

PEMANFAATAN TEKNOLOGI *UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) QUADCOPTER* DALAM PEMETAAN DIGITAL (*FOTOGRAMETRI*) MENGGUNAKAN KERANGKA *GROUND CONTROL POINT (GCP)*

I Putu Harianja Prayogo¹⁾, Fabian J. Manoppo²⁾, Lucia I. R. Lefrandt²⁾

¹⁾ Mahasiswa Prodi Teknik Sipil Pascasarjana Unsrat Manado

²⁾ Staf Pengajar Prodi Teknik Sipil Pascasarjana Unsrat Manado

email: putu.prayogo@yahoo.com

ABSTRAK

Pemetaan dengan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) merupakan suatu strategi atau cara untuk pemetaan dengan skala besar dengan waktu yang lebih cepat dan efisien dan tentunya kita dapat menghemat waktu dibandingkan dengan menggunakan metode survey konvensional. Ground Control Point (GCP) dibuat untuk meningkatkan akurasi/koreksi geometri dari hasil potret udara drone. Pengamatan titik GCP ini menggunakan GPS Geodetik dengan ketelitian sub millimeter. Pemasangan dan Pengukuran GCP telah diatur standarnya dalam dokumen SNI 19-6724-2002 serta Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No 6 tahun 2018 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.

Penelitian ini bersifat studi lapangan dengan data–data yang dilakukan pada kawasan Universitas Sam Ratulangi Kota Manado. Pengambilan data lapangan menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Drone untuk foto udara dan GPS Geodetik. Drone diperlukan untuk pengambilan objek kawasan, sedangkan pengukuran Ground Control Point (GCP) menggunakan metode Real-Time Kinematic (RTK).

Hasil penelitian yang dilakukan di Kampus Universitas Sam Ratulangi menghasilkan resolusi spasial yakni 4.4 Cm/Pixel. Dari uji akurasi koordinat planimetris hasil pemetaan foto udara didapatkan nilai CE90 sebesar 0,05 m dan nilai LE90 sebesar 0.12 yang berarti bahwa uji akurasi horizontal ketelitian peta memenuhi untuk skala 1:1000 yaitu masuk kedalam orde kelas 1 dengan ketelitian maksimum sebesar 0,3 meter. Report root mean square error (RMSe) untuk ketelitian hasil pengukuran menggunakan unmanned aerial vehicle (UAV) drone menggunakan titik kontrol tanah (GCP) mendapatkan nilai error horizontal sebesar 0.05 m dan vertikal 0.12 m, sedangkan error hasil pengukuran menggunakan unmanned aerial vehicle (UAV) drone tanpa titik kontrol tanah (GCP) mendapatkan nilai error horizontal sebesar 2.54 m dan vertikal 0.78 m. Survey pemetaan menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) jauh lebih cepat dan efisien berbeda dengan metode konvensional. Disamping menghemat waktu dan biaya, luas Unviersitas Sam Ratulangi yaitu 35 Ha dapat diselesaikan dengan waktu \pm 3 Jam dibandingkan dengan pengukuran yang dilakukan menggunakan metode konvensional dengan memakan waktu + 2 Hari.

Kata kunci: *Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Ground Control Point (GCP)*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Melihat perkembangan permintaan akan informasi geospasial suatu wilayah dalam berbagai macam bidang, semakin berkembang juga metode dalam melakukan kegiatan pemetaan. Perkembangan teknologi terkait peralatan serta kompleksitas pekerjaan survey pemetaan semakin hari semakin meningkat, salah satunya di tandai dengan berkembangnya teknologi untuk menunjang kegiatan survei dan pemetaan adalah pesawat terbang tanpa awak

(PTTA) atau secara umum disebut dengan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*.

Pemetaan dengan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* merupakan suatu strategi atau cara untuk pemetaan dengan skala besar dengan waktu yang lebih cepat dan efisien dan tentunya kita dapat menghemat waktu dibandingkan dengan menggunakan metode survey konvensional.

Teknik *fotogrametri* yang makin berkembang sekarang ini menjadikan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* sebagai salah satu platform yang semakin populer untuk pekerjaan pemetaan karena kelebihanannya dalam kemampuan akuisisi

foto udara dengan resolusi spasial yang tinggi. Penggunaan *Ground Control Point* (titik kontrol tanah) tidak lepas dari pekerjaan fotogrametri agar produk foto udara memiliki akurasi tinggi. Pemasangan dan Pengukuran GCP telah diatur standarnya dalam dokumen SNI 19-6724-2002 serta Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No 6 tahun 2018 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Terkait lokasi yang akan dipetakan adalah kawasan Universitas Sam Ratulangi Manado.

Perumusan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini ialah:

1. Bagaimana tahapan metode fotogrametri foto udara menggunakan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* yang baik dan sesuai dengan standar.
2. Bagaimana hasil akurasi pemetaan UAV untuk menghasilkan data akurat yang dapat digunakan untuk perencanaan.

Pembatasan Masalah

Terkait hal teknis dalam pemetaan menggunakan *Drone* maka penulis membatasi perihal masalah pemetaan permukaan daratan yakni:

1. Lokasi yang diteliti yaitu di Kawasan Universitas Sam Ratulangi Kota Manado. Sistem koordinat global memiliki banyak model proyeksi dan banyak *ellipsoide* maka dalam hal ini yang digunakan yaitu model proyeksi *Universal Transverse Mercator* dengan *Ellipsoid WGS 84* yang umum dipakai di dunia. Pada sistem koordinat yang dipilih ini, hanya pada UTM 51 karena Sulawesi utara terletak pada bagian UTM 51 N.
2. Dalam hal ini peralatan yang digunakan untuk pengambilan data *Ground Control Point (GCP)* menggunakan *Comnav T300* sedangkan alat untuk pengambilan foto orthofoto menggunakan *Drone Mavic Pro 2*.
3. Metode pengukuran yang dilakukan ialah metode *Real Time Kinematik (RTK)*, serta orthofoto yang bersumber dari konsep *fotogrametri*.
4. Metode/Teknik dalam pengambilan dan pengolahan data untuk pemetaan dilakukan dengan studi literatur (penelitian sebelumnya) dan pengalaman penulis dalam survey lapangan, kemudian di analisis dengan perhitungan dan penggambaran menggunakan software *Pix4D Mapper Pro*, *Civil 3D* dan *ArcMAP 10.4*.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menguraikan teknik cara pemetaan *fotogrametri* sehingga dapat menghasilkan gambar orthophoto yang terkoreksi berdasarkan standar Badan Informasi Geospasial (BIG).
2. Membandingkan ketelitian hasil pengukuran menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV) drone* menggunakan titik kontrol tanah (*GCP*) dan tanpa titik kontrol tanah (*GCP*).

Manfaat Penelitian

Dapat memberikan informasi konsep *fotogrametri* dalam pengaplikasian teknologi *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* dalam pembuatan peta citra resolusi tinggi serta pembuatan topografi.

TINJAUAN PUSTAKA

Fotogrametri

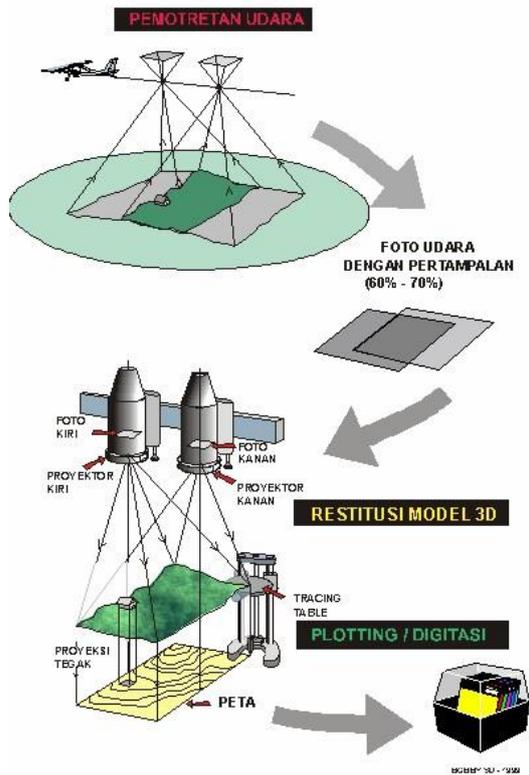
Fotogrametri atau *aerial surveying* adalah teknik pemetaan melalui foto udara. Hasil pemetaan secara *fotogrametrik* berupa peta foto dan tidak dapat langsung dijadikan dasar atau lampiran penerbitan peta. *Fotogrametri* adalah suatu seni, pengetahuan dan teknologi untuk memperoleh data dan informasi tentang suatu obyek serta keadaan di sekitarnya melalui suatu proses pencatatan, pengukuran dan interpretasi bayangan fotografis (hasil pemotretan).

Salah satu teknik pengumpulan data objek 3D dapat dilakukan dengan menggunakan teknik *fotogrametri*. Teknik ini menggunakan foto udara sebagai sumber data utamanya. Foto udara hasil pemotretan menyediakan suatu alternatif dalam penyediaan informasi 3D yang akan digunakan dalam penentuan nilai tinggi suatu objek topografi misalnya bangunan. Kualitas informasi yang dihasilkan sangat tergantung dari kualitas citra sumber data tersebut.

Pemanfaatan Fotogrametri

Sebagai sebuah ilmu, seni dan teknik, *fotogrametri* memiliki manfaat dan peran yang sangat besar baik untuk keperluan pengembangan teori maupun untuk keperluan aplikasi. Sumbangan utama *fotogrametri* adalah untuk pembuatan peta dengan tingkat akurasi dan informasi yang relatif detail.

Pemanfaatan fotogrametri dapat dilihat pada penjelasan berikut ini:



Gambar 1. Konsep Dasar *Fotogrametri*
 Sumber: Santoso, (2004)

1. Identifikasi, Pengukuran dan pemetaan fisiografis

a) Identifikasi objek

Suatu objek dapat diketahui atau dikenali jenisnya berdasarkan ukurannya. Ukuran objek dapat diketahui ukurannya (panjang, lebar, tinggi, atau volume) dari foto udara karena adanya kenampakan objek yang disertai dengan informasi skala yang ada di informasi tepi.

b) Pengukuran ketinggian tempat dan kemiringan lereng

c) Pemetaan dan revisi peta topografi

Sifat-sifat yang paling jelas dari suatu bentuk lahan adalah bentuk tiga dimensionalnya, yang dengan mudah dapat dianalisis dalam suatu model stereoskopis. Dengan demikian, penafsir citra dapat menentukan secara cepat apakah suatu lahan bertopografi relative halus atau kasar, apakah berbukit-bukit bulat atau runcing, kemiringan lereng curam atau landai, dan sebagainya. Informasi yang sedemikian banyak dari foto udara dapat memberikan suatu data untuk membuat peta.

d) Alat bantu studi geomorfologi dan geologi

Geomorfologi merupakan disiplin ilmu yang sangat banyak terbantu oleh fotogrametri. Kenampakan 3-D pada foto udara yang disertai dengan adanya vertical exaggeration semakin memudahkan para ahli geomorfologi untuk mempelajari kondisi lahan suatu tempat. Perkembangan perangkat lunak dalam fotogrametri digital semakin memperdalam analisis geomorfologi dan geologi. Pemodelan lahan yang dikenal dengan DEM dan TIN mempermudah ahli dan pembelajar geomorfologi dan geologi untuk membuat dan merepresentasikan, bahkan merekonstruksi gejala fisiografis melalui teknik-teknik dalam fotogrametri digital.

2. Pemetaan persil/pendaftaran tanah

Resolusi spasial citra saat ini sedemikian tinggi yakni sampai kurang dari 1 meter, sehingga perwujudan persil lahan lebih mudah untuk diukur dan dianalisis, bahkan dengan teknik manual sekalipun. Pembuatan peta persil biasanya membutuhkan foto udara berskala besar.

3. Perencanaan dan Evaluasi Pembangunan Fisik

Pembangunan sarana dan prasarana fisik secara procedural pasti didahului dengan perencanaan yang memerlukan dukungan data fisik lahan. Data fisik lahan yang paling umum digunakan adalah kemiringan lereng, bentuk lahan, posisi/orientasi, luas lahan, dan penggunaan lahan. Data seperti ini dapat diperoleh dengan mudah pada foto udara, sehingga dapat mengurangi biaya survey lapangan.

4. Perencanaan Jalan Raya

Perencanaan jalan raya memerlukan informasi mengenai bentuk lahan, ketinggian tempat, kemiringan lereng, arah/jurusan, jarak, volume material yang diperlukan untuk menambah bentuk lahan yang cekung atau memotong lahan yang terlalu tinggi serta informasi fisiografis lainnya dari suatu area yang akan dilewati oleh jalan. Informasi-informasi tersebut tentu membutuhkan survey dan pengukuran yang memerlukan waktu dan biaya yang tidak sedikit. Untuk menghemat dan memberikan informasi yang teliti mengenai kondisi lahan dan ukuran aspek yang diperlukan tersebut *fotogrametri* dapat memberikan solusinya

yang berupa waktu pengukuran yang lebih cepat, ketelitian yang dapat dipertanggung-jawabkan, efektif dan lebih hemat.

5. Perencanaan Jalan Kereta Api

Syarat kondisi lahan untuk jalan kereta api berbeda dengan jalan biasa. Kemiringan jalan kereta api tidak boleh lebih dari 15 persen. Kondisi lahan yang bentuknya tidak mendukung tetapi terpaksa harus dilewati karena tidak memungkinkan pula jika arah belokan kereta api harus tajam, maka dalam perencanaan jalan kereta api harus diperhitungkan berapa lahan yang harus dipotong dan berapa yang harus diurug.

Berdasarkan informasi jurusan dan arah dari foto udara dapat ditentukan belokan yang efektif, arah jalan kereta yang baik. Berdasarkan informasi kemiringan lereng dapat ditentukan daerah mana yang harus dipotong lahannya dan berapa volume tanah yang diperlukan untuk mengurug lahan-lahan yang cekung agar jalan kereta api dapat dipakai.

6. Perencanaan Lahan Permukiman

Perencanaan permukiman membutuhkan informasi kondisi fisik lahan permukiman. Diantara informasi yang diperlukan adalah informasi bentuk lahan, kemiringan lereng, arah/jurusan lokasi permukiman, aksesibilitas lokasi, jarak dari sumber-sumber bencana, kemungkinan banjir, sistem pengaturan/drainase, posisi lahan terhadap penggunaan lahan lainnya, sistem pembuangan kaitannya dengan kemiringan lereng dan lain-lain. Informasi-informasi tersebut dapat diekstrak dari foto udara yang cara perhitungannya tentu membutuhkan teknik *fotogrametri*. Masing-masing variable dapat diberi skor penilaian yang selanjutnya dapat diketahui kondisi kelayakannya untuk pendirian permukiman.

7. Kegunaan Lainnya

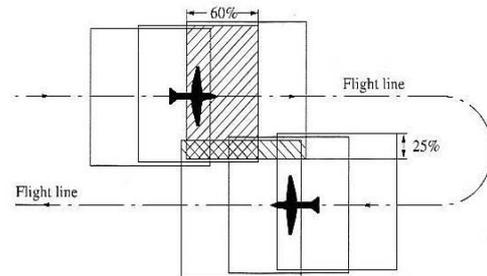
Kegunaan lainnya masih sangat banyak terutama untuk aspek-aspek pembangunan yang memerlukan informasi ukuran dari unsur fisik permukaan bumi.

Desain Jalur Terbang

Terkait Jalur terbang, aplikasi yang digunakan yaitu *Pix4D Capture* yang dikontrol menggunakan smartphone android maupun iOS. Jalur terbang / flight mission ditentukan berdasarkan *AOI (Area of Interest)* yang akan dipetakan.



Gambar 2. Desain Jalur Terbang



Gambar 3. Contoh hasil *overlap* dan *sidelap* pada kegiatan pemotretan udara

Titik Kontrol Tanah (Ground Control Point)

Sebagai tahap awal dalam melakukan kegiatan foto udara, diperlukan pembuatan kegiatan foto udara, diperlukan pembuatan *premark* (penandaan titik kontrol tanah) dan pengukuran koordinat titik *premark* menggunakan *GPS*. *Premark* biasanya dibuat dengan bentuk tanda silang dengan titik *premark* berada tepat pada perpotongan tanda tersebut. Warna premark juga biasanya dipilih warna yang mencolok agar terlihat pada saat pengolahan foto udara.



Gambar 4. Pemasangan *Premark*

METODOLOGI PENELITIAN

Pengumpulan Data Lapangan

Penyusunan penelitian ini menggunakan data primer. Metode pengumpulan data ialah dengan melaksanakan survey di lapangan dengan menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI 19-6724-2002) Jaringan Kontrol Horisontal sebagai acuan standar untuk pengukuran *Ground Control Point (GCP)*.

Lokasi yang akan diteliti adalah area Universitas Sam Ratulangi. Alasan pemilihan lokasi kampus adalah agar lokasi Universitas Sam Ratulangi mempunyai data citra satellite resolusi tinggi terbaru (real time), koordinat data topografi yang akurat serta pemetaan batas fakultas di Universitas Sam Ratulangi.

Data lapangan dikumpulkan lewat teknik pengukuran lapangan menggunakan *Alat Ukur (GNSS) COMNAV T300*, Controller, Receiver, Antena UHF/GSM, Pen Styles, Pole, Bracket, Tripod, Meteran rol, dan peralatan penunjang lainnya, kemudian terkait sistem koordinatnya menggunakan koordinat *Global Positioning System (GPS)* yang bertipe navigasi.

Peralatan dan Bahan

Adapun peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian ini diberikan dalam Tabel 1 di bawah ini.

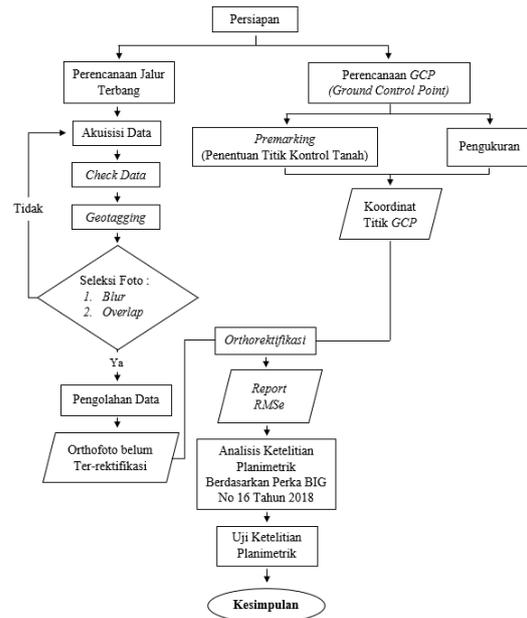
Tabel 1. Peralatan

Peralatan	Spesifikasi
Drone DJI	DJI Mavic Pro 2
GPS Geodetik	Comnav T 300
Laptop	ASUS
Tripod	Minds -
(GPS Handled)	Aluminium
Kompas	Garmin 64S
Hand Board	-
Payung	-
Terpal Premark	50 x 100 cm

Bagan Alir Penelitian

Adapun penjelasan dari bagan alir pada Gambar 5 adalah sebagai berikut:

1. Persiapan
 - a) Pengecekan alat *Drone DJI Mavic Pro2*. Hal yang harus diperhatikan yakni:
 - Pengecekan *Firmware*,
 - Kalibrasi Kompas dan
 - Pengecekan *Gymbal*

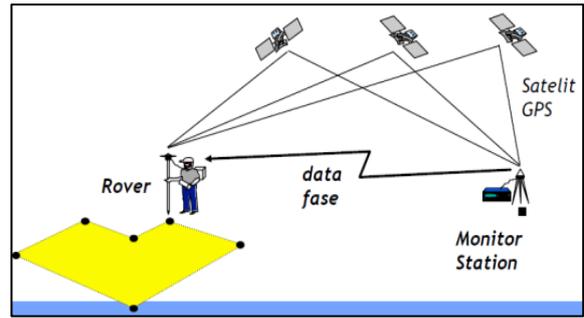


Gambar 5. Bagan Alir Penelitian

- b) Pengecekan *GPS* Geodetik
 Pengecekan *GPS* agar mengetahui kondisi *GPS* apakah masih baik untuk digunakan dalam proses pengambilan data
 - Pengecekan Baterai
 - Pengecekan Antena
 - Pengecekan Base dan Rover
2. Perencanaan Jalur Terbang
 Hal yang perlu dilakukan dalam perencanaan jalur terbang yaitu:
 - a) menentukan area yang akan dipetakan, kemudian menggunakan *pix4d capture* di smartphone untuk akuisisi data secara *autopilot*.
 - b) Akuisisi foto udara dilakukan area yang bertampalan dengan *side overlap* 80% dan *forward overlap* 80% agar memudahkan dalam proses pengolahan foto udara
3. Perencanaan *GCP (Ground Control Point)*
 Mendesain sebaran distribusi titik *Ground Control Point* serta pemasangan *premark* yang akan digunakan sebagai proses georeferencing dalam pengolahan data foto udara.
4. Setelah dilakukan akuisisi data, kemudian dilakukan proses geotagging menggunakan software *Pix4d Mapper Pro* pada hasil foto.
5. Melakukan pengukuran *Ground Control Point (GCP)* menggunakan *GPS* tipe Geodetik untuk mendapatkan nilai koordinat tanah dengan ketelitian submilimeter. Nilai

koordinat (X,Y, dan Z) menggunakan sistem koordinat UTM.

6. Foto yang telah ter-geotagging diseleksi untuk menghilangkan foto yang kabur/blur
7. Melakukan georeferencing pada citra foto menggunakan data hasil pengukuran Ground Control Point.
8. Dense Cloud, Mesh dan Model Texture dilakukan untuk menghasilkan Digital Surface Model berbentuk 3D dari kenampakan objek yang ada pada area liputan foto udara

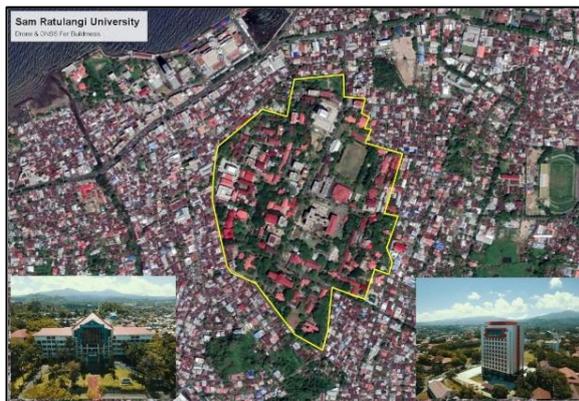


Gambar 7. Metode RTK
Sumber: Abidin dkk, (2011)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Penelitian

Lokasi yang akan dipetakan yaitu Universitas Sam Ratulangi Manado. Universitas Sam Ratulangi terletak pada posisi 1°27'29.95"N dan 124°49'40.87"E. Pemetaan ini dilakukan menggunakan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Drone* *Mavic 2 Pro* dan *GPS Geodetik*. Penelitian ini telah dimulai bulan Februari 2020 dan diawali dengan proses pengukuran titik kontrol tanah (*GCP*) menggunakan alat *GPS Geodetik* hingga pada proses pemotretan foto udara menggunakan wahana *drone*.



Gambar 6. Lokasi Penelitian

Strategi Pengukuran GPS

Terkait pelaksanaan survei *GPS*, strategi pengamatan yang diaplikasikan akan sangat berperan dalam pencapaian kualitas yang baik dari posisi titik-titik *GPS*. Adapun metode pengamatan yang dapat dilakukan dengan menggunakan *GPS Geodetik* yaitu metode statik, *stake out* dan *Real-Time Kinematic (RTK)*. Dalam hal ini, strategi pengamatan menggunakan metode pengamatan *Real-Time Kinematic (RTK)*.

Pengukuran Titik Kontrol Tanah (Ground Control Point)

Input *Ground Control Point (GCP)* dilakukan untuk memberikan referensi koordinat 3D (XYZ) terhadap hasil operasi *align photo*, sehingga model 3D yang terbentuk dapat diperbaiki kualitas geometriaknya dan pada akhirnya mampu menghasilkan *DEM* dan *Orthofoto* yang akurat sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan. Pada umumnya input *Ground Control Point (GCP)* dapat dilewati dalam pemrosesan data hasil *drone*, karena biasanya kamera yang terinstal di dalam *drone* mempunyai built in *GPS receiver* yang dapat digunakan sebagai referensi koordinat.

Built in GPS receiver di kamera *drone* mempunyai spesifikasi *navigation grade* (akurasi 5 - 25 meter atau lebih), sehingga kurang seimbang dengan ketelitian *orthofoto* yang dihasilkan. Oleh karena itu, untuk memperoleh *orthofoto* yang dapat digunakan untuk pemetaan skala detil dengan baik, kita perlu memasukkan *Ground Control Point (GCP)* yang diperoleh antara lain dari *GPS Geodetic* (sentimeter sampai millimeter).

Built in GPS receiver di kamera *drone* mempunyai spesifikasi *navigation grade* (akurasi 5 - 25 meter atau lebih), sehingga kurang seimbang dengan ketelitian *orthofoto* yang dihasilkan. Oleh karena itu, untuk memperoleh *orthofoto* yang dapat digunakan untuk pemetaan skala detil dengan baik, kita perlu memasukkan *Ground Control Point (GCP)* yang diperoleh antara lain dari *GPS Geodetic* (sentimeter sampai millimeter).

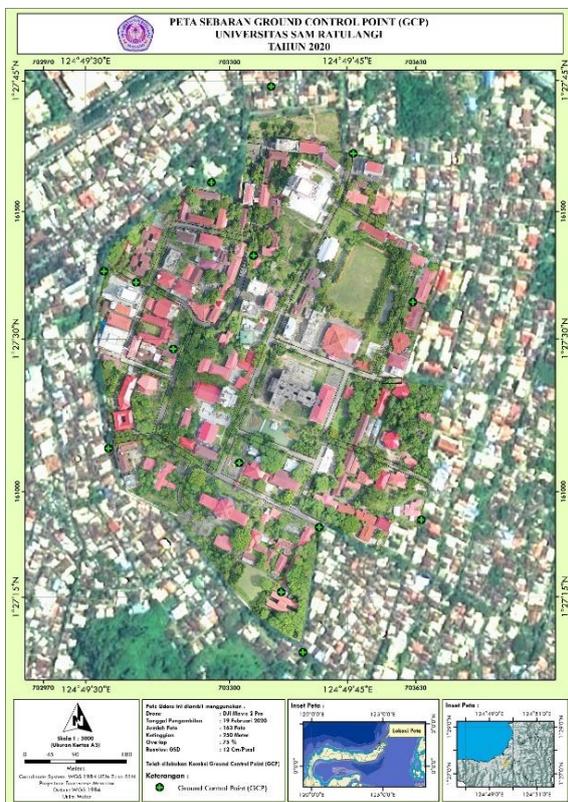


Gambar 8. Persiapan Pengukuran Titik Kontrol Tanah (*GCP*).

Ground Control Point adalah suatu titik ikat lapangan yang mengarahkan hasil olah citra pada lokasi sebenarnya di lapangan. Citra yang belum dikoreksi geometrik meskipun telah diolah data hasil akuisisi menggunakan drone hanya digunakan sebagai awal persiapan survey untuk menentukan titik persebaran *GCP*. Citra yang belum terkoreksi geometrik ini perlu dilakukan koreksi dengan cara pemasangan titik ikat lapangannya (Wolf, 1993).

Tabel 2. Koordinat *GCP* Hasil Pengukuran Lapangan

Name	E	N	Z
P5	703624.691	161337.8299	95.71
P10	703518.9771	161603.3494	95.57
P11	703373.6118	161722.6865	79.68
P12	703267.6116	161551.5415	82.19
P16	703458.4668	160935.8935	99.53
P17	703391.6141	160820.2674	102.44
P18	703317.0267	161050.7583	97.31
P19	703639.5898	160949.1335	113.66
P20	703085.1684	161076.6609	88.27
P23	703199.986	161254.1141	88.41
P24	703342.6146	161420.693	90.35
P29	703134.0158	161372.9623	81.82



Gambar 9. Persebaran Titik *Ground Control Point* (*GCP*)

Persebaran titik *GCP* di Universitas Sam Ratulangi yaitu sebanyak ± 12 titik (Tabel 2). Pengukuran *Ground Control Point* dilakukan dengan menggunakan minimal dua *GPS* Geodetik yang merekam secara simultan di tiap titik yang tersebar di area Universitas Sam Ratulangi (Gambar 9).

Perencanaan Jalur Terbang Drone

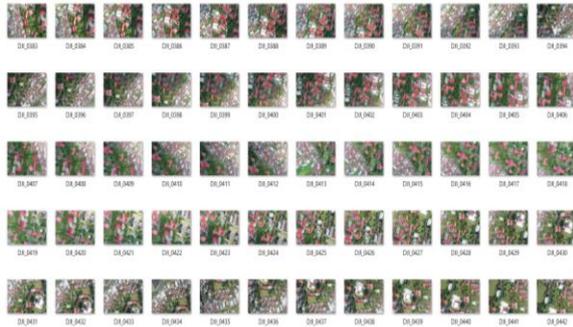
Metode *fotogrametri* memerlukan *mission flight* atau jalur terbang yang tentunya didukung dengan wahana yaitu *drone*. *Drone* diperlukan untuk pengambilan objek kawasan yang telah ditentukan. Dalam mendesain jalur terbang dibuat sepanjang garis yang sejajar untuk membuat foto yang bertampalan.

Terkait efektivitas dalam merencanakan jalur terbang *drone* harus memperhatikan berbagai aspek agar dapat memenuhi kriteria dalam pengukuran sehingga resolusi spasial yang dihasilkan tentunya baik. Adapun kriteria yang diperlukan adalah sebagai berikut :

1. Terkait tampalan *side overlap* dan *forward overlap* yaitu 80 %. Kawasan Universitas Sam Ratulangi terdapat banyak bangunan tinggi maka perlu tampalan overlap dengan persentase besar.
2. Ketinggian terbang disesuaikan dengan spesifikasi sensor kamera. Spesifikasi *Drone Mavic Pro 2* mampu terbang dengan ketinggian 300-400 Meter. Namun ketinggian yang digunakan yaitu ± 250 Meter.
3. Waktu perekaman dilakukan pada pukul 10.00 karena pada saat itu cuaca cerah sehingga cahaya yang tertangkap kamera maksimal.
4. Daya tahan baterai *Mavic Pro 2* dapat melakukan misi terbang dengan daya baterai ± 30 menit.



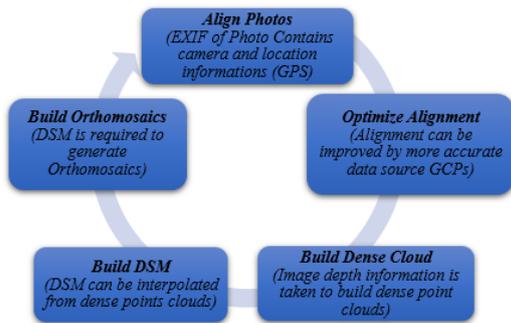
Gambar 10. Tampilan *Flight Mission Pix4D Capture iOS*



Gambar 11. Tampilan *Flight Mission Pix4D Capture iOS*

Pengolahan Data

Pix4D Mapper Pro adalah sebuah software 3D Modeling dengan menggunakan citra/foto yang di rekam secara stereo/multi sudut, sehingga dari paralaks antar foto yang dihasilkan dapat disusun sebuah model tiga dimensi dari foto. *Pix4D Mapper Pro* dapat digunakan untuk pengolahan data foto udara yang direkam menggunakan *UAV/Drone*, sehingga dari hasil perekamannya dapat dihasilkan mosaic orthophoto. Hasil orthophoto tersebut yang akan menjadi data kondisi eksisting sebaran objek di kampus Universitas Sam Ratulangi. Hasil dari proses orthophoto, bisa menjadi data dasar dalam pengolahan peta digital baik sebaran bangunan maupun topografi (elevasi) dalam bentuk 3 dimensi. Proses pembuatan orthophoto dan *Digital Surface Model (DSM)* menggunakan software *Pix4D Mapper Pro* melalui beberapa tahap yaitu:



Gambar 12. Proses Pengolahan Data *Pix4D Mapper*

Uji Akurasi Planimetrik

Setelah hasil pengolahan data berupa import foto/rekonstruksi jalur terbang, *optimize camera alignment*, *Build Points Cloud*, *Build DSM (Digital Surface Model)* dan *Orthomosaic* maka selanjutnya adalah mengeluarkan hasil akurasi data (generate report) yang secara otomatis melalui algoritma software *Pix4D Mapper Pro*.



Gambar 12. Hasil *Generate Report Pix4D*

Uji akurasi dilakukan untuk mengetahui nilai ketelitian citra hasil orthofoto kemudian perlu pengujian ketelitian posisi mengacu pada perbedaan koordinat (x, y) antara titik uji pada gambar atau peta dengan lokasi sesungguhnya dari titik uji pada permukaan tanah. Ketelitian geometri tersebut dihitung berdasarkan Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 Tentang Perubahan Atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar (Sumber: BIG 2018).

Tabel 3. Ketelitian Geometri Peta RBI

No	Skala	Interval kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)
1.	1:1000.000	400	300	200	600	300	900	400
2.	1:500.000	200	150	100	300	150	450	200
3.	1:250.000	100	75	50	150	75	225	100
4.	1:100.000	40	30	20	60	30	90	40
5.	1:50.000	20	15	10	30	15	45	20
6.	1:25.000	10	7,5	5	15	7,5	22,5	10
7.	1:10.000	4	3	2	6	3	9	4
8.	1:5.000	2	1,5	1	3	1,5	4,5	2
9.	1:2500	1	0,75	0,5	1,5	0,75	2,3	1
10.	1:1000	0,4	0,3	0,2	0,6	0,3	0,9	0,4

Nilai ketelitian posisi peta dasar pada Tabel 7 adalah nilai CE90 untuk ketelitian horizontal dan LE90 untuk ketelitian vertikal, yang berarti bahwa kesalahan posisi peta dasar tidak melebihi nilai ketelitian tersebut dengan tingkat kepercayaan 90%.

Nilai CE90 dan LE90 dapat diperoleh dengan rumus mengacu kepada standar *US*

NMAS (United States National Map Accuracy Standards) sebagai berikut:

$$CE90 = 1,5175 \times RMSEr$$

$$LE90 = 1,6499 \times RMSEz$$

dengan:

RMSEr: *Root Mean Square Error* pada posisi x dan y (horizontal)

RMSEz: *Root Mean Square Error* pada posisi z (vertikal)

Pengukuran akurasi menggunakan *root mean square Error (RMSE)* atau *circular error (CE)* dan *linear error (LE)*. Pada pemetaan 3 dimensi yang perlu diperhitungkan adalah koordinat (X, Y dan Z) titik uji dan posisi sebenarnya di lapangan. Analisis akurasi posisi menggunakan *root mean square Error (RMSE)*, yang menggambarkan nilai perbedaan antara titik uji dengan titik sebenarnya. *root mean square Error (RMSE)* digunakan untuk menggambarkan akurasi meliputi kesalahan random dan sistematis (BIG, 2018).

Tabel 4. Uji Ketelitian Vertikal

No	Nama Titik	Z di Peta	Z Pengukuran	dz	dz2
A	B	C	D	E	F
1	P5	95.602	95.71	0.108	0.011664
2	P10	95.683	95.57	-0.113	0.012769
3	P11	79.683	79.68	-0.003	0.000009
4	P12	82.191	82.19	-0.001	0.000001
5	P16	99.452	99.53	0.078	0.006084
6	P17	102.47	102.44	-0.03	0.0009
7	P18	97.302	97.31	0.008	-0.000064
8	P19	113.79	113.66	-0.13	0.0169
9	P20	88.391	88.27	-0.121	0.014641
10	P23	88.423	88.41	-0.013	0.000169
11	P24	90.362	90.35	-0.012	0.000144
12	P29	81.812	81.82	0.008	-0.000064
Jumlah					0,063
Rata-rata					0,005
RMSEz					0,073
Akurasi Vertikal 90 %					0,12

Dari perhitungan pada tabel 4 diatas, nilai *RMSEz* sebesar 0.073 meter. Standar akurasi menurut *NMAS (National Map Accuracy Standar)* adalah sebagai berikut:

$$\text{Akurasi Vertikal NMAS} = LE90 = 1,6499 \times RMSEz (0.073)$$

Maka didapatkan nilai sebesar 0,12 meter untuk nilai akurasi vertikal. Kemudian dilakukan pengujian terhadap hasil tersebut seperti pada tabel berikut:

Tabel 5. Uji LE90 untuk ketelitian Peta Skala 1:1000

Ketelitian	Hasil Uji LE 90 (dalam M)	Ketelitian Peta Skala 1 : 1000		
		Kelas 1 (dalam M)	Kelas 2 (dalam M)	Kelas 3 (dalam M)
Vertikal	0,12	0,25	0,37	0,62

Dari uji akurasi koordinat planimetris hasil pemetaan foto udara didapatkan nilai LE90 sebesar 0,12 m yang berarti bahwa uji akurasi vertikal ketelitian peta memenuhi untuk skala 1:1000 yaitu masuk kedalam orde kelas 1 (baik) dengan ketelitian maksimum sebesar 0,2 m. Linear Error 90% (LE90) adalah ukuran ketelitian geometrik vertikal (ketinggian) yaitu nilai jarak yang menunjukkan bahwa 90% kesalahan atau perbedaan nilai ketinggian objek di peta dengan nilai ketinggian sebenarnya tidak lebih besar daripada nilai jarak tersebut (BIG 2018).

Tahapan selanjutnya yaitu uji akurasi ketelitian horizontal dimana standar peta yang ingin dihasilkan yaitu 1 : 1000, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 6. Uji Ketelitian Horizontal

No	Nama Titik	X di Peta	X Pengukuran	dx	dx2	Y di Peta	Y Pengukuran	dy	dy2	dx2 + dy2
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	P5	703624.647	703624.691	0.044	0.001936	161337.888	161337.83	-0.058	0.003364	0.0053
2	P10	703518.948	703518.977	0.029	0.000841	161603.374	161603.349	-0.025	0.000625	0.001466
3	P11	703373.634	703373.612	-0.022	0.000484	161722.636	161722.686	0.05	0.0025	0.002984
4	P12	703267.628	703267.612	-0.016	0.000256	161551.556	161551.541	-0.015	0.000225	0.000481
5	P16	703458.46	703458.467	0.007	0.000049	160935.881	160935.893	0.012	0.000144	0.000634
6	P17	703391.608	703391.614	0.006	0.000036	160820.259	160820.267	0.008	0.000064	0.001
7	P18	703317.037	703317.027	-0.01	0.0001	161050.742	161050.758	0.016	0.000256	0.000356
8	P19	703639.578	703639.59	0.012	0.000144	160949.121	160949.133	0.012	0.000144	0.000288
9	P20	703085.193	703085.168	-0.025	0.000625	161076.624	161076.661	0.037	0.001369	0.001994
10	P23	703200.001	703199.986	-0.015	0.000225	161254.099	161254.114	0.015	0.000225	0.00045
11	P24	703342.619	703342.615	-0.004	0.000016	161420.707	161420.693	-0.014	0.000196	0.000212
12	P29	703134.028	703134.016	-0.012	0.000144	161372.965	161372.962	-0.003	0.000009	0.000153
Jumlah										0,015
Rata-rata										0,001
RMSEr										0,036
Akurasi Horizontal 90 %										0,05

Dari perhitungan pada tabel 6 diatas, nilai *RMSEr* sebesar 0.036 meter. Standar akurasi menurut *NMAS (National Map Accuracy Standar)* adalah sebagai berikut:

$$\text{Akurasi Horizontal NMAS} = CE90 = 1,5175 \times RMSEr (0,036)$$

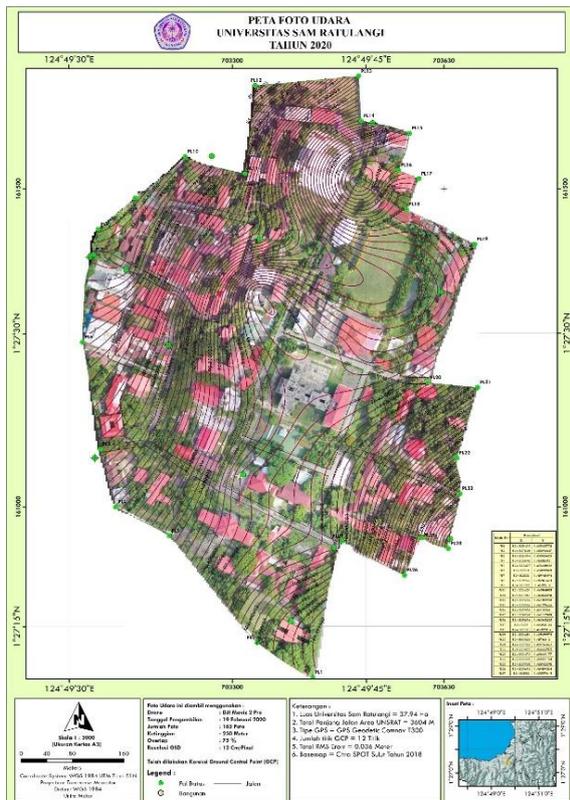
Maka didapatkan nilai sebesar 0,05 meter untuk nilai akurasi horizontal. Kemudian dilakukan pengujian terhadap hasil tersebut seperti pada tabel berikut:

Tabel 7. Uji CE90 untuk ketelitian Peta Skala 1:1000

Ketelitian	Hasil Uji CE 90 (dalam M)	Ketelitian Peta Skala 1 : 1000		
		Kelas 1 (dalam M)	Kelas 2 (dalam M)	Kelas 3 (dalam M)
Horizontal	0,05	0,2	0,3	0,5

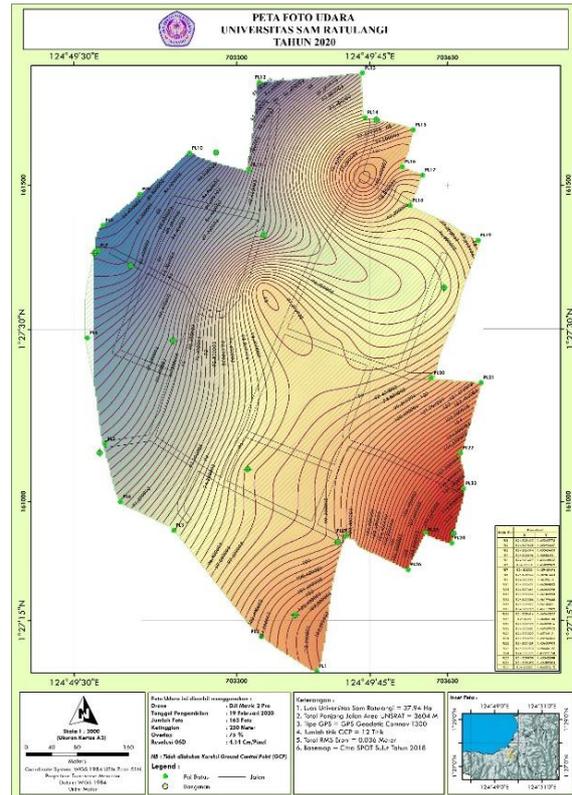
Dari uji akurasi koordinat planimetris hasil pemetaan foto udara didapatkan nilai CE90 sebesar 0.05 m yang berarti bahwa uji akurasi horizontal ketelitian peta memenuhi untuk skala 1:1000 yaitu masuk kedalam orde kelas 1 (baik) dengan ketelitian maksimum sebesar 0.3 M.

Circular Error 90% (CE90) adalah ukuran ketelitian geometrik horizontal yang didefinisikan sebagai radius lingkaran yang menunjukkan bahwa 90% kesalahan atau perbedaan posisi horizontal objek di peta dengan posisi yang dianggap sebenarnya tidak lebih besar dari radius tersebut.



Gambar 13. Peta Orthomosaic Universitas Sam Ratulangi

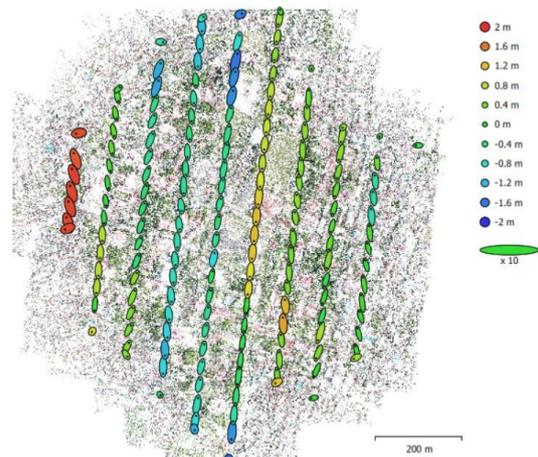
Teknologi *Unmanned Aerial Vehicle (UAV) drone Mavic Pro 2* memiliki kamera yang terpasang *GPS receiver* yang dapat digunakan sebagai referensi koordinat. Hanya biasanya *GPS receiver* di kamera *drone Mavic Pro 2* mempunyai spesifikasi *navigation grade* (akurasi 1 - 5 meter), sehingga kurang presisi untuk menghasilkan orthofoto yang baik. Oleh karena itu, untuk memperoleh orthofoto yang dapat digunakan untuk pemetaan skala detail dengan baik, sehingga perlu menambahkan koordinat titik kontrol tanah (*Ground Control Point*) yang diperoleh dari *GPS Geodetik* dengan ketelitian milimeter.



Gambar 14. Peta Digital Terrain Model Universitas Sam Ratulangi

Berdasarkan hasil algoritma report dari *software* untuk ketelitian peta hasil orthophoto dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

+



Gambar 15. Sebaran Lokasi Kamera dan Estimasi Error

Tabel 8. Hasil Report Pengolahan Data Tanpa Kerangka *Ground Control Point (GCP)*

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
0.560185	2.48134	0.780111	2.54379	2.66072

Dari tabel 8 dapat disimpulkan bahwa error yang dihasilkan dari pengolahan data hasil *Unmanned Aerial Vehicle (UAV) drone* tanpa menggunakan koordinat pengukuran titik kontrol tanah / *Ground Control Point (GCP)* mendapatkan akurasi 2.66 meter. Sesuai dengan Tabel 3 terkait ketelitian geometri peta RBI maka nilai akurasi geometri tersebut hanya bisa digunakan sebagai pembuatan peta pada skala 1 : 10.000.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Hasil pemetaan menggunakan metode *fotogrametri* di Kampus Universitas Sam Ratulangi menghasilkan resolusi spasial yakni 4.4 Cm/Pixel. Dari uji akurasi koordinat planimetris hasil pemetaan foto udara didapatkan nilai *CE90* sebesar 0,05 m dan nilai *LE90* sebesar 0.12 yang berarti bahwa uji akurasi horizontal ketelitian peta memenuhi untuk skala 1:1000 yaitu masuk kedalam orde kelas 1 dengan ketelitian maksimum sebesar 0,3 meter. Survey pemetaan menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* jauh lebih cepat dan efisien berbeda dengan metode konvensional. Disamping menghemat waktu dan biaya, luas Universitas Sam Ratulangi yaitu 35 Ha dapat diselesaikan dengan waktu \pm 3 Jam dibandingkan dengan pengukuran yang dilakukan menggunakan metode konvensional dengan memakan waktu + 2 Hari.
2. Berdasarkan hasil uji akurasi, report *root mean square error (RMSe)* yang merupakan

akar kuadrat dari rata – rata kuadrat dari selisih antara nilai koordinat di peta maka hasil yang didapatkan, untuk ketelitian hasil pengukuran menggunakan *unmanned aerial vehicle (UAV) drone* menggunakan titik kontrol tanah (*GCP*) mendapatkan nilai error horizontal sebesar 0.05 m dan vertikal 0.12 m maka masuk dalam spesifikasi ketelitian geometri peta RBI skala 1 : 1000 sedangkan report error hasil pengukuran menggunakan *unmanned aerial vehicle (UAV) drone* tanpa titik kontrol tanah (*GCP*) mendapatkan nilai error horizontal sebesar 2.54 m dan vertikal 0.78 m sehingga tidak masuk dalam ketentuan ketelitian geometri peta RBI peta skala 1 : 1000.

Saran

1. Pada proses pengolahan foto udara menggunakan drone hingga menghasilkan ortofoto sebaiknya menggunakan spesifikasi notebook/pc yang cukup tinggi, karena proses pengolahan tersebut membutuhkan RAM minimal 32 GB dan SSD minimal 512 MB.
2. Metode pengukuran dan peralatan yang digunakan sangat penting dalam mendapatkan data dengan tingkat ketelitian yang baik dan perlu mengetahui pengolahan data agar menghasilkan suatu kualitas data yang dapat dipertanggungjawabkan.
3. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan ada pengkajian terhadap kekuatan jaring titik *GCP (Strength Of Figure)* serta melakukan pre-analisis mengenai elips kesalahan yang dihasilkan tiap titik *Ground Control Point (GCP)*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z., Jones, A., Kahar, J., 2011. Survei dengan GPS, PT. Pradnya Paramita: Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2002. SNI 19-6724-2002 Jaring Kontrol Horizontal.
- BIG. 2014. Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Badan Informasi Geospasial (BIG) : Cibinong.
- BIG. 2018. Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No 6 tahun 2018 tentang perubahan atas peraturan kepala badan informasi geospasial nomor 15 tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Badan Informasi Geospasial (BIG) : Cibinong.
- Bidang Geodinamika. 2018. InaCORS BIG Satu Referensi Pemetaan Indonesia. Cibinong: Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika BIG.

Santoso, B., 2004. Fotogrametri, TGD ITB, Bandung.

Wolf, P. R. (1993): Elemen Fotogrametri, Gadjah Mada University Press : Yogyakarta.