

ANALISIS AKURASI PEMODELAN 3D MENGGUNAKAN METODE *CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRY (CRP)*, *UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)* DAN *TERRESTRIAL LASER SCANNER (TLS)*

Bernard Ray Barus, YudoPrasetyo, Hani'ah. *)

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : bernard1475ray@gmail.com

ABSTRAK

Patung Diponegoro merupakan salah satu ikon penting yang berada di kawasan kampus Universitas Diponegoro. Karena patung yang baru berada didaerah Widya Puraya. Oleh karena itu banyak orang yang mengunjungi patung tersebut. Patung Diponegoro juga mengalami pengikisan oleh alam (angin, air hujan, dan lain-lain). Maka dari itu, dibutuhkan upaya pelestarian patung Diponegoro tersebut agar tidak rusak dan hilang keberadaannya oleh zaman.

Pada penelitian kali ini, akan menggunakan tiga alat yang akan diuji ketelitiannya terhadap patung Diponegoro yaitu kamera non metrik, *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* dan *Terrestrial Laser Scanner (TLS)*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Close Range Photogrametry* dengan membandingkan hasil visualisasi model dan menguji ketelitian model tiga dimensi dengan perbandingan jarak hasil ukur lapangan *Total Station*. Dari hasil visualisasi dan ketelitian model tiga dimensi akan didapatkan hasil mana yang lebih baik antara kamera non metrik, UAV maupun TLS.

Hasil akhir dari penelitian ini menunjukkan bahwa TLS memiliki tingkat ketelitian geometrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan kamera non metrik dan UAV. Hal ini ditunjukkan dengan hasil tingkat ketelitian akurasi pada TLS sebesar $0,0067 \pm 0,0087$ meter untuk Patung Pangeran Diponegoro. Sedangkan pada kamera non metrik didapatkan hasil tingkat ketelitian yang lebih rendah yaitu sebesar $0,1615 \pm 0,0593$ meter pada Patung Pangeran Diponegoro. Sementara itu Pada UAV didapatkan tingkat ketelitian yang cukup baik dibandingkan dengan kamera yaitu sebesar $0,0162 \pm 0,0133$ meter. Berdasarkan hasil visualisasi model tiga dimensi antara kamera, UAV dan TLS didapatkan hasil bahwa UAV dan TLS menghasilkan model yang lebih baik dibandingkan dengan model tiga dimensi yang dihasilkan oleh kamera non metrik.

Dengan hasil analisis pada penelitian ini diharapkan hasil pemodelan 3D dengan kamera dan UAV dapat digunakan sebagai upaya pelestarian patung Diponegoro.

Kata Kunci : *Close Range Photogametry*, Kamera Non Metrik, Patung Diponegoro, *Terrestrial Laser Scanner*, UAV

ABSTRACT

Diponegoro statue is one of the important icons located in the campus area of Diponegoro University. Because the new statue is in WidyaPuraya area. Therefore many people visit the statue. Diponegoro statue also experienced the erosion by nature (wind, rain water, etc.). Therefore, it takes effort to preserve the Diponegoro statue so as not to be damaged and lost its existence by the times.

In this research, researchers will use three methods that will be tested to measure in Diponegoro statue of non-metric camera, Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Terrestrial Laser Scanner (TLS). The method used in this research is close range photogrametry. Comparing the model visualization results and testing the accuracy of the three-dimensional model with the comparison of the Total Station field length measurement. From the visualization and accuracy results of the three-dimensional model, it will compare the results of 3D Model between non-metric camera, UAV and TLS.

The final result of this study shows that TLS has accuracy compared to non-metric cameras and UAVs. This is indicated by the results of accuracy at TLS of $0,0067 \pm 0,0087$ meters for the Statue of Prince Diponegoro and that is the best result in this reseacrh. While on non-metric camera obtained the results of lower level of accuracy of $0,1615 \pm 0,0593$ meters on the Statue of Prince Diponegoro. Meanwhile, in the UAV obtained a fairly good level of accuracy compared with the camera that is equal to $0,0162 \pm 0,0133$ meters. Based on the results of visualization of three-dimensional model of the camera, the UAV and TLS showed that the results 3D model of UAV and TLS is better than the three-dimensional model generated by the non-metric cameras.

Researchers hope the results of the analysis in this study is expected to model 3D results with the camera and UAV can be used as an effort to preserve the statue of Prince Diponegoro.

Keywords: *Close Range Photogametry, Non-Metric Camera, Diponegoro Statue, Terrestrial Laser Scanner, UAV*

*)Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Indonesia mempunyai banyak monumen-monumen dan patung-patung pahlawan. Monumen dan patung tersebut dibuat untuk mengenang jasa dari para pahlawan tersebut. Salah satunya adalah patung pahlawan Pangeran Diponegoro yang berada pada salah satu Universitas di Indonesia yaitu Universitas Diponegoro.

Patung Diponegoro merupakan salah satu ikon penting yang berada di kawasan kampus Universitas Diponegoro. Karena patung yang baru berada di daerah Widya Puraya, banyak orang yang mengunjungi patung tersebut dan mengambil foto dari patung tersebut. Maka dari itu, dibutuhkan upaya pelestarian patung Diponegoro tersebut agar tidak rusak dan hilang keberadaannya oleh zaman. Terkait dengan penelitian yang dilakukan, langkah rekonstruksi dan konservasi merupakan langkah penting yang dapat dilakukan untuk upaya pelestarian patung Diponegoro tersebut. Dua langkah tersebut biasanya mengacu pada dokumentasi patung tersebut. Pendokumentasian tersebut tidak hanya terbatas untuk mengetahui dimensi geometri patung, namun juga terkait dengan seberapa besar perubahan dimensi geometri patung yang terjadi dalam kurun waktu tertentu.

Mengingat langkah-langkah tersebut dapat dilakukan dengan memanfaatkan *3D Laser Scanner*, karena memberikan ketelitian sangat tinggi untuk pendokumentasian suatu objek, namun teknologi ini memerlukan biaya yang sangat mahal. Dengan menggunakan metode fotogrametri rentang dekat (*Close Range Photogrammetry*) dan pemodelan 3D dengan UAV diharapkan mampu untuk menekan biaya yang mahal tersebut (Jefferson D, 2015).

Metode fotogrametri jarak dekat yang dilakukan pada penelitian ini dengan menggunakan kamera non metrik. Untuk mengolah CRP (*Close Range Photogrammetry*) dapat menggunakan perangkat lunak *PhotoModeler Scanner*. Metode fotogrametri jarak dekat dapat digunakan jika jarak antara objek dengan kamera kurang dari 100 meter (Atkinson, 1996). Tetapi sebelum mengambil sebuah foto kamera harus dikalibrasi dengan menggunakan perangkat lunak *Photomodeler Scanner*.

Untuk pemodelan 3D yang baik dan berkualitas maka dalam penelitian ini pembentukan model 3D dengan menggunakan *drone* atau UAV. Pembentukan model 3D UAV menggunakan perangkat lunak *Agisoft Photoscan*. Proses sederhana yang dilakukan dengan UAV adalah dengan menggunakan fitur *intelligent flight* pada UAV untuk mengitari objek penelitian dengan jarak yang ditentukan dengan perangkat lunak yang ada pada android yaitu DJI GO. Tetapi sebelum *take off*, UAV harus terlebih dahulu dilakukan kalibrasi sama halnya dengan kamera non metrik. Pada penelitian ini akan dilakukan juga pemodelan 3D *Terrestrial Laser Scanner* sebagai validasi visualisasi 3D dengan CRP dan UAV. Penelitian ini dilakukan

untuk mendukung upaya pelestarian pada patung Diponegoro yang berada pada universitas Diponegoro. Diharapkan dengan CRP dengan kamera non metrik, UAV dan TLS dapat digunakan dan dimanfaatkan.

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana hasil visualisasi pembentukan model 3D dengan menggunakan kamera non metrik, TLS dan UAV ?
2. Bagaimana analisis mengenai prosedur dalam menggunakan metode CRP dengan menggunakan kamera non metrik dan UAV ?
3. Bagaimana analisis akurasi pemodelan 3D pada kamera non metrik, TLS dan UAV berdasarkan hasil validasi pengamatan lapangan menggunakan alat *Total Station* ?
4. Bagaimana analisis hasil model 3D berdasarkan hasil uji statistik yang meliputi uji normalitas dan uji *paired sample t test* ?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1. Tujuan Penelitian
Tujuan dari penelitian ini adalah:
 - a. Mengetahui hasil visualisasi pembentukan model 3D dengan menggunakan kamera non metrik, TLS dan UAV.
 - b. Mengetahui analisis prosedur dalam menggunakan metode CRP dan UAV.
 - c. Mengetahui analisis akurasi pemodelan 3D pada kamera non metrik, TLS dan UAV.
 - d. Mengetahui analisis hasil model 3D berdasarkan hasil uji statistik yang meliputi uji normalitas dan uji *paired sample t test*.
2. Manfaat Penelitian
Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:
 - a. Aspek Keilmuan
Memberikan kontribusi bagi ilmu fotogrametri dan penginderaan jauh.
 - b. Aspek Rekayasa
Hasil dari penelitian ini dapat menjadi suatu dokumentasi dalam bentuk model 3D dalam pelestarian patung pahlawan.

I.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

- a. Perbandingan ketelitian data ukuran menggunakan data pengukuran *Electronic Total Station* (ETS) dengan data hasil titik sekutu pada *Photomodeler 2013*.
- b. Untuk mendapatkan hasil pemodelan 3D dengan menggunakan konsep kolinieritas atau kesegarisan dengan mempertahankan jarak kira-kira 5m untuk objek patung Diponegoro.
- c. Syarat kalibrasi untuk pemodelan 3D minimal 80%.
- d. Nilai radius, *altitude* dan kecepatan adalah 6,5 m, 6,6m, dan 0,8 m/s.
- e. *Focal length* kamera 18 mm.

- f. Pengolahan *Terrestrial Laser Scanner* dengan metode registrasi *Traverse*.
- g. Validasi jarak dilakukan dengan menggunakan *Total Station*.

I.5 RuangLingkupPenelitian

1.5.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Universitas Diponegoro Semarang di wilayah Widya Puraya pada koordinat lintang 7,0521° S dan bujur 110,4400°T. Objek yang diteliti pada penelitian ini adalah Patung Pangeran Diponegoro

1.5.2 Alat dan Data Penelitian

1. Peralatan keras yang dibutuhkan pada penelitian adalah:
 - a. Laptop
 - b. Kamera non metrik
 - c. UAV
 - d. *Terrain Laser Scanner*
 - e. *Total Station*
 - f. *Reflector*
 - g. *Software photomodeler scanner*
 - h. *Agisoft Photoscan*
2. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini :

Tabel I-1 Data Penelitian

NO	DATA	SUMBER DATA	JENIS DATA
1	Data kalibrasi kamera	Pengaturan Kamera	Digital
2	Foto objek penelitian	Survey Lapangan	Digital
3	Pengukuran ETS	Survey Lapangan	Teks dan Digital

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Fotogrametri 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 rentang dekat dengan pemotretan melalui udara. Pada hal ini fotogrametri dibagi 2 jenis foto (Wolf, 1983) yaitu :

1. Foto terestris
2. Foto udara

Foto terestris dikenal dengan nama atau istilah dikenal dengan nama atau istilah *Close Range Photogrammetry*. Foto terestris dihasilkan dari suatu pemotretan objek secara langsung dengan menggunakan kamera yang ada didarat bukan pada pesawat yang terbang. Aplikasi fotogrametri terestris antara lain untuk kontrol objek bangunan, mobil, pesawat terbang dan lain-lain. Selain itu juga dapat digunakan untuk pemotretan bangunan bersejarah

seperti konversi dan untuk beberapa manfaat dan aplikasi tersebut.

II.1.1 Konsep Fotogrametri Rentang Dekat

Fotogrametri adalah seni, ilmu, dan teknologi untuk memperoleh informasi terpercaya tentang obyek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi gambaran fotografik, dan pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam (Wolf, 1993).

Fotogrametri terrestrial (Wolf, 1993) merupakan cabang ilmu fotogrametri dengan meletakkan kamera pada permukaan bumi. Kamera dapat dipegang dengan tangan, dipasang pada kaki kamera atau dipasang pada menara ataupun dengan alat penyangga lain yang dirancang secara khusus. Istilah “fotogrametri jarak dekat” pada umumnya digunakan untuk foto terestrial yang mempunyai jarak objek sampai dengan 100 meter (Atkinson 1996).

II.2 Fotogrametri 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 diluar 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.

Perkumpulan Fotogrametriwan Amerika mendefinisikan fotogrametri sebagai seni, ilmu dan teknologi untuk memperoleh informasi yang terpercaya tentang objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan intepretasi gambaran fotografik dan pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam (Wolf, 1983).

II.3 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 clouds* 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 survey topografi yang lengkap dan cepat. Prinsip dasar perekaman data pada TLS adalah sinar gelombang laser dipancarkan dari alat TLS ke arah dua bagian yaitu ke sistem penerima untuk memulai pengukuran waktu dan yang lainnya memancarkan ke arah permukaan target atau obyek yang kemudian dipantulkan kembali ke sistem penerima (Reshetyuk, 2009).

II.4 Uji Normalitas

Uji normalitas adalah salah satu jenis pengujian data dalam ilmu statistik yang bertujuan untuk menguji apakah dalam model, variabel pengganggu atau residual memiliki nilai distribusi normal. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan jenis analisis *Kolmogorov – Smirnov*.

Pengujian normalitas dilakukan dengan menggunakan Program SPSS dengan dengan cara intepretasinya adalah bahwa jika nilainya di atas 0,05 maka distribusi data dinyatakan memenuhi asumsi normalitas, dan jika nilainya di bawah 0,05 maka diinterpretasikan sebagai tidak normal.

II.5 Ketelitian Model Tiga Dimensi

Setiap pengukuran pasti tidak lepas dari kesalahan. Begitu juga dalam proses pengolahan data ukuran, yaitu proses pembentukan model 3D yang juga tidak lepas dari kesalahan. Besarnya nilai kesalahan tersebut ditunjukkan dengan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*). RMSE adalah suatu nilai perbedaan antara nilai sebenarnya dengan nilai hasil ukuran.

Semakin besar nilai RMSE, maka semakin besar pula kesalahan hasil ukuran terhadap kondisi yang sebenarnya. RMSE didapatkan dari proses pembagian antara nilai akar kuadrat total selisih ukuran kuadrat dengan jumlah ukuran yang digunakan. Definisi matematis dari RMSE mirip dengan simpangan baku, yaitu akar kuadrat dari rata - rata jumlah kuadrat residual. Kesalahan baku didefinisikan sebagai akar dari jumlah kuadrat residual. Rumus menghitung RMSE disajikan pada persamaan 1.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{n}} \dots\dots\dots (II-1)$$

Keterangan :

- σ = standar deviasi
- x = nilai data
- ̄x = nilai data rata-rata
- n = jumlah data

II.6 Uji Paired Sample t Test

Menurut Sarwono dan Budiono (2012) uji *Paired Sample t Test* merupakan prosedur untuk menentukan perbedaan antara nilai-nilai dua variabel atau lebih

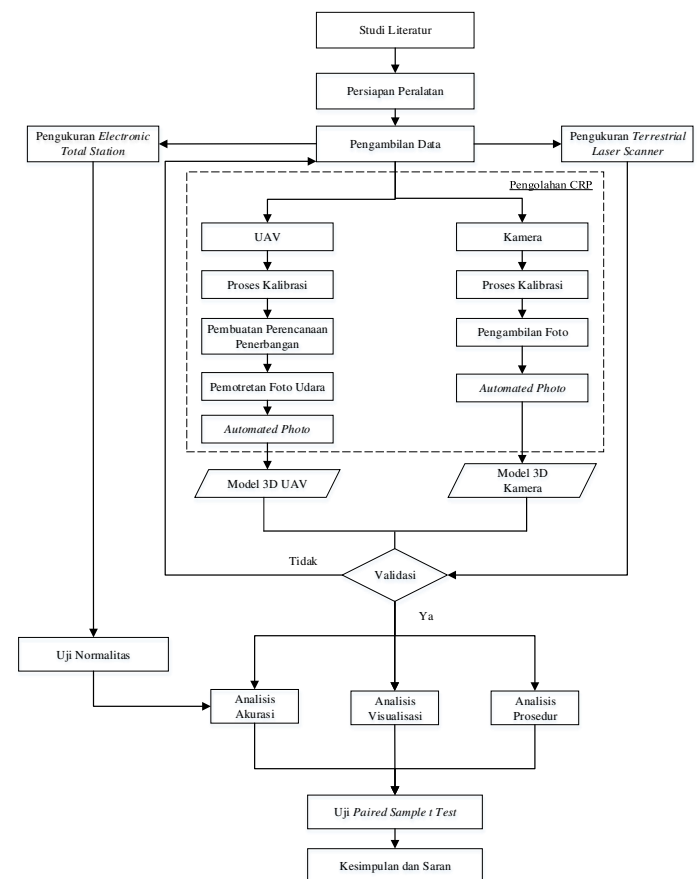
untuk masing-masing kasus dan kemudian mengujinya apakah terdapat perbedaan yang signifikan dan korelasi atau tidak terdapat signifikan ataupun korelasi antara antar variabel

Pengujian korelasi dilakukan dengan menggunakan program SPSS dengan dengan cara intepretasinya adalah bahwa jika nilainya di atas 0,05 maka data dinyatakan tidak mempunyai hubungan antar variabel, dan jika nilainya di bawah 0,05 maka diinterpretasikan mempunyai hubungan antar variabel.

Pengujian signifikansi dilakukan dengan menggunakan program SPSS dengan dengan cara intepretasinya adalah bahwa jika nilainya di atas 0,05 maka data dinyatakan tidak mempunyai perbedaan yang signifikan antar variabel, dan jika nilainya di bawah 0,05 maka diinterpretasikan mempunyai perbedaan yang signifikan antar variabel.

III. Tahapan Pelaksanaan

Pada penelitian ini ada beberapa tahapan yang dilakukan, secara garis besar tahapan pelaksanaan pemodelan 3 Dimensi dijelaskan pada Gambar III-1.



Gambar III-1. Diagram Alir Penelitian

III.1 Tahapan Pendahuluan

Tahapan persiapan ini meliputi kegiatan studi literatur, perijinan lokasi pengukuran dan pengadaan alat dan bahan.

1. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan untuk memperkaya materi serta memperluas pengetahuan tentang

hal-hal yang berhubungan dengan topik penelitian.

2. Pada tahap ini dilakukan penentuan lokasi dan pengurusan izin survei di lokasi pengukuran. Penentuan lokasi dilakukan dengan mempertimbangkan bentuk objek yang diteliti dan keadaan lingkungan di sekitar objek penelitian yang mendukung. Kemudian mengurus perijinan lokasi agar proses pengambilan data berlangsung dengan legal karena sudah mendapat izin dari pihak terkait.
3. Pengadaan Alat dan Bahan
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian Kamera, UAV, TLS dan Laboratorium Pengukuran dan Pemetaan Kampus Teknik Geodesi Universitas Diponegoro Semarang.

III.2 Tahapan Pengolahan

III.2.1 Pengukuran Kerangka Dasar dan Titik Detail

Untuk mendapatkan koordinat jaring poligon utama maka diperlukan pengukuran koordinat jaring poligon dengan menggunakan *Total Station*.

Koordinat jaring poligon Patung Pangeran Diponegoro dapat dilihat pada Tabel III-1 dan titik detail atau titik sekutu dapat dilihat pada Tabel III-2.

Tabel III-1 Koordinat poligon poligon patung Diponegoro

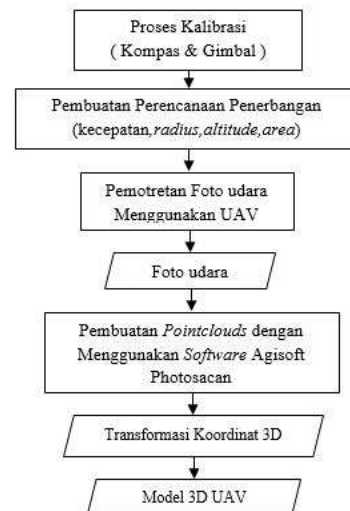
No	Nama	Easting (m)	Northing (m)
1	101	437958,763	9220753,588
2	102	437973,032	9220758,867
3	103	437983,742	9220768,717
4	104	437979,998	9220777,937
5	105	437966,208	9220783,710
6	106	437958,278	9220778,939
7	107	437951,196	9220774,409

Tabel III-2 Koordinat titik sekutu patung Diponegoro

Nama	X (m)	Y (m)	Z (m)
DDK	437965,88408	9220769,40129	209,46051
Kaki P	437966,05236	9220770,36404	209,87193
MataK	437966,64884	9220770,45300	211,11435

III.2.2 Tahapan Pembentukan Model 3D dengan UAV

Metode yang digunakan dalam pengolahan menggunakan foto udara yang diambil dari akuisisi UAV dengan aplikasi DJI Phantom 3 Pro untuk membentuk model 3D dari objek patung Diponegoro. Sebagai gambaran umum pembentukan model 3D dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar III-2.

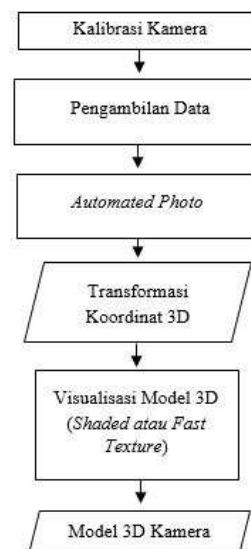


Gambar III-2 Diagram alir pembentukan model 3D dengan UAV

Hasil akhir dari pengolahan ini adalah model 3D yang sudah terikat dengan koordinat titik sekutu pengukuran *Total Station*. Pemotretan patung diponegoro dilakukan dengan mode *Intelligent Flight* pada UAV.

III.2.3 Tahapan Pembentukan Model 3D dengan Kamera

Metode yang digunakan dalam pengolahan menggunakan fotogrametri yang diambil dari akuisisi data dengan kamera non metrik, kemudian hasil foto tersebut digunakan untuk membentuk model 3D dari objek penelitian patung Diponegoro. Sebagai gambaran umum pembentukan model 3D dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar III-3.



Gambar III-3 Diagram alir pembentukan model 3D dengan kamera non metrik

Hasil akhir dari pengolahan ini adalah model 3D yang sudah terikat dengan koordinat titik sekutu pengukuran *Total Station*. Metode yang digunakan

dalam membentuk 3D adalah *smartpoints project* pada *software*.

III.2.4 Tahapan Pembentukan Model 3D dengan TLS

Metode yang digunakan dalam pembentukan model 3D TLS dengan metode registrasi *traverse*. Sebagai gambaran umum pembentukan model 3D dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar III-4.



Gambar III-4 Diagram alir metode *Traverse*

Hasil akhir dari pengolahan dengan metode *Traverse* akan dilakukan proses selanjutnya dengan melukan *filtering* dan *meshing* agar tampilan model 3D menjadi lebih baik.

III.3 Tahapan Validasi Data dan Analisis Ketelitian

Tahapan validasi data dan analisa ketelitian pada model 3D kamera non metrik, UAV dan TLS adalah sebagai berikut :

1. Setelah masing-masing model 3D memiliki koordinat, maka proses selanjutnya validasi jarak dengan dua metode yaitu pengukuran jarak pada komputer yang dibandingkan dengan pengukuran jarak dengan menggunakan *Total Station*. Pada pengukuran jarak dilakukan pada setiap model 3D yaitu kamera, UAV dan hasil registrasi *traverse* pada TLS. Berikut adalah contoh validasi jarak dilapangan pada Gambar III-5.



Gambar III-5 Jarak antara KKK-KKP

Jadi jarak yang diukur dengan *Total station* adalah data yang dianggap benar. Pada gambar III-5 ditunjukkan jarak KKK (kaki kanan kuda) ke KKP (kaki kanan Pangeran) diukur ETS maka

selanjutnya diukur dengan komputer dengan model 3D yang sudah ada. Setelah mendapatkan jarak pengukuran ETS dan komputer, maka dapat dilanjutkan ketahap berikutnya yaitu uji normalitas, uji ketelitian dan *Paired Sample t Test*.

2. Uji Statistik (Uji Normalitas)
Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis deterministik menggunakan metode uji statistika dengan cara teknik uji normalitas *Kolmogorov-Smirnov* pada aplikasi SPSS.
3. Perhitungan tingkat ketelitian
Pada tahap ini setiap metode akan diuji tingkat ketelitiannya menggunakan rumus II-1 dengan menggunakan data validasi jarak.
4. Uji *Paired Sample t Test*
Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis korelasi dan signifikansi dengan menggunakan uji *paired sample t test* pada aplikasi SPSS.

IV. Hasil dan Analisis

IV.1 Hasil dan Analisis Pengukuran Kerangka Jaring Poligon

Setelah dilakukan perhitungan lalu didapatkan hasil berupa ketelitian linear jarak jaring poligon Patung Pangeran Diponegoro sebesar 1 : 6867.9 meter. Berdasarkan ketetapan dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dalam Standar Nasional Indonesia Jaring Kerangka Horizontal (SNI 19-6724-2002) disebutkan bahwa toleransi batas ketelitian linear jarak minimal adalah sebesar 1: 6000 meter dan terdapat pada orde 4 maka dapat disimpulkan bahwa jaring poligon Patung Pangeran Diponegoro sudah memenuhi toleransi batas ketelitian linear jarak serta dapat dilakukan untuk tahap penelitian selanjutnya. Untuk gambaran poligon dapat dilihat pada Gambar IV-1.



Gambar IV-1 Kerangka poligon patung Diponegoro
IV.2 Hasil dan Analisis Verifikasi Kalibrasi pada Kamera non Metrik

Hasil dari kalibrasi merupakan salah satu hasil yang penting dalam pembentukan model 3D. Kalibrasi kamera merupakan suatu proses yang berpengaruh terhadap parameter internal dari kamera yang dibutuhkan untuk merekonstruksi ulang berkas sinar

pada saat pemotretan. Oleh karena itu proses kalibrasi dirasa sangat penting untuk melakukan pekerjaan tersebut. Berikut ini adalah hasil proses kalibrasi kamera yang digunakan dalam penelitian ini yang dapat dilihat pada Tabel IV-1.

Tabel IV-1 Hasil Kalibrasi Kamera

Parameter Orientasi	Nilai	Simpang Baku
Panjang Fokus	18,655955 mm	0,001 mm
Xp (posisi titik utama foto)	11,837823 mm	9,6e-004 mm
Yp (posisi titik utama foto)	7,990893 mm	0,002 mm
K1 (Distorsi Radial)	4,731e-004	5,4e-007
K2 (Distorsi Radial)	-6,562e-007	3,2e-009
K3 (Distorsi Radial)	0,000e+000	0,000e+000
P1 (Distorsi Tangensial)	-1,347e-005	7,5e-007
P2 (Distorsi Tangensial)	8,783e-006	1,2e-006
<i>Average Photo Point Coverage</i>		90%

Dari hasil kalibrasi kamera Nikon D7200 tersebut dapat dilihat bahwa panjang fokus kamera yang digunakan dalam penelitian ini adalah 18,655955 mm. Kemudian nilai dari *average photo point coverage* adalah sebesar 90%, nilai tersebut sudah cukup baik ditinjau dari syarat kalibrasi kamera pada *Photomodeler Scanner* sebab nilai minimal dari *average photo point coverage* adalah 80%. Maka nilai tersebut telah memenuhi persyaratan yang dibutuhkan. Untuk nilai RMS dalam kalibrasi ini adalah 0,207 piksel dari syarat minimal dari *Photomodeler Scanner* sebesar 1 piksel. Maka nilai RMS sudah memenuhi syarat yang dibutuhkan.

IV.3 Hasil dan Analisis Visualisasi Model Tiga Dimensi

1. Visualisasi model 3D dengan menggunakan kamera non metrik dengan metode *close range photogrammetry*. Hasil akhir dengan menggunakan menu *smartpoints project* pada *software* dapat dilihat pada Gambar IV-2.



Gambar IV-2 Model 3D Kamera

2. Visualisasi model tiga dimensi menggunakan UAV dengan menggunakan *software* yang diolah sampai memiliki tekstur dapat dilihat pada Gambar IV-3.



Gambar IV-3 Model 3D UAV

3. Visualisasi model 3D menggunakan TLS dengan metode *traverse* dapat dilihat pada Gambar IV-4.



Gambar IV-4 Model 3D TLS

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.

IV.4 Hasil dan Analisis Prosedur pada Kamera dan UAV

Prosedur menurut kamus besar bahasa Indonesia (KBBI) adalah tahap kegiatan untuk menyelesaikan aktivitas atau metode langkah demi langkah dalam memecahkan suatu masalah. Jadi analisis prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini adalah apakah dengan menggunakan prosedur dalam pembentukan model 3D sudah memenuhi atau belum. Analisis

prosedur dari kamera dan UAV dapat dilihat sebagai berikut :

1. Analisis prosedur menggunakan kamera non metrik dalam pemodelan 3D patung Diponegoro sudah memenuhi karena parameter-parameter pembentukan model 3D sudah terpenuhi yaitu :
 - a. Kalibrasi kamera dengan menggunakan bidang kalibrasi sudah memenuhi kriteria yaitu *Average* 90% (toleransi >80%) dan RMS 0,207 piksel (toleransi <1 piksel)
 - b. Pemotretan objek dilakukan secara kolinieritas (kesegarisan)
 - c. Metode *smartmach* atau *automated project* yang sudah memenuhi dengan 57 foto diterima dan 1 foto yang tidak dapat diproses dari kuantitas 60 foto. Dengan Overlap pemotretan foto lebih besar 50%.
 - d. Hasil visualisasi yang dapat dilihat sudah menyerupai patung Diponegoro dan dapat digunakan sebagai rekonstruksi monumen atau patung untuk pelestarian patung pahlawan yang berada di wilayah undip dan Indonesia.
2. Analisis prosedur menggunakan UAV dalam pemodelan 3D patung Diponegoro sudah memenuhi karena parameter dan hasil pembentukan model 3D sudah terpenuhi yaitu :
 - a. Persiapan yang dilakukan sebelum penerbangan UAV sudah terpenuhi dengan melakukan kalibrasi kompas dan gimbal serta *remote control*.
 - b. Pemotretan objek juga dilakukan secara kolinieritas (kesegarisan) dengan mode *Intellegent flight* yaitu *Point of Interest* (POI).
 - c. Dengan ketinggian, radius dan kecepatan yang telah dibuat sudah menjangkau keseluruhan objek.
 - d. Metode pembentukan model yang dilakukan secara otomatis pada *software* Agisoft Photoscan sudah dapat diterima. Dengan Overlap pemotretan foto lebih besar 50%.
 - e. Hasil visualisasi yang dapat dilihat sudah menyerupai patung Diponegoro bahkan dengan tekstur yang baik dan dapat digunakan sebagai rekonstruksi monumen atau patung untuk pelestarian patung pahlawan yang berada di wilayah UNDIP dan Indonesia.

IV.5 Hasil dan Analisis Akurasi Ketelitian Model 3D

Hasil dan analisis akurasi ketelitian terdapat pada perbandingan nilai jarak antara pengukuran *Total Station* dan komputer. Sebelum mendapatkan akurasi ketelitian, dilakukan proses uji normalitas. Setelah dilakukan pengujian dengan SPSS berdasarkan pada uji Kolmogorov-Smirnov dengan tingkat kepercayaan 95%, didapatkan hasil jumlah variabel yang diuji sebanyak 12 variabel dengan nilai *Asymp. Sig. (2-tailed)* pada kamera, UAV dan TLS sebesar

0,130;0,200;0,019. Syarat untuk memenuhi normalitas data adalah *Asymp. Sig. (2-tailed)* > 0,05 maka dapat disimpulkan bahwa data pengukuran jarak pada TLSTERhadap ukuran jarak *Total Station* adalah normal dan dapat dilanjutkan ke tahap analisis berikutnya.

Hasil akurasi pada kamera, UAV dan TLS dapat dilihat sebagai berikut:

1. Hasil akurasi ketelitian pada kamera

Nilai selisih maksimum pengukuran dilapangan dengan perangkat lunak sebesar 0,0277 m dan minimum 0,1007 m, dengan toleransi selisih jarak adalah 2% atau 0,6 m (*Photomodeler help*) dari pengukuran yang dianggap benar. Kemudian nilai rata-rata selisih tiap sampel untuk pengukuran langsung dilapangan sebesar 0,1615 m. Berdasarkan rumus II-1 maka diperoleh nilai akurasi untuk perbandingan pengukuran langsung dilapangan dengan hasil melalui perangkat lunak sebesar 0,1615 ±0,0593 m. Dengan begitu nilai akurasi tersebut masuk dalam kategori *probable error*, dimana kategori tersebut diambil dari *photomodeler help* yaitu 0,03 m (*probable error*), 0,02 (*mean error*), 0,01 m (*standard error*). Jadi RMSE pada perbandingan jarak dengan kamera masuk kedalam kategori *probable error (low)*.

2.

H

asil akurasi ketelitian pada UAV

Nilai selisih maksimum pengukuran dilapangan dengan perangkat lunak sebesar 0,053 m dan minimum 0,001 m, dengan toleransi selisih jarak adalah 2% atau 0,6 m (*Photomodeler help*) dari pengukuran yang dianggap benar. Kemudian nilai rata-rata selisih tiap sampel untuk pengukuran langsung dilapangan sebesar 0,0162 m. Berdasarkan rumus II-1 maka diperoleh nilai akurasi untuk perbandingan pengukuran langsung dilapangan dengan hasil melalui perangkat lunak sebesar 0,0162 ±0,0133 m. Nilai akurasi pada UAV lebih baik dari kamera non metrik dan juga sama dari standar toleransi yaitu 0,011 m atau tingkat kepercayaan 95% dimana hasil dari UAV adalah 0,0133 atau ± 1 cm.

3.

H

asil akurasi ketelitian pada TLS

Nilai selisih maksimum pengukuran dilapangan dengan perangkat lunak sebesar 0,033 m dan minimum 0,001 m, dengan toleransi selisih jarak adalah 2% atau 0,6 m (*Photomodeler help*) dari pengukuran yang dianggap benar. Kemudian nilai rata-rata selisih tiap sampel untuk pengukuran langsung dilapangan sebesar 0,0067 m. Berdasarkan rumus II-1 maka diperoleh nilai akurasi untuk perbandingan pengukuran langsung dilapangan dengan hasil melalui perangkat lunak sebesar 0,0067 ±0,0087 m. Nilai akurasi pada TLS lebih baik dari kamera non metrik dan UAV dan juga lebih baik dari standar toleransi yaitu 0,011 m

atau tingkat kepercayaan 95% dimana hasil dari UAV adalah 0,0087 atau ± 8 mm.

Hasil akurasi dari ketiga alat tersebut dapat disimpulkan bahwa TLS lebih baik daripada UAV dan kamera. Pada kamera terdapat kesalahan yang besar bisa terjadi karena pengaruh lokasi dan *software* yang kurang memadai.

IV.6 Hasil dan Analisis Uji Paired Sample t Test

Setelah didapatkan hasil akurasi jarak pada setiap alat yang digunakan, selanjutnya perlu dilakukan uji *Paired Sample t Test* untuk mendapatkan tingkat korelasi dan presisi antara variabel kamera, UAV maupun TLS. Hasil uji korelasi yang dilakukan pada patung Pangeran Diponegoro menggunakan *Total Station* dengan kamera, UAV dan TLS dapat dilihat pada Tabel IV-2.

Tabel IV-2 Paired Samples Correlations

		N	Correlation	Sig.
Pair 1	TS dan Kamera	12	,999	,000
Pair 2	TS dan UAV	12	,999	,000
Pair 3	TS dan TLS	12	1,000	,000

Setelah dilakukan pengujian dengan SPSS berdasarkan pada uji *Paired Sample t Test* dengan tingkat kepercayaan 95%, didapatkan hasil korelasi antara variabel kamera, UAV dan TLS terhadap *Total Station* dengan nilai *Sig* pada setiap variabel 0. Syarat untuk memenuhi korelasi data adalah *Sig* < 0,05 maka dapat disimpulkan bahwa data variabel pada kamera, UAV dan TLSTERhadap ukuran *Total Station* terdapat hubungan yang baik. Tingkat korelasi antara variabel kamera dan UAV sangat kuat yaitu 0,999 dan untuk TLS masuk dalam kategori sempurna dengan nilai 1. Hasil uji signifikansi yang dilakukan pada patung Pangeran Diponegoro menggunakan *Total Station* dengan kamera, UAV dan TLS dapat dilihat pada Tabel IV-3.

Tabel IV-3 Hasil Sig

		df	Sig. (2-tailed)
Pair 1	TS - Kamera	11	,000
Pair 2	TS - UAV	11	,458
Pair 3	TS - TLS	11	,788

Setelah dilakukan pengujian dengan SPSS berdasarkan pada uji *Paired Sample t Test* dengan tingkat kepercayaan 95%, didapatkan hasil signifikansi antara variabel kamera, UAV dan TLS terhadap *Total Station* dengan nilai *Sig. (2-tailed)* sebesar 0,000 ; 0,458 ; 0,788. Syarat untuk memenuhi data adalah *Sig.*

(2-tailed) > 0,05. Dari hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa data variabel pada kamera terdapat perbedaan yang signifikan karena dari hasil akurasi yang sudah dihitung sebelumnya memang memiliki ketelitian yang kurang baik (*low*).

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

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.
4. Pelaksanaan uji statistik yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji normalitas dan uji *paired sample t test*. Hasil dari uji normalitas pada penelitian ini menunjukkan bahwa data kamera, UAV dan TLS terhadap *Total Station* adalah berdistribusi normal. Sedangkan hasil dari uji *paired sample t test* dibagi menjadi dua uji sebagai berikut :

a. Uji Korelasi

Setelah dilakukan pengujian dengan SPSS berdasarkan pada uji *Paired Sample t Test* dengan tingkat kepercayaan 95%, didapatkan hasil korelasi antara variabel kamera, UAV dan TLS terhadap *Total Station* terdapat hubungan yang baik. Tingkat korelasi antara

variabel kamera dan UAV sangat kuat yaitu 0,999 dan untuk TLS masuk dalam kategori sempurna dengan nilai 1.

b. Uji Signifikan

Setelah dilakukan pengujian dengan SPSS berdasarkan pada uji *Paired Sample t Test* dengan tingkat kepercayaan 95%, didapatkan hasil signifikansi antara variabel kamera, UAV dan TLS terhadap *Total Station* dengan nilai *Sig. (2-tailed)* sebesar 0,000 ; 0,458 ; 0,788. Dari hasil tersebut maka dapat disimpulkan bahwa data variabel pada kamera terdapat perbedaan yang signifikan karena dari hasil akurasi yang sudah dihitung sebelumnya memang memiliki ketelitian yang kurang baik (*low*) dan hasil pengukuran *Total Station* tidak dapat digantikan dengan pengukuran dengan menggunakan *software*. Jadi *Total station* memiliki perbedaan yang signifikan dengan kamera. Sedangkan UAV dan TLS tidak memiliki perbedaan yang signifikan.

V.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa saran agar penelitian berikutnya bisa lebih baik, yaitu:

1. Pengukuran kerangka dasar harus terlebih dulu dilakukan dengan baik atau mendapatkan koreksi yang lebih baik pada penelitian ini untuk ketelitian model 3D.
2. Pada kamera non metrik harus melakukan kalibrasi yang lebih baik lagi untuk mendapatkan hasil pemodelan 3D yang lebih baik.
3. Jarak pemotretan pada patung Diponegoro terhadap kamera maupun UAV sebaiknya diatur sedemikian rupa sehingga dapat terlihat dengan baik dan terpotret keseluruhan dalam satu *frame*.
4. Pada pengolahan pemodelan 3D harus menggunakan perangkat komputer yang baik agar mengolah data dapat lebih cepat dan baik.
5. Untuk pemotretan foto sebaiknya dilakukan pada siang hari sewaktu matahari berada tepat diatas kita agar tidak terjadi efek *flare* atau *backlight* sehingga foto yang akan diolah nantinya akan mendapatkan hasil yang baik.
6. Dari hasil penelitian dari ketiga alat yang digunakan, yaitu kamera non metrik, UAV dan TLS alat yang dapat melakukan model 3 dimensi dengan akurasi yang tinggi adalah TLS. Namun apabila sulit mendapatkan alat TLS maka UAV dapat digunakan sebagai gantinya dengan hasil model 3 dimensi yang cukup baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Atkinson, K.B. 1996. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Whittles Publishing, Scotland, UK
- Google Earth. 2016. *Universitas Diponegoro*. Tersedia pada: <https://earth.google.com>. Diakses pada tanggal 20 November 2016
- Hidayat, A. 2013. *Uji F dan Uji T*. [Http://statistikian.blogspot.com/2013/01/uji-fdan-uji-t.html](http://statistikian.blogspot.com/2013/01/uji-fdan-uji-t.html). Diakses pada tanggal 10 Juli 2017.
- Jefferson, D. 2015. *Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat Untuk Pemodelan 3D Gereja Blenduk Semarang*. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Photodeler help*. 2017. www.photodeler.com, Diakses pada tanggal 6 Juni 2017
- Reshetyuk, Y., 2009. *Self-calibration, and Direct Georeferencing In Terrestrial Laser Scanning*. Saarbrücken, Germany: VDM Verlag Dr. Müller.
- Sarwono, J dan Budiono, H. 2012. *Statistik Terapan Aplikasi Untuk Riset Skripsi, Tesis dan Disertasi Menggunakan SPSS, AMOS dan Excel*. Jakarta : Elex Media Komputindo
- Soeta'at, 2003. *Statistik dan Teori Kesalahan*. Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wolf, P. R. 1983. *Elements of Photogrammetry*. Madison: University of Wisconsin.