

STATE-OF-ART KONSERVASI BANGUNAN DAN CAGAR BUDAYA MELALUI PEMBENTUKAN MODEL 3 DIMENSI BERBASIS TEKNIK FOTOGRAMMETRI RENTANG DEKAT

Yudo Prasetyo¹

¹Laboratorium Penginderaan Jauh dan Fotogrammetri, Departemen Teknik Geodesi,
Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, SH, Tembalang, Semarang-75123 Telp./Faks: (024) 736834,
e-mail: yudo.prasetyo@ft.undip.ac.id

(Diterima 22 Oktober 2018, Disetujui 19 November 2018)

ABSTRAK

Pada umumnya bangunan bersejarah dan cagar budaya yang berada di permukaan bumi sebagian besar merupakan objek tiga dimensi yang belum terdokumentasi dengan baik. Oleh karena itu pembentukan data dasar 3D yang digunakan untuk melakukan pemodelan objek tiga dimensi harus memiliki tingkat ketelitian yang baik dan geometri yang baik juga. Pada penelitian ini, dipaparkan pendekatan *state-of-art* dari metode-metode yang digunakan didalam pembentukan dokumentasi 3D untuk konservasi dan dokumentasi bangunan yaitu melalui penerapan metode fotogrammetri jarak dekat yang menggunakan kamera digital non metrik, *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Untuk tahapan pelaksanaan penelitian terbagi atas tahapan kalibrasi kamera, pemotretan objek dan pengolahan model 3 dimensi. Untuk konsep akuisi data dibutuhkan proses kalibrasi yang direkomendasikan memenuhi angka 80% sebagai syarat kalibrasi peralatan survey. Untuk pengambilan data foto lapangan dilakukan sebanyak mungkin akuisisi dengan pertampalan antar obyek berkisar minimal 60%-80% dan pengolahan data pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak 3D seperti PhotoModeler Scanner dan Summit Evolution. Untuk validasi hasil pembentukan model 3D dapat menggunakan nilai perbandingan uji statistik titik geometrik dengan peralatan survey *Electronic Total Station* (ETS). Tahap pemodelan bangunan terdiri dari Automated Project, proses hitungan dan pembuatan model 3D, transformasi koordinat 3D, visualisasi model 3D dan analisis statistik sebaran titik-titik geometrik. Hasil akhir dalam penelitian ini adalah model tiga dimensi bangunan yang telah melalui proses pengujian perbandingan jarak yang diikatkan dari pengukuran ETS dan dianalisis lebih lanjut untuk nilai standar deviasi dari perbandingan jaraknya.

Kata kunci : Bangunan, Fotogrammetri Rentang Dekat, Kamera, Konservasi, Terrestrial Laser Scanner

ABSTRACT

In general, historical buildings and cultural heritage located on the surface of the earth are mostly three-dimensional objects that are not well documented. Therefore, the formation of 3D basic data used to do three-dimensional object modeling must have a good level of accuracy and good geometry as well. In this research, a state-of-art approach of the methods used in the establishment of 3D documentation for conservation and building documentation is applied through the application of close-range photogrammetry methods using non-metric digital cameras, *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) and *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). For the stages of the research implementation, the stages of camera calibration, object shooting and processing of 3-dimensional models are divided. For the data acquisition concept, the recommended calibration process meets the 80% number as a calibration requirement for survey equipment. For taking photo data in the field, as many acquisitions as possible between objects between at least 60% -80% and data processing in this study using 3D software such as Photo Modeler Scanner and Summit Evolution. For validation the results of the 3D model formation can use the comparison value of the geometric point statistical test with *Electronic Total Station* (ETS) survey equipment. The building modeling stage consists of Automated Projects, the process of calculating and 3D modeling, 3D coordinate transformation, 3D model visualization and statistical analysis of the distribution of geometric points. The final result in this study is a three-dimensional model of building that has gone through a process of testing the distance comparison tied from ETS measurements and further analyzed for the standard deviation value of the distance comparison.

Keywords : Building, Camera, Close Range Photogrammetry, Conservation, Terrestrial Laser Scanner

1. PENDAHULUAN

Pentingnya bangunan bersejarah di kota-kota besar ini memang sangat besar, bangunan bersejarah yang masih layak biasanya dapat difungsikan untuk berbagai kepentingan, antara lain difungsikan sebagai museum, kantor instansi, objek wisata dan penelitian, dan lain lain.

Oleh sebab itu perlu dilakukan pelestarian, guna menjaga bangunan bersejarah tersebut agar tidak rusak dan hilang keberadaannya oleh zaman. Tahapan konservasi bangunan terlebih langkah rekonstruksi dan konservasi merupakan langkah penting yang dapat dilakukan untuk upaya pelestarian bangunan bersejarah di kota Semarang. Dua langkah tersebut biasanya mengacu pada dokumentasi bangunan tersebut. Pendokumentasian tersebut tidak hanya terbatas untuk mengetahui dimensi geometri bangunan, namun juga terkait dengan seberapa besar perubahan dimensi geometri bangunan yang terjadi dalam kurun waktu tertentu.

Rekonstruksi dan konservasi biasanya mengacu pada dokumentasi bangunan tersebut sebelum terjadi perubahan. Pendokumentasian tersebut tidak hanya terbatas untuk mengetahui dimensi geometri bangunan, namun juga terkait dengan seberapa besar perubahan dimensi geometri bangunan yang terjadi dalam kurun waktu tertentu. Pemanfaatan teknologi *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) memberikan ketelitian sangat tinggi untuk pendokumentasian suatu bangunan bersejarah, namun teknologi ini memerlukan biaya yang sangat mahal. Sehingga diperlukan suatu metode alternatif untuk memperoleh ketelitian yang tinggi dengan biaya yang relatif murah. Metode yang digunakan untuk menekan biaya yang tinggi adalah metode fotogrametri jarak dekat (*Close Range Photogrammetry/CRP*).

Metode fotogrametri jarak dekat mempunyai konsep yang sama dengan konsep dasar fotogrametri aerial, yang membedakannya adalah kajian objek yang diteliti. Metode fotogrametri jarak dekat dapat digunakan jika jarak antara objek dengan kamera kurang dari 100 meter. Hasil dari metode fotogrametri jarak dekat tidak terlalu jauh dengan metode TLS, Kamera Metrik dan UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). Untuk mengolah hasil fotogrametri jarak dekat dapat menggunakan perangkat lunak PhotoModeler Scanner V.6.2 dan Summit Evolution v.6.4.

Untuk mendukung rencana pelestarian pada bangunan bersejarah dan berkembangnya ilmu fotogrametri, diharapkan aplikasi fotogrametri jarak dekat dapat digunakan untuk pelestarian bangunan bersejarah di Semarang.

2. KONSEP FOTOGRAMMETRI RENTANG DEKAT

Pada era digital saat ini semakin luas sejak teknologi komputerisasi mengalami perkembangan yang cepat. Teknologi saat ini telah mengubah sistem analog yang sulit menjadi mudah dengan adanya teknologi digital terutama dibidang aplikasi fotogrametri jarak dekat dan pemotretan melalui udara. Dalam hal ini fotogrametri jarak dekat dibagi menjadi 2 jenis fotonya yaitu :

1. Foto Teristis
2. Foto Udara

Foto teristis dikenal dengan nama atau istilah *Close Range Photogrammetry* foto teristis dihasilkan dari suatu pemotretan objek secara langsung dengan menggunakan kamera yang ada di darat bukan pada pesawat yang terbang. Aplikasi fotogrametri teristis antaralain untuk kontrol objek bangunan, mobil, pesawat terbang dan lain-lain. Selain itu juga dapat digunakan untuk pemotretan bangunan bersejarah seperti candi sebagai konversi atau pemugaran bangunan dan untuk beberapa manfaat dan aplikasi tersebut.

2.1. Prinsip Dasar Fotogrametri Jarak Dekat

Prinsip yang mendasari fotogrametri rentang dekat adalah kondisi kesejarisan. Kondisi kesejarisan (*Colonerity Condition*) adalah kondisi yang menyatakan titik objek pada dunia nyata, titik pusat proyeksi dan titik objek di foto terletak dalam satu garis lurus.

Dalam penyediaan model tiga dimensi, dapat dilakukan pengukuran dengan beberapa metode, salah satunya adalah metode fotogrametri rentang dekat. Mirip dengan fotogrametri pada umumnya, fotogrametri rentang dekat merupakan salah satu teknik pengukuran suatu objek tanpa menyentuh langsung melainkan dengan menggunakan kamera dalam jarak yang relatif dekat (Atkinson, 1996). Metode ini dapat dilakukan dengan cepat dan menghasilkan ketelitian yang tinggi. Hal tersebut sangat membantu proses pemodelan dan pengukuran objek. Untuk hasil maksimal, dalam pelaksanaannya harus diperhatikan semua aspek fotogrametri baik dimulai dari besar sudut pengambilan antar titik yang terkait langsung dengan pertampalan antar citra, hingga fokus kamera yang digunakan. Secara umum proses fotogrametri rentang dekat. Secara umum proses fotogrametri jarak dekat ditunjukkan pada Gambar 1.

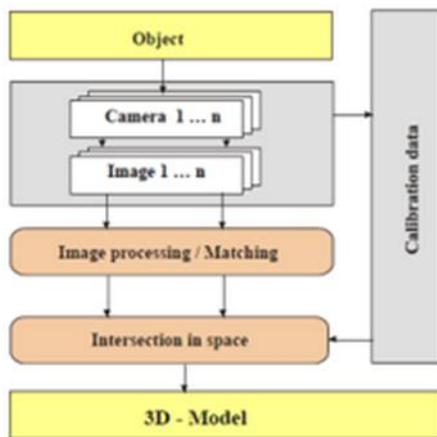
Berdasarkan gambar 1 hal pertama yang dilakukan adalah pengambilan foto dari objek dan melakukan kalibrasi kamera untuk mendapatkan parameter kalibrasi. Setelah itu dilakukan proses restitusi untuk membuat model tiga dimensinya. Terkait ketelitian metode fotogrametri digital ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain (Wojtas, 2010):

1. Resolusi foto
2. Parameter kalibrasi kamera
3. Stabilitas pemotretan

4. Sudut pencahayaan
5. Jumlah foto yang dipotret
6. Besar sudut cakupan

Pada beberapa faktor tersebut, yaitu resolusi foto, resolusi yang tinggi memberikan fitur objek yang lebih presisi.

Parameter kalibrasi kamera yang diketahui dapat meningkatkan keakuratan proses rekonstruksi. Besar sudut cakupan terbaik adalah 90 derajat, tetapi pada beberapa kasus proses image matching besar sudut tersebut dapat memberikan dampak negatif. Untuk jumlah foto yang dipotret, jumlah foto yang semakin banyak dan menunjang jaringan geometri dalam satu fitur akan menghasilkan ketelitian yang lebih baik. Sudut pencahayaan harus cukup untuk memungkinkan penerapan proses teknik pengukuran digital. Serta stabilitas dalam pemotretan sebaiknya kamera diletakkan di tripod pada saat pemotretan agar lebih foto yang dihasilkan lebih stabil.



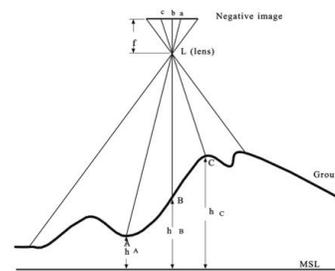
Gambar 1. Diagram Alir Pemodelan Fotogrametri Jarak Dekat (Suwardhi, 2007)

2.2. Orthofoto

Orthophoto merupakan sebuah foto yang diproses rektifikasi dengan tujuan untuk menghilangkan efek pergeseran relief (relief displacement), sehingga foto yang dihasilkan tampak seperti berproyeksi ortogonal. Akurasi posisi dan geometri dari objek yang diberikan dari orthophoto merupakan suatu hal penting dalam pembuatan informasi spasial, terutama pemodelan tiga dimensi (3D) bangunan (Amhar F., 1998).

Ketika sebuah foto dipotret, foto tersebut merepresentasikan objek nyata dalam proyeksi sentral. Pada foto udara, sering ditemui beberapa masalah fotogrametri yang harus dikoreksi, yaitu efek pergeseran relief dan beda tinggi. Pergeseran relief adalah pergeseran posisi objek pada foto yang diakibatkan oleh efek proyeksi sentral dari kamera (Wolf & Dewitt,

2000). Pergeseran relief tersebut rentan ditemui pada objek yang memiliki sebuah titik yang memiliki nilai ketinggian, tetapi memiliki posisi horizontal yang berbeda dari nilai ketinggian maksimum dan minimum (PixelCooker, 2014) yang diilustrasikan pada Gambar 2. Selain memiliki posisi yang berbeda, efek tersebut secara visual juga tampak pada titik yang memiliki posisi lebih maksimum (lebih tinggi) dan lebih dekat dengan kamera, terlihat relatif lebih besar. Efek pergeseran relief tersebut dapat dikoreksi dengan melakukan proses rektifikasi diferensial. Hasil dari proses rektifikasi tersebut berupa sebuah foto yang telah terkoreksi dan terlihat seperti dalam proyeksi ortogonal (orthophoto).



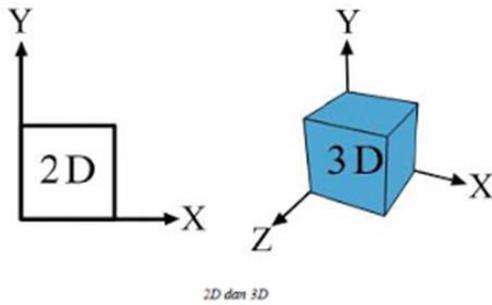
Gambar 2. Proyeksi Sentral dan Efek Pergeseran Relief (PixelCooker, 2014)

2.2. Model 3 Dimensi

Model 3D adalah sebuah objek kompleks yang terdiri dari mesh yang dibagi menjadi bagian – bagian berbeda dari tiap objek.

Mesh adalah sekumpulan bentuk umum dari poligon berbentuk lembaran tipis dan planar yang membentuk objek permukaan tiga dimensi (Soma H.A., 2008). Pemodelan adalah membentuk suatu benda-benda atau objek. Membuat dan mendesain objek tersebut sehingga terlihat seperti hidup. Sesuai dengan objek dan basisnya, proses ini secara keseluruhan dikerjakan di komputer. Melalui konsep dan proses desain, keseluruhan objek bisa diperlihatkan secara 3 dimensi, sehingga banyak yang menyebut hasil ini sebagai pemodelan 3 dimensi (3D modelling) (Nalwan A., 1998). Prinsip dasar dari 3D berarti melihat objek secara tiga dimensi (3D) atau melihat objek dalam bentuk sesungguhnya.

Penggambaran 3D akan lebih membantu memperjelas maksud dari rancangan objek karena bentuk sesungguhnya dari objek akan divisualisasikan secara nyata dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Konsep model tiga dimensi (Queensya, 2013)

3. METODE TERAPAN FOTOGRAMMETRI RENTANG DEKAT

3.1. *Terrestrial Laser Scanner (TLS)*

Terrestrial laser scanner (TLS) adalah suatu peralatan atau teknologi pemetaan yang memanfaatkan aplikasi sinar laser untuk mengukur koordinat 3 dimensi suatu kenampakan obyek secara otomatis dan real time dengan memanfaatkan sensor aktif (Reshetyuk, 2009). Hasil dari penyiaman ini akan memperoleh suatu data yang dinamakan point clouds. Point cloud adalah kumpulan titik - titik 3 dimensi yang memiliki koordinat (X, Y, dan Z) dalam suatu sistem koordinat yang sama.

Kelebihan alat TLS dibandingkan dengan alat ukur konvensional lainnya yaitu pengambilan data lebih cepat dan kualitas hasil pengukuran yang jauh lebih akurat. Pada proses pengambilan data dan pengukuran juga dapat dilakukan dari jarak yang cukup jauh sehingga efisiensi dan keselamatan pekerja dapat terjamin. Densitas titik yang didapat sangat tinggi sehingga menjamin survei topografi yang lengkap dan cepat. Contoh alat dari *Terrestrial Laser Scanner* dapat dilihat pada Gambar 4.

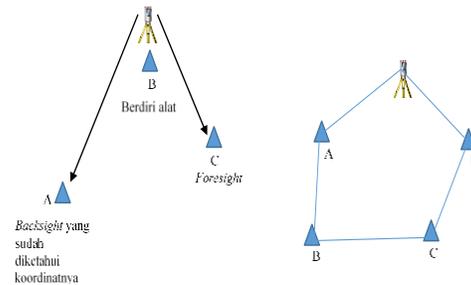


Gambar 4. Contoh alat *Terrestrial Laser Scanner* (Quintero dkk, 2008)

Pada umumnya suatu obyek 3 dimensi tidak akan bisa dipindai seluruhnya hanya dari satu posisi berdiri alat. Sehingga diperlukan tahapan untuk menggabungkan data hasil akuisisi lapangan dengan alat TLS yang dikenal dengan proses registrasi. Registrasi adalah suatu proses transformasi dari point cloud yang dihasilkan dari

beberapa *scan world (SW)* menjadi berada pada sistem koordinat yang sama. Seperti pada kegiatan foto udara atau model stereo untuk mendapatkan hasil obyek 3 dimensi diperlukan overlap pada alat *Terrestrial laser scanner* juga diperlukan adanya overlap dari dua lokasi pengambilan data yang bersebelahan (Arfianto dkk, 2014).

Salah metode yang populer digunakan dalam teknologi TLS adalah metode *Traverse* pada dasarnya adalah metode pengukuran detail situasi dengan menggunakan koordinat jaring poligon terkoreksi melalui pengukuran *backsight* untuk mendapatkan orientasi arah terhadap azimuth. Metode poligon yang digunakan dalam metode ini adalah metode poligon tertutup. Poligon tertutup merupakan poligon dengan koordinat awal dan akhir yang mempunyai koordinat sama. Metode poligon tertutup ini membutuhkan dua titik acuan dalam setiap kali berdiri alat. Titik acuan yang dimaksudkan adalah titik acuan yang berada di belakang atau *backsight*, titik acuan yang berada di depan atau *foresight*, dan titik acuan berdiri alat. Ilustrasi metode *Traverse* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Metode *Traverse*

Keuntungan dengan menggunakan metode *Traverse* ini adalah untuk bentuk permukaan yang rumit dan pengukuran jarak antar *scan world* yang cukup panjang, karena metode ini memudahkan dalam melakukan registrasi. Metode ini dimungkinkan dilaksanakan jika koordinat dari tiap titik lokasi berdiri TLS sudah diketahui, baik melalui pengukuran dengan *Total Station* atau dengan GPS sebelumnya (Quintero dkk, 2008).

3.2. Kamera Metrik

Prosedur orientasi di fotogrametri adalah proses transformasi yang berurutan untuk menghubungkan sistem koordinat foto internal kepada sistem koordinat ruang (Soeta'at, 1994), yang dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Orientasi dalam adalah proses transformasi koordinat titik obyek dari sistem internal (citra

atau komparator) ke sistem koordinat foto. Tahap ini memerlukan parameter kamera yang meliputi koordinat titik fidusial atau ukuran sensor, panjang fokus, posisi principal point, dan distorsi lensa.

2. Orientasi relatif adalah penempatan sepasang foto udara sedemikian rupa sehingga orientasi foto udara tersebut persis seperti pada saat pemotretan (Soeta'at, 1994). Tujuan orientasi relatif adalah membenarkan posisi perpotongan tiap berkas sinar pada permukaan model selalu pada masing-masing titik sekutunya, atau tiap titik pada model merupakan perpotongan kedua arah berkas sinar dari pasangan foto kiri dan kanan. Bila perpotongan tiap berkas sinar pada model terpenuhi, maka model ini akan tampak dalam posisi sebenarnya dalam keruangan atau tiga dimensi; hal ini terwujud miniatur model topografi. Agar pelaksanaan pengaturan berkas sinar terpenuhi, dipergunakan enam titik standar pada model, atau yang dikenal sebagai enam titik Von Gruber. Proses penempatan perpotongan berkas sinar dengan dasar teori menghilangkan/meniadakan paralaks pada enam titik Von Gruber tersebut (Putriyan, R. 2011).
3. Orientasi absolut merupakan proses pengikatan sistem koordinat model ke sistem pemetaan (sistem tanah/*ground*) (Soeta'at, 1994). Secara analitis, orientasi absolut adalah melakukan transformasi tiga dimensi dari suatu sistem koordinat ke sistem koordinat lain.

Model 3 dimensi dapat dibagi menjadi beberapa bagian pembentukan yaitu :

1. Polygonal Modeling

Merupakan modeling yang terdiri dari vertices (vertex/titik), yang jika disambungkan akan membentuk sebuah *edge* (garis), sehingga jika disambungkan dengan *edge* lain dapat membentuk sebuah *face* (bidang). Bidang yang dibentuk oleh *vertex*, *edges* maupun *face* ini salah satunya adalah primitive objek yang juga termasuk dalam teknik pemodelan.

2. Curve Modeling

Merupakan modeling yang memanfaatkan *curve* untuk membentuk sebuah bidang. Tidak ada yang namanya vertex dalam *curve*, namun dapat membuat sebuah bidang dengan perhitungan matematika sama seperti *implicit surfaces* / NURBS.

3. Digital Sculpting

Merupakan *modelling* yang terbentuk dari hasil pahatan sebuah model yang memiliki tingkat kehalusan bidang tinggi sehingga dapat digunakan untuk membuat detail pada model. Detail yang tinggi tersebut pun terdiri dari vertex, *edge*, dan *face* dalam jumlah besar. Sehingga bisa

dikategorikan dalam polygonal modeling. Yang membedakan adalah proses pembuatannya yang dipahat menggunakan alat digital.

3.3. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) atau dikenal juga dengan nama Pesawat Udara Nir Awak (PUNA) merupakan pesawat udara yang dapat beroperasi tanpa adanya awak pesawat. UAV beroperasi dengan adanya operator pengendali pesawat yang berada di luar pesawat.

Sementara pesawat beroperasi secara otomatis sesuai komando dari operator pengendali. Saat UAV standar memungkinkan pelacakan posisi (*tracking positioning*) dan orientasi sensor diimplementasikan dalam sistem koordinat lokal atau global. Oleh karena itu, UAV fotogrametri dapat dipahami sebagai alat pengukuran baru fotogrametri. UAV fotogrametri dapat digunakan untuk berbagai aplikasi baru dalam rentang domain dekat, menggabungkan udara dan darat fotogrametri, tetapi juga memperkenalkan aplikasi real time dan murah alternatif untuk klasik photogrammetry udara berawak.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai gambaran dari pembentukan data dasar 3D untuk konservasi bangunan dan cagar budaya berbasis Fotogrametri Rentang Dekat menggunakan pendekatan 3 teknologi yaitu TLS, UAV dan Kamera dapat dilihat pada Gambar 6. Hasil visualisasi secara kuantitatif pada pembentukan model 3D dapat dilihat dengan hasil akurasi tingkat ketelitian pada hasil dan analisis akurasi tingkat dan ketelitian. Hasil visualisasi secara kualitatif dapat dilihat sebagai berikut :

1. Dari segi bentuk hasil dari model 3D dari UAV dan TLS lebih mendekati bentuk asli dari patung Pangeran Diponegoro. Sedangkan hasil visualisasi model 3D dari kamera masih memiliki banyak bolongan dikarenakan pengaruh software dan juga kamera memiliki sedikit titik fokus dibandingkan dengan TLS.
2. Dari segi tekstur hasil model 3D UAV dan model 3D TLS juga baik karena software yang mendukung. Namun pada model 3D kamera teksturnya belum baik karena pengaruh software dan juga kesulitan pada saat pengambilan foto dengan kamera.
3. Dari segi warna ketiga model sudah sesuai dengan warna aslinya karena pada dasarnya model patung Pangeran Diponegoro berwarna putih.

Perbedaan yang cukup signifikan antara model 3D UAV dan model 3D TLS dengan model 3D kamera itu

dikarenakan faktor kekurangan yang banyak dari kamera, baik dari bentuk, tekstur dan warna.



Gambar 6. Model 3D Kamera



Gambar 7. Model 3D UAV



Gambar 8. Model 3D TLS

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil visualisasi dari pemodelan 3D dari kamera non metrik dan UAV dapat digunakan untuk pemodelan patung atau monumen-monumen bersejarah dengan menggunakan metode close range photogrametry, namun perlu dilakukan kalibrasi pada kamera non metrik dan persiapan terbang untuk UAV (kalibrasi kompas, gimbal dan remote control). Hasil visualisasi secara kualitatif dari UAV lebih baik daripada TLS karena objek penelitian tidak berukuran besar dan tidak luas. Hasil visualisasi secara kuantitatif ditinjau dari nilai RMSE, TLS lebih baik dari pada kamera non metrik dan juga UAV.
2. Berdasarkan analisis prosedur dari kedua alat yang digunakan pada kamera non metrik dan UAV sudah dapat dikatakan dapat membuat model 3 dimensi dengan baik dengan parameter-parameter yang sudah ditentukan sebelumnya dalam pelaksanaan penelitian. Hal ini disebabkan karena model 3 dimensi yang dihasilkan oleh kedua alat tersebut sudah dapat menggambarkan model patung Diponegoro.
3. Dari ketiga alat yang digunakan, yaitu kamera non metrik, UAV dan TLS didapatkan hasil bahwa TLS memiliki tingkat ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan dengan kamera non metrik dan UAV. Hal ini ditunjukkan dengan hasil tingkat ketelitian RMSE pada TLS sebesar 0,0087 meter untuk Patung Pangeran Diponegoro. Sedangkan pada

kamera non metrik didapatkan hasil tingkat ketelitian yang lebih rendah yaitu sebesar 0,0593 meter pada Patung Pangeran Diponegoro. Sementara itu pada UAV didapatkan tingkat ketelitian yang cukup baik dibandingkan dengan kamera yaitu sebesar 0,0133 meter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada asisten dosen laboratorium Fotogrametri dan Penginderaan Jauh atas dukungan pengolahan data serta kepada saudara Alvata Partogi Hutagalung dan saudara Bernard Ray Barus atas dukungan survei peralatan Terrestrial Laser Scanner (TLS), UAV dan Kamera. Serta kepada PT. ASABA INDONESIA atas peminjaman peralatan dan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro atas perijinan penelitian gedung Prof. H. Soedarto SH.

DAFTAR PUSTAKA

- Amhar, F. 1998. Generasi True Orthophoto Menggunakan Model 3D Bangunan yang Digabung dengan DTM Konvensional. Stuttgart, Jerman. *IAPRS*, Vol. 32, Bagian 4 "GIS-antara visi dan aplikasi.
- Arfianto dkk. 2014. Pemanfaatan Fotogrametri Rentang Dekat Dalam Arsitektur Lanskap. Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Putriyan, R. 2011. Pemodelan 3D Bangunan Dengan Kombinasi Aerial Fotogrametri dan Texture Image. Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Suwardhi, D. 2007. Development of Craniofacial Geometric Morphometric Database System, *Disertasi*, University Teknologi Malaysia.
- Soeta'at, 1994. Diktat Fotogrametri Analitik. Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- 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 (3driskmapping).
- Queensya. 2013 <http://queensyaa.blogspot.co.id/2013/12/bab-3-shadow-modelling.html>. diunduh pada tanggal 9 April 2017
- Wolf, P. R., 1993. Elemen Fotogrametri Dengan Interpretasi Foto Udara Dan Penginderaan Jauh, diterjemahkan oleh Gunadi, Gunawan, T., Zuharnen, Edisi Kedua, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.