

UJI KETELITIAN ORTHO MOSAIK *CONTROLLED AND UNCONTROLLED* MENGUNAKAN *SOFTWARE AGISOFT*

PEDRO BERNADINO FREITAS
1425031

^a Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang
freitaspedro2192@gmail.com

ABSTRAK

Di dalam penelitian ini, pembuatan mosaik foto adalah dari kumpulan-kumpulan foto udara dari UAV. Pemotretan ini untuk mengetahui apakah ortho mosaik *controlled* dan *uncontrolled* dapat memenuhi standar ketelitian dasar. Proses pembuatan mosaik foto udara itu sendiri pada umumnya dapat menggunakan *software agisoft*.

Tujuan pembuatan ortho mosaik kontrol dan tidak terkontrol menggunakan *software agisoft*. Manfaat dari penelitian ini agar kita dapat membuat mosaik yang bergeoreferensi dengan *software agisoft* yang bisa di dapat dengan mudah dan gratis. Data foto yang digunakan yaitu foto-foto hasil dari pemotretan udara dengan drone DJI Phantom 4.

Hasil perhitungan RMSE ketelitian titik uji/ *check point mosaic controlled* dan *uncontrolled* adalah sebesar 0,082 m dan 0,090 m dari 10 Titik Sampel. Hasil Uji Ketelitian membuktikan bahwa *Orthomosaic Controlled* lebih teliti dibandingkan dengan *Orthomosaic Uncontrolled* dengan selisih 0,008 m.

Kata kunci : *Orthomosaic Controlled, Orthomosaic Uncontrolled*

ABSTRACT

In this study, making photo mosaics is from aerial photo collections from UAVs. This photo shoot is to find out whether ortho mosaic controlled and uncontrolled can meet basic accuracy standards. The process of making aerial photo mosaics itself in general can use Agisoft software.

The purpose of making ortho mosaic control and uncontrolled is using agisoft software. The benefits of this research are so that we can create georeferenced mosaics with Agisoft software that can be easily and freely available. Photo data used are photographs from aerial photography with the DJI Phantom 4 drone.

The results of RMSE calculation accuracy of the controlled and uncontrolled mosaic check points are 0.082 m and 0.090 m from 10 Sample Points. Accuracy Test results prove that Orthomosaic Controlled is more thorough than Orthomosaic Uncontrolled with a difference of 0.008 m.

Keywords: *Orthomosaic Controlled, Orthomosaic Uncontrolled*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

2. Untuk dapat melihat daerah yang secara keseluruhan maka dibuat mosaic, baik dari foto asli maupun foto yang telah di verifikasi. Secara detail *wolf (1983)* menyatakan foto udara merupakan gabungan dari dua atau lebih foto udara saling bertampalan sehingga terbentuk paduan citra (*image*) yang berkesinambungan dari menampilkan daerah yang lebih luas (*Wolf, 1983*).
3. Proses pembuatan mosaic biasanya menggunakan beragam *software*, namun pada penelitian ini menggunakan *Software Agisoft*. Kelebihan *Agisoft* itu sendiri yaitu hemat biaya karena tidak membeli *software proprietary Er-mapper, autocad, pothotosop* dan lain sebagainya. Selain itu dan menggunakan *Software Agisoft* memungkinkan kita untuk tidak lagi menggunakan *software* milik orang lain secara tidak sah dan juga mengurangi pembajakan. *Software Agisoft* juga dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan spesifik pengguna. Namun *software agisoft* juga kurang diminati karena hasilnya yang kurang memuaskan pengguna yang belum mengetahui tentang kelebihan pada *software agisoft* atau kata lain, belum dekat dengan masyarakat pengguna *software*.
4. Di dalam penelitian ini, pembuatan mosaic foto adalah dari kumpulan-kumpulan foto udara dari UAV. Pemotretan ini untuk mengetahui apakah ortho mosaic *controlled* dan *uncontrolled* dapat memenuhi standar ketelitian dasar. Proses pembuatan mosaic foto udara itu sendiri pada umumnya dapat menggunakan *software agisoft*.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana hasil *Orthomosaic Controlled* dan *Uncontrolled* ?

2. Bagaimana hasil uji ketelitian *Orthomosaic Controlled* dan *Uncontrolled* ?

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui ketelitian *orthomosaic controlled* dan *uncontrolled* menggunakan *software Agisoft*.

1.3.1 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini agar kita dapat membuat mosaik yang bergeoreferensi dengan *software Agisoft* yang bisa didapat dengan mudah dan gratis.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah :

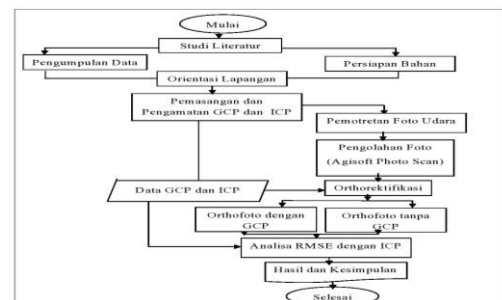
1. Data yang digunakan adalah foto udara tahun 2017
2. Lokasi penelitian berada di area persawahan kampus 2 ITN Malang.

1.5 Sistematika Penelitian

Agar terpercayainya sebuah penulisan yang baik dan teratur, maka pada sub bab ini akan dijelaskan beberapa pembahasan yang merupakan bagian penting dalam penyusunan laporan tugas akhir. Sistematika penulisan laporan ini adalah sebagai berikut :

:II. METODELOGI PENELITIAN

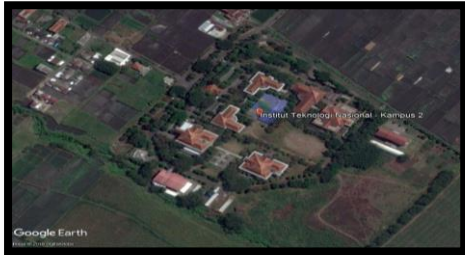
Penelitian ini menggunakan UAV jenis Drone DJI Phantom 4 Pro untuk pemotretan, dan pengukuran dengan metode RTK sebagai data pembandingan untuk uji ketelitian yang dianggap benar. Adapun diagram alir penelitian sebagai berikut :



Gambar 1. diagram alir penelitian.

1.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitiannya terletak di Kelurahan Tasikmadu area persawahan Kampus 2 ITN Malang, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang dengan luas area pemotretan 100 ha. Adapun gambaran peta lokasi penelitian pada koordinat $7^{\circ}54'44.9''S$ $112^{\circ}38'00.9''E$ seperti berikut :



Gambar 2. Lokasi penelitian

1.2. Alat dan Bahan

Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Perangkat Keras (*hardware*) :
 1. Drone DJI Phantom 4 Pro
 2. GPS Geodetik
 3. GPS Navigasi (Handheld)
 4. Preemark dan Retro
 5. PC dengan OS 64 bit
- Perangkat lunak (*software*) :
 1. *Microsoft Office 2010*
 2. *Software Agisoft Photoscan Profession*
 3. *Software Autocad Land Desktop 2009*

1.3. Tahap Persiapan

Tahap awal kegiatan penelitian ini yakni mempersiapkan dari semua aspek sebelum melakukan pemotretan udara, yakni survey lapangan, mendesain jalur terbang, dan mempersiapkan alat dan bahan.

1.4. Pengumpulan Data

pada tahap pengumpulan data dalam penelitian ini adalah melakukan pengukuran GPS RTK dan pemotretan udara. Berikut uraian dari kegiatan tersebut

1.4.1. Pengukuran GPS RTK

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data koordinat titik *Check Point/ ICP* dari hasil pengukuran GPS RTK. Data ini nantinya akan digunakan untuk pembandingan data koordinat *Check Point/ ICP* hasil dari pemotretan udara. Jenis data koordinat ICP dari hasil pengukuran GPS RTK dalam format (*txt). Data ini diasumsikan sebagai data yang benar.

Metode penentuan posisi *secara Real Time*

Kinematik yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *single base RTK*, yakni pengamatan yang dilakukan secara *differential* dengan menggunakan minimal dua *receiver*. Koreksi data dikirimkan secara satu arah dari base station kepada *rover* melalui transmisi radio.

1.4.2. Pemotretan Udara

Pada penelitian ini, foto udara dengan UAV dilakukan menggunakan DJI Phantom 4 Pro dengan aplikasi DJI GO untuk melakukan penyetelan UAV seperti kalibrasi kompas dan gimbal serta aplikasi DroneDeploy untuk menerbangkan UAV secara otomatis (*autopilot*) sesuai jalur terbang yang telah direncanakan sekaligus melakukan pemotretan.

1.5. Pembuatan Orthophoto

Pengolahan data foto menggunakan perangkat lunak *Agisoft Photoscan* yang menggunakan 8 titik GCP untuk proses Ortorektifikasinya. Proses pengolahan data foto terdiri atas 2 tahapan yaitu pengolahan data foto dari foto tegak, dan foto miring.

Agisoft Photoscan akan memproses tie point secara otomatis, berdasarkan deteksi point dan image matching. *Software* ini menerapkan algoritma-algoritma fotogrametri untuk menganalisis setiap foto dengan fitur tertentu untuk menciptakan hubungan antar foto suatu area yang dipetakan. Proses bundle adjustment digunakan untuk mengetahui orientasi luar dan orientasi dalam pada setiap kamera, untuk memperbaiki posisi spasial atau orientasi antara foto. Setelah camera alignment dilakukan, dens point cloud dan tekstur model 3 dimensi pada area yang dipetakan dapat diproses secara otomatis. Berikut ini hasil pengolahan data foto menggunakan agisoft photoscan.



Gambar 4. Peta Orthophoto

3.6. Perbandingan Ketelitian Mosaic Controlled dan Uncontrolled

Proses perbandingan ketelitian *Mosaic Controlled* dan *Uncontrolled* antara data titik kontrol hasil dari GPS RTK (diasumsikan sebagai data yang benar) dengan data titik uji/ *check point* dari hasil identifikasi pada *orthophoto*.

Hasil Overlay antara *Mosaic Controlled* (Menggunakan GCP) dan *Mosaic Uncontrolled* (Menggunakan ICP), dihitung selisih koordinat pada objek yang sama. Hasil selisih pada analisis titik akan didapatkan RMSE, yang dapat dilihat pada rumus (2.5), (2.6) dan (2.7).

Dalam menguji ketelitian jarak langkah yang dilakukan adalah menghitung nilai RMS jarak dengan rumus :

$$RMS \text{ Jarak} = \sqrt{\frac{\sum(\Delta D - \Delta D \text{ rata-rata})^2}{n}} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

ΔD = Selisih jarak di *orthophoto* dengan lapangan

n = Jumlah sampel jarak

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari serangkaian proses pemotretan, pengukuran dan pengolahan data, menghasilkan data-data yang digunakan untuk analisa dan pembahasan dalam penelitian ini, antara lain :

1.1. Hasil Pengolahan Data Foto

Hasil pengolahan data dari foto tegak dan foto miring yang menggunakan 8 titik GCP pada proses ortorektifikasi di *agisoft* adalah berupa *orthophoto* yang sudah terektifikasi.

Orthophoto yang dihasilkan dari foto tegak secara visual terlihat bagus karena bentuk objek yang terlihat seperti sawah, perumahan atau bangunan terlihat sesuai dengan kondisi aktual di lapangan sehingga bisa dijadikan sebagai sebuah peta, sedangkan dari foto miring secara visual tampilannya terlihat tegak seperti *orthophoto* dari foto tegak, namun kenampakan objeknya kurang bagus seperti model atap bangunan atau objek-objek di lapangan yang memiliki ketinggian hasilnya terlihat tidak beraturan atau objek-objek tersebut terlihat seperti membias, sehingga tidak bisa dijadikan sebagai sebuah peta. Hal itu dipengaruhi oleh sudut pengambilan data yang terlalu miring sampai terlihat langit. Kedua *orthophoto* tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini.

4.1 Hasil Pengukuran GCP dan ICP

Hasil Pengukuran *Ground Control Point* (GCP) dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.1 Koordinat Hasil Pengukuran GCP

Na me	Grid Eastin g (m)	Grid Northin g (m)	Eleva tion (m)	Co de
GC P1	680766 ,449	9124643 ,946	479,7 74	GC P
GC P2	680460 ,187	9124896 ,518	487,3 3	GC P
GC P3	680007 ,191	9125189 ,162	497,9 37	GC P
GC P4	680269 ,743	9124299 ,486	485,8 31	GC P
GC P5	679935 ,254	9124777 ,317	493,7 35	GC P
GC P6	679888 ,184	9124360 ,443	490,7 01	GC P
GC P7	679411 ,344	9124270 ,966	496,2 81	GC P
GC P8	680276 ,364	9123949 ,76	476,4 21	GC P

Hasil Pengukuran *Independent Check Point* (ICP) dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.2 Koordinat Hasil Pengukuran ICP

No	<i>Easting</i> (m)	<i>Northing</i> (m)	<i>Height</i> (m)	<i>Code</i>
1	679875,348	9124787,377	493,950	CP1
2	679806,038	9124843,841	495,441	CP2
3	679806,068	9124843,825	495,433	CP3
4	679815,809	9124856,903	495,496	CP4
5	679854,051	9124828,484	494,668	CP5
6	679884,508	9124799,023	493,984	CP6
7	679866,392	9124835,331	494,742	CP7
8	679860,969	9124836,796	494,901	CP8
9	679817,078	9124859,717	495,698	CP9
:	:	:	:	:
276	679383,988	9124235,772	496,202	CP277
277	679363,421	9124239,956	496,299	CP277

4.2 Hasil Pengolahan Foto Udara

Hasil pengolahan data dari foto udara yang menggunakan 8 titik GCP pada proses ortorektifikasi di *Agisoft* adalah berupa *orthophoto* yang sudah terektifikasi. *Orthophoto*

yang dihasilkan secara visual terlihat bagus karena bentuk objek yang terlihat seperti sawah, perumahan atau bangunan terlihat sesuai dengan kondisi aktual di lapangan sehingga bisa dijadikan sebagai sebuah peta.



Gambar 4.2 Hasil *Orthophoto*

4.3 Hasil Mosaik Foto

Hasil Mosaik foto udara dalam penelitian ini terdiri dari dua yaitu *Mosaic Controlled* yang telah teridentifikasi dengan koordinat *Ground Control Point* (GCP) dan *Mosaic Uncontrolled* yang belum teridentifikasi digunakan sebagai bahan pengenalan objek untuk titik uji *Independent Check Point* (ICP).

4.3.1 Hasil *Mosaic Controlled*

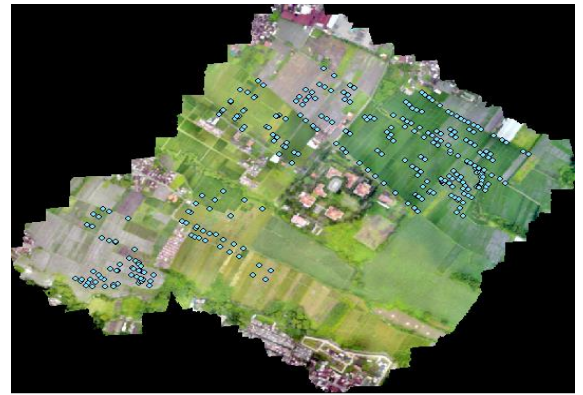
Hasil dari *Mosaic Controlled* yang telah diretifikasi dengan GCP dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



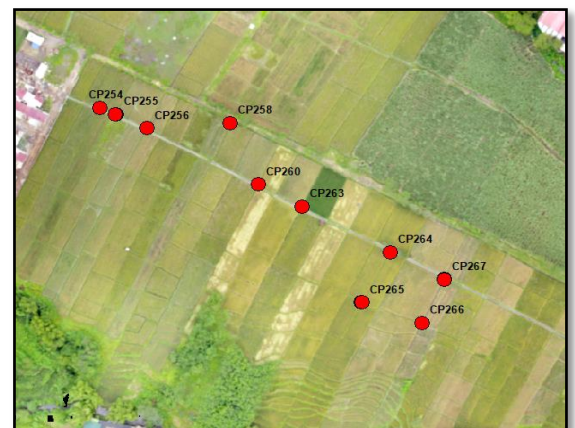
Gambar 4.3 Hasil *Mosaic Controlled*

4.3.2 Hasil *Mosaic Uncontrolled*

Hasil dari *Mosaic Uncontrolled* dan ICP yang digunakan sebagai bahan pengenalan objek untuk pengecekan *Independent Check Point* (ICP).



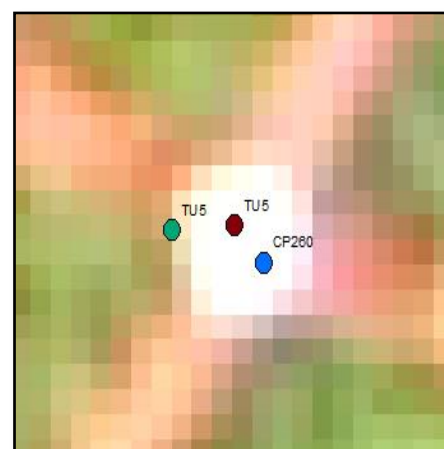
Gambar 4.4 Hasil *Mosaic Uncontrolled*







Gambar 4.5 Titik Sampel ICP

4.4 Hasil Perbandingan Ketelitian *Mosaic Controlled* dan *Uncontrolled*

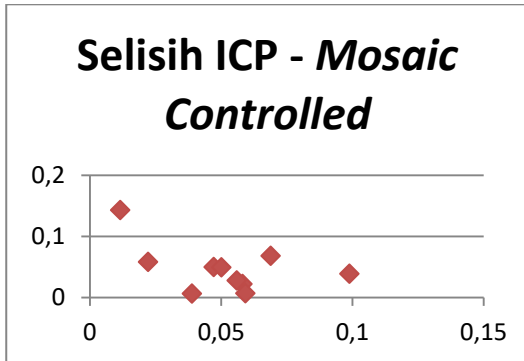
Hasil perbandingan Ketelitian *Mosaic Controlled* dan *Uncontrolled*, serta Tabel Perhitungan RMSE dapat dilihat pada tabel 4.3 dan 4.4.



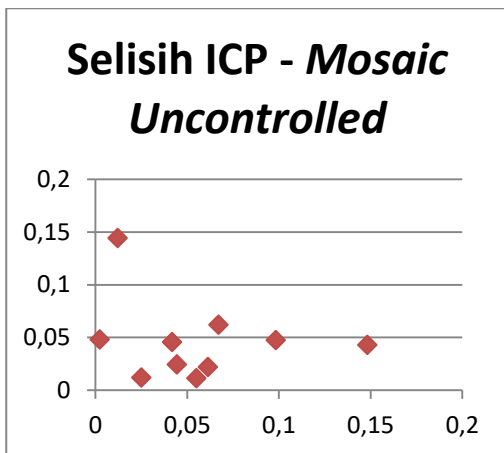
Gambar 4.6 Titik Sampel *Mosaic Controlled* dan

-  *Uncontrolled*
-  CP260 : Pengukuran Lapangan
-  TU5 : Titik Uji 5
-  *Orthomosaic Controlled*

TU5 : Titik Uji 5 *Orthomosaic Uncontrolled*



Gambar 4.7 Selisih ICP - *Mosaic Controlled*



Gambar 4.8 Selisih ICP - *Mosaic Uncontrolled*

Tabel 4.3 Analisa RMSE *Mosaic Controlled*

ICP		Desc	Controlled	
Easting (m)	Northing (m)		Easting (m)	Northing (m)
679731,456	9124393,486	CP254	679731,514	9124393,507
679742,302	9124388,937	CP255	679742,400	9124388,975
679763,322	9124378,716	CP256	679763,344	9124378,773
679819,448	9124382,687	CP258	679819,507	9124382,680
679838,546	9124338,479	CP260	679838,498	9124338,528
679867,599	9124322,576	CP263	679867,654	9124322,603
679907,874	9124253,717	CP265	679907,805	9124253,649
679927,015	9124289,672	CP264	679927,053	9124289,666
679948,328	9124238,878	CP266	679948,277	9124238,926
679963,545	9124270,182	CP267	679963,533	9124270,324

Tabel 4.4 Hasil Analisa RMSE *Mosaic Controlled*

Δx (m)	Δy (m)	Δx^2 (m)	Δy^2 (m)
-0,0582	-0,0216	0,0034	0,0005
-0,0989	-0,0381	0,0098	0,0015
-0,0222	-0,0575	0,0005	0,0033
-0,0592	0,0061	0,0035	0,0000
0,0472	-0,0492	0,0022	0,0024
-0,0559	-0,0270	0,0031	0,0007
0,0689	0,0677	0,0047	0,0046
-0,0389	0,0057	0,0015	0,0000
0,0501	-0,0486	0,0025	0,0024
0,0116	-0,1425	0,0001	0,0203
Σ (m) =		0,031	0,036
$\Sigma \Delta x^2 + \Delta y^2$ (m)		0,0671	
$(\Sigma \Delta x^2 + \Delta y^2)/n$ (m)		0,0067	
RMSE (m)		0,082 m	

Nilai RMSE pada titik uji *Orthomosaic Controlled* dengan *Independent Check Point (ICP)* yang dianggap sebagai nilai yang benar.

Tabel 4.5 Analisa RMSE *Mosaic Uncontrolled*

ICP		Desc	Uncontrolled	
Easting (m)	Northing (m)		Easting (m)	Northing (m)
679731,456	9124393,486	CP254	679731,511	9124393,497
679742,302	9124388,937	CP255	679742,4004	9124388,984
679763,322	9124378,716	CP256	679763,3637	9124378,761
679819,448	9124382,687	CP258	679819,4924	9124382,663
679838,546	9124338,479	CP260	679838,3977	9124338,522
679867,599	9124322,576	CP263	679867,6603	9124322,598
679907,874	9124253,717	CP265	679907,807	9124253,655
679927,015	9124289,672	CP264	679927,0401	9124289,66
679948,328	9124238,878	CP266	679948,3304	9124238,926
679963,545	9124270,182	CP267	679963,5328	9124270,326

Tabel 4.6 Hasil Analisa RMSE *Mosaic Uncontrolled*

Δx (m)	Δy (m)	Δx^2 (m)	Δy^2 (m)
-0,0550	-0,0112	0,003	0,000
-0,0984	-0,0472	0,010	0,002
-0,0417	-0,0453	0,002	0,002
-0,0444	0,0241	0,002	0,001
0,1483	-0,0428	0,022	0,002
-0,0613	-0,0217	0,004	0,000
0,0670	0,0617	0,004	0,004
-0,0251	0,0119	0,001	0,000
-0,0024	-0,0479	0,000	0,002

0,0122	-0,1441	0,000	0,021
$\Sigma (m) =$		0,047	0,034
$\Sigma \Delta x^2 + \Delta y^2 (m)$		0,0817	
$(\Sigma \Delta x^2 + \Delta y^2)/n (m)$		0,0082	
RMSE (m)		0,090 m	

Nilai RMSE pada titik uji *Orthomosaic Uncontrolled* dengan *Independent Check Point* (ICP) yang dianggap sebagai nilai yang benar.

5.1 Kesimpulan

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

1. Hasil perhitungan RMSE ketelitian titik uji/ *check point mosaic controlled* adalah sebesar 0,082 m dari 10 Titik Sampel.
2. Hasil perhitungan RMSE ketelitian titik uji/ *check point mosaic uncontrolled* adalah sebesar 0,090 m dari 10 Titik Sampel.
3. Hasil Uji Ketelitian membuktikan bahwa *Orthomosaic Controlled* lebih teliti dibandingkan dengan *Orthomosaic Uncontrolled* dengan selisih 0,008 m.

5.2 Saran

Dari penelitian yang sudah dilakukan, saran yang dapat diberikan antara lain :

1. Pemasangan dan pengukuran titik GCP dan ICP di lapangan sebaiknya dilakukan pada hari yang sama dengan proses pemotretan, hal ini dilakukan untuk menghindari pergeseran posisi dan hilangnya titik GCP dan ICP di lapangan.
2. Untuk Pengolahan data Fotogrametri, disarankan menggunakan *Orthomosaic Controlled* agar lebih teliti data yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

Abidin, H.Z., Jones, A., dan Kahar, J., (2011). *Survey dengan GPS*, PT. Pradnya Paramita : Jakarta.

Assyfa, El, Lestari, R, dan I, Jaya, I., N.S. 2005. *Penggunaan Teknologi Penginderaan Jauh Satelit dan SIG untuk Menentukan Luas Hutan Kota (Studi Kasus di Kota Bogor,*

Jawa Barat), Jurnal Manajemen Hutan Tropika Vol. XI No. 2 : 55-69

Darwis, M.S., 2014. "UAV : Solusi Pemetaan Cepat Area Terdampak Bencana", diakses pada : 7 Maret 2018,

Gularso H., Rianasari H., dan Silalahi F. E., (2015). *Penggunaan Foto Udara Format Kecil Menggunakan Wahana Udara Nir-Awak Dalam Pemetaan Skala Besar (Small Format Aerial Photography Application Using UAV for Large Scale Mapping)*, Jurnal Ilmiah Geomatika Volume 21 No. 1 Agustus 2015: 37-44. Habib, Ayman F.

Harintaka, E. W., S., dan Thobibah T., (2006). *Otomatisasi Pembuatan Mosaik Menggunakan Teknik Korelasi Silang Pada Foto Udara Format Kecil*. Pertemuan Ilmiah Tahunan III Geomatika ITS 2006.

Hasyim, A. W., 2009. Menentukan Titik Kontrol Tanah (GCP) dengan menggunakan teknik GPS dan citra satelit untuk perencanaan Perkotaan.

Hertanto, H., (2014). *Pembuatan Peta Foto dengan Mosaik Foto Udara Format Kecil Menggunakan Metode Kolinearitas*, Surabaya: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Lillesand, Thomas M. and Ralph W. Kiefer. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation Third Edition*. New York :Jhon Wiley and Sonds.

Pangi and Prigawati, B., 2010. Buku petunjuk praktikum kartografi, Semarang : Biro Penerbit Planologi UNDIP.

Suharsana. 1999. *Fotogrametri Dasar*. Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

- Umar, B., 2011. *Panduan Pelatihan Paramotor*. Maleo Paralayang Sulawesi Tengah. Tidak Dipublikasikan. Palu.
- Wolf, P. R., 1993. *Elemen Fotogrametri*. Yogyakarta :Gadjah Mada University Press. Terjemahan. Buku asli diterbitkan tahun 1983.
- Tjahjadi, E. M. (2017). *Novel Image Mosaicking of UAV Imagery using Collinearity*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, E. M. (2018). *Studi Pemotretan Udara dengan Wahana Quadcopter UAV Photogrammetry Menggunakan Kamera Non Metrik Digital*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, E. M. dan Tantrie. D. (2017). *Modeling 3 dimensi sungai dari foto udara*. Program studi Teknik geodesi Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, E. M. dan Handoko.F. (2017). *Precise Wide Baseline Stereo Image Matching for Compact Digital Cameras*. Institut Teknologi Nasional Malang
- Tjahjadi, E. M. dan Handoko.F. (2017). *Singel Frame Resection of Compact Digital Cameras for UAV Imagery*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, E. M. dan Tanzil. M., (2007). *Penentuan Parameter Orientasi Luar Pada Foto Konvergen Menggunakan Matrik Esensial*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, M. E., (2017). *Photogrammetric Area-Based Least Square Image Matching for Surface Reconstruction*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, M. E., and Agustina, F. D (2019). *Fast and stable direct relative orientation of UAV-based stereo pair*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, M. E., Pantimena, L., Anto, G. H., Astrini, R., dan Mulyati, S., (2009) *Pemantauan Deformasi Jalan Layang dan Kereta Api dengan KameraDijital di Kota Malang*.
- Tjahjadi, M. E., Sai, S. S., and Purwanto H., (2015). *Sistem Peringatan Dini Pemantauan Tanah Longsor Berbasis Teknologi Vision dan Geomatika*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Tjahjadi, M. E., Sai, S. S., and Rokhmana C. A., (2019). *Geometric Accuracy Assessments of Orthophoto Production from UAV Aerial Images*. Institut Teknologi Nasional