

PENGARUH VARIASI TINGGI TERBANG MENGGUNAKAN WAHANA UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) *QUADCOPTER* DJI PHANTOM 3 PRO PADA PEMBUATAN PETA ORTHOFOTO (STUDI KASUS KAMPUS UNIVERSITAS DIPONEGORO)

Ahmad Syauqani, Sawitri Subiyanto, Andri Suprayogi^{*)}

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

ABSTRAK

Pada saat ini perkembangan teknologi sangatlah pesat dibidang pemetaan salah satunya adalah berkembangnya teknologi pemetaan dengan menggunakan wahana *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) atau sering disebut pesawat tanpa awak. Pesawat tanpa awak ini merupakan teknologi yang sedang marak digunakan untuk pekerjaan pemetaan fotogrametri.

Penelitian ini dilaksanakan di daerah Universitas Diponegoro dengan luasan \pm 18 Hektar. Sensor yang digunakan adalah kamera non metrik digital (Sony EXMOR 1/23" 12 Megapixel) dan didalam melakukan penelitian diberikan dua perlakuan yaitu dengan menggunakan tinggi terbang 80 meter dan 100 meter. Proses pengolahan menggunakan perangkat lunak Agisoft Photoscan. Proses yang dilakukan pada perangkat lunak yaitu: alignment yang merupakan proses untuk melakukan identifikasi titik sekutu secara otomatis, kalibrasi kamera untuk menentukan orientasi dalam dan orientasi luar kamera, penentuan titik kontrol, pembuatan model 3 dimensi, dan pemberian tekstur model. Setelah dilakukan proses tersebut dilakukan pengamatan dari dua hasil orthofoto yang berbeda tinggi terbangnya dengan melakukan pengamatan jarak, luasan, arah orientasi, dan RMSE yang diperoleh dari dua buah orthofoto tersebut.

Dari penelitian tersebut diperoleh bahwa ketelitian lebih baik didapatkan pada tinggi terbang 80m dibandingkan dengan tinggi terbang 100 meter serta jika dilihat kesalahan *pix* dari tinggi terbang 80 meter sebesar 1,52407 *pix* dan tinggi terbang 100 meter sebesar 2,33035 *pix*.

Kata Kunci : Agisoft, ketelitian, Sony Exmor , Tinggi Terbang, Wahana Pesawat Tanpa Awak.

ABSTRACT

Nowadays, the development technology is significantly fast in mapping, one of them is evolving the mapping technology using Unmanned Aerial Vehicle (UAV). UAV is technology which emerging use for photogrammetry mapping.

This research is held on Diponegoro University about \pm 18 hectare. The Sensor which used is digital non metric camera (Sony EXMOR 1/23" 12 Megapixel) and In this reseacrh is given two treatment which is using plane height 80 meters and 100 meters. The processing is using Agisoft Photoscan software. The processing that doing in software which is alignment which process for identify tie points automatically. Camera callibration for determine interior orientation and exterior orientation of camera, determining the control points, making three dimension model, and give the model texture. After the process is done, the next step is observe from two orthophoto which have the different plane height with observe the distant, area, orientation vector, and RMSE which obtained from two orthophoto.

From this research obtain that the best accuracy is gotten on plane height 80 meters rather than plane height 100 meters and also from the pix error from plane height 80 meters are amounted 1,52407 pix and plane height 100 meters 2,33035 pix.

Keywords: Accuracy, Agisoft, Sony Exmor, Plane height, Unmannde Aerial Vehicle.

**) Penulis, Penanggungjawab*

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Fotogrametri adalah seni, ilmu, dan teknologi untuk memperoleh informasi terpercaya tentang objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi gambaran fotografik dan pola radiasi energi elektromagnetik yang terekam (Wolf, 1989). Foto terestris atau disebut dengan istilah fotogrametri jarak dekat (*close range photogrammetry*), metode ini menggunakan kamera yang diletakan di lapangan. Sedangkan foto udara merupakan proses pemotretan yang dilakukan dari udara yang biasanya membutuhkan suatu wahana untuk menerbangkan kamera. Foto udara memiliki beberapa format, yakni format kecil, sedang, dan tinggi.

Seiring dengan berjalannya waktu, perkembangan permintaan akan pemetaan suatu wilayah dalam berbagai bidang juga berkembang pula berbagai macam metode pemetaan. Dengan adanya pemanfaatan teknologi kamera dan pesawat tanpa awak maka pekerjaan pemetaan dapat dilakukan dengan biaya yang murah, cepat dan waktu yang relatif singkat.

Pemanfaatan pesawat tanpa awak telah banyak digunakan didalam pemetaan dengan metode fotogrametri, ini merupakan metode survei dan pemetaan yang sangat efektif. Metode ini dapat memotret cakupan wilayah yang luas dari jarak dekat dan ketelitian yang besar hanya dalam waktu yang singkat. Peta foto yang dihasilkan juga biasanya memiliki skala yang besar sehingga sangat cocok untuk dimanfaatkan dalam hal perencanaan.

Dalam melakukan pemotretan foto udara ini dibutuhkan berbagai macam rencana yang harus dilakukan sebelum melakukan pemetaan yaitu pengaturan *sidelap*, *overlap* dan tinggi terbang pesawat tersebut. Dari pengaturan *overlap* ini menjalelaskan bagaimana antara satu foto saling bertampalan sehingga nantinya dapat dilakukan pengamatan secara tiga dimensi.

Dari pembahasan diatas, maka dari itu penulis merasa perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi tinggi terbang pesawat terhadap permukaan tanah dengan menggunakan kamera nonmetrik. Penelitian ini akan dilaksanakan di area sekitar kampus Fakultas Universitas Diponegoro. Melalui hasil petelitian tersebut maka akan dapat dilakukan pertimbangan perencanaan jalur terbang dan pengolahan foto udara yang dilakukan dalam pekerjaan survei dan pemetaan agar semakin efektif dan efisien.

I.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana ketelitian geometri orthofoto yang diperoleh dari pengaruh tinggi terbang ?

2. Bagaimana hasil peta orthofoto yang diperoleh ?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui ketelitian geometri orthofoto yang dihasilkan.
2. Membandingkan peta hasil orthofoto yang berbeda tinggi terbangnya.

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Aspek Keilmuan
Memberikan kontribusi bagi ilmu fotogrametri, khususnya mengenai ketelitian geometri berdasarkan variasi tinggi terbang terhadap permukaan tanah.
2. Aspek Rekayasa
Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi dalam rangka pekerjaan fotogrametri.
3. Aspek Teknologi
Mengoptimalkan teknologi yang sedang berkembang ditengah masyarakat yaitu *drone* dalam rangka penelitian di bidang pemetaan.

I.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam penelitian ini tidak melebar, maka diberikan batasan masalah yang akan dijabarkan sebagai berikut :

1. Jumlah GCP yang digunakan dalam penelitian ini adalah 9 pada lokasi penelitian.
2. Pola sebaran GCP menyebar.
3. Lokasi penelitian dilakukan di sekitar widya puraya, dekanat teknik dan rektorat dikarenakan lokasi ini memiliki variasi tinggi yang beragam.

I.5 Ruang Lingkup Penelitian

1.5.1 Wilayah Penelitian

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di topografi miring dan topografi datar dengan koordinat geodetis 7°3'4.31" LS; 110°26'14.21" BT - 7°2'58.45" LS; 110°26'23.53" BT, yaitu di lingkungan sekitar kampus Universitas Diponegoro.



Gambar 1. Lingkungan Kampus Universitas Diponegoro

I.5.2 Alat dan Data Penelitian

1. Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah :

 - a. *Drone* DJI Phantom 3 Pro untuk melakukan pemotretan.
 - b. GPS Geodetik digunakan untuk akuisisi data koordinat titik GCP
 - c. *Waterpass* merupakan alat yang digunakan untuk mengukur beda tinggi dilapangan.
 - d. *Total station* merupakan alat yang berfungsi untuk menghitung jarak dan sudut.
 - e. *Premark* GCP untuk keperluan pengamatan GPS dan pemotretan foto udara.
 - f. Laptop sebagai alat untuk pengolahan data diperoleh lapangan dan pembuatan laporan.
 - g. *Software* Topcon Tools untuk mengolah data GPS.
 - h. *Software* Agisoft untuk mendukung pengolahan foto udara dalam penelitian ini.
 - i. *Software* Drone Deploy merupakan *software* pengolahan foto dan pengambilan data dilapangan.
 - j. *Software* Autocad ini digunakan untuk meneliti data hasil digitasi
2. Data Penelitian
 - a. Data foto udara non metrik
 - b. Koordinat GCP dan ICP

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Fotogrametri

Fotogrametri adalah suatu seni, pengetahuan dan teknologi untuk memperoleh informasi yang dapat dipercaya tentang suatu obyek fisik dan keadaan di sekitarnya melalui proses perekaman, pengamatan atau pengukuran dan interpretasi citra fotografis atau rekaman gambar gelombang elektromagnetik. (Santoso, B, 2001)

Definisi fotogrametri di atas mencakup dua bidang kajian, yaitu :

1. Fotogrametri metrik

Fotogrametri metrik terdiri dari pengukuran cermat berdasarkan foto dan sumber informasi lain yang pada umumnya digunakan untuk menentukan lokasi relatif titik-titik. Dengan demikian dimungkinkan untuk memperoleh ukuran jarak, sudut, luas, *volume*, elevasi, ukuran dan bentuk objek.
2. Fotogrametri interpretatif

Fotogrametri interpretatif mempelajari pengenalan dan identifikasi obyek serta menilai arti pentingnya obyek tersebut melalui suatu analisis sistematis dan cermat.

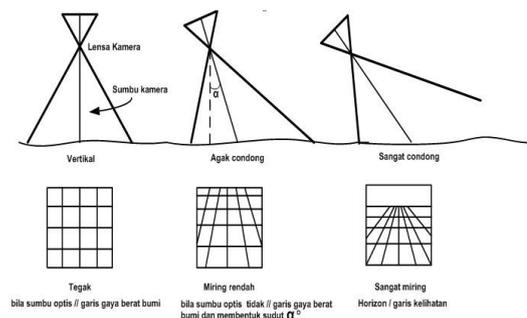
II.2 Foto Udara

Foto udara adalah peta foto yang didapat dari survei udara dengan melakukan pemotretan lewat udara pada daerah tertentu dengan aturan fotogrametris tertentu. Ciri-ciri foto udara antara lain :

1. Skala pada foto udara sama untuk satu lembar foto
2. Sistem proyeksi perspektif
3. Semua aspek terlihat
4. Tidak ada legenda atau simbol

Foto udara dibagi menjadi dua jenis, yaitu foto udara metrik dan foto udara non metrik. Foto udara metrik merupakan foto udara yang datanya diperoleh dari kamera udara. Kamera udara adalah kamera metrik yang fokusnya sudah tertentu. Kamera udara ini berbeda dengan kamera biasa yang non metrik dengan fokus yang dapat diubah-ubah sesuai dengan keinginan (Sudarsono, B., 2008). Foto udara metrik ini memiliki ketelitian yang sangat tinggi karena memang dirancang khusus untuk pemetaan. Foto udara ini memiliki panjang dan lebar masing-masing adalah 23 cm x 23 cm. Pada foto ini dilengkapi dengan *fiducial mark*. Sedangkan, foto udara non metrik merupakan foto yang diperoleh dari kamera yang umum biasa digunakan.

Berdasarkan jenis tegaknya, foto udara dibedakan atas dua jenis, yaitu foto tegak dan foto miring. Foto udara tegak merupakan foto yang dihasilkan dari hasil pengambilan foto di mana pada saat pengambilan foto tersebut sumbu kamera berada dalam posisi tegak lurus dengan permukaan bumi. Sedangkan foto miring merupakan foto yang dihasilkan dari hasil pengambilan foto di mana pada saat pengambilan foto tersebut sumbu kamera berada dalam posisi miring. Jenis foto udara yang digunakan untuk keperluan pemetaan adalah foto udara tegak. Jenis foto udara dapat dilihat pada Gambar.2 berikut ini.



Gambar 2. Jenis foto udara (Modifikasi Wolf, 1993)

II.3 Sumber Kesalahan Foto Udara

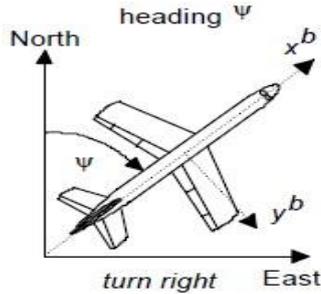
Ketika pemotretan udara sedang berlangsung, foto udara yang dipotret tidak lepas dari kesalahan-kesalahan. Kesalahan yang terjadi oleh adanya pergerakan orientasi sensor seperti yang dijelaskan oleh Wolf, P. R. (1983) :

1. *Crab*

Crab adalah kesalahan yang terjadi akibat pemasangan kamera yang tidak sempurna.

2. *Drift*

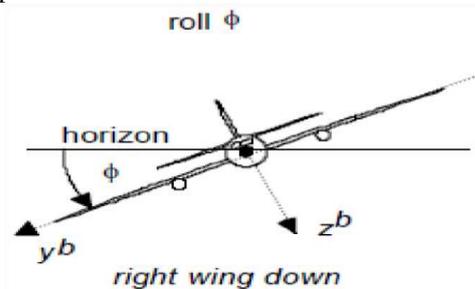
Drift adalah kesalahan yang terjadi akibat arah terbang yang tidak sempurna yang disebabkan oleh pengaruh angin, sehingga pesawat menyimpang dari arah terbang sehingga menyebabkan sudut *yaw*. Ilustrasi *drift* bisa dilihat pada Gambar.3 .



Gambar 3. Ilustrasi kesalahan *drift* (Bäumker, M. dan Heimes F. J., 2001)

3. *Tilt*

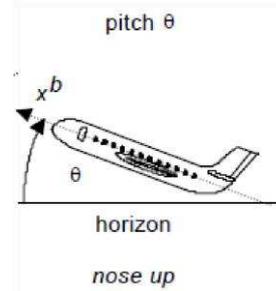
Tilt adalah kesalahan yang terjadi akibat kemiringan pesawat terbang yang dipengaruhi oleh angin dari samping, sehingga badan pesawat condong miring ke kanan atau ke kiri sehingga menyebabkan sudut *roll*. Ilustrasi *tilt* bisa dilihat pada Gambar. 4.



Gambar 4. Ilustrasi kesalahan *tilt* (Bäumker, M. dan Heimes F. J., 2001)

4. *Tip*

Tip adalah kesalahan yang terjadi pada foto udara akibat kemiringan pesawat terbang yang dipengaruhi oleh angin dari depan/belakang, sehingga hidung pesawat menukik sehingga menyebabkan sudut *pitch*. Ilustrasi *tip* bisa dilihat pada Gambar. 5.



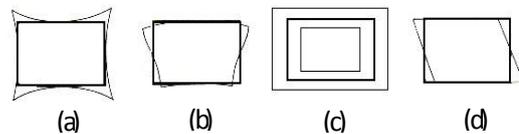
Gambar 5. Ilustrasi kesalahan *tip* (Bäumker, M. dan Heimes F. J., 2001)

Untuk mengetahui nilai kesalahan yang disebabkan oleh pergerakan orientasi sensor tersebut dan apabila koordinat titik pusat sensor diketahui, maka dideskripsikan dengan 6 parameter *Exterior Orientation* (EO), yaitu X, Y, Z, *Omega*, *Phi*, *Kappa*, atau setara dengan X, Y, Z, *Roll*, *Pitch*, *Yaw*. Sehingga EO dapat didefinisikan sebagai posisi dan orientasi sensor pada saat perekaman foto.

Selain kesalahan yang disebabkan oleh pergerakan orientasi sensor, terdapat kesalahan sistematis dari dalam sensor itu sendiri. Kesalahan sistematis dari sensor itu sendiri dinamakan orientasi dalam atau biasa disebut *Interior Orientation* (IO). Wolf, P. R. (1983) menjelaskan bahwa unsur IO ini meliputi :

1. Panjang fokus.
2. Lokasi titik utama, koordinat titik utama dinyatakan dengan c_x, c_y .
3. Distorsi radial, distorsi posisi gambar di sepanjang garis radial dari titik utama.
4. Distorsi tangensial, distorsi posisi gambar dengan arah tegak lurus terhadap garis radial dari titik utama.
5. Faktor skala.
6. Ketidaksimetrisan sensor.

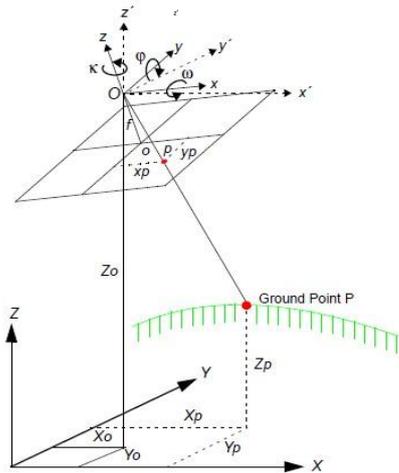
Ilustrasi distorsi radial (a), tangensial (b), perubahan skala (c), dan ketidaksimetrisan sensor (d) bisa dilihat pada Gambar II-5.



Gambar 6. Distorsi lensa (Takeuchi, W, 1996)

II.3 Prinsip Kolinearitas

Wolf, P. R. (1983) menjelaskan bahwa prinsip kesejarisan merupakan kondisi di mana titik pusat sensor, titik gambar pada foto, dan titik pada objek berada dalam satu garis lurus. Prinsip ini bermanfaat bagi semua persamaan fotogrametri. Gambar. 7 menunjukkan kondisi prinsip kolinearitas.



Gambar 7. Prinsip kolinearitas (Hexagon Geospasial, 2014)

Wolf, P. R. (1983) merumuskan kondisi kolinearitas tersebut ditunjukkan dengan persamaan (2.1) dan (2.2).

$$x_a = -f \left[\frac{m_{11}(X_p - X_0) + m_{12}(Y_p - Y_0) + m_{13}(Z_p - Z_0)}{m_{31}(X_p - X_0) + m_{32}(Y_p - Y_0) + m_{33}(Z_p - Z_0)} \right] \dots \dots (2.1)$$

$$y_a = -f \left[\frac{m_{21}(X_p - X_0) + m_{22}(Y_p - Y_0) + m_{23}(Z_p - Z_0)}{m_{31}(X_p - X_0) + m_{32}(Y_p - Y_0) + m_{33}(Z_p - Z_0)} \right] \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

- (Xp,Yp) = Koordinat titik a di foto
- (XP,YP,ZP) = Koordinat titik A di permukaan
- (X0,Y0,Z0) = Koordinat titik di pusat sensor
- f = Panjang fokus kamaera
- m_{ij} = Elemen matriks rotasi

II.3 Prinsip Orthofoto

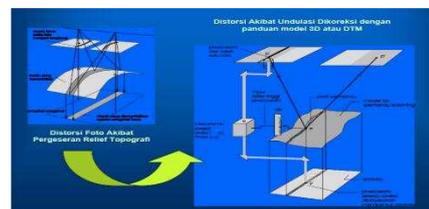
Foto udara berbeda dengan orthofoto. Pada bidang planimetrik, foto udara masih mengandung distorsi, hal ini disebabkan sistem proyeksi foto udara yang masih perspektif sehingga foto udara belum bisa dijadikan untuk pengukuran karena tidak mempunyai skala yang seragam. Berbeda halnya dengan orthofoto yang secara planimetrik distorsi tersebut telah dikoreksi, hal ini disebabkan sistem proyeksi pada orthofoto adalah orthogonal dan bisa dijadikan untuk pengukuran karena orthofoto memiliki skala yang seragam.

Orthofoto dapat didefinisikan sebagai foto yang menyajikan gambaran objek pada posisi orthografik yang benar. Orthofoto secara geometrik ekuivalen terhadap peta garis konvensional dan peta simbol planimetrik yang juga menyajikan posisi orthografik objek secara benar. Beda utama antara orthofoto dan peta adalah bahwa orthofoto terbentuk gambar kenampakan, sedangkan peta menggunakan garis dan simbol yang digambarkan sesuai dengan skala untuk mencerminkan kenampakan (Wolf, P. R., 1983). Orthofoto dapat digunakan sebagai peta untuk melakukan pengukuran langsung atas jarak, sudut, posisi, dan daerah tanpa melakukan koreksi bagi

pergeseran letak gambar (Julzarika, A., 2009). Di dalam proses peniadaan pergeseran letak oleh relief pada sembarang foto, variasi skala harus dihapus sehingga skala menjadi sama bagi seluruh foto (Wolf, P. R., 1983). Pada akhirnya tingkat kebenaran orthofoto adalah sama dengan peta planimetrik (Hadi, B.S., 2007).

II.6 Konsep Orthofoto Digital

Sejak tahun 1990 era fotogrametri digital telah dimulai hingga sampai saat ini telah ada puluhan *software* fotogrametri yang beredar antara lain PCI Geomatica, DMS, DVP, PHOTOMOD dan lain-lain. *Software-software* ini dapat mengatasi masalah-masalah yang timbul karena kesalahan yang melekat pada foto. Pada *software-software* ini juga dilengkapi dengan proses orthofoto.



Gambar 8. Konsep Orthofoto (Bobby. S, 2004)

Orthofoto merupakan proses rektifikasi diferensial dengan menggunakan alat stereo orthofoto. *Input* yang digunakan adalah model (foto stereo). Oleh sebab itu proses pembuatan dilakukan model demi model. Tujuan proses orthofoto adalah:

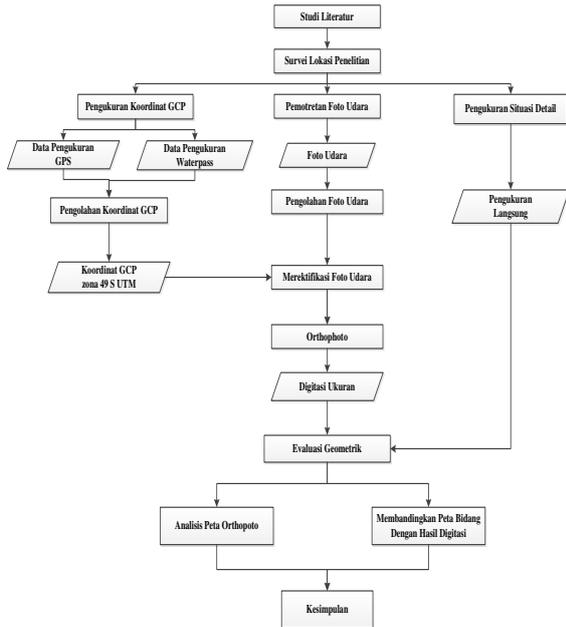
1. Menghilangkan kemiringan kamera
2. Menyamakan skala
3. Menghilangkan pergeseran relief.

Proses orthofoto dibuat untuk melengkapi atau menggantikan peta-peta garis yang konvensional. Proses orthofoto dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan cara konvensional dan cara digital.

Perbedaan antara orthofoto manual dan digital adalah pada proses digital kita tidak bisa melihat proses restitusi secara langsung seperti pada proses manual. Orthofoto digital diperoleh melalui digital yaitu dengan menggunakan *software*, dimana melakukan koreksi ketinggian *Digital Elevation Model (DEM)*. Pembuatan DEM pada *software* berasal dari data-data yaitu titik kontrol, garis kontur serta kombinasi antara garis kontur dengan ketinggian bangunan.

III. Tahapan Pelaksanaan

Gambaran umum tahapan pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar. 9.

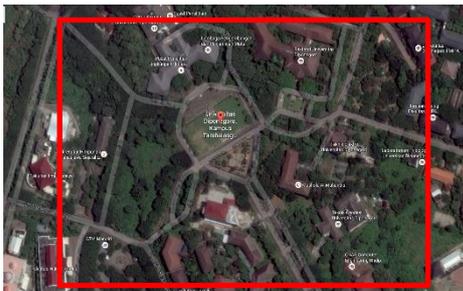


Gambar 9. Diagram Alir Penelitian

III.1 Tahapan Persiapan

III.1.1 Survei Lokasi Penelitian

Pada tahapan ini peneliti melakukan pencarian lokasi yang dapat digunakan untuk sebagai lokasi penelitian. Peneliti memilih lokasi di sekitar kampus Universitas Diponegoro dikarenakan pada lokasi tersebut dirasa cukup layak untuk dilakukan penelitian, karena daerahnya tidak terlalu luas dan tidak terlalu kecil guna dalam lebih memahami hal yang teliti peneliti dan juga peneliti memilih lokasi tersebut dikarenakan adanya variasi permukaan tanah yang berbeda – beda didaerah tersebut.



Gambar 10. Kawasan Kampus Universitas Diponegoro (Google Earth, 2016)

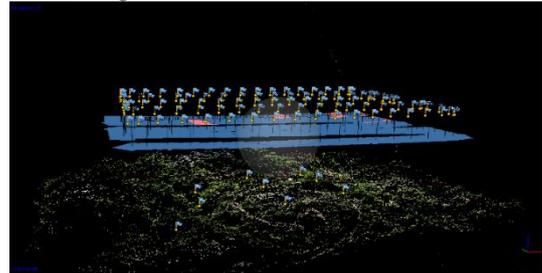
III.1.2 Perencanaan Jalur Terbang

Dalam penelitian ini peneliti membagi dua pekerjaan didalam pemotretan. Peneliti merencanakan jalur terbang dengan ketinggian ±80m dan ± 100m.



Gambar 11. Perencanaan Jalur Terbang

III.1.3 Align Foto



Gambar 12. Align Foto

Align foto adalah tahap awal pada pengolahan foto udara digital dengan menggunakan perangkat lunak Agisoft Photoscan. Pada tahap ini dilakukan proses identifikasi *tie point* secara otomatis dengan menggunakan algoritma *SIFT invariant*. Algoritma ini menggunakan logika yang akan mengenali titik – titik yang mempunyai kesamaan *pixel* dan membentuknya menjadi *point cloud* atau disebut *smart point*. Sebelum melakukan proses *Align* foto terlebih dahulu melakukan proses penyeleksian foto hal ini dilakukan terhadap foto yang tidak digunakan untuk pembuatan orthofoto.

III.1.4 Build Dense Cloud

Build Dense Cloud, tahapan ini berfungsi untuk memperoleh *point cloud* lebih padat berdasarkan posisi kamera yang telah diperhitungkan oleh algoritma program.

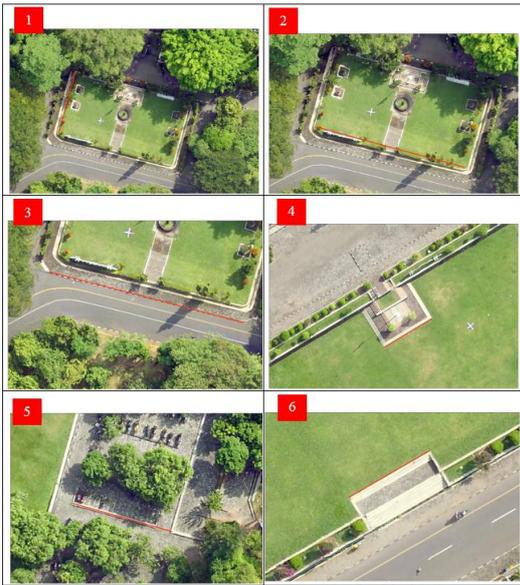


Gambar 13. Hasil Build Dense Cloud

III.1.5 Tahapan Orthofoto

Pada tahapan ini adalah menggabungkan dari banyak foto tunggal yang diperoleh dari pemotretan menjadi foto orthofoto.

IV. Hasil dan Analisis Orthofoto

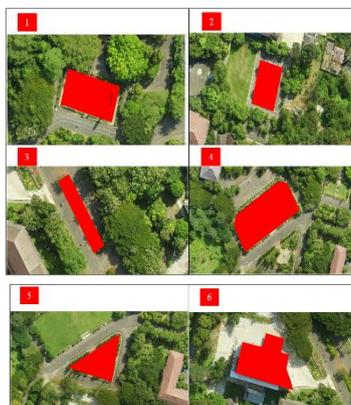


Gambar 14. Daerah Yang Digunakan Sebagai Validasi Jarak

Tabel 1. Perbandingan Jarak di Foto dengan Lapangan

NO	Foto Udara Ketinggian 80 m	Foto Udara Ketinggian 100 m	Jarak di Lapangan	Selisih Foto udara 80 m dengan lapangan	Selisih Foto udara 100 m dengan lapangan
1	18.386 m	18.301 m	18.481 m	0.045 m	0.130 m
2	33.946 m	33.762 m	33.99 m	0.044 m	0.223 m
3	35.082 m	35.028 m	35.106 m	0.024 m	0.078 m
4	11.957 m	11.942 m	11.969 m	0.012 m	0.027 m
5	14.488 m	14.567 m	14.524 m	0.036 m	-0.043 m
6	10.467 m	10.504 m	10.521 m	0.054 m	0.017 m

Pada tabel diatas menjelaskan untuk melakukan validasi pada kedua peta dibutuhkan perbandingan antara jarak dilapangan dengan jarak yang ada di peta. Dari hasil pengecekan diperoleh kesalahan besar terjadi pada daerah yang jauh dari titik kontrol dan kesalahan terkecil rata – rata di daerah pengambilan jarak yang dekat dengan titik kontrol.

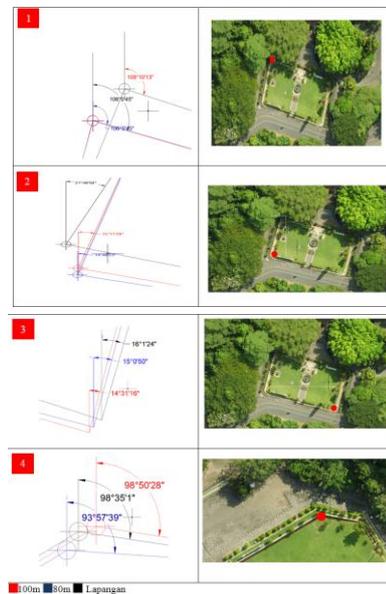


Gambar 15. Daerah Yang Digunakan Sebagai Validasi Luas

Tabel 2. Perbandingan Luas di Foto dengan Lapangan

NO	Foto Udara Ketinggian 80 m	Foto Udara Ketinggian 100 m	Luas di Lapangan (m ²)	Selisih Foto udara 80 m dengan lapangan	Selisih Foto udara 100 m dengan lapangan
1	622.599 m ²	622.700 m ²	622.541 m ²	-0.0572 m ²	-0.1586 m ²
2	306.194 m ²	306.024 m ²	307.223 m ²	1.0286 m ²	1.198 m ²
3	265.720 m ²	265.550 m ²	266.748 m ²	1.028 m ²	1.198 m ²
4	3661.504 m ²	3660.742 m ²	3663.902 m ²	2.398 m ²	3.160 m ²
5	1193.679 m ²	1193.645 m ²	1193.369 m ²	-0.309 m ²	-0.275 m ²
6	980.334 m ²	983.300 m ²	984.673 m ²	4.339 m ²	1.373 m ²

Tabel diatas juga menjelaskan perbandingan luas yang diperoleh dari pengukuran langsung dibandingkan dengan luas yang didapat dari peta, memperlihatkan bahwa ada perbedaan dengan luas sebenarnya berkisar kurang lebih 3 meter². Hal ini juga berbanding lurus dengan keberadaan titik kontrol pada titik pengamatan validasi.



Gambar 16. Hasil Digitasi untuk menentukan arah orientasi

Gambar diatas merupakan hasil digitasi orthofoto yang dibandingkan dengan data pengukuran sebenarnya untuk memperoleh orientasi.

Tabel 3. Hasil Perbandingan Orientasi Terhadap Azimut

	Foto Udara Ketinggian 80 m	Foto Udara Ketinggian 100 m	Orientasi Sebenarnya terhadap Arah Azimut	Selisih Foto udara 80 m dengan lapangan	Selisih Foto udara 100 m dengan lapangan
1	106°24'14"	106°0'45"	108°10'13"	1°45'59"	2°9'28"
2	14°48'33"	15°11'29"	21°48'56"	7°0'23"	6°37'27"
3	15°0'50"	14°31'16"	16°1'24"	1°0'34"	1°30'8"
4	93°57'39"	98°50'28"	93°35'11"	0°22'38"	5°15'27"

Tabel diatas menjelaskan bahwa terjadi orientasi yang sangat besar pada foto dengan ketinggian 100 m dibandingkan dengan foto 80 m.

Tabel 4. Horizontal Ketinggian 80 m dengan Menggunakan GCP

no	X lapangan	Y lapangan	X Peta	Y Peta	DX^2+DY^2
1	437869.627	9220590.54	437869.673	9220590.561	0.040927
2	437905.851	9220644.594	437905.811	9220644.602	0.039192
3	437911.534	9220700.148	437911.552	9220700.117	0.025239
4	437995.679	9220745.526	437995.689	9220745.595	0.068272
5	438085.749	9220760.795	438085.893	9220760.809	0.143318
6	438086.943	9220702.778	438086.677	9220702.720	0.2596
7	438092.678	9220632.088	438092.775	9220632.086	0.096979
8	438000.350	9220603.511	438000.372	9220603.529	0.012649
9	438002.222	9220691.130	438002.283	9220691.077	0.030199
Jumlah					0.119385000
Rata-rata					0.013265000
RMSE					0.115173782

Tabel 5. Horizontal Ketinggian 100 m dengan Menggunakan GCP

No	X lapangan	Y lapangan	X Peta	Y Peta	DX^2+DY^2
1	437869.627	9220590.54	437869.635	9220590.580	0.039192
2	437905.851	9220644.594	437905.834	9220644.495	0.097529
3	437911.534	9220700.148	437911.559	9220700.065	0.079145
4	437995.679	9220745.526	437995.688	9220745.534	0.004123
5	438085.749	9220760.795	438085.925	9220760.783	0.17559
6	438086.943	9220702.778	438086.648	9220702.744	0.293034
7	438092.678	9220632.088	438092.857	9220632.065	0.177516
8	438000.350	9220603.511	438000.381	9220603.552	0.026833
9	438002.222	9220691.130	438002.220	9220691.052	0.077974
Jumlah					0.256654000
Rata-rata					0.028517111
RMSE					0.168870101

Tabel 6. RMSE Horizontal Ketinggian 80 m dengan menggunakan ICP

no	X lapangan	Y lapangan	X Peta	Y Peta	DX^2+DY^2
1	437976.927	9220637.821	437976.91	9220637.78	0.001970000
2	438002.514	9220720.907	438002.517	9220720.832	0.005634000
3	437964.806	9220675.032	437964.812	9220675.001	0.000997000
Jumlah					0.008601000
Rata-rata					0.002867000
RMSE					0.053544374

Tabel 7. RMSE Horizontal Ketinggian 100 m dengan menggunakan ICP

no	X lapangan	Y lapangan	X Peta	Y Peta	DX^2+DY^2
1	437976.927	9220637.821	437976.807	9220637.815	0.014436000
2	438002.514	9220720.907	438002.512	9220720.766	0.019885000
3	437964.806	9220675.032	437964.881	9220675.055	0.006154000
Jumlah					0.040475000
Rata-rata					0.013491667
RMSE					0.116153633

Untuk tabel.6 dan Tabel.7 menjelaskan bagaimana hasil *Root Mean Square Error* (RMSE) dari kedua hasil orthofoto dan *Circular Error 90%* (CE90) yang nantinya digunakan sebagai nilai yang diuji pada tabel uji untuk menentukan tergolong kemanakah ketelitian peta yang diperoleh.

Tabel 8. Uji Ketelitian

	Hasil Uji CE90	Ketelitian Peta Skala 1:5000		
		Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
Foto Udara Ketinggian 80 m	0.08125	1	1,5	2,5
Foto Udara Ketinggian 100 m	0.17626	1	1,5	2,5

Pada tabel diatas menjelaskan dari hasil uji CE90 untuk ketelitian peta skala 1:5.000 foto udara untuk ketinggian 80 m dan 100 m memenuhi standar kelas 1 yang telah ditentukan Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.

V. Kesimpulan

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari evaluasi citra diperoleh kesalahan jarak terkecil sebesar 0.008 meter dan kesalahan jarak terbesar sebesar 0.139 meter dari ke dua model orthofoto. Kesalahan tersebut terjadi di sekitar GCP5, GCP 6 dan GCP 7. Hasil peta foto tersebut untuk ketinggian 80 meter dari permukaan tanah dapat digunakan untuk pembuatan peta dengan skala 1:3000 dan sedangkan peta foto yang ketinggiannya lebih dari 100 meter juga bisa digunakan untuk pembuatan peta dengan skala 1:5000. Jika dilihat dari *error (pixel)* hasil orthofoto dengan ketinggian 80 meter memiliki *error* sebesar 1,52407 *pix* dan untuk ketinggian 100 meter sebesar 2,33035 *pix*
2. Produktivitas hasil pemotretan foto format kecil selama 6 hari didapatkan foto sebanyak 790 foto dan layak digunakan sebanyak 604 foto dengan cakupan daerah sebesar 18.5592 hektar. Untuk efektifitas waktu dan biaya dalam pekerjaan orthofoto pada pembuatan peta skala 1:5000 akan lebih efektif menggunakan ketinggian 100 meter dibandingkan 80 meter karena dari jumlah foto dan waktu lebih sedikit.

V.2 Saran

Beberapa saran setelah penelitian ini dilaksanakan dan berguna untuk penelitian selanjutnya supaya lebih baik, antara lain:

1. Pada perencanaan pemotretan udara menggunakan wahana udara tanpa awak sebaiknya menggunakan titik kontrol yang banyak dan menyebar untuk meminimalisir kesalahan geometrik.
2. Setelah melakukan pemotretan sebaiknya dilakukan selalu pengecekan hasil foto yang didapatkan, karena kejadian yang pernah saya alami didalam pemotretan adalah tidak terekamnya foto yang dipotret dari pesawat tanpa awak. Hal tersebut terjadi karena kesalahan memori eksternal yang digunakan.
3. Sebelum melakukan pemotretan harus memperhatikan lokasi yang akan teliti seperti bangunan tertinggi pada daerah yang akan difoto agar terhindar dari kecelakaan pada saat pemotretan.
4. Pemotretan sebaiknya dilaksanakan pada saat pagi hari dan sore hari.

5. Untuk melakukan proses digitasi dibutuhkan pengalaman dan ketelitian yang tinggi untuk memperoleh hasil yang lebih teliti.
6. Sebaiknya setelah melakukan pengambilan data, langsung dilakukan pengolahan data agar dapat mengetahui data mana saja yang dibutuhkan jika terjadi kekurangan.
7. Sebelum melakukan pemotretan dengan menggunakan wahana *drone* sebaiknya dilakukan pengecekan *software* pada wahana yang digunakan untuk memaksimalkan kinerja *drone* tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. 2007. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Abidin, H. Z., dkk. 2011. *Survei dengan GPS*. Bandung : Penerbit ITB.
- Agisoft, 2014. *Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.1*. St. Petersburg, Rusia : Agisoft LLC.
- Akbar, Harmeydi. 2014. *Pembuatan Peta Foto Dengan Foto Udara Format Kecil Di Kompleks Candi Prambanan Dengan Wahana Quadcopter*. Skripsi.
- Gularso, Herjuno. 2013. *Tinjauan Pemotretan Udara Format Kecil Menggunakan Pesawat Model Skywalker 1680*. Skripsi.
- Hadi, B.S. 2007. *Dasar-dasar Fotogrametri*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- Mustofa, H.A. 2016. *Analisis Ketelitian Planimetrik Pada Topografi Perbukitan Dan Datar Berdasarkan Kuantitas Titik Kontrol Tanah*. Skripsi
- Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2013 tentang Ketelitian Peta Rencana Tata Ruang.
- Rudianto, B. 2011. *Analisis Pengaruh Sebaran Ground Control Point terhadap Ketelitian Objek pada Peta Citra Hasil Orthorektifikasi*. Jurnal Rekayasa Institut Teknologi Nasional Vol. XV No.1 : hal. 11-18.
- Sarwono, J. dan Budiono, H. 2012. *Statistika Terapan : Aplikasi untuk Riset Skripsi, Tesis, dan Disertasi*. Jakarta : PT. Elex Media Komputindo.
- Pustaka Dari Internet**
- Agisoft. 2015. *Photogrammetry*. <http://wiki.agisoft.com/wiki/Photogrammetry>, diakses pada tanggal 14 Agustus 2016.
- Geospatial, H. 2014. *Exterior Orientation*. https://wiki.hexagongeospatial.com/index.php?title=Exterior_Orientation, diakses pada 10 September 2016.
- Karney, C. 2014. *Online Geoid Calculations Using GeoidEval Utility*. <http://geographiclib.sourceforge.net/cgi-bin/GeoidEval>, diakses pada 22 Juli 2016.
- Pasumansky, A. 2014. *Build Texture Options And Orthofoto Export*. <http://www.agisoft.com/forum/index.php?topic=3026.0>, diakses pada 11 November 2016.
- Prasetya, A. 2010. *Distorsi Foto Udara (Fotogrametri)*. <http://arryprasetya.blogspot.co.id/2010/10/distorsi-foto-udarafotogrametri.html>, diakses pada 6 Agustus 2016.
- Sasongko, I. 2010. *Fotogrametri*. <https://indiksasongko.wordpress.com/>, diakses pada 19 November 2016.
- Semarangkota. 2014. *Peta Kelengkapan*. <http://www.semarangkota.go.id/main/menu/28/tata-ruang-wilayah/petakelengkapan>, diakses pada 18 November 2016.