, mengatur parameter *neighbour* dengan menetapkan nilai radius yang dihasilkan dari *octree level*. Nilai radius dengan *mode auto* yaitu TLS sebesar 0.289861, UAV sebesar 0.264120, dan *point cloud* penggabungan sebesar 0.289861. Lalu, ketiga data tersebut menggunakan nilai *orientation* yang sama dengan kostanta *nearest neighbour (knn)* dinilai 8. Setelah itu proses *poisson surface reconstruction* dijalankan dengan *octree level* 11. Memasukan nilai tersebut didasarkan kedalaman yang diinginkan oleh hasil. Level 11 menunjukan hasil yang baik terhadap objek penelitian. Proses ini menghasilkan model akhir dengan nilai *faces* pada **Tabel IV-2** dari setiap *mesh* dengan data yang berbeda. Nilai tersebut didapatkan dari proses pembangunan *point cloud* menjadi bentuk yang solid. Hasil dari ketiga model 3D *mesh* dapat dilihat pada **Gambar IV-9**.

Tabel IV-1 Nilai Mesh Model 3D

Sumber	Faces
TLS	12.959.390



Gambar IV-5 Hasil Model 3D TLS

Hasil model 3D digital secara keseluruhan menyerupai kenampakan aslinya. Detil yang dihasilkan cukup baik terlihat dari beberapa bagian relief yang terepresentasi. Model pertama adalah model yang dihasilkan oleh TLS. Dapat dilihat pada **Gambar IV-13** bagian atas candi tidak terepresentasi dengan baik.

Hal tersebut dikarenakan jumlah *point cloud* yang tidak terpenuhi pada bagian atas dari candi sehingga menghasilkan lompatan yang kurang baik pada saat proses *screened poisson surface reconstruction*. Selain itu TLS yang tidak dapat mengambil sisi secara vertikal juga mempengaruhi hasil dari pemodelan ini. Sedangkan secara horizontal, TLS memiliki keunggulan dalam perekaman dengan mengambil jumlah titik sampel yang banyak. Hal tersebut menjadikan bagian sisi candi yang berisi informasi relief dapat tergambarkan dengan baik. Pada bagian bawah juga candi lompatan TIN yang dihasilkan dari *vertex* dikatakan berhasil karena antar titik memiliki intensitas yang sama.



Gambar IV-6 Bagian Atas Candi Hasil Proses *Poisson Surface Reconstruction*



Gambar IV-7 Relief Candi Hasil Proses *Poisson Surface Reconstruction*

Setelah hasil model 3D berhasil dibuat, model tersebut dinilai secara kualitatif disandingkan dengan bentuk sebenarnya di lapangan. Analisa ini bertujuan untuk menilai kualitas LoD yang dimiliki model 3D Candi Plaosan dari data *point cloud* TLS (**Tabel IV-2**).

Tabel IV-2 Uji Kualitas LoD Model 3D Candi

Candi Keseluruhan	Detail Candi				
1. Photo Smartphone					
	(1.a)	(1.b)	(1.c)	(1.d)	(1.e)
2. Scan AR Model 3D TLS					
	(3.a)	(3.b)	(3.c)	(3.d)	(3.e)

Terdapat lima bagian sampel analisis. Bagian yang pertama adalah tampak candi secara keseluruhan (a), selanjutnya diikuti dengan bagian detail candi yaitu bagian atas (b), bagian depan (c), bagian tangga (d), dan bagian relief candi (e). Pengujian dilakukan dengan membandingkan bagian-bagian tersebut dengan kenampakan aslinya dari foto kamera *smartphone*.

Gambar model yang dihasilkan kamera *smartphone* sangat kuat, sehingga menghasilkan gambar yang jelas. Sebaliknya, *point cloud* berbasis gambar 3D yang dihasilkan oleh UAV memiliki distorsi dan resolusi rendah, yang menyebabkan permukaan model 3D menjadi kasar. Jadi, gambar sintesis dirender dari 3D *point cloud* berbasis gambar berkualitas rendah, dan tekstur gambar yang dirender kasar. Hal ini dapat dilihat di (2.c) bagian depan candi rumpang dan (2.e) relief candi tidak dapat tergambar dengan baik. Sedangkan gambar 3.d yang dihasilkan oleh TLS memiliki permukaan yang lebih tegas.

Tingkat kedetailan dari model 3D yang dihasilkan oleh TLS memiliki tingkat kedetailan pada LoD3.1. LoD tersebut menghasilkan bangunan yang memiliki ketinggian dan volume namun tidak memiliki atribut atap yang rinci disebabkan oleh cakupan kerja TLS.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti dalam periode waktu tertentu ini dapat ditarik kesimpulan penelitian sebagai berikut:

1. Registrasi *point cloud* TLS menghasilkan nilai *overlap* dengan rata-rata 20.2%, nilai *balance* dengan rata-rata 7.6%, dan nilai *points* dengan rata-rata 95.3%. Proses filterisasi jumlah *point cloud* Candi Plaosan mengalami penurunan hingga 95%, yaitu dari 129.429.314 titik menjadi hanya 7.198.274 titik.
2. Model 3D yang tercipta dari proses *poisson surface reconstruction* data TLS menghasilkan 12.959.39 *faces*. Hasil uji kualitatif ketiga model tersebut menggunakan 5 sampel bagian yang dimiliki model 3D dan kenampakannya dilapangan. Tingkat kedetailan dari model 3D yang dihasilkan oleh TLS memiliki tingkat kedetailan pada LoD3.1.

V.2 Saran

Berikut adalah saran dari peneliti berdasarkan dari hasil penelitian untuk keterbaharuan penelitian selanjutnya:

1. Pemilihan data yang akan dijadikan referensi dalam registrasi penggabungan sebaiknya divalidasi berdasarkan jarak bangunan sebenarnya.
2. Sebelum pengambilan data TLS sebaiknya memasang target pada bagian tertentu untuk mempermudah registrasi *point cloud* TLS
3. Pengambilan data sebaiknya menambahkan proses teristris yang dapat berguna untuk uji geometrik maupun uji jarak.
4. Tidak disarankan untuk menggunakan data sekunder untuk penelitian selanjutnya karena data

sekunder peneliti tidak bisa mengontrol dengan baik kualitas data yang dimiliki.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfianto N, Sasmito B, dan Hani'ah, 2014. PEMODELAN BANGUNAN CAGAR BUDAYA GEREJA BLENDUK UNTUK KONSERVASI DENGAN METODE TERRESTRIAL LASER SCANNER. Semarang, Jurnal Geodesi UNDIP.
- Biljecki, F., 2017. Level of Detail in 3D City Models. Delft: Delft University of Technology (TU Delft).
- BPS Provinsi Jawa Tengah, Jumlah Wisatawan Mancanegara dan Domestik di Provinsi Jawa Tengah, 2011–2018. <https://jateng.bps.go.id>. Diakses pada 22 Februari 2020 pukul 22.00 WIB.
- CloudCompare. 2020. CloudCompare User Manual. CloudCompare.
- CloudCompare Forum. Registration RMS. <https://www.danielgm.net/cc/forum/viewtopic.php?t=1296>. Diakses pada 3 Maret 2020.
- Hexagon Systems. Leica BLK360 Imaging Laser Scanner . <https://leica-geosystems.com/>. Diakses pada 2 Maret 2020 pukul 10.00 WIB.
- Iqbal Y, dan Mustopa Ali, 2018. PENERAPAN AUGMENTED REALITY UNTUK PEMETAAN GEDUNG. Yogyakarta, Jurnal Ilmu Komunikasi Universitas Amikom Yogyakarta.
- Ray B.B, Prasetyo Y, dan Hani'ah, 2017. ANALISIS AKURASI PEMODELAN 3D MENGGUNAKAN METODE CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY (CRP), UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) DAN TERRESTRIAL LASER SCANNER (TLS). Semarang, Jurnal Geodesi UNDIP.
- Reshetyuk Y, 2009. Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning. Sweden, TRITA-TEC-PHD 09-001.
- Satumedial TV, 2017. HISTORY OF JAVA - CANDI PLAOSAN "Tan Hana Dharma Mangrwa". Video Youtube, Diakses pada 27 Februari 2020 pada 20.00 WIB
- Sun Zhida, Han Feng, Ma Xiaojuan, 2018. Exploring the Effects of Scale in Augmented Reality-Empowered Visual Analytics. Canada, CHI.
- Widyanti N, 2018. Pelestarian Candi Plaosan Sebagai Warisan Bersejarah Di Klaten Jawa Tengah. Yogyakarta, Sekolah Tinggi Pariwisata Ambarrukmo Yogyakarta.