

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*

*Unmanned Aerial Vehicle* merupakan sebuah wahana udara tanpa awak yang dikendalikan menggunakan *remote control* atau tanpa seorang pilot (*autopilot*). *Auto pilot* merupakan suatu sistem yang dapat memandu gerak terbang pesawat tanpa adanya campur tangan dari manusia (Fadjrie, 2019).

Salah satu merk pabrikan UAV yang banyak digunakan saat ini adalah DJI. **gambar 2.1** menunjukkan salah satu tipe UAV dari DJI yaitu Phantom 4 Pro. Penggunaan UAV ini dalam pemetaan dapat mendukung hasil foto yang baik dengan sensor yang digunakannya, penggunaan 4(empat) rotor penggerak didukung dengan gimbal kamera membuat foto yang dihasilkan tegak dengan tinggi yang sama pada setiap fotonya.



**Gambar 2.1** DJI Phantom 4 Pro

(sumber: [www.dji.com](http://www.dji.com))

#### 2.2 GPS EMLID Reach M +

Pada umumnya UAV yang digunakan untuk pemetaan telah membawa GPS yang digunakan untuk penentuan posisi dari UAV itu sendiri, GPS yang digunakan adalah GPS navigasi yang memiliki ketelitian dalam satuan meter (m), GPS ini terhubung langsung kedalam sistem terbang UAV untuk kebutuhan terbang secara *autopilot*.

Saat ini sudah tersedia dipasaran sejumlah GPS modul yang mampu merekam *raw* data fase GPS dan *pseudorange*. Fitur ini membuka peluang untuk memanfaatkan metode survei *differential* GPS (DGPS) dan GPS kinematik menggunakan data fase yang lebih akurat dari pada penentuan posisi *absolut*. (Catur Aries Rokhmana, 2016)

EMLID menjadi salah satu pabrikan yang menjual modul GPS untuk kebutuhan pemetaan fotogrametri UAV. EMLID Reach M+ adalah salah satu tipe dari modul GPS yang dapat digunakan. Mendukung perekaman data secara RTK dan data untuk pengolahan metode PPK alat ini memberikan informasi koordinat dalam akurasi centimeter.



**Gambar 2.2** Receiver EMLID Reach M+

(sumber: [www.emlid.com](http://www.emlid.com))

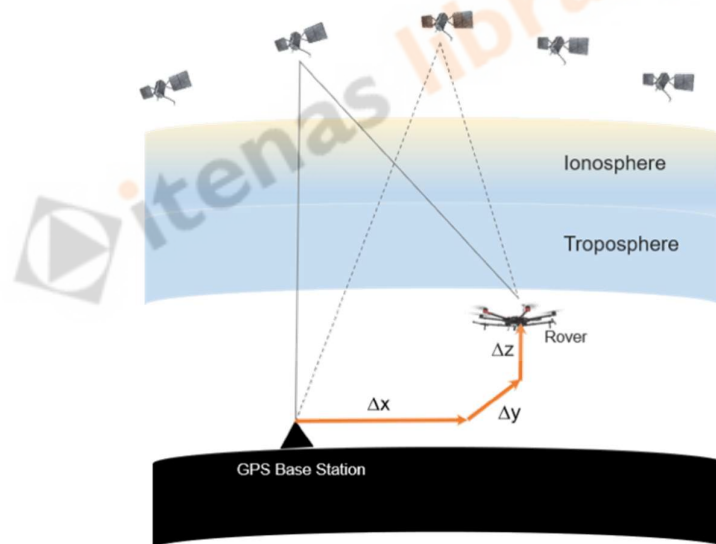
Dengan spesifikasi *single band frequency* perekaman data hingga 14Hz dan jarak *baseline* terjauh alat ini adalah 20km untuk metode PPK, alat ini mampu mendukung pemetaan fotogrametri UAV secara efektif dan efisien.

### 2.3 PPK

*Post Processing Kinematik (PPK)* adalah salah satu metode pengolahan GPS berbasis data fase. PPK menjadi bagian dalam *relative positioning* GPS metode yang membutuhkan dua *receiver* GPS untuk melakukan pengamatan secara simultan terhadap satelit yang sama. Dua *receiver* tersebut bekerja saling mengikat antara *base-rover*.

Dalam *relative positioning*, *base station* melakukan pengukuran jarak (*pseudorange* dan *carrier phase ranging*) dengan menggunakan parameter-parameter yang ditransmisikan oleh satelit. Nilai jarak yang terukur kemudian

diolah sedemikian rupa sehingga menghasilkan koordinat posisi *base station* per *epoch* pengamatan. Koordinat hasil olahan per *epoch* yang diperoleh pastinya berbeda dengan koordinat referensi *base station* yang telah ditentukan sebelumnya. Oleh karena itu, *receiver base station* kembali melakukan perhitungan jarak, namun parameter hitungan yang digunakan kali ini adalah koordinat referensi *base station*. Nilai jarak yang dihitung dengan menggunakan parameter dari satelit tentunya berbeda dengan nilai jarak yang dihitung dengan menggunakan koordinat referensi. Selisih perbedaan nilai jarak tersebut selanjutnya dianggap sebagai *range bias*. Dengan menggunakan nilai *range bias* yang terhitung, masing-masing jenis kesalahan dapat dimodelkan, ditentukan nilainya, dan selanjutnya digunakan oleh *rover* sebagai nilai koreksi untuk perhitungan koordinat (Sickle, 2008). Nilai koreksi tersebut dapat mengeliminir kesalahan *rover* dengan sempurna jika jarak (*baseline*) *base station* dan *rover* tidak terlalu jauh. (Permana, 2017)



**Gambar 2.3** Metode *Relative Positioning GPS*

(sumber: [www.geodetics.com](http://www.geodetics.com))

## 2.4 Geotagging

Penambahan informasi posisi data GPS dalam sebuah foto digital dinamakan *geotagging*. Dengan proses ini informasi letak pengambilan gambar digital pada foto dapat diketahui. Foto digital yang telah ter-geotag memuat

informasi mengenai posisi sensor kamera pada saat pemotretan yang ditunjukkan dengan nilai koordinat titik eksposur dalam metadatanya. *Geotagging* pada media foto digital dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu secara otomatis dengan menggunakan kamera digital yang telah dilengkapi dengan sensor GPS, maupun secara manual (dengan cara sinkronisasi waktu antara GPS dengan kamera) jika kamera digital tidak dilengkapi dengan sensor GPS (Kakaes, dkk., 2015 pada (Sukma Gede., 2017)

Proses *geotagging* yang teliti sangat tergantung pada waktu, perbedaan perekaman data GPS dan pemotretan foto akan memberikan hasil *geotagging* yang kurang teliti, kontrol dalam proses ini ada pada *log time* waktu perekaman GPS dan pemotretan foto, penyamaan waktu harus dilakukan untuk dapat memberikan hasil *geotagging* yang teliti.

### **2.5 Structure From Motion**

*Structure from Motion* (SfM) merupakan salah satu teknik fotogrametri yang digunakan untuk membentuk model tiga dimensi suatu fitur/objek maupun topografi permukaan bumi dari sekumpulan foto (gambar) dua dimensi. SfM beroperasi dengan prinsip kerja yang sama seperti metode fotogrametri konvensional yang menggunakan pendekatan stereoskopik (stereo parallax), yaitu pembentukan struktur 3D dari sekumpulan foto udara yang saling bertampalan. (Permana, 2017). Menurut (Westoby, 2012 pada Fadjrie, 2019) fotogrametri SfM berbeda dari pendekatan fotogrametri tradisional, sebab penentuan geometri didasarkan pada posisi kamera dan orientasi secara otomatis tanpa perlu set *ground control* yang ditentukan sebelumnya. Metode ini memiliki beberapa keuntungan, yaitu biaya yang relatif rendah dan mempunyai tingkat akurasi yang tinggi. Penggunaan metode SFM dalam pengolahan foto udara digital saat ini telah didukung oleh banyaknya *software* pengolahan yang menawarkan aplikasi pengolahan mereka secara gratis (*open source*) salah satu *software* pengolahan yang banyak digunakan saat ini adalah *Agisoft Photoscan*. Dalam SfM, posisi dan orientasi kamera dipecahkan secara otomatis tanpa memerlukan target/titik kontrol yang mempunyai informasi koordinat 3D yang sudah diketahui. Hal ini dimungkinkan karena algoritma bundle adjustment yang digunakan merupakan

algoritma terbaru hasil modifikasi sehingga memiliki sifat yang lebih redundan dan iteratif (Westoby, dkk., 2012). Titik-titik yang menjadi kontrol/pengikat antar foto adalah piksel-piksel dalam foto itu sendiri (keypoint yang telah diseleksi dan diekstrak secara otomatis oleh algoritma feature detection). Piksel yang telah diseleksi dan diekstrak secara otomatis dari berbagai foto ini kemudian menghasilkan point cloud yang tidak memiliki koordinat serta skala yang benar, sehingga tetap dibutuhkan georeferencing dengan GCP namun dalam jumlah yang sangat sedikit (Westoby, dkk., 2012).

Besarnya presentase pertampalan dan kualitas foto menjadi kunci terhadap ketelitian hasil pada pengolahan metode ini, banyak penelitian menunjukkan bahwa besar *overlap* yang baik untuk metode ini yaitu 80% dan *sidelap* 70%.

## 2.6 Triangulasi Udara

Triangulasi Udara (*Aerial Triangulation*) merupakan salah satu tahapan yang terpenting dalam pemetaan secara fotogrametrik. AT menghasilkan koordinat titik-titik kontrol minor vertikal dan horisontal secara fotogrametrik dengan masukan foto udara, titik kontrol tanah, dan titik kontrol udara (GPS). Titik kontrol minor tersebut digunakan untuk mengontrol proses pengolahan foto udara selanjutnya (plotingstereo, ortofoto, rektifikasi, dsb.) baik secara analog, analitis, atau digital.

Tahap pertama dalam proses ini adalah mencari titik ikat antar foto secara otomatis menggunakan teknik *image matching*. Titik ikat foto yang dihasilkan dengan teknik otomatis ini biasanya sangat banyak, sehingga perlu dilakukan pemisahan atau penyaringan (*filtering*) dari kesalahan besar (*blunder*). Pengadaan sejumlah *tie point* (titik ikat) di area pertampalan foto udara dapat mengurangi jumlah minimal GCP yang dibutuhkan melalui (I Gede., 2017)

*Block Bundle Adjustment* adalah program yang memproses pengukuran fotografi untuk menghasilkan koordinat XYZ akhir dari semua titik yang diukur. Proses ini dilakukan untuk menghindari kesalahan posisi dan orientasi masing-masing foto udara yang terlibat, EOP setiap foto udara dapat ditentukan secara bersamaan (relatif antara satu dengan lainnya/*relative orientation*). Untuk melakukan ini harus dilakukan triangulasi terhadap titik target, Orientasi foto dan

*Self-calibrate* kamera. Kekuatan sebenarnya dari BBA adalah mampu melakukan komputasi ketiga hal ini secara bersamaan. Program ini memerlukan nilai pendekatan dari parameter yang dicari dan harus memiliki orientasi awal untuk setiap foto untuk memulai. Parameter yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

1. Koordinat XYZ (dan perkiraan akurasi) untuk setiap titik.
2. Koordinat XYZ dan 3 sudut yang bertujuan (dan perkiraan akurasi) untuk setiap gambar.
3. Parameter kalibrasi kamera (dan perkiraan keakuratannya).

### **2.7 Ground Control Point & Independent Check Point**

Pada fotogrametri klasik, GCP harus terdistribusi rata di seluruh *block*, sedangkan pada UAV-SFM fotogrametri dengan penggunaan kamera non-metrik, opsi terbaik untuk persebaran GCP secara berjarak di bagian sisi dan tengah area (Sanz Enoc Ablanado, 2018)

Titik GCP ditandai dengan premark yang terpasang dilapangan dan harus menggunakan material yang dapat memantulkan cahaya, posisi penempatan titik harus berada di lokasi yang memiliki area bukaan langit yang luas dan tanpa penghalang apapun.

*Independent Check Point (ICP)* adalah titik-titik yang tersebar dilapangan dan diukur koordinatnya menggunakan GPS Geodetik, tujuan dari persebaran titik ICP adalah sebagai kontrol akurasi dari hasil triangulasi udara yang dilakukan. Besar error dari ICP dapat menjadi nilai kesalahan yang diakibatkan pada proses *georeferencing (dome effect)*.

### **2.8 Ground Sampling Distance**

*Ground Sampling Distance* adalah definisi dari nilai ukuran terkecil satu piksel yang terekam kamera. GSD didapatkan dari perbandingan jarak antara ukuran sensor dari permukaan (Zhang, et al., 2019). Penggunaan kamera dengan sensor yang tinggi dapat menghasilkan nilai GSD yang kecil, dimana nilai tersebut dapat berarti foto yang dihasilkan akan terlihat jelas.

Besar nilai GSD berpengaruh terhadap hasil pengolahan foto udara, perencanaan tinggi terbang dan penggunaan kamera perlu memperkirakan nilai GSD yang ingin dicapai.

## 2.9 RMSE ASPRS 2014 *Quality Control*

*Root Mean Square Error* atau yang RMSE merupakan nilai rata-rata dari perbandingan nilai koordinat pada data dengan nilai koordinat dari sumber independent dengan akurasi yang memiliki nilai akurasi tinggi (ASPRS, 2014). RMSE merupakan ukuran akurasi dari suatu presiksi besaran. Semakin besar nilai RMSE, maka semakin besar kesalahan hasil ukuran terhadap nilai yang dianggap benar. (Setianto, 2019)

ASPRS 2014				Equivalent to map scale in		Equivalent to map scale in NMAS
Horizontal Accuracy Class RMSE, and RMSE <sub>c</sub> (cm)	RMSE <sub>c</sub> (cm)	Horizontal Accuracy at the 95% Confidence Level (cm)	Approximate GSD of Source Imagery (cm)	ASPRS 1990 Class 1	ASPRS 1990 Class 2	
0.63	0.9	1.5	0.31 to 0.63	1:25	1:12.5	1:16
1.25	1.8	3.1	0.63 to 1.25	1:50	1:25	1:32
2.5	3.5	6.1	1.25 to 2.5	1:100	1:50	1:63
5.0	7.1	12.2	2.5 to 5.0	1:200	1:100	1:127
7.5	10.6	18.4	3.8 to 7.5	1:300	1:150	1:190
10.0	14.1	24.5	5.0 to 10.0	1:400	1:200	1:253
12.5	17.7	30.6	6.3 to 12.5	1:500	1:250	1:317
15.0	21.2	36.7	7.5 to 15.0	1:600	1:300	1:380
17.5	24.7	42.8	8.8 to 17.5	1:700	1:350	1:444
20.0	28.3	49.0	10.0 to 20.0	1:800	1:400	1:507
22.5	31.8	55.1	11.3 to 22.5	1:900	1:450	1:570
25.0	35.4	61.2	12.5 to 25.0	1:1000	1:500	1:634
27.5	38.9	67.3	13.8 to 27.5	1:1100	1:550	1:697
30.0	42.4	73.4	15.0 to 30.0	1:1200	1:600	1:760
45.0	63.6	110.1	22.5 to 45.0	1:1800	1:900	1:1,141
60.0	84.9	146.9	30.0 to 60.0	1:2400	1:1200	1:1,521
75.0	106.1	183.6	37.5 to 75.0	1:3000	1:1500	1:1,901
100.0	141.4	244.8	50.0 to 100.0	1:4000	1:2000	1:2,535
150.0	212.1	367.2	75.0 to 150.0	1:6000	1:3000	1:3,802
200.0	282.8	489.5	100.0 to 200.0	1:8,000	1:4000	1:5,069
250.0	353.6	611.9	125.0 to 250.0	1:10,000	1:5000	1:6,337

**Gambar 2.4** Tabel Acuan Horizontal ASPRS

(Sumber: ASPRS 2014)

Vertical Accuracy Class	RMSE <sub>x</sub> Non-Vegetated (cm)	Equivalent Class 1 contour interval per ASPRS 1990 (cm)	Equivalent Class 2 contour interval per ASPRS 1990 (cm)	Equivalent contour interval per NMAS (cm)
1-cm	1.0	3.0	1.5	3.29
2.5-cm	2.5	7.5	3.8	8.22
5-cm	5.0	15.0	7.5	16.45
10-cm	10.0	30.0	15.0	32.90
15-cm	15.0	45.0	22.5	49.35
20-cm	20.0	60.0	30.0	65.80
33.3-cm	33.3	99.9	50.0	109.55
66.7-cm	66.7	200.1	100.1	219.43
100-cm	100.0	300.0	150.0	328.98
333.3-cm	333.3	999.9	500.0	1096.49

**Gambar 2.5** Tabel Acuan Horizontal ASPRS

(Sumber: ASPRS 2014)

Kontrol kualitas atau *quality control* pada foto udara dapat dilakukan dengan menghitung nilai RMSE *horizontal & vertikal*. Untuk horisontal dengan cara *overlay* GCP dan CP pada orthofoto kemudian dihitung nilai RMSE<sub>x</sub> dan RMSE<sub>y</sub>. Sedangkan untuk vertikal dengan cara *overlay* GCP dan CP pada DTM kemudian dihitung nilai RMSE<sub>z</sub>. Nilai RMSE merupakan rumus RMSE pada umumnya, sebagai contoh :

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{i(\text{map})} - x_{i(\text{surveyed})})^2}$$

where:

$x_{i(\text{map})}$  is the coordinate in the specified direction of the  $i^{\text{th}}$  checkpoint in the data set,

$x_{i(\text{surveyed})}$  is the coordinate in the specified direction of the  $i^{\text{th}}$  checkpoint in the independent source of higher accuracy,

$n$  is the number of checkpoints tested,

$i$  is an integer ranging from 1 to  $n$ .

**Gambar 2.6** Rumus RMSE ASPRS

(Sumber: ASPRS 2014)

Hasil RMSE yang didapat selanjutnya dapat dijadikan sebagai acuan nilai untuk mengukur batas penggunaan produk sesuai dengan kebutuhan skala menurut ASPRS 2014.



**Tabel 2.1** Batas Nilai Akurasi RMSE untuk beberapa Skala Peta

	SKALA			
	1:500	1:1000	1:2000	1:5000
H	$RMSE_{x,y} \leq 12.5 \text{ cm}$	$RMSE_{x,y} \leq 25 \text{ cm}$	$RMSE_{x,y} \leq 50 \text{ cm}$	$RMSE_{x,y} \leq 125 \text{ cm}$
V	$RMSE_z \leq 8.3 \text{ cm}$	$RMSE_z \leq 16.67 \text{ cm}$	$RMSE_z \leq 33.33 \text{ cm}$	$RMSE_z \leq 83.33 \text{ cm}$

 itenas library