

PEMBUATAN PETA FOTO DENGAN FOTO UDARA FORMAT KECIL DI KOMPLEKS CANDI PRAMBANAN DENGAN WAHANA PESAWAT QUADCOPTER

Harmeydi Akbar, Bandi Sasmito, Arwan Putra Wijaya ^{*)}

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

ABSTRAK

Candi prambanan termasuk salah satu dari situs warisan dunia UNESCO, candi Hindu terbesar di Indonesia, sekaligus salah satu candi terindah di Asia Tenggara. Arsitektur bangunan ini berbentuk tinggi dan ramping sesuai dengan arsitektur Hindu pada umumnya dengan candi Siwa sebagai candi utama yang memiliki ketinggian mencapai 47 meter menjulang di tengah kompleks gugusan candi-candi yang lebih kecil. Sebagai salah satu candi termegah di Asia Tenggara, candi Prambanan menjadi daya tarik kunjungan wisatawan dari seluruh dunia (Wikipedia.Org). Mengingat kelebihan dan pentingnya pengawasan candi Prambanan ini, maka perlu dilakukan pemetaan di wilayah candi Prambanan.

Pengawasan yang perlu dilakukan sesering mungkin, dengan mempertimbangkan kemudahan dan biaya yang relatif murah, metode pemetaan foto udara format kecil menggunakan *quadcopter* dengan ketelitian tertentu menjadi salah satu pilihan utamanya. Pelaksanaan pemetaan candi Prambanan dalam penelitian ini menggunakan metode pemetaan foto udara format kecil dengan RC multirotor (*quadcopter*), sehingga lebih mudah untuk ditentukan tempat dimulainya terbang (*take off*) dan mendarat (*landing*). Dengan RC *quadcopter*, masalah landasan tidak menjadi kendala lagi.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah mengetahui tingkat ketelitian gambar yang didapat dengan menggunakan wahana pesawat *aeromodelling quadcopter* dan kamera *Go Pro Hero 3 Black 12 megapixel* dengan hasil dilapangan. Dan menganalisis kelebihan dan kekurangan pemetaan dengan menggunakan wahana pesawat *aeromodelling quadcopter* dan kamera *Go Pro Hero 3 Black 12 megapixel*.

Penelitian ini dilakukan selama 3 kali penerbangan dan menghasilkan lebih dari 768 dan hanya 404 foto yang dapat dipergunakan. Berdasarkan hasil penelitian, diketahui tingkat ketelitian gambar memiliki kisaran 0-2 *pixel*. Berdasarkan hasil kisaran tersebut, diketahui bahwa pemodelan tidak mengandung kesalahan kasar dan sistematis. Berdasarkan pengukuran hasil model dengan hasil lapangan memiliki selisih jumlah rata-rata 1,727 cm dan masing-masing foto memiliki selisih antara 2 cm dan 4 cm. Sedangkan kelebihan dan kekurangan pemetaan dengan menggunakan wahana pesawat *aeromodelling quadcopter* dan kamera *Go Pro Hero 3 Black 12 megapixel* adalah cepat, hemat dan efisien, penerbangan dilakukan dibawah awan sehingga menekan biaya sewa sehingga tidak perlu pesawat khusus dengan lubang kamera. Biaya yang dipergunakan lebih murah dibandingkan dengan pemotretan udara biasa dan dapat dilakukan oleh SDM Indonesia terutama di daerah-daerah untuk menunjang program otonomi daerah. Sedangkan kelemahannya adalah untuk suatu daerah yang luas diperlukan *frame* foto yang lebih banyak dibandingkan dengan foto udara biasa, tidak cocok untuk pembuatan peta kontur.

Kata kunci : *quadcopter*, kamera *Go Pro Hero 3*, foto udara format kecil.

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

ABSTRAK

Prambanan temple is one of the UNESCO world heritage site, the largest Hindu temple in Indonesia, and one of the most beautiful temples in Southeast Asia. The architecture of the building is tall and slender shaped according to the Hindu architecture in general with the main temple of Shiva temple which has a height reaching 47 meters in the center of the complex cluster of to wering temples smaller. As one of the grandest temples in South east Asia, Prambanan temple is the main attraction of tourists visit from all over the world (Wikipedia. Org). Given the advantages and importance of monitoring this Prambanan temple, then need to be mapped in the area of Prambanan temple.

Supervision needs to be done as often as possible, taking into account the ease and relatively low cost, method of mapping a small format aerial photographs using a quadcopter with a certain precision to be one of the main options. Implementation mapping Prambanan in this study using small format aerial photography mapping with RC multicopter (quadcopter), making it easier to set the starting fly (take off) and landing (landing). With RC quadcopter, the problem of foundation is not an obstacle anymore.

The objectives of this study was to determine the level of accuracy obtained by using the image of aeromodelling quadcopter and the camera Go Pro Hero 3 Black 12 megapixels with field results. And analyze the advantages and disadvantages mapping using quadcopter aeromodelling planer ides and a camera Go Pro Hero 3 Black 12 megapixels.

This observation was conducted for 3 times the cost and generates more than 768 and only 404 photos that can be used. Based on the research results, the image has a known level of accuracy range of 0-2 pixels. Based on the results of these ranges, it is known that the modeling does not contain harsh and systematic errors. Based on the measurement results of the model with field results have a difference about 1,727 cm and each photo has a difference of between 2cm and 4cm. While the advantages and disadvantages mapping using quadcopter aeromodelling planer ides and a camera Go Pro Hero 3 Black 12 megapixels is fast, effective and efficient, so the flight was conducted under the clouds reduce the cost of the rental so do not need a special plane with a camera hole. The cost used is cheaper compared to regular aerial photography and can be done by Indonesian human resources, especially in areas to support the program of regional autonomy. The disadvantage is to a large area photo frame required more than the usual aerial photographs, is not suitable for the manufacture of a contour map.

Keywords: *quadcopter, camera Go Pro Hero 3, small format aerial photographs*

I. Pendahuluan

Candi Prambanan termasuk salah satu dari situs warisan dunia UNESCO, candi Hindu terbesar di Indonesia, sekaligus salah satu candi terindah di Asia Tenggara. Arsitektur bangunan ini berbentuk tinggi dan ramping sesuai dengan arsitektur Hindu pada umumnya dengan candi Siwa sebagai candi utama yang memiliki ketinggian mencapai 47 meter menjulang di tengah kompleks gugusan candi-candi yang lebih kecil. Sebagai salah satu candi termegah di Asia Tenggara, candi Prambanan menjadi daya tarik kunjungan wisatawan dari seluruh dunia (Wikipedia.Org).

Mengingat kelebihan dan pentingnya pengawasan candi Prambanan ini, maka perlu dilakukan pemetaan di wilayah candi Prambanan. Pengawasan yang perlu dilakukan sesering mungkin, dengan mempertimbangkan kemudahan dan biaya yang relatif murah, metode pemetaan foto udara format kecil menggunakan *quadcopter* dengan ketelitian tertentu menjadi salah satu pilihan utamanya.

Pelaksanaan pemetaan candi Prambanan dalam penelitian ini menggunakan metode pemetaan foto udara format kecil dengan RC multirotor (*quadcopter*), sehingga lebih mudah untuk ditentukan tempat dimulainya terbang (*take off*) dan mendarat (*landing*). Dengan RC *quadcopter*, masalah landasan tidak menjadi kendala lagi. Lain halnya dengan pesawat yang harus mencari area luas untuk melakukan *take off* dan *landing*. Salah satu kelebihan dari wahana ini adalah kemampuan terbang secara vertikal yang memungkinkan terbang pada daerah dengan padat penduduk seperti perumahan. Diharapkan RC *quadcopter* ini dapat digunakan untuk pemetaan, khususnya *updating* pada skala besar dalam lingkup yang tidak terlalu luas dikarenakan keterbatasan terbang dari wahana itu sendiri.

Berdasarkan permasalahan pada latar belakang diatas, rumusan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa besar tingkat ketelitian gambar yang didapat dengan menggunakan wahana pesawat *aeromodelling quadcopter* dan kamera *Go Pro Hero 3 Black 12 megapixel* ?
2. Apakah kelebihan dan kekurangan pemetaan dengan menggunakan wahana pesawat *aeromodelling quadcopter* dan kamera *Go Pro Hero 3 Black 12 megapixel*?

Batasan masalah dalam tugas akhir ini meliputi:

1. Lokasi penelitian yang hanya dilakukan di kompleks Candi Prambanan.
2. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan kamera *Go Pro Hero 3 Black 12 megapixel*.
3. Proses *Alignment photo*, *bundle adjustment*, pemodelan geometri dan transformasi koordinat dilakukan menggunakan *software agisoft photoscan version 9.0*.
4. Proses kalibrasi kamera menggunakan *software agisoft lens*.
5. Data yang diperoleh berasal dari pemotretan udara dengan metode fotogrametri.

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui tingkat ketelitian gambar yang didapat dengan menggunakan wahana pesawat *aeromodelling quadcopter* dan kamera *Go Pro Hero 3 Black 12 megapixel* dengan hasil dilapangan.
2. Menganalisis kelebihan dan kekurangan pemetaan dengan menggunakan wahana pesawat *aeromodelling quadcopter* dan kamera *Go Pro Hero 3 Black 12 megapixel*.

Manfaat dari kegiatan penelitian ini adalah memberi sumbangan penelitian untuk pengembangan foto udara format kecil dengan menggunakan menggunakan wahana *aeromodelling* serta mendapatkan waktu yang efektif dan efisien untuk membantu berbagai individu, instansi, dan pihak yang berkaitan dengan pemetaan.

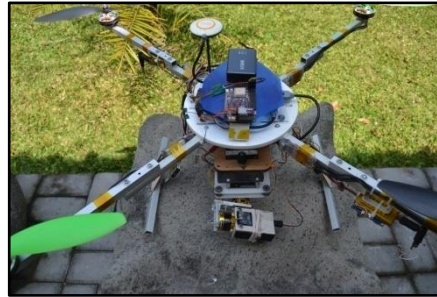
II. Tinjauan Pustaka

Perkumpulan Fotogrametiawan Amerika mendefinisikan fotogrametri sebagai 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. Berdasarkan definisi tersebut, diketahui bahwa arti fotogrametri mencakup fotogrametri metrik dan fotogrametri interpretatif (Gunadi, dkk., 1993).

Rokhmana, C.A 2012 melakukan penelitian tentang pemodelan kondisi bangunan Candi Borobudur pasca erupsi merapi dengan UAV-Based Fotogrametri. Fokus penelitian adalah pada dokumentasi candi Borobudur untuk keperluan monitoring dan updating kondisi permukaan candi. UAV yang digunakan adalah jenis Quadcopter. Sedangkan sensor kamera yang digunakan

adalah Panasonic lumix dengan ketinggian terbang 50-100 m pada kawasan candi Borobudur dengan luasan 100x100m, dibutuhkan 4-6 foto yang saling *overlap*.

Pesawat *Quadcopter*



Gambar 1 Pesawat *Quadcopter*

Quadcopter disebut sebagai sebuah helikopter *quadrotor*. *Quadrotor* adalah sebuah helikopter multirotor yang diangkat dan didorong oleh empat rotor. *Quadcopter* diklasifikasikan sebagai *rotorcraft*, sebagai lawan dari pesawat *fixed-wing*, karena gaya angkat yang dihasilkan mereka berasal dari satu *set airfoils* (Wikipedia. Org.).

Baru-baru ini *quadcopter* telah didesain dan menjadi populer dalam penelitian sebagai pesawat udara tanpa awak (UAV). Kendaraan ini menggunakan sistem kontrol elektronik dan sensor elektronik untuk menstabilkan pesawat. Dengan ukuran yang kecil, *quadcopter* dapat terbang dengan tangkas di dalam ruangan serta di luar ruangan.

III. Metode Penelitian

Kompleks Candi Prambanan terletak di perbatasan antara Kabupaten Sleman dengan Klaten, tepatnya di Dusun Karangasem, Desa Bokoharjo, Kecamatan Prambanan, Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan berada pada koordinat 7°45'08" LS-110°29'30" BT. Kompleks Candi Prambanan mempunyai latar belakang agama Hindu dan sering juga disebut Candi Loro Jonggrang.

Kompleks Candi Prambanan terbagi menjadi 3 halaman konsentris (terpusat), dihubungkan dengan gapura yang terletak pada keempat sisinya. Halaman luar dikelilingi tembok pagar berukuran 390 x 390 m. Halaman tengah dikelilingi tembok pagar berukuran 220 x 220 m. Di halaman kedua terdapat 224 buah candi perwara yang disusun menjadi empat deret yang makin kedalam makin tinggi letaknya. Deret pertama 68 buah, deret kedua 60 buah, deret ketiga 52 buah, dan deret keempat 44 buah.

Data penelitian yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

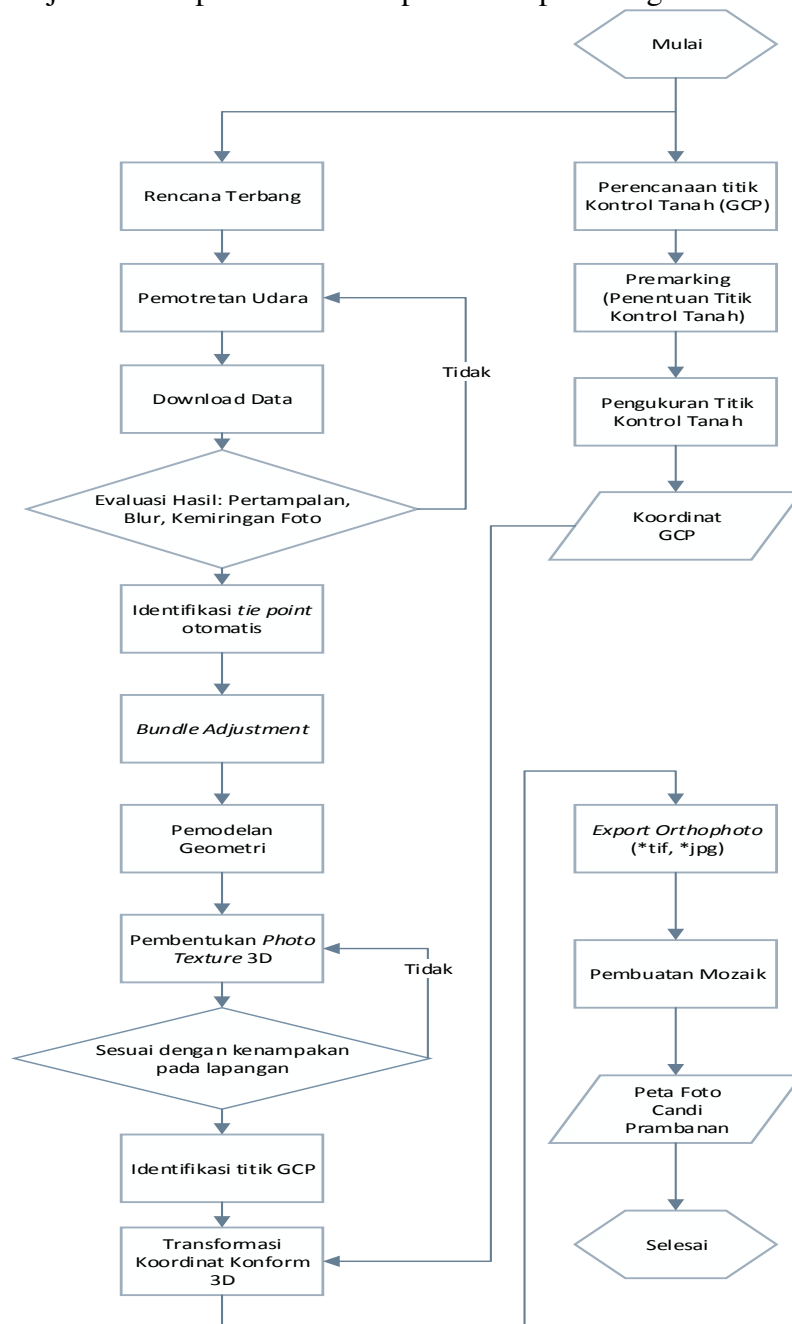
1. Hasil pengambilan foto udara dengan menggunakan pesawat *Quadcopter*.
2. Koordinat *Ground Control Point* dari GPS *Geodetic*.

Peralatan yang digunakan saat penelitian yaitu :

1. CPU dengan *processor Intel (R) Core (TM) i3-3220 CPU, 3.00 GHz, RAM 8 GB, 64-bit Operating System*
2. Pesawat UAV *Multicopter Quadcopter*.
3. GPS :
 - a. GPS *Geodetic Hiper II*, digunakan untuk penentuan titik koordinat.
 - b. GPS *Map 60 csx*, digunakan untuk pencarian titik BM
 - c. GPS *Logging Holux*, digunakan untuk penentuan koordinat foto pada kamera.

4. Kamera *Digital GoPro Black Hero 3, 12 Mega Pixel*
5. Perangkat Lunak (*software*), software yang digunakan adalah:
 - a. *Agisoft PhotoScan* versi 0.9.0, digunakan sebagai pengolah foto.
 - b. *Global Mapper*, digunakan sebagai penampil data DSM.
 - c. *ArcGis 9.3*, digunakan sebagai pembuat *layout* dan digitasi
 - d. *ACDsee Pro 6*, digunakan untuk *cropping*.
 - e. *PT lines*, digunakan untuk proses pendataran hasil foto Kamera *DigitalGoPro Black Hero 3*

Tahapan pekerjaan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alur berikut ini:


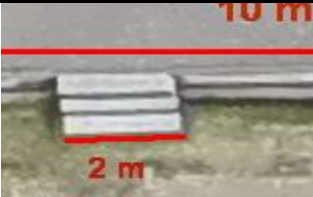




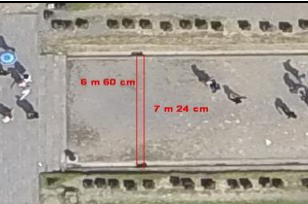






Gambar 2 Diagram Alur Penelitian

IV. Hasil dan Pembahasan

Pemotretan dilakukan pada waktu siang hari pukul 12.00 selama 1 hari berturut-turut (26 Mei 2014) dan dalam 1 harinya dilakukan 3 kali penerbangan. Luas cakupan area terbang yang dipotret saat penerbangan adalah 16 hektar. Jumlah foto yang dihasilkan dalam 3 kali penerbangan lebih dari 768 foto dan yang digunakan untuk pengolahan foto udara hanya 404 foto. Pengambilan foto yang sangat banyak tersebut dikarenakan sebagian besar foto yang digunakan tidak fokus dan berbayang sehingga tidak dapat digunakan dalam pemrosesan untuk pembentukan mosaik, maka pengambilan foto dan penerbangan menjadi tidak efisien. Foto yang tidak fokus dan berbayang tersebut disebabkan oleh kamera yang digunakan sangat rentan terhadap getaran dan kurang peka terhadap objek yang bergerak sehingga foto yang dihasilkan cenderung berbayang atau kabur. Berikut ini adalah beberapa hasil pemotretan udara hasil validasi lapangan.

Tabel 1 Hasil Validasi Lapangan

No.	Foto Ke-	Citra Foto	Hasil Rekti	Hasil Lapangan (cm)	Selisih
1	Foto 12		10 m 36 cm	10 m 35	1 cm
2	Foto 12 A		1 m 98 cm	2 m	2 cm
3	Foto 1 dalam		6 m 60 cm	6 m 60 cm	0
4	Foto E		3 m 93 cm	3 m 92 cm	1 cm

5	Foto 1 Luar		7 m 26 cm	7 m 24 cm	2 cm
6	Foto 9		16 m 52 cm	16 m 53 cm	1 cm
7	Foto 10 A		2 m 76 cm	2 m 75 cm	1 cm
8	Foto 10 B		4 m 18 cm	4 m 18 cm	0
No.	Foto Ke-	Gambar	Hasil Rekti	Hasil Lapangan (cm)	Selisih
9	Foto 15		17 m 94cm	17 m 90 cm	4 cm
10	Foto 16		7 m 71 cm	7 m 70 cm	1 cm
11	Foto 13		5m 86 cm	5m 85 cm	1 cm

Berdasarkan tabel validasi hasil lapangan diatas, diketahui bahwa masing-masing foto memiliki selisih sebesar 2 cm hingga 4 cm atau berata-rata 1,272 cm. Besarnya selisih ini menunjukkan bahwa ukuran untuk memberikan keyakinan dan kepastian serta keakurasian suatu gambar. Proses validasi ini dilakukan dengan membandingkan hasil kondisi gambar obyek di lapangan dengan hasil obyek pada model. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa panjang pada model dan lapangan, memiliki jumlah selisih yang kecil dengan jumlah rata-rata 1,727 cm, dengan rata-rata 1 cm tiap satu fotonya, sehingga secara umum mendekati valid. Berdasarkan

hasil validasi ini, gambar model dengan kondisi gambar dilapangan sebenarnya dikatakan bisa diterima.

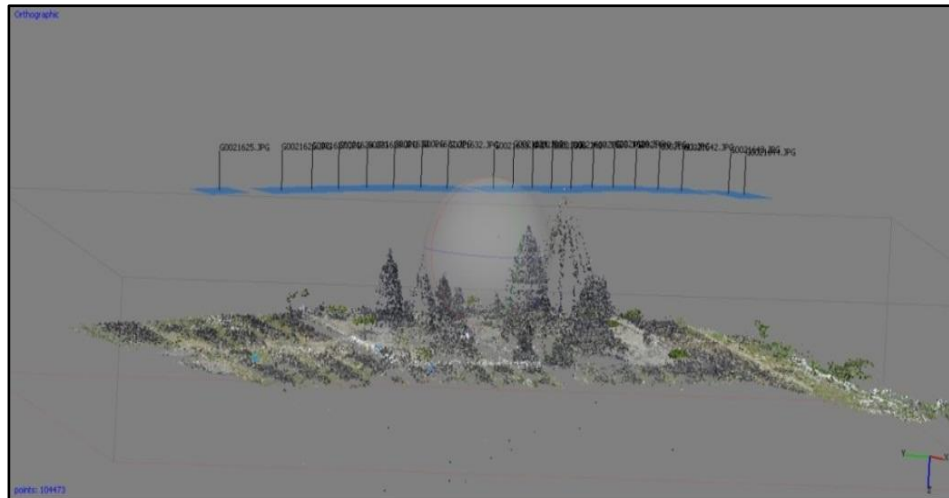
Besarnya tingkat selisih pemotretan berata-rata 1,727 cmini disebabkan adanya beberapa faktor antara lain keadaan pesawat saat berbelok sehingga menyebabkan foto miring dan terjadi kesalahan, besarnya pertampalan antara foto pertama dengan foto kedua $\pm 80\%$, kondisi sensor kamera yang sangat peka terhadap cahaya (24bit) sehingga menyebabkan kesalahan pemotretan, kondisi pemotretan dengan ketinggian terbang terlalu rendah (kurang dari 90 meter) atau terlalu tinggi (lebih dari 100 meter), dan dapat disebabkan oleh pesawat model yang terbang terlalu cepat (15 m/s) dan *shutter speed* yang rendah (0,00119976 sec).



Gambar 3Persebaran daerah pengambilan sampel pengukuran (14 titik).

IV.1. Hasil Proses Pengolahan Foto Udara

Tahap alignment merupakan tahap dimana dilakukan pendefinisian atau identifikasi *point* secara otomatis melalui nilai kesamaan pixel pada image. Proses alignment menghasilkan gambar yang membentuk *points cloud* pada foto-foto yang memiliki hubungan pada *overlap* dan *sidelap*. Titik tidak terbaca jika kenampakan suatu objek berbeda pada foto yang saling bertampalan, hal ini dapat terjadi jika adanya *blur* pada foto, atau kondisi cuaca pada saat pemotretan berbeda-beda, sehingga nilai piksel tersebut mengandung *noise*. Koordinat hasil *alignment* ini masih dalam sistem koordinat model, karena antar *point cloud* masih terorientasi secara relatif antar titik.



Gambar 4 Hasil Proses *Alignment*.

Obyek yang awalnya belum terdeteksi pada tahap *alignment*, akan terbentuk pada tahap ini. Geometri terbentuk oleh jaringan segitiga TIN (*Triangular Irregular Network*). Pemodelan ini digunakan untuk membentuk suatu benda-benda atau obyek dari hasil pemotretan, sehingga terlihat seperti hidup sesuai dengan obyek dan basisnya, proses ini secara keseluruhan dikerjakan di komputer melalui konsep penggabungan keseluruhan obyek foto yang kemudian diperlihatkan secara 3 dimensi. Berikut adalah beberapa tampilan dari hasil pemodelan.



Gambar 5 Tampilan *shaded geometry*

Gambar diatas menampilkan model dalam tampilan *shaded geometry* dengan tujuan untuk memberikan efek tertentu misalkan *lighting effect*, *atmosphere*, *fog* dan sebagainya.

Ketelitian hasil pemotretan ini dapat dilihat dari hasil interpretasi tutupan lahan, pergeseran gambar dan standar deviasi pembentukan model.

Ketelitian dari hasil pemotretan ditentukan dari:

1. Interpretasi Tutupan Lahan
2. *Image Motion* (pergeseran gambar)
3. Standar Deviasi Pembentukan Model
- 4.

Berikut adalah hasil pengukuran keakuratan hasil pemodelan pada tiap titik koordinat

:

Tabel 2 Standar Deviasi Pembentukan Model

No	Markers	Cell x	Cell y	Easting	Northing	Height	RMS
1	bm 1	10729,87	15996,42	443849,63	9143184,86	179,72	0,10
2	bm 4	11899,11	8911,86	443904,46	9142985,43	180,01	0,16
3	bm 5	10490,80	11818,33	443906,64	9143080,73	180,15	0,06
4	bm 7	7833,85	13938,16	443951,53	9143173,91	176,16	0,09
5	bm 9	10368,99	8254,85	443953,09	9142990,73	175,22	0,20

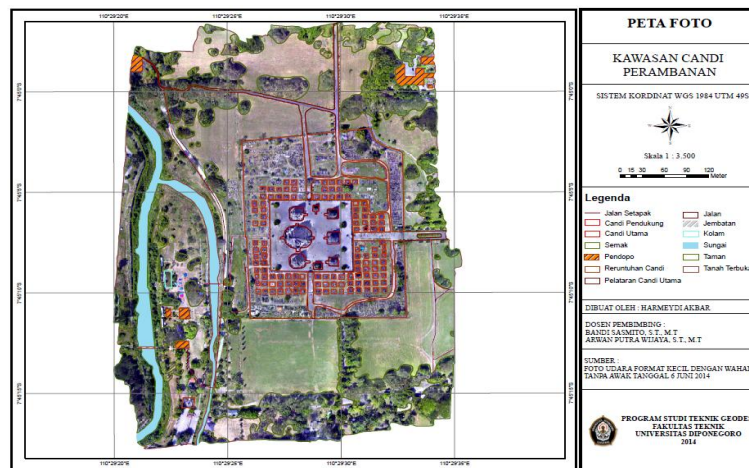
Berdasarkan tabel standar deviasi pembentukan model diatas, diketahui bahwa titik koordinat titik bm yang berfungsi sebagai titik ikat atau titik kontrol selalu dipergunakan dalam proses rektifikasi/ortorektifikasi foto, orientasi absolut, atau triangulasi udara. Tabel hasil uji standar deviasi diatas, menunjukkan bahwa data ukuran pada setiap koordinat memiliki total *error* (dalam *pixel*) memiliki kisaran 0-2 *pixel*. Berdasarkan hasil kisaran tersebut, diketahui bahwa pemodelan tidak mengandung kesalahan kasar dan sistematis.

Besarnya nilai *error* pada titik bm sangat menentukan ketelitian produk fotogrametri yang akan dihasilkan. Berdasarkan keterangan pada gambar diatas, diketahui secara kuantitatif, berdasarkan pengamatan terhadap beberapa paralaks pada koordinat x, y dan z, standar deviasi dari setiap koordinat dapat memberikan gambaran yang jelas berapa tingkat kesalahan masing-masing koordinat disetiap titikpusatnya. Besarnya paralaks ini ditentukan oleh beberapa faktor yaitu (a) ketidaksamaan tinggi terbang, (b) *tilt* potret, (c) ketidakejajaran stereoskop, dan (d) perbedaan paralaks yang besar antar potret (Moffit, 1967).

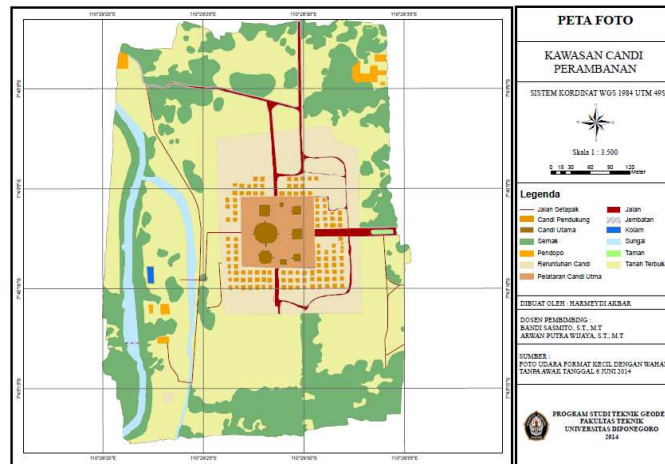
Pada enam sampel titik yang terletak menyebar di daerah efektif pada FUFK ditemukan adanya paralaks yang menonjol, hanya berkisar antara 0,09–0,2 *pixel*. Kisaran nilai paralaks ini menunjukkan bahwa tinggi terbang pesawat pada waktu pemotretan relatif tidak stabil (175,22 - 180,15). Besarnya paralaks secara pasti dapat ditentukan oleh titik pusat potret, sehingga untuk proses evaluasi selanjutnya dapat dilakukan secara kuantitatif terhadap kualitas pandangan stereoskopis yang dihasilkan. Berdasarkan besarnya nilai dari hasil standar deviasi pada tiap koordinat titik bm, disimpulkan bahwa hasil pemodelan ini layak diinterpretasi secara stereoskopis, dan dapat menunjukkan sekaligus membuktikan bahwa citra tersebut dapat dimanfaatkan sebagai media perancangan wilayah.

IV.2. Peta Foto Kompleks Candi Prambanan

Hasil yang ditujukan dalam tugas akhir ini adalah pembuatan peta foto dengan data foto yang diperoleh dari pemotretan foto udara format kecil menggunakan wahana tanpa awak. Peta foto dihasilkan setelah dilakukan beberapa proses diantaranya adalah koreksi orientasi dalam kamera, koreksi orientasi luar kamera, transformasi koordinat model ke dalam koordinat tanah, dan membuat *mosaik* foto udara. Pembuatan *layout* peta dilakukan menggunakan *software ArcGis 9.3*, pada sistem koordinat *Universal Transverse Mercator Zona 49South* (UTM 49 S). Informasi peta, *grid*, sumber peta, dan keterangan lainnya seperti pada pembuatan peta pada umumnya.



Gambar 6 Peta Citra foto kawasan candi Prambanan



Gambar 7 Peta Citra foto kawasan candi Prambanan

IV.3. Kelebihan dan kekurangan pemetaan dengan menggunakan wahana pesawat *aeromodelling quadcopter* dan kamera *Go Pro Hero 3 Black 12 megapixel*

Berdasarkan adanya beberapa kendala dalam pelaksanaan pemotretan dengan menggunakan wahana pesawat *aeromodelling quadcopter* dan kamera *Go Pro Hero 3 Black 12 megapixel* diketahui kelebihan dan kekurangan dalam proses pemetaan ini.

Kelebihannya antara lain :

1. Biaya jam terbang pesawat *quadcopter* jauh lebih murah dibandingkan dengan menggunakan wahana lain. Penerbangan dilakukan dibawah awan sehingga menekan biaya sewa sehingga tidak perlu pesawat khusus dengan lubang kamera, biaya lebih murah dibandingkan dengan pemotretan udara biasa, dan dapat dilakukan oleh SDM Indonesia terutama di daerah-daerah untuk menunjang program otonomi daerah.
2. *Quadcopter* dapat terbang sangat rendah di atas obyek yang ingin dipantau.
3. Hasil foto yang didapat dari pemotretan menggunakan kamera *Go Pro Hero 3 Black 12 megapixel* lebih stabil sehingga tidak mengakibatkan *blur*.
4. Pada kamera *Go Pro Hero 3 Black 12 megapixel* memiliki sistem *wireless* yang digunakan untuk memantau secara langsung berupa video dengan mengirimkan sinyal dari *transmitter* kamera ke *receiver*.

Sedangkan kelemahan yang didapat dari penelitian yaitu :

1. Untuk suatu daerah yang luas diperlukan frame foto yang lebih banyak dibandingkan dengan foto udara biasa.
2. Lama penerbangan *quadcopter* sangat tergantung pada kekuatan baterai LiPo, berat keseluruhan sebuah *quadcopter* dan beban yang dibawa oleh wahana tersebut.
3. Kamera *Go Pro Hero 3 Black 12 megapixel* menghasilkan foto yang cembung atau *fish-eye*, sehingga diperlukan pemrosesan menggunakan *Ptlines* untuk merubah foto menjadi datar.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan dari tujuan, hasil dan analisis penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh besar tingkat ketelitian gambar yang didapat dengan menggunakan wahana pesawat *aeromodelling quadcopter* dan kamera *Go Pro Hero 3 Black 12 megapixel* memiliki total *error* (dalam *pixel*) memiliki kisaran 0-2 *pixel*. Berdasarkan hasil kisaran tersebut, diketahui bahwa pemodelan tidak mengandung kesalahan kasar. Berdasarkan pengukuran hasil model dengan hasil lapangan memiliki rata-rata sebesar 1,727 cm dan masing-masing foto memiliki selisih antara 2 cm 4 cm.
2. Pemetaan dengan menggunakan wahana pesawat *aeromodelling quadcopter* dan kamera *Go Pro Hero 3 Black 12 megapixel* memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dalam pemetaan ini adalah cepat, hemat dan efisien, menghasilkan foto yang lebih detil dan tidak *blur*, wahana dapat terbang sangat rendah di atas obyek yang ingin dipantau, serta kamera *Go Pro Hero 3 Black 12 megapixel* memiliki sistem *wireless* yang digunakan untuk memantau secara langsung berupa video dengan mengirimkan sinyal dari *transmitter* kamera ke *receiver*. Sedangkan kelemahannya adalah diperlukan frame foto yang lebih banyak dibandingkan dengan foto udara biasa untuk suatu daerah yang luas, lama penerbangan *quadcopter* sangat tergantung pada kekuatan baterai LiPo, berat keseluruhan sebuah *quadcopter* dan beban yang dibawa oleh wahana tersebut, serta kamera *Go Pro Hero 3 Black 12 megapixel* menghasilkan foto yang cembung atau *fish-eye*, sehingga diperlukan pemrosesan menggunakan *PT lines* untuk merubah foto menjadi datar.

V.2. Saran

Sehubungan dengan hasil penelitian yang diperoleh, saran yang dapat diberikan oleh penulis adalah:

1. Pemotretan sebaiknya dengan *update* kamera *GoPro* versi terbaru dengan *pixel* yang lebih tinggi agar distorsi yang dihasilkan kecil.
2. Sebelum penerbangan sebaiknya memperhatikan kondisi cuaca dan angin agar penerbangan stabil dan tidak mengalami banyak gangguan.
3. Penempatan GCP atau Pre-mark sebaiknya ditempatkan yang mudah dikenali letak, bentuk dan kejelasannya.
4. Proses pengolahan dengan melibatkan banyak foto, sebaiknya menggunakan CPU atau laptop dengan spesifikasi yang tinggi. *Harddisk* kurang lebih 500 GB, *RAM* di atas 8GB dan *graphics hardware Nvidia geforce 8xxx* atau lebih.
5. Pada perencanaan pemotretan udara menggunakan wahana udara tanpa awak sebaiknya membuat *ground control point* sebanyak mungkin untuk meminimalisasi kesalahan geometrik akibat distorsi kamera.

DAFTAR PUSTAKA

- Aka, T. M. 2006. Buku Ajar Dasar-dasar Penginderaan Jarak Jauh. Program studi Manajemen Hutan, Departemen Kehutanan, Universitas Sumatera Utara
- Amhar, Fahmi and Darmawan, Mulyanto. 2007. *A Study on Multihazard Maps*. Badan Koordinasi nasional Penanggulangan Bencana dan Penanganan Pengungsi. 2005. *Panduan Pengenalan Karakteristik Bencana dan Upaya Mitigasinya di Indonesia*.
- Azwar, Fajar. 2006. FASI Aeromodelling- Klasifikasi Pesawat Model. <http://id.scribd.com>. Diakses pada tanggal 12 Agustus 2014.
- Bronto, S. 2001. *Volkanologi*. Jakarta: Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional.
- Gularso, Herjuno. 2013. Tinjauan Pemotretan Udara Format Kecil Menggunakan Pesawat Model Skywalker 1680. Skripsi Teknik Geodesi Undip. Semarang: Undip.
- Gunadi. 1999. *Pemrosesan Topografi Muka Air Laut Dari Data Satelit Altimetri TOPEX/Poseidon*. Bandung: Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan- ITB.
- Jensen, J.R. 2005. *Introduction Digital Image Processing : A Remote Sensing Perspective*. 2nd Edition, Prentice Hall, Inc, New Jersey, USA
- Moffit, F.H., and Mikhail, E.M., 1980, " *Photogrammetry*", Third Edition, Harper Co, USA.
- Prasetya, Arry. 2010. MBES. [jpeg]. (<http://arryprasetya.blogspot.com/2010/11/multibeam-echosounder.html>), diakses pada tanggal 12 Agustus 2014
- Prabawa at. Al. PB.FASI (Federasi Aeromodelling Seluruh Indonesia)
- Pashboy.wordpress.com. Diakses pada tanggal 12 Agustus 2014
- Rokhmana, C.A .2012. *Pemodelan Kondisi Bangunan Candi Borobudur Pasca Erupsi Merapi Dengan Uav-Based Fotogrametri*. Jurnal Penanggulangan Bencana Volume 3 nomor 2, hal 1-13, 1 tabel.
- Sutanto. 1983. Pengetahuan Dasar Fotogrametri. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Subiyanto, Sawitri, dan Yakob, A. *Kajian Penentuan Luas Bangunan Menggunakan Small Format Fotogrametri Untuk Pemetaan Pajak Bumi Dan Bangunan*. Dosen Teknik Geodesi UNDIP .Semarang
- Warner, W.S, RW Graham, R.E Read, (1996), *Small Format Aerial Photography*, Whittles Publishing
- Wolf, Paul R dan Dewwit, Bon A. 2004. *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS 3rd edition*. The McGraw-Hill Companies.