

## ANALISIS AKURASI DEM dan FOTO TEGAK HASIL PEMOTRETAN dengan PESAWAT NIR AWAK DJI PHANTOM 4 (Studi Kasus : Bukit Perumahan Permata Hijau Tembalang Semarang)

Dito Seno Aji, L. M. Sabri, Yudo Prasetyo<sup>\*)</sup>

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788  
Email : ditoaji1507@gmail.com

### ABSTRAK

Pemetaan dan pengukuran tinggi diperlukan dalam perencanaan sebuah proyek pembangunan untuk menjadi bahan pertimbangan dalam pengambilan kebijakan dalam pelaksanaan proyek pembangunan. Perencanaan sebuah proyek pembangunan tentunya sangat memperhatikan efisiensi waktu, tenaga dan biaya agar seluruh pelaksanaan pekerjaan dapat berjalan lancar, berhasil dan sesuai rencana. Perkembangan dalam dunia teknologi juga sangat berpengaruh pada dunia survei dan pemetaan. Teknologi harus dimanfaatkan untuk membantu pekerjaan manusia agar mendapatkan hasil yang maksimal. Salah satu contoh perkembangan teknologi pemetaan adalah digunakannya *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) untuk kegiatan survei dan pemetaan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah ekstraksi DEM dan foto tegak hasil pemotretan udara dengan UAV DJI PHANTOM 4. Proses ekstraksi DEM dan orthofoto dibagi menjadi 3 metode pengolahan yaitu pengolahan dengan densitas *point cloud low, medium* dan *high*. Hasil pengolahan foto udara dari ketiga metode ini dibandingkan dengan hasil pengukuran lapangan, kemudian dihitung signifikansi perbandingan dari ketiga metode tersebut menggunakan uji F. Berdasarkan perhitungan CE90 dan LE90 menurut Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 produk peta yang dihasilkan masuk dalam skala 1:1.000 kelas 3. Hasil perhitungan selisih jarak antara ukuran objek pada foto tegak hasil ekstraksi dengan pengukuran lapangan standar deviasi densitas *low* 0,0546, densitas *medium* 0,0183 dan densitas *high* 0,008. Hasil perhitungan selisih tinggi antara titik uji pada DEM hasil ekstraksi dengan pengukuran lapangan standar deviasi densitas *low* 0,563, densitas *medium* 0,380 dan densitas *high* 0,367.

**Kata Kunci:** DEM, Densitas *Point Cloud*, DJI PHANTOM 4, Orthofoto, UAV.

### ABSTRACT

*Mapping and elevation measurement is needed in planning a development project to be taken into consideration in policy making in the implementation of development projects. Planning a development project is of course very concerned about the efficiency of time, energy and costs so that the entire implementation of the work can run smoothly, successfully and according to plan. Developments in the world of technology are also very influential in the world of surveys and mapping. Technology must be used to help human work to get maximum results. One example of the development of mapping technology is the use of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for survey and mapping activities. The method used in this study is the extraction of DEM and orthophoto results of aerial photography with DJI PHANTOM 4. UAV The extraction process of DEM and orthophoto is divided into 3 processing methods, namely processing with low, medium and high point cloud density. The results of aerial photo processing from these three methods are compared with the results of field measurements, then the significance of the comparisons of the three methods are calculated using the F test. Based on the calculations of CE90 and LE90 according to Head of BIG Regulation No. 15 of 2014 the map products produced are on a scale of 1: 1.000 class 3. The calculation results of the difference in distance between orthophoto object sizes extracted with a standard deviation field measurement of low density 0.0546, medium density 0, 0183 and density high 0.008. The results of the calculation of the high difference between the test points on the DEM extracted with a standard deviation field measurement density low 0.563, medium density 0.380 and high density 0.367.*

**Keywords:** DEM, DJI PHANTOM 4, Orthophoto, Point Cloud Density, UAV.

<sup>\*)</sup>Penulis, Penanggung Jawab

**I. Pendahuluan**

**I.1 Latar Belakang**

Pemetaan dan pengukuran tinggi diperlukan dalam perencanaan sebuah proyek pembangunan untuk menjadi bahan pertimbangan dalam pengambilan kebijakan dalam pelaksanaan proyek pembangunan. Perencanaan sebuah proyek pembangunan tentunya sangat memperhatikan efisiensi waktu, tenaga dan biaya agar seluruh pelaksanaan pekerjaan sesuai dapat berjalan lancar, berhasil dan sesuai rencana. Pelaksanaan sebuah proyek pembangunan tentunya mengharapkan pekerjaan dapat dilaksanakan dengan waktu yang singkat, tenaga yang sedikit, serta biaya yang seminimal mungkin namun menghasilkan pekerjaan yang maksimal dan sesuai dengan rencana.

Perkembangan dalam dunia teknologi juga sangat berpengaruh pada dunia survei dan pemetaan. Teknologi harus dimanfaatkan untuk membantu pekerjaan manusia agar mendapatkan hasil yang maksimal. Salah satu contoh perkembangan teknologi pemetaan adalah digunakannya *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) untuk kegiatan survei dan pemetaan. UAV sebelumnya digunakan untuk dunia fotografi yaitu untuk pengambilan foto-foto udara untuk kepentingan seni fotografi, namun dewasa ini foto-foto hasil pemotretan UAV dapat di gunakan untuk survei dan pemetaan suatu wilayah. Pengembangan UAV untuk pemetaan ini masuk di bidang fotogrametri.

Pemetaan fotogrametri memperhatikan akurasi ketelitian planimetrik/ horizontal dan vertikal. Akurasi dan ketelitian tersebut akan menggambarkan kondisi sesungguhnya di lapangan sesuai dengan peta yang dihasilkan. Ketelitian planimetrik berkaitan dengan koordinat X dan Y sedangkan ketelitian vertikal berkaitan dengan tinggi. Penelitian ini mempertimbangkan penelitian Hanif Arafah Mustofa (2016) dengan judul *Analisis Ketelitian Planimetrik Orthofoto Pada Topografi Perbukitan dan Datar Berdasarkan Kuantitas Titik Kontrol Tanah* yang menggunakan metode dengan melakukan perbandingan orthofoto dengan TKT (Titik Kontrol Tanah) yang jumlahnya berbeda. Hasil menunjukkan paling berpengaruh secara signifikan terhadap ketelitian planimetrik orthofoto adalah pola persebaran TKT. Pada penelitian ini lebih fokus terhadap hasil produk orthofoto dan DEM yang dihasilkan dari proses orthorektifikasi dengan metode yang berbeda yang selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengukuran lapangan.

Dalam penelitian ini, akan menganalisis akurasi DEM dan orthofoto yang dihasilkan dari pengolahan foto udara hasil pemotretan (UAV).

**I.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana ketelitian produk peta yang dihasilkan dari pengolahan foto udara hasil pemotretan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)

berdasarkan Peraturan Kepala BIG no. 15 tahun 2014?

2. Bagaimana akurasi vertikal ekstraksi DEM produk hasil pengolahan foto udara hasil pemotretan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dengan tingkat densitas *point cloud* rendah, sedang dan tinggi?
3. Bagaimana akurasi planimetrik peta orthofoto produk hasil pengolahan foto udara hasil pemotretan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dengan tingkat densitas *point cloud* rendah, sedang dan tinggi?

**I.3 Maksud dan Tujuan Penelitian**

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah:

1. Memperoleh nilai akurasi 3D produk peta yang dihasilkan dari pemotretan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) berdasarkan Peraturan Kepala BIG no. 15 tahun 2014.
2. Memperoleh nilai akurasi DEM pemotretan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dengan tingkat densitas *point cloud* rendah, sedang dan tinggi.
3. Memperoleh nilai akurasi planimetrik peta orthofoto hasil pemotretan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dengan tingkat densitas *point cloud* rendah, sedang dan tinggi.

**I.4 Batasan Masalah**

Penelitian ini diberi batasan masalah agar bahasan tidak terlalu jauh dari kajian masalah. Berikut ini adalah batasan masalah dalam penelitian ini :

1. Proses akuisisi foto udara UAV dibagi menjadi 2 (dua) rencana terbang dengan arah terbang yang saling tegak lurus (*cross*) namun berada pada daerah yang sama di area Bukit Diponegoro.
2. Ketinggian terbang UAV yang digunakan dalam penelitian adalah 100 m di atas permukaan tanah dengan pertimbangan berada diatas SUTET namun tidak melebihi batas maksimal pengoperasian pesawat udara tanpa awak yang mengacu pada Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 90 Tahun 2015.
3. Jumlah *sidelap* dan *overlap* yang digunakan pada setiap rencana terbang adalah 65% dan 75%.
4. Skala peta foto yang dihasilkan dari proses orthorektifikasi masuk dalam skala 1:5.000 sesuai dengan Peraturan Kepala BIG no 15 tahun 2014.
5. Metode yang digunakan dalam pengukuran GCP dan ICP dengan menggunakan GPS Geodetik adalah metode *rapid static* serta metode pengolahan secara *radial* dengan menggunakan *base* CORS UDIP dan GD 16 UNDIP.
6. Jumlah GCP dan ICP yang digunakan sebanyak 11 titik GCP dan 3 titik ICP yang tersebar merata di wilayah penelitian.

7. Jumlah titik uji sebanyak 17 titik untuk pengujian tinggi DEM dan 20 titik untuk pengujian akurasi orthofoto yang tersebar merata di wilayah penelitian
8. Data kelerengan tanah yang digunakan adalah interpolasi data DEM hasil pengamatan UAV menggunakan *software* ArcGIS.
9. Data geoid menggunakan EGM 2008 dengan spasial *grid* 2,5'.

**II. Tinjauan Pustaka**  
**II.1 Kondisi Umum Wilayah Penelitian**

Pada penelitian ini lokasi berada tepatnya di Bukit Diponegoro Semarang pada koordinat 7°02'35,21" LS 110°26'21,51" BT. Secara topografi, lokasi penelitian berada pada daerah yang memiliki variasi topografi. Daerah penelitian memiliki ketinggian paling tinggi sebesar 259 m dan paling rendah 150 m yang terdiri dari daerah dengan dataran tinggi dan lembah dengan kemiringan yang cukup ekstrem. Tata guna lahan pada daerah penelitian sebagian besar masih sebagai lahan terbuka dan sebagian lainnya sebagai pemukiman penduduk.

**II.2 Fotogrametri**

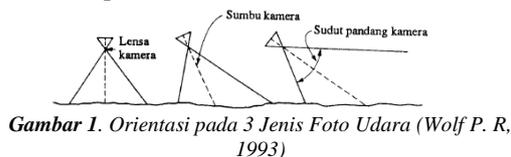
Fotogrametri adalah seni, ilmu dan teknologi untuk memperoleh informasi terpercaya tentang obyek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran dan interpretasi gambaran fotografik dan pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam (Wolf P. R, 1993).

Foto udara merupakan hasil gambaran dari sebagian permukaan bumi yang direkam dari udara menggunakan wahana pesawat terbang dengan ketinggian dan perangkat (kamera) tertentu. Mosaik foto udara merupakan gabungan dari dua buah atau lebih foto udara yang saling bertampalan dan disusun sedemikian rupa sehingga terbentuk paduan gambar yang berkesinambungan.

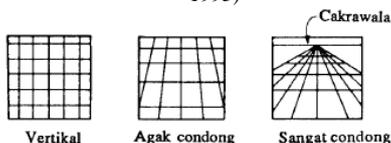
**II.2.1 Foto Udara Tegak**

Semua foto udara yang dibuat dari pesawat terbang dengan arah sumbu optik kamera tegak lurus atau sangat mendekati tegak disebut foto udara tegak. (Brinker C. R. dan Wolf P. R., 1984 jilid 1).

Terkait tentang orientasi kamera dalam pemotretan udara yang dapat menentukan hasil foto dapat dilihat pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.



**Gambar 1.** Orientasi pada 3 Jenis Foto Udara (Wolf P. R, 1993)



**Gambar 2.** Petak Bujur Sangkar Tergambar Menurut Orientasi Kamera (Wolf P. R, 1993)

**II.2.2 Kelerengan/ Slope**

Kemiringan lereng adalah suatu permukaan yang mengacu pada elevasi (nilai z) yang dibandingkan dengan jarak yang melewati suatu daerah permukaan. Dua metode yang paling umum untuk menyatakan kemiringan lereng adalah dengan pengukuran sudut dalam derajat atau dengan persentase. Kelas kemiringan relief topografi (*Slope*) dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Rumus perhitungan *slope* (Bermana I, 2006):  

$$Slope = \frac{y}{x} \times 100\% \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :  
 y : jarak vertikal  
 x : jarak horizontal

**Tabel 1.** Kelas Kemiringan Relief Topografi / Slope (Bermana I, 2006)

No	Kelas Kemiringan Lereng (%)	Keterangan
1.	0 - 2 %	Datar atau sangat datar
2.	3 - 7 %	Bergelombang/lereng landai
3.	8 - 13 %	Bergelombang-bukit landai
4.	14 - 20 %	Perbukitan curam
5.	21 - 55 %	Perbukitan sangat curam
6.	56 - 140%	Pegunungan curam
7.	>140 %	Pegunungan sangat curam

**II.2.3 Kesalahan Foto Udara**

Pengambilan foto udara sangat dipengaruhi oleh angin, cuaca, kondisi alat dan kondisi lingkungan sekitar serta kesalahan operator sehingga dimungkinkan terjadinya kesalahan. Beberapa kesalahan yang dapat terjadi antara lain (Lojoo, 2011).

1. *Crab*

*Crab* adalah kesalahan yang terjadi akibat pemasangan kamera yang tidak sempurna mengakibatkan perubahan orientasi kamera.

2. *Drift*

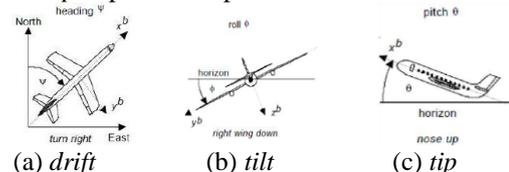
*Drift* adalah kesalahan yang terjadi akibat arah terbang yang tidak sempurna disebabkan oleh pengaruh angin yang mengakibatkan kegagalan penerbang untuk terbang di sepanjang jalur terbang yang direncanakan. Ilustrasi *drift* dapat dilihat pada **Gambar 3 a**.

3. *Tilt*

*Tilt* adalah kesalahan yang terjadi akibat kemiringan pesawat terbang yang dipengaruhi oleh angin dari samping. Ilustrasi *tilt* dapat dilihat pada **Gambar 3 b**.

4. *Tip*

*Tip* adalah kesalahan yang terjadi akibat kemiringan pesawat terbang yang dipengaruhi oleh angin dari depan atau belakang. Ilustrasi *tip* dapat dilihat pada **Gambar 3 c**.



**Gambar 3.** Kesalahan Foto Udara (Bäumker, M. dan Heimes F. J., 2001)

**II.2.4 GCP (Ground Control Point) dan ICP (Independent Control Point)**

GCP merupakan titik yang telah diketahui koordinatnya yang digunakan sebagai referensi

kerangka horizontal (x,y) dan kerangka vertikal (z). Data GCP didapat dari survei lapangan dengan menggunakan pengukuran GNSS. Menurut (Nisrina, 2016) syarat penentuan sebaran GCP sebagai berikut:

1. Pada sisi perimeter area citra.
2. Pada tengah area/scene.
3. Pada wilayah perbatasan/overlap scene citra.
4. Tersebar secara merata dalam area citra.
5. Menyesuaikan kondisi *terrain*.

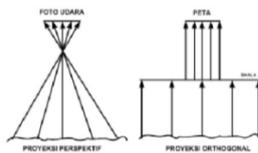
ICP merupakan titik yang dijadikan sebagai validasi koordinat yang berfungsi ketika data sudah menjadi produk dan tidak termasuk dalam proses pengolahan data.

II.2.5 Triangulasi Udara

Triangulasi udara atau *Aerial Triangulasi* merupakan kegiatan penentuan titik kontrol dengan cara pengukuran koordinat selanjutnya dilakukan perataan, sehingga dapat diperoleh koordinat maupun elevasi tanah yang sesuai dengan persyaratan ketelitian pemetaan fotogrametri. Kegiatan triangulasi udara merupakan proses dimana foto udara vertikal diorientasikan secara tepat terhadap titik kontrol medan/ tanah (X, Y, Z) sehingga titik-titik kontrol atau titik ikat dapat dibuat dengan posisi planimetrik yang benar.

II.2.6 Orthorektifikasi

Orthorektifikasi bertujuan untuk mengurangi efek distorsi perlu agar proyeksi foto menjadi proyeksi orthogonal. Ilustrasi proyeksi perspektif dan proyeksi orthogonal dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Proyeksi Perspektif dan Proyeksi Orthogonal (Hadi, B.S., 2007)

Hasil dari orthorektifikasi adalah citra/foto tegak (orthofoto) yang mempunyai skala seragam di seluruh bagian citra dan disajikan menjadi sebuah peta foto serta foto yang telah memiliki koordinat.

Tujuan proses orthofoto menurut (Syauqani, A, 2017) adalah:

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

II.2.7 Ketelitian Foto Udara

Tingkat akurasi pengolahan foto udara berdasarkan titik GCP terkait proses transformasi koordinat foto ke koordinat lapangan yang mengacu pada standar dari ASPRS (*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*) seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Standar Akurasi untuk Orthofoto (ASPRS, 2014)

Kelas	Nilai RMSE
I	Ukuran Pixel x 0,5
II	Ukuran Pixel x 1
III	Ukuran Pixel x 1,5
...	...
N	Ukuran Pixel x 0,5N

Nilai ketelitian posisi peta dasar 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%.

Terkait ketelitian geometri menurut Peraturan Kepala BIG No 15 tahun 2014 dapat dilihat pada **Tabel 3** dan **Tabel 4**.

Tabel 3. Ketelitian Geometri Peta (BIG, 2014)

Skala	Interval Kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
		Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
		Horizontal (m)	Vertikal (m)	Horizontal (m)	Vertikal (m)	Horizontal (m)	Vertikal (m)
1 : 1.000.000	400	200	200	300	300	500	500
1 : 500.000	200	100	100	150	150	250	250
1 : 250.000	100	50	50	75	75	125	125
1 : 100.000	40	20	20	30	30	50	50
1 : 50.000	20	10	10	15	15	25	25
1 : 25.000	10	5	5	7,5	7,5	12,5	12,5
1 : 10.000	4	2	2	3	3	5	5
1 : 5.000	2	1	1	1,5	1,5	2,5	2,5
1 : 2.500	1	0,5	0,5	0,75	0,75	1,25	1,25
1 : 1.000	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5

Tabel 4. Ketentuan Ketelitian Geometri Peta RBI Berdasarkan Kelas (BIG, 2014)

Ketelitian	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
Horizontal	0,2 mm x bilangan skala	0,3 mm x bilangan skala	0,5 mm x bilangan skala
Vertikal	0,5 x interval kontur	1,5 x interval kontur	2,5 x interval kontur

Nilai CE90 dan LE90 dapat diperoleh dengan rumus mengacu kepada standar sebagai-berikut US NMAS (*United States National Map Accuracy Standards*) sebagai berikut:

$$CE90 = 1,5175 \times RMSEr \dots\dots\dots(2.2)$$

$$LE90 = 1,6499 \times RMSE \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

RMSEr : Root Mean Square Error horizontal  
 RMSEz : Root Mean Square Error vertikal

II.2.8 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

UAV atau dikenal juga dengan nama pesawat nir awak merupakan pesawat udara yang dapat beroperasi tanpa adanya awak pesawat.

Sebelum UAV digunakan, harus dilakukan kalibrasi. Ada 3 jenis kalibrasi antara lain (Agisoft, 2016) :

1. Kalibrasi kompas  
 Kalibrasi ini dilakukan agar tidak terjadi kesalahan pada IMU (*Inertial Measuring Unit*) aircraft dan dapat dikendalikan sesuai dengan perintah nantinya.
2. Kalibrasi *gymbal*  
 Kalibrasi pada alat kontrol horizontal kamera, jadi *gymbal* disini bertanggung jawab untuk menjaga kondisi kamera tetap pada posisi horizontal sesuai bidang nivo.
3. Kalibrasi pada *remote control*  
 Kalibrasi pada remote pengontrol UAV. Bertujuan untuk memastikan fungsi dari komponen-komponen pengontrol pada *remote control* normal.

II.2.9 Digital Elevation Model (DEM)

Data DEM dapat berupa *grid* yaitu memiliki bentuk berupa petak petak zona segi empat yang beraturan yang membentuk permukaan DEM serta dapat juga berupa TIN atau jaringan segitiga yang tidak beraturan yang menghubungkan antar titik-

titik spasial sehingga menjadi DEM. DEM terbagi menjadi dua, DTM atau *Digital Terrain Model* atau bentuk digital dari *terrain* yang menggambarkan permukaan tanah, tidak termasuk objek di atasnya. DTM menggambarkan dimensi permukaan medan yang terdiri dari X,Y, Z dalam bentuk digital yang tidak hanya mencakup ketinggian dan elevasi geografis lainnya dan fitur alami seperti sungai, jalur punggungan dan lain-lain. Sementara untuk DSM atau *Digital Surface Model* adalah model yang menggambarkan ketinggian puncak permukaan reflektif, seperti bangunan dan vegetasi (Maune, 2017).

**II.3 Global Navigation Satellite System (GNSS)**

Menurut (Abidin, 2001) survei GNSS adalah sistem radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat yang berbasis pada satelit, maka saat pengamatan GNSS *receivernya* tidak harus saling terlihat (*intervisibility*), yang penting adalah *receiver* mampu menangkap sinyal satelit (*satellite visibility*) hingga mencukupi.

Prinsip dan karakteristik dari setiap metode penentuan posisi tersebut dijelaskan berikut ini (Abidin, 2001):

1. *Static*

Titik yang akan ditentukan posisinya tidak bergerak, pengamatan yang dilakukan bisa secara absolut maupun diferensial, data pengamatan bisa menggunakan *pseudorange* dan/atau *phase* yang selanjutnya dilakukan pengolahan data setelah pengamatan (*post processing*).

2. *Rapid static*

Dilakukan dengan sesi pengamatan yang lebih singkat (5-20 menit), prosedur pengumpulan data di lapangan sama dengan pengukuran statik, lama pengamatan tergantung pada panjang *baseline*, jumlah satelit.

3. Kinematik

Titik-titik yang akan ditentukan posisinya bergerak (kinematik), pengamatan ini bisa dilakukan secara absolut maupun diferensial dengan menggunakan data *pseudorange* atau *phase*.

4. *Stop and go*

Dilakukan pergerakan alat GNSS sebagai *rover* dan *stop* selama beberapa puluh detik dari titik ke titik, dinamakan juga survei semi kinematik, mirip dengan pengukuran kinematik, hanya titik yang akan ditentukan posisinya tidak bergerak dan alat GNSS diam beberapa saat di titik tersebut.

**II.4 Pengukuran Total Station dan Waterpass**

II.4.1 Metode Pengukuran Beda Tinggi

Dewasa ini perkembangan zaman juga mempengaruhi dalam hal pengukuran beda tinggi. Menurut (Brinker C. R. dan Wolf P. R., 1984) ada beberapa metode pengukuran beda tinggi antara lain:

1. Metode Sipat Datar

Metode sipat datar merupakan konsep penentuan beda tinggi antara dua titik dengan garis bidik mendatar atau horizontal yang diarahkan ke rambu ukur yang berdiri tegak atau vertikal.

2. Metode *Trigonometris/Tachimetri*

Metode *trigonometris/ tachimetri* dilakukan dengan mengukur jarak datar dan sudut vertikal dari satu titik di atas permukaan bumi ke titik lain, kemudian dengan menggunakan rumus tertentu jarak datar dan sudut vertikal dikonversikan ke beda tinggi.

II.4.2 Sistem Tinggi Geodesi

Sistem tinggi adalah metode pengukuran tinggi yang memiliki tata aturannya sendiri. Menurut (Rakapuri, 2016) digolongkan menjadi:

1. Sistem tinggi geometris adalah sistem tinggi yang pengukurannya dilakukan terhadap bidang acuan matematis atau geometris tanpa memperhitungkan aspek fisik.
2. Sistem tinggi fisis adalah sistem tinggi yang pengukurannya terhadap bidang acuan fisis dan memperhitungkan aspek-aspek fisis.

Sistem tinggi fisis dibagi menjadi tiga, yaitu

1. Sistem tinggi dinamik adalah tinggi yang dihitung dari perbandingan geopotensial suatu titik terhadap gayaberat normal yang digunakan.
2. Sistem tinggi orthometrik adalah tinggi yang diukur di sepanjang garis unting-unting dari titik di permukaan bumi sampai ke geoid.
3. Sistem tinggi normal sangat teoritis sehingga tidak pernah dipakai untuk keperluan praktis.

II.4.3 Profil Pengukuran Beda Tinggi

Profil dalam dunia geodesi menggambarkan tentang bentuk dari kondisi lapangan sebenarnya.

Menurut (Brinker C. R. dan Wolf P. R., 1984) beberapa jenis tujuan pengukuran beda tinggi antara lain:

1. Penampang Memanjang  
Merupakan irisan tegak pada lapangan dengan mengukur jarak dan beda tinggi titik-titik di atas permukaan bumi.
2. Penampang Melintang  
Merupakan sebuah penampang vertikal, tegak lurus terhadap garis sumbu pada stasiun penuh dan stasiun plus.

II.4.4 Ketelitian Pengukuran Beda Tinggi

Ketelitian hasil pengukuran tinggi dari kesalahan penutup hasil ukuran pergi-pulang dalam seksi, satu jalur pengukuran dan kring. Standar deviasi perataan jaring terkendala minimal dan deviasi standar hasil perataan jaring terkendala penuh. Standar kesalahan tinggi seperti **Tabel 5**.

**Tabel 5.** Standar Kesalahan Tinggi (BIG, 2004)

Kelas Pengukuran	Orde	Toleransi $\sigma_1, \sigma_2$ (mm)
LAA	L0	$2\sqrt{D}$
LA	L1	$4\sqrt{D}$
LB	L2	$8\sqrt{D}$
LC	L3	$12\sqrt{D}$
LD	L4	$18\sqrt{D}$

**II.5 Uji Statistik**

**II.5.1 Uji F (Distribusi Fischer)**

Uji F (Distribusi Fischer) adalah suatu analisis varians yang memungkinkan untuk mengetahui apakah dua atau lebih *mean* populasi akan bernilai sama dengan menggunakan data dari sampel populasi.

Rumus yang digunakan:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \text{ atau } F = \frac{s_2^2}{s_1^2} \quad F = \frac{\text{larger sample variance}}{\text{smaller sample variance}} \dots\dots(2.4)$$

Hipotesis nol ditolak jika:

$$F > F_{\alpha} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

F = F hitung

S1 = Nilai varian variabel 1

S2 = Nilai varian variabel 2

F $\alpha$  = F tabel

**III. Metodologi Penelitian**

**III.1 Diagram Alir Penelitian**

Penelitian terbagi dalam beberapa tahapan antara lain:

**III.1.1 Tahapan Persiapan**

Tahapan persiapan meliputi: studi literatur dan area, perencanaan GCP, ICP, jalur terbang, pemasangan *premark*, pemasangan patok titik uji dan pembuatan rencana terbang.

**III.1.2 Tahapan Akuisisi Data**

Tahapan akuisisi data meliputi pengukuran GNSS, akuisisi data foto udara (pemotretan udara), pengukuran *Total Station* dan sipat datar

**III.1.3 Tahapan Pengolahan Data**

Tahapan pengolahan data seperti pada **Gambar 5**.

**III.1.4 Tahapan Analisis**

Tahapan analisis terdiri dari analisis perbandingan tinggi DEM dengan ukuran lapangan dan perbandingan jarak orthofoto dengan ukuran lapangan serta kemudian ditarik kesimpulan.

**III.2 Alat dan Data Penelitian**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Alat

a. Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Laptop ASUS A455L: COREi3, RAM 4GB, NVIDIA 840M
2. GPS Geodetik Topcon Hiper II
3. GPS Geodetik Topcon Hiper GB
4. *Total Station* Topcon GTS-230
5. *Waterpass* Topcon AT-B4
6. UAV DJI Phantom 4

b. Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut :

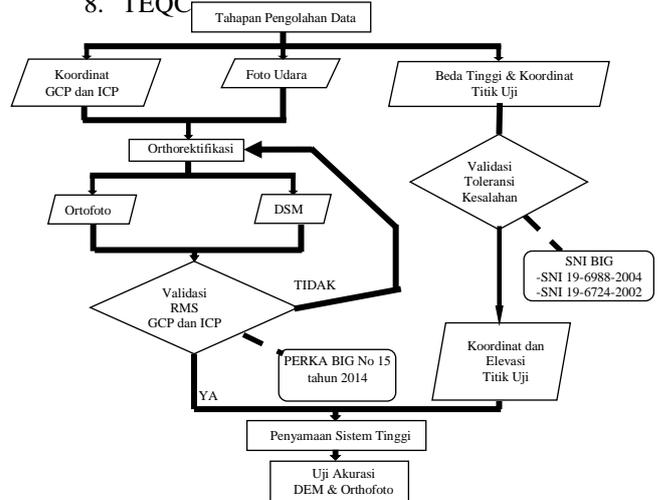
1. Agisoft Photoscan Profesional
2. ArcGIS 10.3.1
3. Global Mapper
4. DJI Go

5. Drone Deploy

6. Topcon Tools v.8.2.3

7. Topcon Link v.8.2.3

8. TEQC



**Gambar 5.** Diagram Alir Tahapan Pengolahan Data

2. Data Penelitian

Data penelitian seperti pada **Tabel 6**.

**Tabel 6.** Data Penelitian

No	Data	Tahun Akuisisi	Sumber Data
1.	Data CORS UDIP	2018	Pengukuran langsung dengan CORS UNDISP
2.	Data Foto Udara Bukit Diponegoro	2018	Pemotretan langsung di lapangan menggunakan UAV
3.	Data Pengukuran GPS	2018	Pengukuran langsung di lapangan
4.	Data Koordinat Titik Uji	2018	Pengukuran langsung di lapangan menggunakan <i>Total Station</i>
5.	Data Beda Tinggi Titik Uji	2018	Pengukuran langsung di lapangan menggunakan <i>Waterpass</i>
6.	Data Geoid	2008	Data EGM 2008

**IV. Hasil dan Pembahasan**

**IV.1 Hasil Pengolahan GNSS**

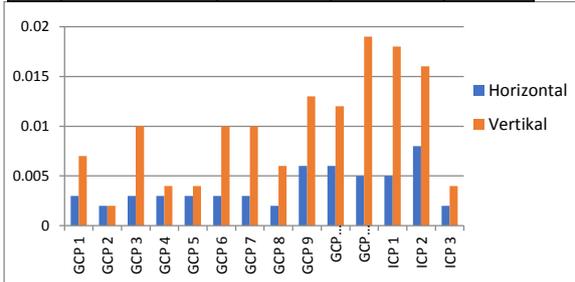
**IV.1.1 Hasil Pengolahan GNSS Titik GCP dan ICP**

Data kontrol kualitas berupa data RMS untuk mengetahui kualitas data pengolahan GPS secara horizontal maupun vertikal. Nilai RMS dari hasil pengolahan seperti pada **Gambar 6**.

Koordinat titik GCP dan ICP merupakan hasil dari penggabungan data pengukuran di lapangan dengan data *base* CORS UDIP dan GD 16 UNDISP dengan metode *radial* untuk menghasilkan koordinat definitif seperti pada Tabel 7.

Berdasarkan Gambar 6 diperoleh data bahwa nilai rata-rata RMS horizontal adalah 0,003 dan RMS vertikal adalah 0,009. Titik yang memiliki RMS horizontal dan RMS vertikal terbesar adalah GCP 11 dan ICP 2. Besarnya RMS ini merupakan faktor dari kondisi wilayah pengukuran yang memiliki banyak obstruksi seperti rumah, tiang listrik dan pepohonan sehingga mempengaruhi pancaran sinyal dari satelit ke *receiver*.

NO	NAMA PATOK	Y (m)	X (m)	h (m)
1	GCP 1	9221447,911	438075,885	205,166
2	GCP 2	9221566,612	437860,883	183,069
3	GCP 3	9221365,464	438219,297	199,375
4	GCP 4	9221616,941	438191,749	182,308
5	GCP 5	9221498,518	438091,247	205,846
6	GCP 6	9221562,086	438194,301	186,093
7	GCP 7	9221554,547	438284,690	182,388
8	GCP 8	9221454,561	438235,784	201,782
9	GCP 9	9221469,400	437917,745	194,730
10	GCP 10	9221552,628	437923,979	191,160
11	GCP 11	9221600,477	438149,613	186,528
12	ICP 1	9221418,853	438087,924	206,941
13	ICP 2	9221520,382	437968,620	189,293
14	ICP 3	9221510,221	438294,708	184,395



Gambar 6. Grafik Nilai RMS titik GCP dan ICP

Berdasarkan Gambar 6 dapat disimpulkan bahwa koordinat hasil pengukuran dan pengolahan titik GCP dan ICP dapat digunakan untuk proses pengikatan koordinat foto terhadap koordinat tanah karena memiliki simpangan baku yang kecil.

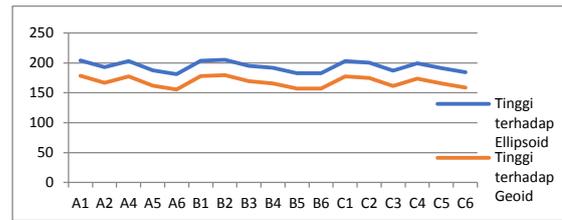
Tabel 7. Koordinat Definitif Titik GCP dan ICP

#### IV.2 Hasil Pengolahan Total Station dan Waterpass

Hasil dari tahap pengolahan data Total Station dan Waterpass akan digunakan sebagai data titik uji. Data koordinat titik uji akan di peroleh dari pengolahan data Total Station sedangkan data elevasi titik uji akan diperoleh dari pengolahan data Waterpass. Nilai koordinat dan elevasi titik uji dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Koordinat dan Tinggi Orthometrik Titik Uji

NO	NAMA PATOK	NORTHING (m)	EASTING (m)	TINGGI ORTHOMETRIK (m)
1	A1	9221448,048	438095,993	178,619
2	A2	9221489,48	437926,57	166,925
3	A4	9221497,43	438130,65	177,315
4	A5	9221576,03	438153,79	161,809
5	A6	9221601,73	438225,98	155,395
6	B1	9221470,15	438169,92	178,096
7	B2	9221517,38	438114,06	179,609
8	B3	9221508,26	437908,44	169,299
9	B4	9221502,41	437960,64	165,882
10	B5	9221525,15	438289,75	157,213
11	B6	9221609,15	438178,33	157,149
12	C1	9221459,74	438123,36	177,331
13	C2	9221476,52	438003,64	174,496
14	C3	9221557,4	437883,61	161,333
15	C4	9221427,07	438246,28	173,433
16	C5	9221456,5	438297,59	165,803
17	C6	9221573,97	438193,73	158,511



Gambar 7. Grafik Tinggi Ellipsoid dan Tinggi Orthometrik Titik Uji

Berdasarkan Tabel 8 dan Gambar 7 hasil tinggi orthometrik dapat langsung digunakan sebagai data pembandingan orthofoto dan DEM hasil ekstraksi pengolahan foto udara karena pengaruh geoid secara menyeluruh hanya mempengaruhi tinggi dalam orde milimeter. Tinggi orthometrik dapat digunakan sebagai acuan tinggi titik uji terhadap geoid.

#### IV.3 Hasil Pengolahan Foto Udara

##### IV.3.1 Hasil Akuisisi Foto Udara

Berdasarkan rencana jalur terbang yang sudah di desain dapat diperoleh foto sesuai dengan Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Akuisisi Foto Udara

No	Jalur terbang	Luas Cakupan Area	Lama Waktu Akuisisi	Jumlah Foto
1	Jalur terbang 1	20 ha	10:21	129
2	Jalur terbang 2	20 ha	10:34	131

Hasil akuisisi foto udara tersebut dari total 260 foto yang mencakup luasan daerah yang sama namun memiliki arah terbang yang saling tegak lurus akan melalui pengolahan data secara bersamaan sehingga didalam proses pengolahan foto akan saling tumpang tindih untuk saling mengkoreksi dan akan menghasilkan data yang teliti. Kualitas dari seluruh foto dalam kondisi baik sehingga seluruh foto berjumlah 260 foto ikut dalam pengolahan.

##### IV.3.2 Hasil dan Analisis Proses Pembentukan Orthofoto

Kualitas proses pembentukan orthofoto ditentukan menurut kelas ketelitian berdasarkan ukuran piksel yang dihasilkan sesuai dengan Tabel 2. Besar ukuran piksel adalah 4,93 cm/pix. Kelas ketelitian proses pembentukan orthofoto seperti pada Tabel 10.

Tabel 10. Kelas Standar Akurasi untuk Orthofoto

Kelas	Nilai RMSE (cm)
I	2,465
II	4,93
III	7,395

Tabel 11. Nilai RMSEHorizontal Titik GCP

Titik	XY error (pix)	XY error (m)	DX <sup>2</sup> + DY <sup>2</sup>
GCP 1	0,088	0,0215332	0,00046
GCP 2	0,086	0,060792	0,00368
GCP 3	0,076	0,054908	0,00301
GCP 4	0,077	0,0447288	0,00199
GCP 5	0,071	0,0578427	0,00334
GCP 6	0,054	0,0558853	0,00312
GCP 7	0,064	0,101303	0,01026
GCP 8	0,087	0,0537739	0,00289
GCP 9	0,082	0,0828052	0,00685
GCP 10	0,083	0,0222342	0,00049
GCP 11	0,086	0,0368621	0,00135
<b>Total</b>	<b>0,080</b>	<b>0,0583874</b>	<b>0,03744</b>
<b>RMSE</b>			<b>0,0584</b>

Tabel 12. Nilai RMSEVertikal Titik GCP

Titik	Z error (pix)	Z error (m)	DZ <sup>2</sup>
GCP 1	0,088	0,0269553	0,00072
GCP 2	0,086	0,0650561	0,00423
GCP 3	0,076	0,0237878	0,00056
GCP 4	0,077	0,00444201	0,00001
GCP 5	0,071	0,0290721	0,00084
GCP 6	0,054	0,0287147	0,00082
GCP 7	0,064	0,0514175	0,00264

GCP 8	0,087	0,0295106	0,00087
GCP 9	0,082	0,0135404	0,00018
GCP 10	0,083	0,13201	0,01742
GCP 11	0,086	0,00896333	0,00008
Total	0,080	0,0508287	0,02837
RMSE			0,0508

Berdasarkan Tabel 11 dan Tabel 12 diketahui nilai RMSEHorizontal sebesar 0,0584 dan nilai RMSEVertikal sebesar 0,0508.

Hasil proses triangulasi udara masuk pada kelas ketelitian III karena nilai RMSE GCP sebesar 0,0584 dan 0,0508 lebih kecil dari nilai RMSE kelas ketelitian III sebesar 7,395. Meskipun proses orthorektifikasi berada di kelas ketelitian III namun hasil orthorektifikasi cukup teliti karena nilai RMSE baik horizontal maupun vertikal cukup kecil. Hasil orthofoto dapat dilihat pada Gambar 8.



(a) Low (b) Medium (c) High

Gambar 8. Hasil Orthofoto menurut Densitas Point Cloud

Pembentukan orthofoto memiliki hasil tersendiri menurut masing-masing densitas point cloud. Semakin tinggi densitas point cloud yang dimiliki maka akan semakin jelas objek yang dihasilkan. Orthofoto yang dihasilkan selanjutnya akan diuji akurasi planimetriknya dengan membandingkan jarak objek di orthofoto dengan pengukuran lapangan.

IV.3.3 Hasil Perbandingan Jarak

Perbandingan jarak antara objek di orthofoto metode densitas point cloud low, medium dan high dengan pengukuran lapangan dapat dilihat pada Tabel 13.

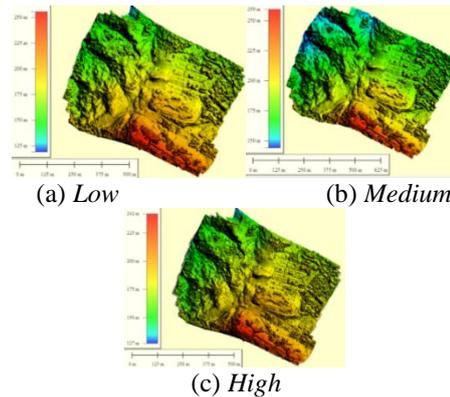
Tabel 13. Perbandingan Jarak di Orthofoto dan Pengukuran Lapangan

No	Jarak di Orthofoto			Jarak Lapangan	Selisih Jarak (D)		
	Low (m)	Med (m)	High (m)		Low (m)	Med (m)	High (m)
1	8,702	8,672	8,675	8,670	0,032000	0,002000	0,005000
2	6,302	6,236	6,270	6,260	0,042000	-0,024000	0,010000
3	3,765	3,738	3,760	3,760	0,005000	-0,022000	0,000000
4	5,532	5,501	5,515	5,510	0,022000	-0,009000	0,005000
5	43,071	43,062	43,048	43,050	0,021000	0,012000	-0,002000
				TOTAL	0,1220	-0,0410	0,0180
				RATA-RATA	0,0407	-0,0137	0,0060

Berdasarkan Tabel 13 diketahui bahwa selisih jarak terkecil dimiliki oleh orthofoto densitas pointcloud high, hal ini dikarenakan objek yang dihasilkan lebih jelas sehingga interpretasi objek menjadi lebih jelas sehingga selisih jarak lebih kecil.

IV.3.4 Hasil dan Analisis Proses Pembentukan DEM

Hasil DEM yang dibentuk dari proses pengolahan foto udara UAV yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 9. Berdasarkan hasil DEM yang terbentuk diketahui bahwa tinggi maksimal dan minimal dari area penelitian di Bukit Diponegoro adalah sebesar 259 m dan 145 m. Sedangkan rata-rata tinggi adalah kurang lebih sebesar 200 m.



Gambar 9. Hasil DEM menurut Densitas Point Cloud

Densitas point cloud DEM yang didapatkan adalah sebesar 39,1 cm/piksel dengan kerapatan titik interpolasi sebesar 6,55 titik/m<sup>2</sup> untuk metode densitas point cloud low, 19,7 cm/piksel dengan

NO	Z WP (m)	Z LOW (m)	SELISIH WP-LOW (m)	Z MED (m)	SELISIH WP-MED (m)	Z HIGH (m)	SELISIH WP-HIGH (m)
A1	178,618744	179,225	-0,606	178,795	-0,176	178,360	0,259
A2	166,924412	167,708	-0,783	167,332	-0,408	166,230	0,694
A4	177,313744	177,810	-0,496	177,628	-0,315	177,178	0,136
A5	161,81001	162,346	-0,536	161,867	-0,057	162,143	-0,333
A6	155,395112	155,919	-0,524	155,806	-0,411	155,831	-0,436
B1	178,096378	178,609	-0,513	178,429	-0,333	178,195	-0,098
B2	179,607878	180,148	-0,540	180,155	-0,547	178,750	0,858
B3	169,300452	170,009	-0,709	169,708	-0,407	169,424	-0,123
B4	165,883452	166,345	-0,462	165,500	0,383	166,273	-0,389
B5	157,149612	157,683	-0,533	157,661	-0,511	157,194	-0,044
B6	157,212245	157,601	-0,389	157,325	-0,113	156,980	0,232
C1	177,330744	177,953	-0,622	177,578	-0,247	177,039	0,291
C2	174,495912	174,686	-0,190	174,011	0,484	174,011	0,485
C3	161,333452	162,182	-0,848	161,580	-0,246	161,213	0,121
C4	173,433428	174,039	-0,606	174,087	-0,654	173,512	-0,079
C5	165,804745	166,072	-0,268	166,252	-0,447	165,515	0,289
C6	158,510492	159,062	-0,551	158,584	-0,074	158,696	-0,185
			TOTAL		-9,176		1,678
			RATA2		-0,540		0,099

kerapatan titik interpolasi sebesar 25,96 titik/m<sup>2</sup> untuk metode densitas point cloud medium, 9,82 cm/piksel dengan kerapatan titik interpolasi sebesar 103,705 titik/m<sup>2</sup> untuk metode densitas point cloud high. DEM merupakan proses interpolasi dari beberapa pointcloud yang telah diekstraksi dari foto udara. DEM dengan metode pembentukan yang berbeda memiliki densitas point cloud yang berbeda karena pembentukan DEM dipengaruhi oleh jumlah dense cloud dan juga kerapatan titik yang dibentuk.

Pembentukan DEM memiliki hasil tersendiri menurut masing-masing densitas point cloud. Semakin tinggi densitas point cloud yang dimiliki maka akan semakin kasar DEM yang dihasilkan. DEM yang dihasilkan selanjutnya akan diuji akurasi vertikalnya dengan membandingkan tinggi titik uji pada DEM dengan pengukuran lapangan.

IV.3.5 Hasil Perbandingan Tinggi

Perbandingan tinggi antara titik uji pada DEM metode densitas point cloud low, medium dan high dengan pengukuran lapangan dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Perbandingan Tinggi di DEM dan Pengukuran Lapangan

Berdasarkan Tabel 14 diketahui bahwa selisih tinggi terkecil dimiliki oleh DEM densitas pointcloud high, hal ini dikarenakan interpolasi dalam pembentukan DEM lebih detail apabila dengan data kerapatan pointcloud yang lebih rapat

sehingga akan lebih detail dalam merepresentasikan bentuk permukaan yang dimodelkan sehingga selisih jarak lebih kecil.

**IV.4 Hasil dan Analisis Uji Ketelitian Produk Peta**

Kualitas dari produk peta yang dibentuk dari hasil pengolahan diketahui dari proses analisis ketelitian ICP secara *premark* dan perbandingan koordinat titik uji dengan orthofoto secara *postmark*. Peraturan yang digunakan sebagai acuan untuk ketelitian orthofoto adalah Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 yang tercantum pada bab II.10.4 yang diterapkan pada titik ICP dan titik uji. Berikut adalah hasil RMSE secara horizontal maupun vertikal titik ICP pada **Tabel 15** dan **Tabel 16**.

**Tabel 15. RMSE Horizontal titik ICP**

Titik	Error (pix)	XY error(m)
ICP 1	0,067	0,0629646
ICP 2	0,079	0,0909835
ICP 3	0,086	0,0737752
Total	0,079	0,0767796
RMSE		0,0767

**Tabel 16. RMSE Vertikal titik ICP**

Titik	Error (pix)	Z error(m)
ICP 1	0,067	0,0693853
ICP 2	0,079	0,267078
ICP 3	0,086	0,110345
Total	0,079	0,171582
RMSE		0,1716

Berdasarkan Tabel 15 dan Tabel 16 dapat dihitung besarnya nilai CE90 dan LE90. Perhitungan nilai CE dan LE dapat dilihat pada **Tabel 17** dan **Tabel 18** sesuai rumus 2.2 dan 2.3.

$$CE90 = 0,1164$$

**Tabel 17. Perhitungan CE90 Titik ICP**

RMSEHorizontal(m)	CE90 (m)	Skala Foto	Kelas
0,0767	0,1164	1:1.000	Kelas 1

$$LE90 = 0,2831$$

**Tabel 18. Perhitungan LE90 Titik ICP**

RMSEVertikal(m)	CE90 (m)	Skala Foto	Kelas
0,1716	0,2831	1:1.000	Kelas 2

Berdasarkan Tabel 17 dan Tabel 18 yang merupakan perhitungan CE90 dan LE90 dapat diketahui skala foto yang dihasilkan adalah 1:1.000 dan berada di kelas 2. Berikut adalah hasil RMSE secara horizontal maupun vertikal titik uji pada **Tabel 19** dan **Tabel 20**.

**Tabel 19. RMSE Horizontal Titik Uji**

TTIK	DY (m)	DX (m)	DY <sup>2</sup> (m)	DX <sup>2</sup> (m)	DX <sup>2</sup> + DY <sup>2</sup> (m)
1	-0,088	-0,238	0,008	0,057	0,064
2	0,300	-0,245	0,090	0,060	0,150
3	-0,612	0,058	0,375	0,003	0,378
4	-0,308	-0,426	0,095	0,181	0,276
5	-0,122	0,036	0,015	0,001	0,016
6	-0,460	-0,408	0,212	0,166	0,378
7	-0,212	-0,231	0,045	0,053	0,098
8	-0,150	-0,215	0,023	0,046	0,069
9	-0,015	-0,162	0,000	0,026	0,026
10	-0,092	-0,201	0,008	0,040	0,049
11	-0,210	-0,417	0,044	0,174	0,218
12	-0,321	-0,596	0,103	0,355	0,458
13	-0,285	-0,318	0,081	0,101	0,182
14	-0,195	-0,383	0,038	0,147	0,185
15	-0,092	-0,296	0,008	0,088	0,096
16	-0,248	-0,242	0,062	0,059	0,120
17	0,470	0,474	0,221	0,225	0,446
18	0,091	-0,127	0,008	0,016	0,024
19	-0,164	-0,200	0,027	0,040	0,067
20	-0,282	-0,039	0,080	0,002	0,081
			RMSE		0,227

**Tabel 20. RMSE Vertikal Titik Uji**

TTIK	DZ	DZ <sup>2</sup>
1	-0,275	0,076
2	-0,231	0,053
3	-0,275	0,076

4	-0,345	0,119
5	-0,431	0,186
6	-0,247	0,061
7	0,284	0,081
8	-0,245	0,060
9	-0,275	0,076
10	-0,222	0,049
11	-0,376	0,141
12	0,206	0,042
13	-0,228	0,052
14	0,324	0,105
15	0,274	0,075
16	0,349	0,122
17	0,289	0,084
18	0,427	0,182
19	0,310	0,096
20	-0,321	0,103
	RMSE	0,122

Berdasarkan Tabel 19 dan Tabel 20 dapat dihitung besarnya nilai CE90 dan LE90. Perhitungan nilai CE dan LE dapat dilihat pada **Tabel 21** dan **Tabel 22** sesuai rumus 2.2 dan 2.3.

$$CE90 = 0,357$$

**Tabel 21. Perhitungan CE90 Titik Uji Postmark**

RMSEHorizontal(m)	CE90 (m)	Skala Foto	Kelas
0,227	0,357	1:1.000	Kelas 3

$$LE90 = 0,201$$

**Tabel 22. Perhitungan LE90 Titik Uji Postmark**

RMSEVertikal(m)	CE90 (m)	Skala Foto	Kelas
0,122	0,201	1:1.000	Kelas 2

Berdasarkan Tabel 21 dan Tabel 22 yang merupakan perhitungan CE90 dan LE90 dapat diketahui skala foto yang dihasilkan adalah 1:1.000 dan berada di kelas 3.

**IV.5 Uji F**

**IV.5.1 Uji F Perbandingan Jarak**

Perhitungan uji F dan penarikan kesimpulan uji F sesuai dengan rumus 2.4 dan 2.5.

1. Hubungan jarak orthofoto densitas *point cloud low (a)* dan *medium (b)*

Fab hitung	8,854253421
Foc/2ab tabel	10,0070

Dari uji hipotesis 0 (H0) menyatakan bahwa F hitung lebih kecil dari F tabel, maka H0 diterima berarti tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara perbandingan jarak metode densitas *point cloud low* dan *medium*.

2. Hubungan jarak orthofoto densitas *point cloud low (a)* dan *high (c)*

Fac hitung	45,9382716
Foc/2ac tabel	10,0070

Dari uji hipotesis 0 (H0) menyatakan bahwa F hitung lebih kecil dari F tabel, maka H0 ditolak berarti terjadi perbedaan yang signifikan antara perbandingan jarak metode densitas *point cloud low* dan *high*.

3. Hubungan jarak orthofoto densitas *point cloud medium (b)* dan *high (c)*

Fbc hitung	5,188271605
Foc/2bc tabel	10,0070

Dari uji hipotesis 0 (H0) menyatakan bahwa F hitung lebih kecil dari F tabel, maka H0 diterima berarti tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara perbandingan jarak metode densitas *point cloud medium* dan *high*.

**IV.5.2 Uji F Perbandingan Tinggi**

Perhitungan uji F dan penarikan kesimpulan uji F sesuai dengan rumus 2.4 dan 2.5.

1. Hubungan tinggi DEM densitas *point cloud low (a)* dan *medium (b)*

Fab hitung	2,191538224
------------	-------------

F <sub>cc</sub> /2ab tabel	6.0420
----------------------------	--------

Dari uji hipotesis 0 (H<sub>0</sub>) menyatakan bahwa F hitung lebih kecil dari F tabel, maka H<sub>0</sub> diterima berarti tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara perbandingan tinggi metode densitas *point cloud low* dan *medium*.

2. Hubungan tinggi DEM densitas *point cloud low (a)* dan *high (c)*

F <sub>cc</sub> hitung	2,34447498
F <sub>cc</sub> /2ac tabel	6.0420

Dari uji hipotesis 0 (H<sub>0</sub>) menyatakan bahwa F hitung lebih kecil dari F tabel, maka H<sub>0</sub> diterima berarti tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara perbandingan tinggi metode densitas *point cloud low* dan *high*.

3. Hubungan tinggi DEM densitas *point cloud medium (b)* dan *high (c)*

F <sub>bc</sub> hitung	1,069785119
F <sub>cc</sub> /2bc tabel	6.0420

Dari uji hipotesis 0 (H<sub>0</sub>) menyatakan bahwa F hitung lebih kecil dari F tabel, maka H<sub>0</sub> diterima berarti tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara perbandingan tinggi metode densitas *point cloud medium* dan *high*.

## V. Kesimpulan dan Saran

### V.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan pada proses yang telah dilakukan antara lain :

1. Berdasarkan Perka BIG Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar, akurasi horizontal (CE90) dan akurasi vertikal (LE90) secara *premark* dan *postmark* produk peta hasil pemotretan udara menggunakan UAV DJI Phantom 4 mampu memenuhi standar ketelitian kelas 3 untuk peta skala 1:1.000 kesalahan posisi peta dasar dengan tingkat kepercayaan 90% yaitu sebesar 50 cm untuk ketelitian horizontal dan 1 m untuk ketelitian vertikal.
2. Berdasarkan hasil analisis perbandingan jarak objek pada peta orthofoto dengan pengukuran lapangan, ada perbedaan ketelitian jarak yang dihasilkan oleh pembentukan orthofoto dengan densitas *pointcloud* yang berbeda. Metode pembentukan orthofoto yang paling baik adalah densitas *high* memiliki selisih rata-rata nilai perbandingan jarak ukuran objek pada model dengan ukuran objek di lapangan sebesar 0,0060 m untuk densitas *point cloud* tinggi, 0,0137 m untuk densitas *point cloud* sedang dan 0,0407 m untuk densitas *point cloud* rendah. Namun berdasarkan hasil analisis uji F hanya metode antara densitas *pointcloud* rendah dan tinggi yang terjadi perbedaan signifikan.
3. Berdasarkan hasil analisis perbandingan tinggi titik uji pada DEM dengan pengukuran lapangan, ada perbedaan ketelitian tinggi yang dihasilkan oleh pembentukan DEM dengan densitas *pointcloud* yang berbeda. Metode pembentukan DEM yang paling baik adalah densitas *high* memiliki selisih rata-rata nilai perbandingan

tinggi titik uji pada model dengan tinggi di lapangan sebesar 9,9 cm untuk densitas *point cloud* tinggi, 24 cm untuk densitas *point cloud* sedang dan 54 cm untuk densitas *point cloud* rendah. Namun berdasarkan hasil analisis uji F semua metode tidak terjadi perbedaan signifikan.

### V.2 Saran

Dari penelitian yang dilakukan, penulis memiliki beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian sejenis selanjutnya yakni :

1. Pada tahap persiapan harus direncanakan secara baik dari segi pengetahuan, persiapan, perencanaan, desain, alat dan penunjang penelitian lainnya
2. Proses akuisisi data harus direncanakan secara matang agar penelitian dapat maksimal dan optimal.
3. Pemilihan titik GCP, ICP dan titik uji agar tersebar secara merata dan berada pada lokasi yang mudah diidentifikasi.
4. Pada tahap pemotretan udara usahakan tinggi terbang, *sidelap*, dan *overlap* diatur paling optimal agar data yang dihasilkan valid.
5. Pada pengembangan penelitian ini untuk perhitungan nilai undulasi agar lebih presisi dapat dengan melakukan pengukuran *waterpass* dari Titik Tinggi Geodesi (TTG) terdekat dari area penelitian.

### Daftar Pustaka

- Abidin, H. Z. (2001). *Geodesi Satelit*. PT. Pradnya Paramita.
- Agisoft, 2016. *Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.2.6* St. Petersburg, Rusia : Agisoft LLC.
- ASPRS. 2014. *ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*. Bethesda
- Bäumker, M. dan Heimes F. J. 2001. *New Calibration and Computing Method for Direct Georeferencing of Image and Scanner Data Using the Position and Angular Data of and Hybrid Inertial Navigation System*. FH Bochum University of Applied Sciences.
- BIG. (2002). SNI BIG 19-6724-2002. Jaring Kontrol Horizontal, Bogor.
- BIG. (2004). SNI BIG 19-6988-2004. Jaring Kontrol Vertikal dengan Metode Sipat Datar, Bogor.
- BIG. (2014). Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Badan Informasi Geospasial (BIG). BIG.
- BIG. (2017). Modul Validasi Peta Rencana Tata Ruang, Sumber Data dan Peta Dasar, Bogor.
- Bermana I. (2006). Klasifikasi Geomorfologi Untuk Pemetaan Geologi Yang Telah Dibakukan. *Laboratorium Geomorfologi dan Geologi Foto, Jurusan Geologi, FMIPA, UNPAD*.
- Brinker C. R. dan Wolf P. R.. (1984a). *Dasar-Dasar Pengukuran Tanah jilid 1*. Jakarta: Erlangga.

- Brinker C. R. dan Wolf P. R.. (1984b). *Dasar-Dasar Pengukuran Tanah jilid 2* (7 ed.). Jakarta: Erlangga.
- Hadi, B.S. 2007. *Dasar-dasar Fotogrammetri*. Skripsi. Fakultas Ilmu Sosial Ekonomi, Pendidikan Geografi, Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Lojoo. (2011, Januari 19). Kesalahan pada Foto Udara. Diambil dari <http://lojooblog.blogspot.com/2011/01/kesalahan-pada-foto-udara.html>
- Maune, D. (2017). *Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual, 3rdEdition* (3 ed.). Coastal GeoTools Conference.
- Nisrina, N. (2016). Persebaran titik GCP dan ICP dan Uji Ketelitian Peta Dasar Perka BIG (2).
- Rakapuri, G. (2016). *Pemodelan Geoid Lokal Universitas Diponegoro Semarang. Oktober 2016*.
- Wolf, P. R., Gunadi, Gunawan, T. dan Zunarnen. (1993). *Elemen fotogrametri: dengan interretasi foto udara dan penginderaan jauh*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.