



TUGAS AKHIR - RM 184831

# ANALISIS PEMBUATAN PETA ORTOFOTO DENGAN DATA *UNMANNED AERIAL VEHICLE* (UAV) MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK *OPEN SOURCE* OPENDRONEMAP

TIO NOVAL RIZKY  
NRP 0331164000034

Dosen Pembimbing  
Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020





**TUGAS AKHIR - RM 184831**

**ANALISIS PEMBUATAN PETA ORTOFOTO  
DENGAN DATA *UNMANNED AERIAL VEHICLE*  
(UAV) MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK  
*OPEN SOURCE* OPENDRONEMAP**

TIO NOVAL RIZKY  
NRP 03311640000034

Dosen Pembimbing  
Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**FINAL ASSIGNMENT - RM 184831**

# **ANALYSIS OF ORTHOPHOTO MAP BUILDER SOFTWARE WITH UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) DATA USING OPEN SOURCE OPENDRONEMAP**

**TIO NOVAL RIZKY**  
**NRP 03311640000034**

**Supervisor**  
**Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA**

**GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT**  
**FACULTY OF CIVIL, PLANNING, AND GEO ENGINEERING**  
**SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY**  
**SURABAYA 2020**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

ANALISIS PEMBUATAN PETA ORTOFOTO  
DENGAN DATA *UNMANNED AERIAL VEHICLE*  
(UAV) MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK  
*OPEN SOURCE* OPENDRONEMAP

Mahasiswa : Tio Noval Rizky  
NRP : 03311640000034  
Departemen : Teknik Geomatika  
Pembimbing : Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA

**ABSTRAK**

*Perkembangan teknologi fotogrametri semakin cepat karena meningkatnya kebutuhan masyarakat. Perkembangan pesat ini juga mengakibatkan hadirnya perangkat lunak yang beragam mulai dari yang berbayar hingga yang dapat diakses secara bebas. Salah satu perangkat lunak yang dapat diakses secara bebas adalah OpenDroneMap dimana aplikasi ini merupakan aplikasi open source yang dapat digunakan di platform Windows, MacOS, dan Linux.*

*Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pembuatan ortofoto yang dilakukan pada perangkat lunak open source OpenDroneMap. Beberapa fitur yang akan dianalisis meliputi proses instalasi, proses pengolahan, hasil visual, dan ketelitian planimetrik yang dihasilkan. Data yang digunakan adalah data foto udara tahun 2017 kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya menggunakan UAV Fixed Wing kamera non-metrik dan menggunakan GCP sebanyak 16 titik.*

*Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perangkat lunak OpenDroneMap merupakan perangkat lunak yang dapat digunakan untuk membuat peta ortofoto pada platform Windows, memiliki interface dan fitur analisis yang sederhana, serta terbagi menjadi enam tahapan dalam satu rangkaian proses yang otomatis meliputi load dataset, structure from motion, meshing, texturing, georeferencing, dan orthophoto processing.*

*Peta ortofoto yang dihasilkan pada penelitian ini terbagi menjadi 23 bagian dikarenakan banyaknya foto yang kemungkinan tidak sesuai dengan spesifikasi input pada OpenDroneMap. Didapatkan juga nilai akurasi horizontal, dari 19 titik uji, sesuai PERKA BIG NO. 6 TAHUN 2018 yaitu RMSe sebesar 0,223 meter dan uji akurasi horizontal CE90 sebesar 0,339 meter dan masuk dalam kategori skala 1:1000 kelas 2.*

***Kata Kunci: Akurasi, Aplikasi Open Source, UAV Fotogrametri***



**ABSTRACT**  
ANALYSIS OF ORTHOPHOTO MAP BUILDER  
SOFTWARE WITH UNMANNED AERIAL  
VEHICLE (UAV) DATA USING OPEN  
SOURCE OPENDRONEMAP

Mahasiswa : Tio Noval Rizky  
NRP : 0331164000034  
Departemen : Teknik Geomatika  
Pembimbing : Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA

*Nowadays, photogrammetry is well known in communities because of its benefits. One of which is the effectivity for mapping on large scale. The supporting technologies are also improved to suit the demand. This disruption causes the development of many software including paid and open source software. One of the open source software is OpenDroneMap that can be installed and used on many platforms such as Windows, MacOS, and Linux.*

*This research aims to analyze the making of orthophoto map that can be done using open source software, which is OpenDroneMap. Some features that included in this research are installation process, processing pipeline, visual results, horizontal accuracy, and other features on this program. This research used the aerial photo data set taken on year 2017 at Sepuluh Nopember Institute of Technology Surabaya Campus using Fixed Wing UAV with non-metric camera and 16 points of GCP.*

*This research shows that OpenDroneMap software can be used as an alternative for building orthophoto map on Windows platform, has simple interface and several features for basic analysis, and divided into six step in one automatic process, which are load dataset, structure from motion, meshing, texturing, georeferencing, and orthophoto processing.*

*Orthophoto results were divided into 23 sections because of several photos that might not fit the requirement of OpenDroneMap standard. This research did analyze the*

*horizontal accuracy from 19 testing points, based on PERKA BIG NO. 6 TAHUN 2018, and got the RMSe of 0.223 meters and horizontal accuracy of 0.339 meters and is classified as second order map with 1:1000 scale.*

***Keywords: Accuracy, Open Source Application, UAV Phtogrammetry***

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS PEMBUATAN PETA ORTOFOTO DENGAN DATA UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) MENGUNAKAN PERANGKAT LUNAK OPEN SOURCE OPENDRONEMAP

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**TIO NOVAL RIZKY**  
NRP 03311640000034

Disetujui oleh Pembimbing

1. Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA  
NIP. 19690520 199903 1 002

(.....)



Surabaya, Juli 2020

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Pembuatan Peta Ortofoto dengan Data *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) menggunakan Perangkat Lunak *Open Source* OpenDroneMap” dengan tepat waktu sesuai yang direncanakan.

Laporan ini disusun dalam rangka bentuk pertanggungjawaban intelektual atas telah dilakukannya penelitian Tugas Akhir yang dilakukan selama kurang lebih lima bulan terhitung sejak bulan Februari hingga bulan Juni 2020.

Ucapan terima kasih penulis haturkan kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan, khususnya kepada:

1. Kepada kedua orang tua penulis yang selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan kegiatan penelitian Tugas Akhir ini.
2. Bapak Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika FTSPK ITS.
3. Ibu Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Sekretaris Departemen bidang Akademik Teknik Geomatika FTSPK ITS.
4. Bapak Dr-Ing., Ir., Teguh Hariyanto, M.Sc. selaku dosen wali penulis.
5. Bapak Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA, selaku dosen pembimbing dalam penelitian Tugas Akhir ini. Terima kasih atas kesempatan, kesabaran, serta dukungan dalam bimbingan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
6. Ahmad Solihuddin Al Ayyubi selaku penyedia data foto udara, GCP, dan ICP.

7. Teman-teman departemen Teknik Geomatika ITS, khususnya angkatan 2016, yang telah memberikan dukungan dan semangat dalam menyusun tugas akhir ini.

Penulis berharap, penelitian ini dapat memberikan manfaat kepada banyak pihak serta dapat memperkaya literatur penelitian-penelitian sejenis yang akan dilakukan pada masa yang akan datang.

Penulis menyadari bahwa selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan ini terdapat banyak kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan ke depannya. Semoga laporan ini bisa memberikan manfaat kepada pembaca.

Jakarta, Juli 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Manfaat.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Fotogrametri.....	5
2.2. Foto Udara Format Kecil.....	6
2.3. Ortofoto .....	6
2.4. <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV) .....	7
2.4.1. Keterbatasan UAV .....	8
2.4.2. Klasifikasi UAV .....	9
2.4.3. Sistem <i>Low-Cost</i> .....	10
2.5. Skala Foto.....	11
2.5.1. Skala Foto Udara dengan Medan yang Tidak Datar.....	11
2.5.2. Skala Foto Rata-rata .....	12
2.6. Kamera .....	12
2.6.1. Kamera Metrik .....	13
2.6.2. Kamera Non Metrik.....	13
2.7. Sensor.....	15
2.8. Spesifikasi Wahana dan Kamera.....	18
2.8.1. Spesifikasi Wahana .....	18
2.8.2. Spesifikasi Kamera.....	19

2.9. Kalibrasi Kamera.....	19
2.9.1. Distorsi Radial.....	21
2.9.2. Distorsi Tangensial.....	21
2.9.3. <i>Bundle Adjustment</i> .....	22
2.10. Prinsip Kesegarisan.....	25
2.11. Titik Kontrol Tanah ( <i>Ground Control Point/GCP</i> ).....	27
2.12. <i>Structure from Motion</i> .....	28
2.12.1. <i>Digital Image Matching</i> .....	30
2.13. Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018.....	34
2.14. Perangkat Lunak <i>Open Source</i> OpenDroneMap.....	37
2.15. Penelitian Terdahulu.....	39
<b>BAB III METODOLOGI</b> .....	<b>43</b>
3.1. Lokasi Penelitian.....	43
3.2. Data dan Peralatan.....	43
3.2.1. Data.....	43
3.2.2. Peralatan.....	44
3.3. Metodologi Penelitian.....	45
3.3.1. Tahap Persiapan.....	46
3.3.2. Tahap Pengolahan dan Analisis.....	47
3.3.3. Tahap Akhir.....	50
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>51</b>
4.1. Hasil.....	51
4.1.1. Pembuatan Jalur Terbang.....	51
4.1.2. Hasil Pengukuran GCP dan ICP.....	53
4.1.3. Hasil Kalibrasi Kamera.....	56
4.1.4. Pengolahan <i>Orthophoto</i> .....	57
4.1.5. Hasil Koordinat ICP <i>Orthophoto</i> .....	62
4.2. Pembahasan.....	64
4.2.1. Proses Instalasi Perangkat Lunak OpenDroneMap.....	64
4.2.2. Analisis Fitur pada Perangkat Lunak OpenDroneMap.....	70
4.2.3. Analisis Proses Pengolahan.....	74
4.2.4. Analisis Hasil Visual.....	83



4.2.5. Ketelitian Horizontal .....	88
BAB V PENUTUP .....	91
5.1. Kesimpulan.....	91
5.2. Saran.....	92
DAFTAR PUSTAKA.....	93
LAMPIRAN .....	97
BIODATA PENULIS.....	103

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Gambar Foto Udara 2D .....	11
Gambar 2.2. Sensor CCD .....	16
Gambar 2.3. Sensor CMOS .....	17
Gambar 2.4. Color Filter Array Sensor .....	17
Gambar 2.5. Farm Mapper .....	18
Gambar 2.6. Principle Point .....	20
Gambar 2.7. Prinsip Kesegarisan .....	26
Gambar 2.8. Ilustrasi pencarian maksimum atau minimum lokal .....	32
Gambar 2.9. Contoh fitur SIFT yang terdeteksi .....	34
Gambar 3.1. Lokasi Penelitian yang Berada di Kampus ITS Sukolilo .....	43
Gambar 3.2. Tahap Pelaksanaan Penelitian .....	45
Gambar 3.3. Tahap Pengolahan Data .....	48
Gambar 4.1. Rencana Jalur Terbang Fixed Wing UAV sesi 1 (a.) dan sesi 2 (b.) .....	52
Gambar 4.2. Persebaran Titik GCP .....	53
Gambar 4.3. Visualisasi Distorsi pada Kamera .....	57
Gambar 4.4. Konsep Structure from Motion .....	58
Gambar 4.5. Hasil pembentukan mesh (b) dari 3D points (a) .....	60
Gambar 4.6. Textured Mesh .....	61
Gambar 4.7. Sudut kamera ortografik .....	62
Gambar 4.8. Virtualization Support .....	65
Gambar 4.9. Instalasi Python .....	66
Gambar 4.10. Pengalokasian CPU dan memori .....	66
Gambar 4.11. Proses pengunduhan WebODM .....	67
Gambar 4.12. Pengunduhan WebODM yang telah berhasil .....	67
Gambar 4.13. Console output dari instalasi WebODM .....	68
Gambar 4.14. Tampilan awal WebODM .....	69

Gambar 4.15. Fitur seleksi foto .....	70
Gambar 4.16. Alur pembuatan ortofoto .....	72
Gambar 4.17. Interface WebODM .....	73
Gambar 4.18. GCP Interface .....	75
Gambar 4.19. Format penulisan input parameter kamera .....	78
Gambar 4.20. Input dataset foto .....	79
Gambar 4.21. Pengaturan task options .....	80
Gambar 4.22. Tampilan task output WebODM .....	82
Gambar 4.23. Fitur download assets .....	83
Gambar 4.24. Fitur view map.....	85
Gambar 4.25. Fitur view 3D model.....	87

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi UAV sesuai Tenaga .....	10
Tabel 2.2. Spesifikasi Wahana .....	18
Tabel 2.3. Spesifikasi Kamera.....	19
Tabel 2.4. Ketelitian Geometri Peta RBI.....	35
Tabel 2.5. Ketentuan Ketelitian Geometri Peta RBI berdasarkan Kelas .....	36
Tabel 4.1. Perencanaan Terbang UAV.....	52
Tabel 4.2. Koordinat GCP dari Hasil Pengukuran di Lapangan .	54
Tabel 4.3. Koordinat ICP dari Hasil Pengukuran di Lapangan...	55
Tabel 4.4. Hasil Kalibrasi Kamera .....	56
Tabel 4.5. Koordinat ICP Ortofoto.....	63
Tabel 4.6. Analisis proses instalasi .....	69
Tabel 4.7. Analisis fitur.....	73
Tabel 4.8. RMS Error proses georeferencing.....	76
Tabel 4.9. Analisis proses pengolahan .....	82
Tabel 4.10. Analisis hasil visual.....	88
Tabel 4.11. Uji Ketelitian Horizontal.....	89

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Uji Akurasi Planimetrik.....	97
Lampiran 2. Ortofoto yang dihasilkan dari OpenDroneMap ....	100

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi fotogrametri saat ini semakin cepat seiring dengan kemajuan teknologi sensor dan teknologi dirgantara. Fotogrametri sendiri merupakan salah satu seni, pengetahuan, dan teknologi untuk memperoleh informasi yang dapat dipercaya tentang suatu obyek fisik dan keadaan di sekitarnya melalui proses perekaman, pengukuran, dan menafsirkan citra fotografi dan pola energi radiasi elektromagnetik yang direkam. Dua dasar klasifikasi foto yang digunakan di dalam ilmu fotogrametri adalah *terrestrial* dan *aerial* (Wolf & Dewitt, 2000). Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah *aerial photography* atau foto udara.

Salah satu cara untuk mendapatkan informasi spasial berupa foto udara adalah dengan menggunakan sebuah pesawat tanpa awak atau yang biasa disebut *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yang mampu melakukan foto udara. UAV merupakan wahana yang mendukung untuk pengukuran fotogrametri. UAV ini memungkinkan untuk melakukan pelacakan posisi dan orientasi dari sensor yang diimplementasikan dalam sistem lokal atau koordinat global (Eisenbeiss, 2009). Foto udara yang dihasilkan dari UAV ini selanjutnya dapat dijadikan data utama dalam pembuatan peta ortofoto untuk berbagai keperluan lainnya, seperti pembuatan denah, potensi sebuah daerah, maupun rencana pembangunan.

Efisiensi biaya yang dilakukan pada pemetaan menggunakan metode foto udara ini sangat dipengaruhi oleh jenis kamera dan wahana yang digunakan. Saat ini, telah banyak dikembangkan sebuah metode alternatif pemotretan udara dengan biaya yang relatif murah dan cukup akurat. Salah satunya adalah dengan menggunakan kamera standar non metrik berformat kecil, atau biasa disebut Foto Udara Format Kecil (FUFK), dengan menggunakan film yang sensornya berukuran sekitar 24 mm x 36

mm dan panjang fokus 35 mm sebagai instrumen dalam pemotretan udara (Warner, Graham, & Read, 1996). Kamera non metrik memiliki kualitas gambar yang baik namun kualitas geometrik yang kurang baik, sehingga perlu dilakukan kalibrasi kamera untuk meningkatkan kualitas geometrik pada kamera yang digunakan (Gularso, Subiyanto, & Sabri, 2013).

Untuk menghasilkan peta yang dapat digunakan untuk berbagai macam keperluan, diperlukan perangkat lunak yang dapat memproses dan mengolah foto udara dari data UAV sehingga dapat dihasilkan peta ortofoto. Perangkat lunak fotogrametri masih sulit untuk diakses secara bebas dan terbuka. Perangkat lunak yang digunakan oleh orang banyak, khususnya mahasiswa, merupakan perangkat lunak yang tidak legal karena didapat dari hasil *crack* perangkat lunak berlisensi. Hal tersebut bukan merupakan hal yang baik jika terus dilanjutkan. Maka dari itu, diperlukan perangkat lunak fotogrametri yang baik dan dapat diakses secara mudah dan legal oleh orang banyak sehingga pembuatan peta ortofoto dari data UAV dapat dilakukan dengan baik.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dan menganalisis kemampuan perangkat lunak *open source*, yaitu OpenDroneMap, dalam memproduksi peta ortofoto yang sesuai dengan Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 dengan menganalisis ketelitian horizontal koordinat (X, Y).

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana proses instalasi dan pengaplikasian perangkat lunak *Open Source* OpenDroneMap pada *platform* Windows.
- b. Bagaimana proses pengolahan data UAV menjadi peta ortofoto dengan menggunakan perangkat lunak *Open Source* OpenDroneMap.

- c. Bagaimana analisis fitur dan hasil visual yang dilakukan pada perangkat lunak *Open Source* OpenDroneMap.
- d. Bagaimana ketelitian horizontal *orthophoto* yang dihasilkan dengan menggunakan perangkat lunak *Open Source* OpenDroneMap.

### **1.3. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Daerah penelitian berada di sekitar Kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Sukolilo.
- b. Proses akuisisi data pada penelitian ini menggunakan wahana UAV, yaitu *Fix Wing* UAV tipe *Farm-Mapper*.
- c. Jumlah titik kontrol yang digunakan yaitu 16 titik GCP (*Ground Control Point*) dan 19 titik ICP (*Independent Check Point*) menggunakan GPS Geodetik.
- d. Penelitian ini menggunakan metode *Structure from Motion* dengan perangkat lunak, *Open Source* yaitu OpenDroneMap.
- e. Ketelitian yang dianalisis adalah ketelitian horizontal yang didapatkan dengan membandingkan ICP lapangan dan ICP pada ortofoto

### **1.4. Tujuan**

Tujuan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Mempelajari dan melakukan proses instalasi, mulai dari mengunduh hingga mengaplikasikan, perangkat lunak *Open Source* OpenDroneMap berbasis Windows pada komputer.
- b. Melakukan pengolahan data UAV menjadi peta ortofoto dengan menggunakan perangkat lunak *Open Source* OpenDroneMap.

- c. Melakukan analisis fitur dan proses pengolahan yang dilakukan pada perangkat lunak *Open Source* OpenDroneMap
- d. Melakukan analisis akurasi horizontal yang dihasilkan dari UAV dengan menggunakan perangkat lunak *Open Source* OpenDroneMap berdasarkan Perka BIG No. 6 Tahun 2018.

### **1.5. Manfaat**

Manfaat dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Menghasilkan alternatif dalam memilih perangkat lunak yang digunakan dalam pengolahan data UAV menjadi peta ortofoto.
- b. Mengetahui proses pengolahan data UAV menjadi peta ortofoto dengan menggunakan perangkat lunak *Open Source* OpenDroneMap.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Fotogrametri**

Fotogrametri adalah suatu seni, ilmu dan teknik untuk memperoleh informasi metris tentang objek fisik dan keadaan di permukaan bumi melalui proses perekaman, pengukuran, dan penafsiran citra fotografik. Citra fotografik adalah foto udara yang diperoleh dari pemotretan dari udara yang menggunakan pesawat terbang atau wahana terbang lainnya. Hasil dari proses fotogrametri adalah berupa peta foto atau peta garis. Peta ini umumnya dipergunakan untuk berbagai kegiatan perencanaan dan desain seperti jalan raya, jalan kereta api, jembatan, jalur pipa, tanggul, jaringan listrik, jaringan telepon, bendungan, pelabuhan, pembangunan perkotaan, dsb. 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 (Wicaksono, 2009).

Arti fotogrametri yang tersirat pada definisi tersebut mencakup dua bidang yang berbeda, yaitu:

1. Fotogrametri Metrik terdiri dari pengukuran cermat berdasarkan foto dan sumber informasi lain yang pada umumnya digunakan untuk menentukan lokasi relatif titik-titik. Dengan demikian dimungkinkan untuk memperoleh ukuran jarak, sudut, luas, volume, elevasi, ukuran dan bentuk objek.
2. Fotogrametri Interpretatif mempelajari pengenalan dan identifikasi objek serta menilai arti pentingnya objek tersebut melalui suatu analisis sistematik dan cermat.

Fotogrametri metrik diterapkan terutama dalam penyusunan planimetrik dan peta topografi dari foto. Fotofoto tersebut lebih sering menggunakan foto udara (yang diambil dari pesawat terbang), tapi foto terestris (yang diambil dari permukaan bumi dengan kamera) juga dapat digunakan. Sedangkan untuk

fotogrametri interpretatif termasuk dalam cabang interpretasi fotografi dan penginderaan jauh. Interpretasi fotografi melibatkan sistematis studi gambar fotografi yang bertujuan untuk identifikasi obyek dan penilaian signifikansinya. Penginderaan jauh merupakan cabang baru dari fotogrametri interpretatif seperti penafsiran fotografi yang digunakan untuk mengenali obyek tanpa kontak fisik secara langsung. Pemetaan secara fotogrametrik tidak dapat lepas dari referensi pengukuran secara terestris, mulai dari penetapan *ground controls* (titik dasar kontrol) hingga kepada pengukuran batas tanah. Batas-batas tanah yang diidentifikasi pada peta foto harus diukur di lapangan (Wicaksono, 2009).

## **2.2. Foto Udara Format Kecil**

Foto Udara Format Kecil (FUFK) adalah foto yang dihasilkan dari pemotretan yang menggunakan kamera dengan ukuran film sekitar 24mm x 36mm dengan panjang fokus 35 mm. Kamera tersebut sistem lensanya tidak didesain untuk keperluan pemetaan (tidak dilengkapi *fiducial mark* dan harga orientasi dalamnya seperti koordinat *fiducial mark*, panjang fokus terkalibrasi, lokasi titik utama tidak diketahui) dan dapat berupa kamera analog atau digital (Warner, Graham, & Read, 1996).

Keunggulan Foto Udara Format Kecil (FUFK) ini yaitu kemudahan pengadaan/sewa peralatan dan biaya yang relatif murah. Tetapi memiliki kelemahan utama yaitu adalah ketidaksempurnaan sistem lensa kamera untuk keperluan pemetaan dan tidak cocok dipergunakan untuk daerah dengan cakupan luas. Untuk daerah dengan cakupan cukup luas dan diinginkan data spasial dengan ketelitian tinggi akan efektif dan efisien jika mempergunakan foto udara metrik format standar (Harintaka, Subaryono, & Tanjung, 2008).

## **2.3. Ortofoto**

Hasil dari foto udara perlu diolah sehingga tidak ada distorsi pada gambar. Proses ini disebut *orthorectification*. Tanpa proses ini kita tidak bisa melakukan perhitungan seperti jarak,

sudut, posisi, dan luas. Variasi bentuk topografi pada permukaan bumi dan pergerakan kamera pada wahana menyebabkan beberapa distorsi pada hasil foto udara. *Orthorectification* adalah nama proses yang digunakan untuk menghilangkan distorsi antara hasil foto dengan permukaan sebenarnya. Hasil foto udara sudah direktifikasi tersebut dinamakan *orthophoto* (Dempsey, 2003).

Ada dua cara rektifikasi dari hasil foto udara. Yang pertama, menggunakan titik kontrol atau GCP dan menggunakan DEM (*Digital Elevation Model*). Menggunakan titik kontrol atau GCP yang sudah ditentukan dan diukur di lapangan melalui survey tanah konvensional. Pengukuran ini berupa koordinat (X, Y) lapangan yang sudah direkam oleh foto udara. Koordinat tersebut akan dimasukkan ke dalam koordinat foto. Umumnya jumlah minimum GCP sebanyak 3 hingga 5 titik kontrol GCP (Dempsey, 2003).

Terdapat beberapa ketentuan dalam menentukan lokasi GCP dan ICP seperti berikut:

1. Titik Kontrol Tanah (GCP)
  - Pada sisi perimeter dan tengah area citra;
  - Pada wilayah perbatasan/*overlap scene* citra;
  - Tersebar secara merata dalam area citra;
  - Menyesuaikan kondisi *terrain*
2. Titik Uji Akurasi (ICP)
  - Obyek yang digunakan sebagai titik uji harus memiliki sebaran yang merata di seluruh area yang akan diuji
  - Pada setiap kuadran jumlah minimum titik uji adalah 20% dari total titik uji
  - Untuk area yang tidak beraturan, pembagian kuadran dilakukan dengan membagi wilayah kelompok data menjadi empat bagian, dimana setiap bagian dipisahkan oleh sumbu silang

#### **2.4. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)**

UAV adalah wahana terbang tanpa awak. Wahana ini dibagi menjadi beberapa tipe pengendalinya yaitu *remotely*

*controlled*, *semi-autonomous*, *autonomous*, atau memiliki kombinasi dari tipe – tipe tersebut. Teknologi terbaru untuk fotogrametri adalah penggunaan wahana tanpa awak ini sebagai alat pengukuran fotogrametri bisa dengan remot, semi otomatis, atau otomatis. UAV standar saat ini sudah dilengkapi *registration* dan *tracking* untuk posisi dan orientasi sensor dalam sistem koordinat lokal atau global (Eisenbeiss, 2009).

Keuntungan menggunakan UAV dibandingkan dengan wahana awak yaitu dalam situasi kritis tidak melukai manusia atau area yang sedang dikerjakan. Pemetaan menggunakan UAV dapat digunakan dalam area area beresiko seperti pegunungan, daerah gunung berapi, banjir, gempa, dan area lainnya yang tidak dapat dikunjungi oleh manusia. Akan tetapi kelemahan dari penggunaan UAV ini adalah bergantung pada cuaca dan sinar pada saat terbang. UAV tidak dapat melakukan akuisisi data dengan ketinggian tinggi, merupakan salah satu kelebihan dibandingkan pemetaan udara berawak (Eisenbeiss, 2009).

#### **2.4.1. Keterbatasan UAV**

UAV, terutama *low-cost* UAV memiliki keterbatasan dalam sensor. Hal ini dikarenakan sensor yang digunakan memiliki berat ringan seperti kamera amatir format kecil atau medium. Untuk dibandingkan dengan kamera format besar, UAV membutuhkan banyak foto untuk memiliki cakupan gambar yang sama dan resolusi gambar yang sebanding. Sensor *low-cost* normalnya kurang stabil dibandingkan sensor *high-end* dengan hasil mengurangi kualitas gambar. Tambahannya, keterbatasan ini membutuhkan unit navigasi yang ringan juga, tentunya memiliki hasil dengan akurasi kurang untuk orientasi dari sensor. UAV *low-cost* biasanya menggunakan mesin yang kurang kuat mengakibatkan keterbatasan ketinggian terbang dari wahana (Eisenbeiss, 2009).



Akan tetapi, banyak *software* yang mendukung pengolahan data dari pengukuran foto udara dengan UAV. Software ini tidak memiliki alur standar atau model sensor yang digunakan oleh wahana. UAV mengandalkan skill dari pilot karena belum adanya tingkat keamanan yang baik dalam UAV. Pilot harus bisa melihat medan atau area terbang dari drone tersebut dan juga mengarahkan agar sesuai dengan jalur terbang yang didesain. UAV ini juga dibatasi oleh jarak antara pilot dengan UAV. Frekuensi radi 35 dan 40 MHz mungkin mengganggu seperti remot kontrol mobil, atau wahana terbang lainnya dan juga frekuensi radio alat lain dengan frekuensi yang sama (Eisenbeiss, 2009).

#### **2.4.2. Klasifikasi UAV**

Definisi dari UAV meliputi *fixed* dan *rotary wings* UAV, UAV ringan, UAV berat, cara terbang, dan target terbang. UAV juga bisa diklasifikasikan dengan karakteristik utama wahana yaitu menggunakan tenaga atau tanpa tenaga, berat lebih ringan atau lebih berat dari udara, *fixed* atau *rotary wings*.

*Rotary-wing* UAV, biasa disebut sebagai *vertical takeoff and landing vehicles* (VTOL), bisa diklasifikasikan sebagai, *single-*, *double-*, *four-*, dan *multi rotors system*. *Rotor* disini yaitu penggerak, penggerak tunggal memiliki satu baling – baling dan sebuah penggerak di ekor ekor. Penggerak utama bertujuan mengangkat dan mendorong, dibagian ekor digunakan untuk menstabilkan gerakan yaw dan torsi. Penggerak ganda disebut sistem coaxial. Berbeda dengan penggerak tunggal karena mereka meningkatkan beban dan bisa dioperasikan di ketinggian tinggi dengan kekuatan mesin. Mereka juga mudah dikendalikan dan mengurangi tingkat kebisingan. Sistem pengendali empat memiliki kapasitas berat yang rendah sehingga menggunakan sensor ringan dengan sistem *low-*

*cost*. Dengan ukuran kecil dan manuver yang baik, sistem ini bisa diterbangkan dalam ruangan dan juga luar ruangan (Eisenbeiss, 2009). Berikut adalah tabel klasifikasi UAV berdasarkan tenaga:

Tabel 2.1. Klasifikasi UAV sesuai Tenaga

UAV	Lighter than Air	Heavier than Air		
		Flexible Wing	Fixed Wing	Rotary Wing
Un-powered	Balloon	Hang Glider	Gliders	Rotor- Kite
		Paraglider		
		Kites		
Powered	Airship	Paraglider	Propeller	Single Rotors
				Coaxial
			Jet Engines	Quadrotors
				Multirotors

#### **2.4.3. Sistem Low-Cost**

*Drone low-cost* adalah alternatif untuk *rotary* dan *fixed wing* UAV untuk aplikasi tunggal. Berat sistemnya bervariasi antara 8 kg dan 12 kg. Beberapa UAV menggunakan sensor yang berbeda – beda bahkan bisa diganti sesuai kebutuhan. Penglihatan dari UAV tersebut bisa dilihat oleh operator melalui *googles* atau layer video, *laptop*, dan lainnya. Akuisisi data diambil melalui remot kontrol dan posisinya menggunakan sistem GPS *low-cost* dan dikirim ke operatornya. Sistem dibatasi untuk terbang

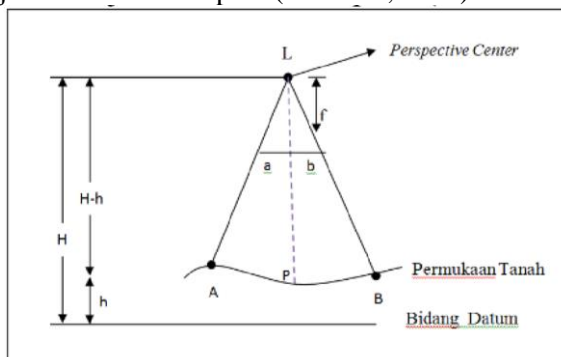
dibawah kecepatan angin kurang dari 6 m/s dengan ketinggian maksimum 4500 m dan jarak operator dengan UAV hingga 5 km jika memungkinkan. Untuk take-off dan mendarat di jalur dengan panjang 5 sampai 25 meter (Eisenbeiss, 2009).

## **2.5. Skala Foto**

Skala peta biasanya diartikan sebagai perbandingan antara jarak di dalam peta dan jarak yang sebenarnya. Dalam foto udara, skala yang dimaksud adalah merupakan perbandingan antara panjang fokus ( $f$ ) dengan tinggi terbang pesawat dengan bidang rata-rata tanah ( $H$ ). Skala ini hanya berlaku untuk foto udara vertikal dengan daerah yang relatif datar. Skala data dinyatakan dalam unit setara, dalam rangka pecahan tanpa besaran, atau dalam perbandingan tanpa besaran. Sebagai contoh, apabila 1 inci pada peta atau foto mewakili 1.000 kaki (12.000 inci) diatas tanah.

### **2.5.1. Skala Foto Udara dengan Medan yang Tidak Datar**

Medan yang dipotret mempunyai ketinggian yang beraneka, maka jarak obyek akan berbeda-beda pula, sebagai akibatnya maka skala didalam foto tersebut menjadi berbeda-beda pula (Hertanto, 2014).



Gambar 2.1. Gambar Foto Udara 2D  
(Hertanto, 2014)

Dari gambar diatas, maka dua segitiga sebangun Lab dan LAB dapat dinyatakan bahwa skala SAB adalah sebagai berikut:

$$S_{AB} = \frac{ab}{AB} = \frac{f}{H'} \quad (1)$$

Dimana:

$S_{AB}$	=	Skala
$ab$	=	Ukuran Sensor
$AB$	=	Ukuran Sebenarnya
$f$	=	Fokus Kamera
$h'$	=	Tinggi Kamera

### **2.5.2. Skala Foto Rata-rata**

Skala rata-rata merupakan skala pada ketinggian rata-rata medan yang terliput oleh suatu foto udara tertentu dan dinyatakan sebagai berikut:

$$S_{\text{rata-rata}} = \frac{f}{H - h_{\text{rata-rata}}} \quad (2)$$

Apabila harus digunakan skala rata-rata maka harus dimengerti bahwa hal itu hanya tepat pada titiktitik yang terletak pada ketinggian rata-rata saja (Hertanto, 2014).

### **2.6. Kamera**

Kamera merupakan instrumen utama untuk mendapatkan gambar yang dihasilkan dari metode fotogrametri. Alat pengambil gambar tersebut bisa dikategorikan sesuai dengan bagaimana gambar tersebut dihasilkan. Alat foto tradisional yang digunakan dalam fotogrametri adalah kamera-kamera pemetaan foto udara dan digunakan dalam industri fotogrametri. Kebutuhan dari kamera udara berbeda dengan kamera poket atau kamera tangan. Yang dibutuhkan dalam kamera udara ini adalah lensa dengan kualitas geometri yang tinggi. Kamera udara harus bisa mengambil gambar dan wahana yang bergerak. Mereka harus mempunyai

kecepatan waktu yang cepat, lensa cepat, dan *shutter* yang cepat (Wolf & Dewitt, 2000).

### **2.6.1. Kamera Metrik**

Kamera metrik merupakan kamera yang dirancang khusus untuk keperluan fotogrametri. Kamera metrik yang umum digunakan mempunyai ukuran format 23 cm x 23 cm, kamera metrik dibuat stabil dan dikalibrasi secara menyeluruh sebelum digunakan. Nilai-nilai kalibrasi dari kamera metrik seperti panjang fokus, distorsi radial lensa, koordinat titik utama foto diketahui dan dapat digunakan untuk periode yang lama.

### **2.6.2. Kamera Non Metrik**

Kamera non-metrik dirancang untuk foto profesional maupun pemula, dimana kualitas gambar lebih diutamakan daripada kualitas geometrinya. Kamera non-metrik memiliki dua keterbatasan utama yaitu:

#### a. Ketidakstabilan Geometrik

Masalah terbesar penggunaan kamera nonmetrik adalah ketidakstabilan geometrik. Kamera nonmetrik memiliki lensa yang tidak sempurna, sehingga foto udara yang dihasilkan dari perekaman kamera nonmetrik mengalami kesalahan. Kamera ini tidak memiliki tanda-tanda fidusial, namun dapat dilakukan modifikasi untuk membuat tanda fidusial. Selain itu pada kamera non-metrik tidak diketahui secara pasti besarnya panjang fokus dan posisi principal point, sehingga pengukuran pada foto udara menjadi kurang teliti. Kamera non-metrik dapat dikalibrasi dengan teknik tertentu sehingga parameter-parameter internal yang berpengaruh pada ketelitian geometrik foto dapat diketahui, dan kamera non-metrik dapat digunakan untuk aplikasi fotogrametri (Fryer, 1985).

#### b. Ukuran Film

Keterbatasan lain dalam penggunaan kamera nonmetrik adalah terbatasnya ukuran film. Untuk meng-cover area dengan luas dan skala yang sama, penggunaan kamera format kecil 24 mm x 36 mm membutuhkan jumlah foto lebih banyak dibandingkan jika pemotretan itu dilakukan dengan menggunakan kamera metrik format besar 23 cm x 23 cm. Selain itu seringkali dalam pemetaan metode foto udara dibutuhkan foto dengan ukuran asli yang besar, sehingga penggunaan kamera format kecil menjadi masalah.

#### c. Lensa Kamera

Merupakan bagian yang paling penting dan paling mahal dalam foto udara. Fungsi utama lensa adalah mengumpulkan berkas sinar dari seluruh titik yang membentuk sebuah objek dan mengumpulkannya ke arah titik api ( $f$ ) yang terletak pada jarak tertentu di sisi lain di balik lensa untuk membentuk gambaran objek secara keseluruhan.

Sifat lensa ini mengikuti prinsip pembiasan sinar sesuai dengan Hukum Snellius. Menurut hukum ini, jika ada seberkas sinar melintasi sebuah permukaan yang berada diantara dua medium yang mempunyai nilai indeks bias yang berbeda, maka sinar tersebut akan dibelokan atau dibiaskan. Jika sinar datang dari medium renggang ke medium rapat, maka sinar tersebut akan dibelokan mendekati garis normal, sebaliknya jika sinar datang dari medium rapat ke medium renggang, maka sinar akan dibelokan menjauhi garis normal.

Seberkas sinar datang yang berasal dari suatu obyek pada jarak tak terhingga jatuhnya dari lensa akan saling sejajar. Bayangan yang dibentuk oleh sinar-sinar ini akan jatuh pada bidang fokus tidak terhingga, sehingga

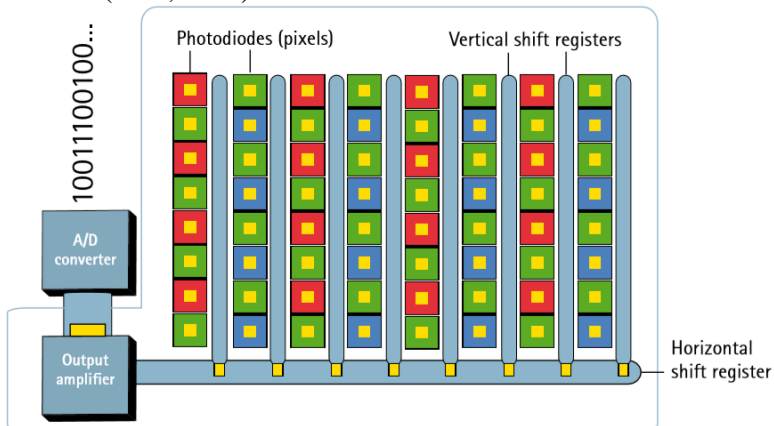
bayangan tersebut akan terlihat jelas. Semakin dekat jarak obyek dari sebuah lensa, maka akan semakin jauh jarak bayangan yang dibentuk dari lensa tersebut. Oleh karena itu untuk aplikasi foto udara banyak digunakan kamera dengan panjang fokus tetap untuk obyek tak terhingga.

## **2.7. Sensor**

Pada kamera konvensional, dimana cahaya yang masuk diproses secara kimia pada masing-masing *layer* pada lembar film, sehingga objek dapat direkam. Sedangkan pada kamera digital cahaya yang masuk ke dalam lensa akan difokuskan ke dalam sebuah sensor, sensor akan mengubah cahaya tersebut ke dalam bentuk aliran-aliran listrik. Aliran-aliran ini kemudian disimpan ke dalam memori secara cepat. Seperti pada film di kamera konvensional yang merekam gambar objek ketika ada cahaya, sensor merekam gambar secara elektronik, dan merubah cahaya menjadi elektron-elektron. Elektron ini kemudian dikonversi ke dalam bentuk digital, yang menghasilkan sebuah file yang mengandung informasi digital dimana ukuran bit gambar mewakili nilai warna. Tipe sensor biasanya mengacu pada penyebutan yang umum seperti 1/1.8" atau 2/3". Pengukuran tersebut biasanya lebih besar dari ukuran diameter aktual dari sebuah sensor tersebut. Penamaan ini tidak mengacu pada diameter diagonal dari area sensor tersebut, tetapi lebih kepada diameter luar dari gelas yang menutupi tabung. Para peneliti juga menemukan alasan-alasan yang memungkinkan penamaan ini adalah besarnya area yang dapat digunakan sebesar 2/3 dari total area yang ada. Penamaan ini bukan penamaan yang benar-benar jelas, karena tidak ada relasi yang jelas antara penamaan dengan perhitungan secara matematika, walaupun biasanya area yang dapat digunakan adalah sebesar 2/3 dari total area (Wijayanti, 2008).

Salah satu jenis sensor pada kamera digital adalah *Charge Coupled Device* (CCD). CCD adalah suatu alat pencitraan untuk menkonversikan cahaya menjadi arus elektrik yang proporsional (analog). Sebuah CCD memiliki lapisan-lapisan filter yang

membagi menjadi warna merah, hijau, biru agar bisa diproses secara digital oleh kamera. Ada dua macam jenis CCD, yaitu rangkain linier yang digunakan dalam scanner datar, alat penyalin *digital* dan *Scanner Graphic Arts*; serta rangkaian linier yang digunakan dalam *scanner* datar, serta rangkaian datar yang dipakai dalam *comcorders*, kamera video tidak bergerak, dan kamera-kamera digital. Setiap *pixel* didalam sensor kamera digital terdiri dari *photodiode* yang sensitif terhadap cahaya yang mampu mengukur tingkat *brightness* dari cahaya itu sendiri. Karena *photodiode* adalah device monokrom, maka tidak mungkin sensor mengenali perbedaan dari setiap panjang gelombang cahaya yang diterima (Axis, 2010).

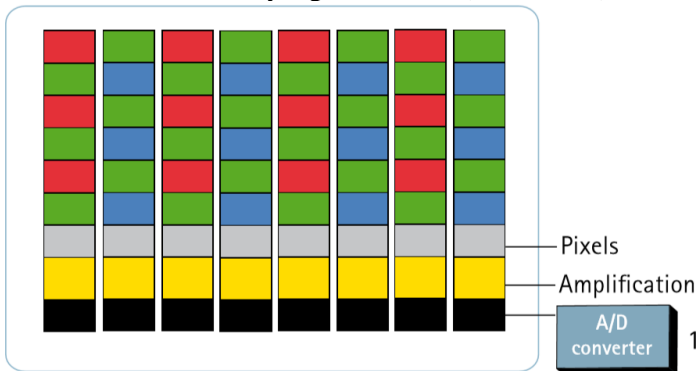


Gambar 2.2. Sensor CCD  
(Axis, 2010)

Jenis sensor lain yaitu *Complementary Metal-oxide Semiconductor* (CMOS). CMOS umum digunakan untuk keperluan pembuatan gambar, tetapi kualitas gambar yang dihasilkan kurang baik karena sensitivitas cahaya yang belum baik. Sensor CMOS modern menggunakan teknologi dengan kualitas dan sensitivitas cahaya sensor yang sudah berkembang pesat belakangan ini. Cip CMOS memiliki beberapa kelebihan. Tidak seperti sensor CCD, cip CMOS menggabungkan penguat dan

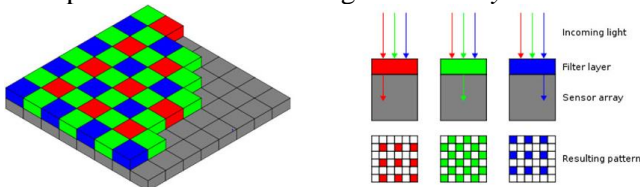


konverter A/D, sehingga mengurangi biaya kamera karena sudah mencakup seluruh bagian yang dibutuhkan dalam memproduksi gambar. Setiap piksel CMOS memiliki konversi elektronik. Dibandingkan sensor CCD, sensor CMOS memiliki integrasi dan fungsi yang lebih baik. Namun, penambahan sirkuit pada cip meningkatkan risiko *noise* yang dapat dihasilkan. Sensor CMOS juga dapat memproduksi lebih cepat, penggunaan daya yang lebih hemat, dan ukuran sistem yang lebih kecil (Axis, 2010).



Gambar 2.3. Sensor CMOS  
(Axis, 2010)

Oleh karena itu, dibuatlah sebuah sistem filter warna berupa pola-pola mosaik yang disebut dengan *Color Filter Array* (CFA). CFA diletakkan dibagian atas sensor kamera dan akan bekerja dengan melakukan proses filterisasi cahaya yang jatuh keatas sensor, khusus untuk komponen warna *red*, *green*, dan *blue*. Pola-pola ini dinamakan dengan *RGB Bayer Pattern*.



Gambar 2.4. Color Filter Array Sensor  
(Wijayanti, 2008)

## 2.8. Spesifikasi Wahana dan Kamera

Wahana yang digunakan adalah *Fixed Wing* UAV tipe Farm Mapper yang digunakan untuk membawa kamera *Canon PowerShot S100* dalam melakukan pemotretan udara.



Gambar 2.5. Farm Mapper  
(Sumber: <https://motodoro.com/>)

### 2.8.1. Spesifikasi Wahana

Tabel 2.2. Spesifikasi Wahana

<b>FARM-MAPPER LITE</b>	
<i>Weight</i>	<i>850 gr</i>
<i>Wingspan</i>	<i>1200 mm</i>
<i>Material</i>	<i>EPP Foam and Carbon Structure</i>
<i>Propulsion</i>	<i>11.1 V, 2200 mAh Li-Po</i>
<i>Radio Telemetry</i>	<i>915 / 433 Mhz</i>
<i>Flight Time</i>	<i>Up to 30 Min</i>
<i>Flight Mode</i>	<i>Manual, Stabilize, Autonomous, and Fly-by-Wire</i>
<i>Take Off</i>	<i>Hand Launch</i>
<i>Landing</i>	<i>Belly Landing</i>
<i>Cruise Speed</i>	<i>8 – 16 m/s</i>
<i>Radio Link Range</i>	<i>3 KM</i>
<i>Maximum Coverage</i>	<i>Up to 100 Ha</i>
<i>Ground Sampling Distance</i>	<i>Down to 5 cm /pixel</i>

### 2.8.2. Spesifikasi Kamera

Tabel 2.3. Spesifikasi Kamera

<b>Canon PowerShot S100</b>	
<i>Display</i>	<i>TFT color LCD 3 inch, (TFT) 461,000 dots</i>
<i>Pixel</i>	<i>12.1 Megapixel</i>
<i>Sensor</i>	<i>1/1.7" (5.52 x 7.49 mm) type CMOS</i>
<i>Focal Length</i>	<i>24 – 120 mm</i>
<i>Built-in Lens</i>	<i>Canon Lens 5.0 – 40.0 mm</i>
<i>Size and Weight</i>	<i>98.9 x 59.8 x 26.7 mm, 198 g (including battery)</i>
<i>Shutter Speed</i>	<i>15 - 1/2000s (factory default), 15 – 1/2000s (total range – varies by shooting mode)</i>
<i>Video</i>	<i>HD 1280 x 720 30 fps</i>
<i>ISO</i>	<i>Auto, 180 – 6400</i>
<i>Optical Zoom</i>	<i>5x Optical Zoom</i>
<i>Storage</i>	<i>SD/SDHC/SDXC Card</i>
<i>Focus</i>	<i>AF, Face Detection</i>
<i>Connection</i>	<i>USB</i>
<i>Battery</i>	<i>Lithium-ion Battery, up to 220 shots and 330 min playback</i>
<i>Photo Format</i>	<i>JPEG</i>

### 2.9. Kalibrasi Kamera

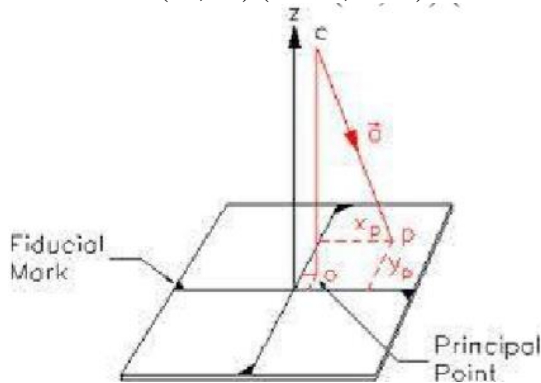
Setelah keluar dari pabrik dan digunakan beberapa kali, kamera udara harus dikalibrasi untuk menentukan presisi dan nilai akurasi untuk nilai konstan. Nilai ini didapatkan dari elemen orientasi dalam. Orientasi dalam ini dibutuhkan agar informasi spasial akurat dan bisa ditentukan dari foto.

Secara umum, metode kalibrasi kamera diklasifikasikan menjadi 3 yaitu metode *laboratory*, metode *field*, dan metode *stellar* (Wolf & Dewitt, 2000). Kalibrasi kamera adalah proses

menentukan parameter internal dari sebuah kamera. Parameter internal dari sebuah kamera. Parameter internal dibutuhkan untuk merekonstruksi ulang berkas-berkas sinar pada saat pemotretan dan untuk mengetahui besarnya kesalahan sistematis dari sebuah kamera. Sebagaimana dijabarkan oleh Atkinson bahwa kalibrasi kamera memiliki tujuan sebagai berikut:

- Evaluasi kinerja kamera
- Evaluasi dari stabilitas lensa
- Penentuan parameter optik dan geometrik dari sebuah lensa
- Penentuan parameter optik dan geometrik dari sistem lensa kamera
- Penentuan parameter optik dan geometrik dari sistem akuisisi data citra

Kalibrasi kamera dilakukan untuk menentukan parameter internal kamera (IOP) meliputi *principal distance* ( $c$ ), titik pusat fidusial foto ( $X_0$ ,  $Y_0$ ), distorsi lensa ( $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $p_1$ , dan  $p_2$ ), serta distorsi akibat perbedaan penyekalaan dan ketidak orthogonal antara sumbu X dan Y ( $b_1$ ,  $b_2$ ) (Fraser, 1997)



Gambar 2.6. Principle Point  
(Wolf & Dewitt, 2000)

Dari gambar diatas posisi *principle point* ( $x_0, y_0$ ) merupakan proyeksi garis lurus dari letak *perspective center* ke bidang foto dan jarak dari *principle point* ke *perspective center* merupakan panjang fokus ( $c$ ).

### **2.9.1. Distorsi Radial**

Distorsi radial adalah pergeseran linier titik foto dalam arah radial terhadap titik utama dari posisi idealnya. Distorsi lensa biasa diekspresikan sebagai fungsi polinomial dari jarak radial ( $r$ ) terhadap titik utama foto. Distorsi radial direpresentasikan dalam sebuah persamaan polinomial sebagai berikut (Wolf & Dewitt, 2000).

$$r = \sqrt{((X_i - X_p)^2) + ((Y_i - Y_p)^2)} \quad (3)$$

$$\delta r = K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7 \quad (4)$$

Dimana:

$K_1$	: koefisien distorsi radial
$X_p, Y_p$	: titik pusat foto (mm)
$r$	: jarak radial
$X_i, Y_i$	: koordinat pusat foto (mm)
$\delta$	: distorsi radial

Efek yang terjadi apabila pada kamera memiliki nilai distorsi, maka gambar foto yang dihasilkan akan berbentuk cembung atau cekung, tergantung dari nilai parameter distorsi radial bernilai positif atau negatif atau biasa disebut distorsi radial ke arah dalam adalah *pinchusion distortion*, dan distorsi radial ke arah luar adalah *barrel distortion* (Wolf & Dewitt, 2000). Efek distorsi radial adalah sekitar 1 sampai 2 piksel

### **2.9.2. Distorsi Tangensial**

Distorsi decentring/tangensial adalah pergeseran linier titik di foto pada arah normal (tegak lurus) garis radial melalui titik foto tersebut. Distorsi tangensial

disebabkan kesalahan sentering elemen-elemen lensa dalam satu gabungan lensa dimana titik pusat elemen-elemen lensa dalam gabungan lensa tersebut tidak terletak pada satu garis lurus.

$$r = \sqrt{((Xi - Xp)^2) + ((Yi - Yp)^2)} \quad (5)$$

$$\delta x = [P_1[r_2=2(x-xp)^2]+2P_2(x-xp)(y-yp)](1+P_3r_2) \quad (6)$$

$$\delta y = [2P_1(x-xp)(y-yp)+2P_2(r_2+2(y-yp))](1+P_3r_2) \quad (7)$$

Dimana:

$r$	: Jarak radial
$\delta x$	: besar pergeseran sumbu x ( $\mu\text{m}$ )
$\delta y$	: besar pergeseran sumbu y ( $\mu\text{m}$ )
$P_1, P_2, P_3$	: parameter distorsi tangensial
$x_p, y_p$	: titik pusat foto (mm)
$x, y$	: koordinat pusat foto (mm)

### **2.9.3. Bundle Adjustment**

*Bundle adjustment* ini merupakan suatu pendekatan model matematika pada fotogrametri yang digunakan untuk kalibrasi kamera dalam proses pemotretan. *Bundle adjustment* menetapkan posisi dan orientasi dari setiap berkas menggunakan sinar dari setiap berkas dan informasi titik kontrol tanah yang diberikan. Prinsip *bundle adjustment* adalah menghubungkan secara langsung sistem koordinat foto ke sistem koordinat tanah tanpa melalui tahap orientasi relatif dan absolut (Wolf & Dewitt, 2000). Secara matematis, persamaan *bundle adjustment* dapat diekspresikan sebagai persamaan transformasi konform tiga dimensi, yaitu:

$$\begin{bmatrix} Xp \\ Yp \\ Zp \end{bmatrix} \text{ tanah} = \begin{bmatrix} Xo \\ Yo \\ Zo \end{bmatrix} + \lambda R \begin{bmatrix} Xp \\ Yp \\ Z \end{bmatrix} \text{ foto} \quad (8)$$

Dimana:

$Xp, Yp, Zp$	= posisi p dalam koordinat tanah
$Xo, Yo, Zo$	= posisi pusat proyeksi kamera
$Xp, Yp, Zp$	= posisi p dalam koordinat foto
$\lambda$	= faktor skala
$f$	= fokus lensa
$r_{11}, \dots, r_{33}$	= elemen matriks $R^T$
$\phi, \omega, \kappa, Xo, Yo, Zo$	= parameter eksterior orientasi

Prinsip *bundle adjustment* adalah menggunakan inversi persamaan (8) yang dimodifikasi untuk menunjukkan koordinat foto merupakan fungsi dari koordinat tanah, sebagaimana ditunjukkan oleh persamaan (9) dengan  $r_{11}, \dots, r_{33}$  adalah elemen matriks rotasi  $R^T$ . Elemen matriks  $r_{11}, \dots, r_{33}$  ini merupakan fungsi rotasi terhadap sumbu X, Y, Z.

$$\begin{bmatrix} Xp \\ Yp \\ -f \end{bmatrix} = 1/\lambda \begin{bmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Xp - Xo \\ Yp - Yo \\ Zp - Zo \end{bmatrix} \quad (9)$$

Pada persamaan (9), jika baris ke-1 dan ke-2 dibagi dengan baris ke-3 maka akan diperoleh persamaan kesegarisan (*collinear equation*)

$$Xp = -f \frac{(r_{11}(xp - xo) + r_{21}(yp - yo) + r_{31}(zp - zo))}{(r_{13}(xp - xo) + r_{23}(yp - yo) + r_{33}(zp - zo))} \quad (10)$$

$$Yp = -f \frac{(r_{11}(xi - xo) + r_{21}(yi - yo) + r_{31}(zi - zo))}{(r_{13}(xi - xo) + r_{23}(yi - yo) + r_{33}(zi - zo))}$$

Persamaan (10) menunjukkan bahwa posisi sebuah titik di permukaan tanah, di foto, dan pusat proyeksi kamera terletak pada suatu garis lurus.

Persamaan keseгарisan tersebut mengandung 6 parameter yang belum diketahui ( $\phi$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$ ,  $X_o$ ,  $Y_o$ ,  $Z_o$ ) dan merupakan persamaan non linier sehingga perlu dilinierkan dengan menggunakan deret Taylor.

$$xp = (xp)_o + \frac{\delta xp}{\delta x_o} \delta x_o + \frac{\delta xp}{\delta y_o} \delta y_o + \frac{\delta xp}{\delta z_o} \delta z_o + \frac{\delta xp}{\delta \omega} \delta \omega + \frac{\delta xp}{\delta \phi} \delta \phi + \frac{\delta xp}{\delta k} \delta k \quad (11)$$

$$yp = (yp)_o + \frac{\delta yp}{\delta x_o} \delta x_o + \frac{\delta yp}{\delta y_o} \delta y_o + \frac{\delta yp}{\delta z_o} \delta z_o + \frac{\delta yp}{\delta \omega} \delta \omega + \frac{\delta yp}{\delta \phi} \delta \phi + \frac{\delta yp}{\delta k} \delta k$$

Dalam pemotretan foto udara untuk keperluan efisiensi biaya dan mempercepat proses, maka digunakan jumlah titik kontrol tanah seminimum mungkin. Keperluan dalam kerapatan titik kontrol tanah digunakan triangulasi udara, dimana secara matematis menggunakan pendekatan *Bundle Block Adjustment*.

Kerapatan titik kontrol tanah ini menggunakan titik sekutu antar foto yang bertampalan, yang disebut *tie point* atau titik Von Gruber. Perataan tersebut dilakukan dengan menambahkan parameter koordinat titik (P).

Persamaan (12) adalah teknik *bundle adjustment* untuk mendapatkan nilai parameter *EO* dan koordinat titik obyek di dalam sistem kartesian 3D. Jika titik-titik obyek ini hendak dihitung dengan tingkat keakurasian yang lebih tinggi lagi, maka kesalahan sistematis di dalam kamera harus dimodelkan



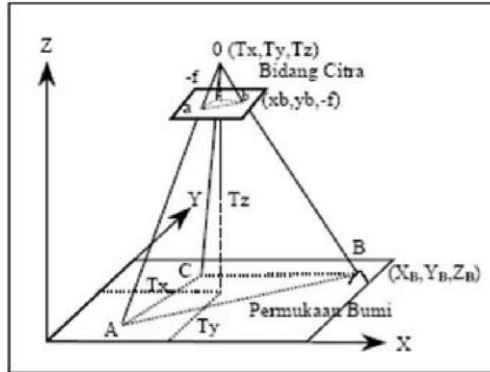
$$\begin{aligned}
 xp &= (xp)_o + \frac{\delta xp}{\delta x_o} \delta x_o + \frac{\delta xp}{\delta y_o} \delta y_o + \frac{\delta xp}{\delta z_o} \delta z_o \\
 &\quad + \frac{\delta xp}{\delta \omega} \delta \omega + \frac{\delta xp}{\delta \phi} \delta \phi + \frac{\delta xp}{\delta k} \delta k \\
 &\quad + \frac{\delta xp}{\delta x_p} \delta x_p + \frac{\delta xp}{\delta y_p} \delta y_p + \frac{\delta xp}{\delta z_p} \delta z_p
 \end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
 yp &= (yp)_o + \frac{\delta yp}{\delta x_o} \delta x_o + \frac{\delta yp}{\delta y_o} \delta y_o + \frac{\delta yp}{\delta z_o} \delta z_o \\
 &\quad + \frac{\delta yp}{\delta \omega} \delta \omega + \frac{\delta yp}{\delta \phi} \delta \phi + \frac{\delta yp}{\delta k} \delta k \\
 &\quad + \frac{\delta yp}{\delta x_p} \delta x_p + \frac{\delta yp}{\delta y_p} \delta y_p + \frac{\delta yp}{\delta z_p} \delta z_p
 \end{aligned}$$

Persamaan (12) adalah teknik *bundle adjustment* untuk mendapatkan nilai parameter  $EO$  dan koordinat titik obyek di dalam sistem kartesian 3D. Jika titik-titik obyek ini hendak dihitung dengan tingkat keakurasian yang lebih tinggi lagi, maka kesalahan sistematis di dalam kamera harus dimodelkan

### **2.10. Prinsip Kesegaran**

Pada saat sebuah foto diambil, berkas sinar dari objek akan menjalar menyerupai garis lurus menuju pusat lensa kamera hingga mencapai bidang film atau detektor digital. Kondisi dimana titik objek pada dunia nyata, titik pusat proyeksi, dan titik obyek pada bidang foto harus terletak satu garis dalam ruang dinamakan kondisi kesegaran (*collinearity condition*) berkas sinar. Kondisi ini merupakan dasar dari konsep fotogrametri (Hertanto, 2014).



Gambar 2.7. Prinsip Kesegarisan  
(Hertanto, 2014)

Dalam fotogrametri, posisi dari sebuah objek pada ruang didefinisikan pada sistem koordinat kartesian 3D. Pada awalnya, objek terdefinisi pada sistem koordinat berkas. Kemudian dilakukan transformasi koordinat untuk mendapatkan koordinat objek pada sistem koordinat tanah. Antara kedua sistem koordinat itu terdapat perbedaan orientasi dan skala. sehingga transformasi koordinat terdiri dari translasi, rotasi dan perubahan skala. Pusat dari sistem koordinat berkas merupakan pusat dari lensa kamera, yang dikenal dengan nama pusat perspektif (*perspective center*). Titik pusat lensa kamera diketahui, sehingga berkas sinar dari objek yang melewati pusat lensa kamera akan jatuh pada sebuah titik pada bidang foto yang dapat diketahui koordinat fotonya.  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$  merupakan titik pusat kamera,  $x_a$ ,  $y_a$ ,  $-c$  merupakan koordinat sebuah titik A pada sistem koordinat berkas, dan  $X_A$ ,  $Y_A$ ,  $Z_A$  merupakan koordinat titik A pada sistem koordinat tanah, maka persamaan kolinearitas adalah:

$$x_a - x_0 = -c \left[ \frac{m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Z_A - Z_L) + m_{13}(Y_A - Y_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Z_A - Z_L) + m_{33}(Y_A - Y_L)} \right] \quad (13)$$

$$y_a - y_0 = -C \left[ \frac{m21(XA - XL) + m22(ZA - ZL) + m23(YA - YL)}{m31(XA - XL) + m32(ZA - ZL) + m33(YA - YL)} \right] \quad (14)$$

Dimana:

$x_a - x_0$	= Koordinat titik A di foto
$y_a - y_0$	= Koordinat titik utama
$XA, YA, ZA$	= Koordinat titik A di Bumi
$C$	= Panjang fokus kamera
$m$	= Matriks rotasi

$$R = R\omega \cdot R\varphi \cdot Rk \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} \cos\omega \cdot \cos k & \sin\omega \cdot \sin\varphi \cdot \cos k + \sin\omega \cdot \sin k & -\cos\omega \cdot \sin\varphi \cdot \cos k + \sin\omega \cdot \sin k \\ \cos\omega \cdot \sin k & -\sin\omega \cdot \sin\varphi \cdot \sin k + \cos\omega \cdot \cos k & \cos\omega \cdot \sin\varphi \cdot \cos k + \sin\omega \cdot \cos k \\ \sin\varphi & -\sin\omega \cdot \cos\varphi & \cos\omega \cdot \cos\varphi \end{bmatrix} \quad (16)$$

Dimana: $\omega$	= Rotasi terhadap sumbu x
$\varphi$	= Rotasi terhadap sumbu y
$k$	= Rotasi terhadap sumbu z

## **2.11. Titik Kontrol Tanah (Ground Control Point/GCP)**

Titik kontrol tanah atau *ground control point* (GCP) merupakan suatu titik di atas permukaan tanah yang memiliki nilai koordinat tertentu, dalam sistem koordinat tertentu, yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan posisi titik atau obyek di suatu tempat di permukaan tanah.

Titik kontrol tanah ini dapat ditentukan dengan berbagai cara. Untuk penentuan koordinat planimetriknya (X, Y) dapat digunakan metode triangulasi, trilaterasi, poligon dan GPS. Sedangkan untuk penentuan tinggi titiknya (Z) dapat digunakan metode sipat datar atau trigonometris. Pengukuran disini adalah pengukuran titik kontrol horisontal dan tinggi. Hasil dari pengukuran titik kontrol ini adalah daftar koordinat tanah X, Y, Z pada masing-masing titik kontrol tanah yang dilalui jalur

pengukuran. Dalam pemotretan udara, titik kontrol tanah ini diperlukan untuk triangulasi udara (AT). Jumlah dan distribusi titik kontrol ini memegang peranan penting dalam menentukan ketelitian hasil suatu triangulasi udara.

Konfigurasi distribusi dan jumlah titik kontrol dalam satu blok foto adalah sebagai berikut: titik kontrol tanah ini dapat ditentukan dengan berbagai cara. Untuk penentuan koordinat planimetriknya (X, Y) dapat digunakan metode triangulasi, trilaterasi, poligon dan GPS. Sedangkan untuk penentuan tinggi titiknya (Z) dapat digunakan metode sipat datar atau trigonometris. Pengukuran disini adalah pengukuran titik kontrol horisontal dan tinggi. Hasil dari pengukuran titik kontrol ini adalah daftar koordinat tanah X, Y, Z pada masing-masing titik kontrol tanah yang dilalui jalur pengukuran. Dalam pemotretan udara, titik kontrol tanah ini diperlukan untuk triangulasi udara (AT) (Octori, 2015).

Jumlah dan distribusi titik kontrol ini memegang peranan penting dalam menentukan ketelitian hasil suatu triangulasi udara. Semakin banyak dan tersebar nya GCP dari sebuah foto udara maka hasilnya akan semakin baik. Umumnya, GCP disebar merata disekitar area pengukuran dan memiliki konfigurasi tertentu dan berada di tempat yang terbuka agar mudah dalam proses pengidentifikasian. Sama halnya dalam penentuan ICP untuk mengetahui ketelitian horisontal dari sebuah foto udara.

### **2.12. Structure from Motion**

*Structure from Motion* (SfM) adalah metode atau teknik pencitraan fotogrametri untuk memperkirakan struktur 3D dari urutan gambar dua dimensi yang dapat digabungkan dengan sinyal gerakan lokal. SfM beroperasi menggunakan prinsip dasar yang sama dengan fotogrametri tradisional, yaitu struktur 3D bisa didapatkan dari beberapa gambar yang saling bertampalan. Tetapi, secara dasar berbeda dengan fotogrametri tradisional, karena geometri dan lokasi, yaitu posisi kamera dan orientasi diketahui secara otomatis tanpa harus menentukan titik-titik kontrol 3D.

Hal ini diselesaikan secara bersamaan menggunakan prosedur *bundle adjustment* yang *iterative*, berdasarkan database dari fitur yang diambil secara otomatis dari beberapa gambar yang bertampalan (Snavely, 2010).

Metode ini paling cocok digunakan untuk sekumpulan gambar dengan *overlap* tinggi dengan menangkap struktur 3D secara keseluruhan dari lokasi yang dilihat dari berbagai macam posisi, atau sesuai dengan namanya, gambar yang didapat dari sensor yang bergerak (Westoby, Brasington, Glasser, Hambrey, & Reynolds, 2012).

Metode SfM tidak memerlukan reseksi dalam pengerjaannya. Posisi kamera dan geometri dari lokasi direkonstruksi secara bersamaan melalui identifikasi secara otomatis dari fitur yang sama dalam beberapa gambar. Fitur ini dilacak dari gambar ke gambar, memungkinkan perkiraan awal dari posisi kamera dan koordinat objek yang nantinya diperbaiki secara iteratif menggunakan minimisasi leastsquare yang non-linear (Snavely, 2010).

Menurut Westoby dkk (2012), cara kerja SfM meliputi langkah-langkah seperti berikut:

1. Akuisisi foto

Proses SfM membentuk titik 3D objek dari banyaknya foto, sehingga akuisisi foto terhadap objek harus dari banyak sudut pengambilan. Banyaknya foto terhadap objek akan mempengaruhi resolusi spasial yang dihasilkan.

2. Ekstraksi *Keypoint*

*Keypoint* diekstraksi secara otomatis berdasarkan keunikan dari nilai *pixel* objek. Banyaknya *keypoint* didasarkan pada tekstur dan resolusi gambar. Semakin baik tekstur dan semakin tinggi resolusi akan menghasilkan banyak *keypoint*.

3. Rekonstruksi 3D

Rekonstruksi 3D diperoleh dari proses *bundle adjustment* dari *keypoint* yang telah digabung. Hasil dari

proses *bundle adjustment* menghasilkan *sparse point cloud*. Penggabungan *keypoint* dilakukan dengan algoritma *approximate nearest neighbor*.

#### 4. *Post-Processing*

*Post-Processing* yang dilakukan yaitu transformasi koordinat menggunakan data dari pengukuran GCP agar diperoleh koordinat absolut point 3D pada permukaan bumi.

### **2.12.1. Digital Image Matching**

*Feature detection & matching* merupakan dua hal penting dalam aplikasi *computer vision* yang semakin berkembang pengaplikasiannya. *Feature detection & matching* biasanya digunakan sebagai pelacak objek otomatis, pencocokan *point*, segmentasi berbasis gerak, rekonstruksi objek 3D, dan lain-lain.

Algoritma yang digunakan dalam *feature detection & matching*, yaitu *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT). Algoritma ini pertama kali diusulkan oleh David Lowe pada tahun 2004 dan digunakan untuk penjahitan pasangan foto yang memiliki perbedaan rotasi, skala, dan perubahan pada titik pandang 3D. Dengan menggunakan SIFT ini, suatu citra akan diubah menjadi vektor fitur lokal yang kemudian akan digunakan sebagai salah satu pendekatan untuk melakukan deteksi dan ekstraksi deskriptor fitur lokal tersebut.

Sebagai metode ekstraksi fitur pada pengenalan objek, SIFT memiliki kelebihan yang banyak dikembangkan untuk aplikasi pengenalan objek.

Terdapat beberapa kelebihan dari SIFT (Rahman, 2019), diantaranya:

- Hasil ekstraksi fitur bersifat *invariant* terhadap ukuran, translasi dan rotasi dua dimensi.

- Hasil ekstraksi fitur bersifat *invariant* sebagian terhadap perubahan iluminasi dan perubahan sudut pandang tiga dimensi.
- Mampu mengekstrak banyak *keypoint* dari citra yang tipikal.
- Hasil ekstraksi fitur benar-benar mencirikan secara khusus.

Algoritma yang digunakan pada metode SIFT untuk menghasilkan sekumpulan fitur gambar terdiri dari empat tahap (Lowe, 2004), yaitu:

- *Scale-space extrema detection*

Pencarian nilai ekstrim pada skala ruang merupakan tahap awal dalam penentuan *keypoint* dari suatu citra. Dengan menggunakan fungsi *Gaussian-Blurred*, citra pada skala ruang dapat didefinisikan sebagai fungsi  $L(x, y, \sigma)$ , yang diperoleh dari hasil konvolusi variabel Gaussian,  $G(x, y, \sigma)$ , dengan *input* gambar  $I(x, y)$ , sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y) \quad (17)$$

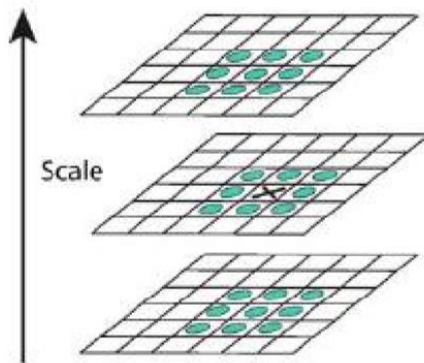
Dimana  $*$  adalah operasi konvolusi antara  $x$  dan  $y$

Citra hasil *Difference of Gaussian*,  $D(x, y, \sigma)$ , diperoleh dengan melakukan operasi konvolusi pada *input* gambar dengan filter *Difference of Gaussian*, sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$\begin{aligned} D(x, y, \sigma) &= (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) * I(x, y) \\ &= L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \end{aligned} \quad (18)$$

Dimana  $G$  adalah fungsi Gaussian dan  $I$  adalah gambar

Dari persamaan (18) terlihat bahwa citra hasil *Difference of Gaussian* (DoG), sebenarnya merupakan selisih antara citra hasil *Gaussian-Blurred* dengan nilai skala  $k$  yang berbeda. Kemudian dicari kandidat *keypoint* yang dideteksi sebagai titik maksimum atau minimum lokal dari titik maksimum atau minimum lokal dari citra hasil DoG. Jika piksel tersebut merupakan maksimum atau minimum lokal, maka piksel tersebut akan dijadikan sebagai kandidat *keypoint*.



Gambar 2.8. Ilustrasi pencarian maksimum atau minimum lokal (Lowe, 2004)

– *Keypoint localization*

Setelah kandidat *keypoint* ditentukan melalui tahap pertama, maka tahap selanjutnya yaitu mengambil detail dari kandidat *keypoint*. Pada tahap ini akan terjadi pengurangan jumlah kandidat *keypoint* yang dianggap sangat rentan terhadap gangguan (*noise*) akan dihilangkan, yaitu kandidat *keypoint* yang memiliki kontras rendah dan kandidat *keypoint* yang kurang jelas serta terletak di sepanjang tepi (Rahman, 2019).



– *Orientation assignment*

Pada tahap ini, masing-masing *keypoint* yang diperoleh akan diberikan suatu orientasi yang tetap berdasarkan sifat-sifat lokal pada citra. Dengan adanya proses ini maka *keypoint* yang dihasilkan tidak terpengaruh terhadap adanya rotasi citra. Untuk menentukan orientasi dari masing-masing *keypoint* maka dilakukan perhitungan terhadap besarnya gradien dan sudut arah orientasi. Adapun perhitungan terhadap nilai gradien  $m(x, y)$  dan arah orientasi  $\theta(x, y)$  menggunakan persamaan:

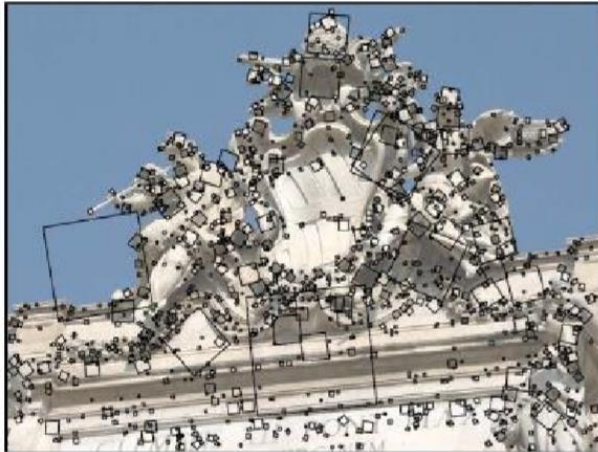
$$m(x, y) = \frac{L(x, y + 1) - L(x, y - 1)}{\sqrt{(L(x + 1, y) - L(x - 1, y))^2 + (L(x, y + 1) - L(x, y - 1))^2}}$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{L(x, y + 1) - L(x, y - 1)}{L(x + 1, y) - L(x - 1, y)} \quad (19)$$

– *Keypoint descriptor*

Pada tahap ini, masing-masing *keypoint* yang telah diorientasikan akan diberi ciri khusus (deskriptor). Proses ini bertujuan untuk mendapatkan *keypoint* yang *invariant* terhadap perubahan intensitas cahaya atau perubahan sudut pandang tiga dimensi. Selanjutnya deskriptor *keypoint* yang telah diperoleh akan dinormalisasi untuk mengatasi pengaruh perubahan cahaya.

Setelah melalui tahapan-tahapan tersebut, maka pada hasil akhir akan diperoleh suatu citra dengan *keypoint* yang *invariant* terhadap berbagai macam perubahan, seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 2.9. Contoh fitur SIFT yang terdeteksi (Snavely, 2010)

### **2.13. Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018**

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. Hal-hal yang dibahas seperti ketelitian peta dasar meliputi ketelitian geometri dan ketelitian atribut. Ketelitian geometri adalah nilai yang menggambarkan ketidakpastian koordinat posisi suatu objek pada peta dibandingkan dengan koordinat posisi objek yang dianggap posisi sebenarnya. Komponen ketelitian geometri terdiri atas akurasi horizontal dan akurasi vertikal. Ketelitian atribut adalah nilai yang menggambarkan tingkat kesesuaian atribut sebuah objek di peta dengan atribut sebenarnya (BIG, 2018).

Ketentuan untuk standar ketelitian geometri Peta RBI yang dihasilkan tertera pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.4. Ketelitian Geometri Peta RBI

No.	Skala	Interval Kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horizontal (CE90 (m))	Vertikal (LE90 (m))	Horizontal (CE90 (m))	Vertikal (LE90 (m))	Horizontal (CE90 (m))	Vertikal (LE90 (m))
1	1:1.000.000	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	1:2.500	1	0,75	0,5	1,5	0,75	2,3	1
10	1:1.000	0,4	0,3	0,2	0,6	0,3	0,9	0,4

Nilai ketelitian di setiap kelas diperoleh melalui ketentuan seperti tertera pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.5. Ketentuan Ketelitian Geometri Peta RBI berdasarkan Kelas

Ketelitian	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
Horizontal	0,3 mm x bilangan skala	0,6 mm x bilangan skala	0,9 mm x bilangan skala
Vertikal	0,5 x interval kontur	1,5 x ketelitian kelas 1	2 x ketelitian kelas 1

Nilai ketelitian posisi peta dasar pada Tabel 2.4. 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:

$$CE90 = 1,5175 \times RMSE_r \quad (17)$$

$$LE90 = 1,6499 \times RMSE_z \quad (18)$$

dengan

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

$RMSE_z$  : *Root Mean Square Error* pada posisi z (Vertikal)

Ketelitian geometri peta harus dituliskan dalam bentuk pernyataan pada metadata dan sajian kartografis peta dasar tersebut. Pernyataan tersebut berupa “Peta ini memiliki ketelitian horizontal sebesar xx,xx meter dan ketelitian vertikal sebesar xx,xx meter. Kelas ketelitian peta ini adalah ketelitian horizontal kelas x dan ketelitian vertikal kelas x”

#### **2.14. Perangkat Lunak *Open Source* OpenDroneMap**

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat *Open Source* bernama OpenDroneMap (ODM) yang dapat mengolah foto udara. Perlu diketahui bahwa ODM saat ini masih dalam versi 0.3 beta, yang berarti bahwa perangkat lunak ini masih dalam tahap pengembangan. Perangkat lunak ini dirancang untuk memproses foto non-metrik dari pesawat udara tanpa awak dan dapat memproduksi *point cloud*, *digital surface model*, *textured digital surface model*, dan gambar terrektifikasi (Burdziakowski, 2017). ODM tidak menyediakan *graphical user interface* (GUI) untuk berinteraksi dengan pengguna yang mengharuskan penggunaannya untuk memiliki pengetahuan dasar dalam pengoperasian berbasis linux. Gambar yang akan diolah disiapkan dan diletakkan pada folder khusus. Perintah-perintah digunakan pada terminal untuk memulai mengolah gambar. Hasil akhirnya akan diletakkan pada folder yang dikehendaki. ODM tidak menyediakan fitur lebih untuk melihat hasil gambar yang telah diolah. Perangkat lunak pendukung untuk melihat, menyunting, dan mengevaluasi diperlukan untuk hasil gambarnya. Semua proses yang dilakukan terjadi di dalam *central processing unit* (CPU) sedangkan *graphical processing unit* (GPU) tidak dapat digunakan. Jika dapat menggunakan GPU dalam proses pengolahan gambar disertai dengan teknologi NVIDIA CUDA, kecepatan pengolahan gambar dapat dipercepat hingga delapan kali lebih cepat dibandingkan dengan pengolahan menggunakan CPU.

Langkah pertama yang diperlukan untuk mendapatkan data berupa gambar berformat *Exchangable Image File Format* (EXIF) dengan menggunakan kamera detail dan *georeference* dari setiap lokasi pada gambar. Parameter-parameter kamera diekstrak dari EXIF dibandingkan dengan basis data kamera dimana setiap parameter kalibrasi kamera dapat ditemukan. Sayangnya, kamera *GoPro Hero 3 Black* tidak didukung sepenuhnya serta koefisien distorsi tidak sesuai dengan kualitas fotogrametri. Setelah proses penghilangan distorsi maka distorsi radial tetap ada. Setelah

mempelajari kode dari perangkat lunak ODM, ditemukan bahwa perangkat lunak ini hanya memproses penghilangan algoritma distorsi dari dua koefisien, distorsi radial ( $k_1$ ,  $k_2$ ) dan tangensial ( $p_1$ ,  $p_2$ ), yang dianggap nol. Hal tersebut dapat menjadi saran agar ODM dapat berkembang lebih baik lagi.

Perangkat lunak komersil seperti *Pix4D Mapper*, adalah salah satu perangkat lunak dalam pengolahan fotogrametri yang umum ditemukan di pasaran. Akurasi dari perangkat lunak dievaluasi dan model fotogrametri tiga dimensi yang dibentuk dari beberapa gambar dari kamera dan lensa dibandingkan dengan hasil dari *laser scanner*. Seperti yang telah dibuktikan, akurasi dari model tiga dimensi dapat disejajarkan dengan hasil dari *laser scanner*. Dalam eksperimen ini, disimpulkan bahwa lensa *fisheye* dapat mencapai akurasi dibawah 10cm untuk objek yang berjarak 15m. Hasil paling buruk yang pernah didapat adalah hasil dari lensa 180 derajat penuh (*GoPro Hero 4 Black Edition*). Hasil akurasi dari lensa 180 derajat tidak sebaik lensa konvensional. Semakin kecil sudut dari lensa *fisheye* maka hasilnya dapat disejajarkan dengan lensa konvensional (Burdziakowski, 2017).

Berdasarkan penelitian Groos dkk pada tahun 2019, mereka menggunakan lima ortofoto resolusi tinggi (5cm) dan DSM (25cm) di Gunung Kanderfirn dari data foto udara UAV menggunakan perangkat lunak OpenDroneMap versi terbaru (0.4.1) (Groos, Bertschinger, Kummer, Erlwein, & Philipp, 2019). OpenDroneMap adalah komunitas pengguna aplikasi *open source* yang berkembang sangat pesat dalam mengolah dan menganalisis foto udara yang didapatkan dari UAV. Program yang digunakan dapat dijalankan pada semua sistem operasi komputer. Fitur lain yang dapat digunakan, yakni WebODM, menyediakan OpenDroneMap yang memiliki fitur visualisasi, penyimpanan, dan analisis data. OpenDroneMap memiliki alur kerja seperti aplikasi fotogrametri pada umumnya untuk memproduksi *point clouds*, *textured mesh*, DSM, dan ortofoto dari foto udara seperti yang dijelaskan pada langkah dibawah:

- *Import* foto udara dengan lokasi (*geotagged*) dan ekstrak metadata dari foto udara (spesifikasi kamera dan informasi geografis).
- Perhitungan posisi kamera atau orientasi yang akurat serta pembuatan *sparse three-dimensional (3D) point cloud* menggunakan fitur *structure from motion* yang ada di OpenSfM yang berfungsi sebagai pencocokan gambar dan ekstraksi fitur.
- Perapatan dari *sparse point cloud* berdasarkan rekonstruksi dari *Multi-View Stereo 3D*.
- Pengubahan *dense point cloud* menjadi *triangular 3D mesh* berdasarkan pada *Poisson Surface Reconstruction* yang dilakukan.
- *Texturing* dari *3D mesh* menggunakan algoritma untuk rekonstruksi 3D skala besar. Sebagai data masukan, algoritmanya membutuhkan *triangulated 3D mesh* dan gambar-gambar yang telah sesuai dengan model tersebut.
- Proses *georeferencing* dari *3D point cloud* dan *triangular mesh*. Sebuah transformasi menggunakan GCP diaplikasikan pada model tiga dimensi. Untuk proses transformasi, OpenDroneMap memilih untuk menggunakan kombinasi 3 GCP yang memiliki kemungkinan akurasi tertinggi.
- Pembuatan *georeferenced DSM* dari *dense point cloud*.
- Pembuatan *georeferenced orthophoto* dari *textured mesh*.

## **2.15. Penelitian Terdahulu**

Penelitian yang mendasari penulis dalam pemilihan judul dan topik pembahasan diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh:

1. (Ayyubi, 2017) yang berjudul *Analisa Planimetrik Hasil Pemetaan Foto Udara Skala 1:1000 Menggunakan Wahana Fix Wing UAV (Studi Kasus: Kampus ITS, Sukolilo)*. Penelitian ini menggunakan wahana *Fix Wing* sebagai wahana akuisisi data foto udara. *Fix Wing* yang

digunakan jenis *Sky Walker* untuk pemetaan ITS Sukolilo. Hasil penelitian tersebut memenuhi uji akurasi planimetrik dengan pedoman Perka BIG No. 15 Tahun 2014. Akan tetapi kekurangannya dari penelitian ini yaitu adanya pergeseran relief. Maka untuk menghilangkan atau mengurangi, disarankan agar wahana terbang lebih dari satu kali untuk meminimalisir pergeseran relief.

2. (Akbar, 2018) yang berjudul *Analisis Akurasi Horizontal Peta Ortofoto Skala 1:1000 Menggunakan DJI Mavic Pro (Studi Kasus: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Sukolilo Surabaya)*. Penelitian ini menggunakan wahana *quadcopter* sebagai wahana akuisisi data foto udara. *Quadcopter* yang digunakan jenis *DJI Mavic Pro* untuk pemetaan Kampus ITS Sukolilo. Hasil penelitian tersebut memenuhi uji akurasi planimetrik dengan pedoman Perka BIG No. 15 Tahun 2014. Akan tetapi kekurangannya dari penelitian ini yaitu banyaknya bangunan tinggi. Maka untuk mengatasi hal tersebut, disarankan agar menggunakan jalur terbang khusus dengan ketinggian menyesuaikan tinggi bangunan agar dapat terbentuk orto yang baik.
3. (Burdziakowski, 2017) yang berjudul *Evaluation of Open Drone Map Toolkit for Geodetic Grade Aerial Drone Mapping – Case Study*. Penelitian ini membahas dan menganalisis perangkat lunak OpenDroneMap. Fitur yang dianalisis meliputi proses pengolahan data, tingkat akurasi, dan hasil *Digital Surface Modeling* (DSM). OpenDroneMap tidak menyediakan GUI sehingga memiliki tampilan *command prompt* seperti Linux. Kelebihan utama dari OpenDrone Map adalah gratis dan mudah untuk diakses bagi pengguna yang membutuhkan perangkat lunak pengolahan data foto udara namun pengguna perlu memiliki kemampuan *programming* dasar.



4. (Neupane, Horanont, Hung, Suebvong, & Mahattanawutakorn, 2019) yang berjudul *an open-source UAV Image Processing Web Service for Crop Health Monitoring*. Penelitian ini menyajikan hasil analisis perangkat lunak OpenDroneMap yang dapat menghasilkan peta ortofoto dengan resolusi hingga 5,87 centimeter per piksel (cm/px) dan dapat menyajikan objek yang relatif kecil, seperti pohon pisang, dengan cukup jelas sehingga dapat digunakan untuk kegiatan *monitoring* kesehatan tanaman.
5. (Groos, Bertschinger, Kummer, Erlwein, & Philipp, 2019) yang berjudul *The Potential of Low-Cost UAVs and Open-Source Photogrammetry Software for High-Resolution Monitoring of Alpine Glaciers: A Case Study from the Kanderfirn (Swiss Alps)*. Penelitian ini melakukan akuisisi data foto udara menggunakan wahana *fixed wing* UAV di gletser dari pegunungan Alpen bagian barat daya. Penelitian ini juga menghasilkan RMSe horizontal sebesar 0,7 meter pada skala besar dan 1,2 meter pada skala kecil.

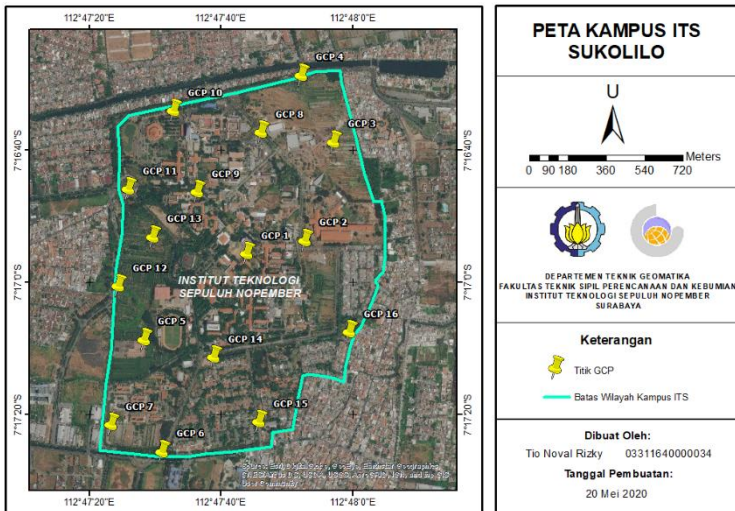
Perbedaan yang dilakukan dalam penelitian ini dengan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yakni bertujuan untuk menganalisis proses pembuatan, beserta hasil yang didapatkan, dari perangkat lunak *open source* OpenDroneMap dengan menggunakan data *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Analisis pembuatan peta ortofoto pada penelitian ini nantinya akan didapatkan rekomendasi penggunaan perangkat lunak *open source* OpenDroneMap untuk pembuatan peta ortofoto.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB III METODOLOGI

### 3.1. Lokasi Penelitian

Adapun lokasi penelitian ini dilakukan di daerah Kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Sukolilo, Surabaya.



Gambar 3.1. Lokasi Penelitian

### 3.2. Data dan Peralatan

Bagian ini berisi mengenai data dan peralatan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini.

#### 3.2.1. Data

Data yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

- Foto hasil pemotretan udara yang diakuisisi oleh penelitian sebelumnya (Ayyubi, 2017) pada tanggal 20 April 2017.

- Data hasil pengamatan GPS koordinat (X, Y, dan Z) *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Check Point* (ICP).
- Citra *Google Earth* Kampus ITS Sukolilo.

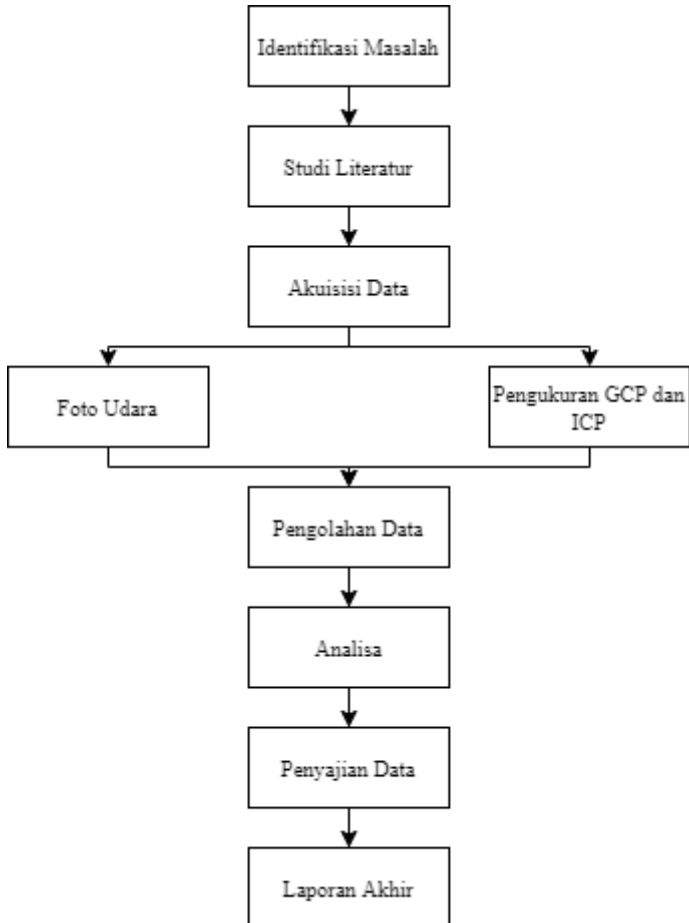
### **3.2.2. Peralatan**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain:

- a. Perangkat keras (*Hardware*)
  - *Fixed Wing* UAV tipe Farm-Mapper sebagai wahana untuk pemotretan foto udara.
  - *Autopilot 3DR Pixhawk* untuk mengendalikan penerbangan pesawat.
  - GPS Geodetik untuk pengukuran GCP dan ICP.
  - Kamera *Canon PowerShot S1000*.
  - *Premark*.
  - Komputer Laboratorium Geoinformatika, yaitu sebuah PC ROG Huracan type G21CN ID761T, processor I7 8700, AM 32GB, SSD 256GB, HDD 1TB, dengan VGA GTX 1060 6GB, sebagai alat pengolah data.
  - *Notebook Lenovo Ideapad 310* sebagai alat pembuatan laporan.
- b. Perangkat Lunak (*Software*)
  - Perangkat lunak *open source* pengolah foto udara, yakni OpenDroneMap.
  - Perangkat lunak *Mission Planner* untuk membuat rencana jalur terbang pesawat.
  - *Photomodeler Scanner* untuk pengkalibrasian kamera *Canon PowerShot S1000*.
  - *ArcMap software* untuk menyajikan data.
  - Perangkat lunak *Microsoft Office 365* untuk membuat laporan.

### **3.3. Metodologi Penelitian**

Tahapan pekerjaan yang akan dilaksanakan pada penelitian tugas akhir ini terbagi menjadi tiga tahap, yakni tahap persiapan, tahap pengolahan dan analisis, serta tahap akhir.



Gambar 3.2. Tahap Pelaksanaan Penelitian

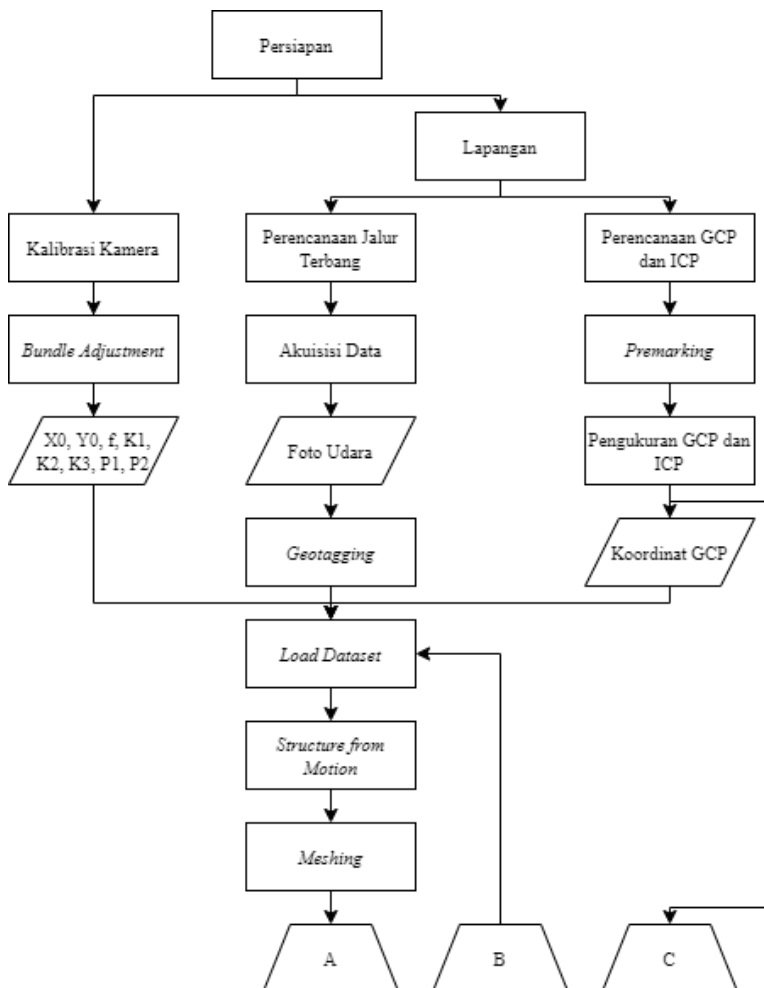
### **3.3.1. Tahap Persiapan**

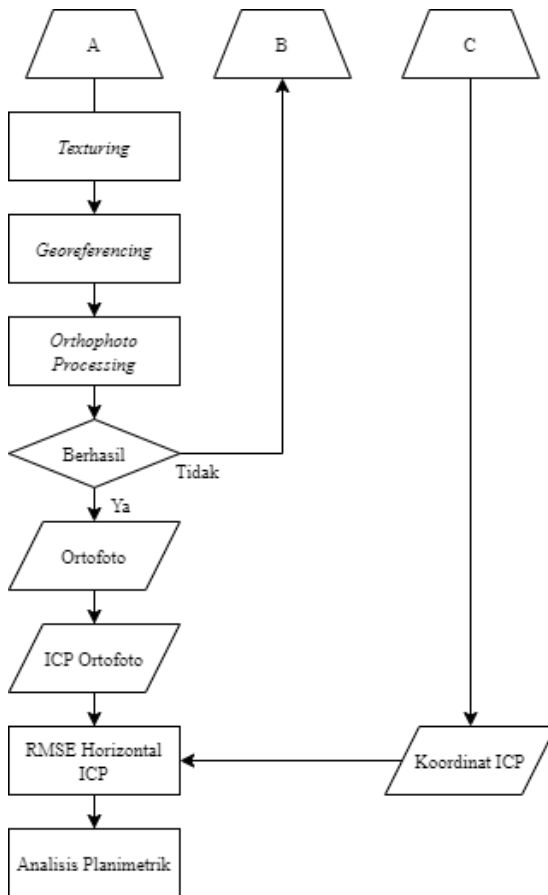
Tahapan persiapan yang dilaksanakan adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah  
Pada tahap ini dilakukan penentuan permasalahan mengenai kualitas ortofoto yang dihasilkan dari perangkat lunak foto udara *open source*, yakni OpenDroneMap, serta mencari studi literatur terkait dengan permasalahan yang diangkat.
2. Studi Literatur  
Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pemahaman mengenai materi yang terkait dengan penelitian ini. Dalam hal ini adalah foto udara format kecil, pengolahan foto udara, kalibrasi kamera, pengamatan GPS, dan UAV yang diperoleh dari buku bacaan, jurnal, dan pendapat dari para ahli pada bidang yang terkait.
3. Persiapan prasurevei  
Pada kegiatan ini dilakukan persiapan prasurevei untuk menentukan distribusi GCP dan ICP serta rencana jalur terbang wahana.
4. Akuisisi Data Foto Udara  
Kegiatan ini dilakukan untuk mendapatkan data hasil foto udara menggunakan kamera non-metrik digital dalam wahana UAV tipe Fixed—Wing yang telah diakuisisi pada penelitian sebelumnya (Ayyubi, 2017).
5. Pengukuran GCP dan ICP  
Kegiatan ini dilakukan untuk mendapatkan data berupa koordinat titik (X, Y, Z) pada permukaan tanah yang akan digunakan dalam proses *georeferencing* dan uji akurasi planimetris pada peta ortofoto.

### 3.3.2. Tahap Pengolahan dan Analisis

Tahap pengolahan dan analisis yang dilaksanakan adalah sebagai berikut:





Gambar 3.3. Tahap Pengolahan Data

Adapun penjelasan dari diagram alir pengolahan data tersebut sebagai berikut:



1. Persiapan  
Dilakukan beberapa aktivitas seperti penentuan GCP, perencanaan jalur terbang, serta pemasangan *premark* pada GCP.
2. Pengukuran GCP dan ICP  
Pengukuran GCP dan ICP dilakukan dengan menggunakan GPS Geodetik untuk mendapatkan nilai koordinat tanah (X, Y, dan Z).
3. Foto Udara  
Akuisisi foto udara menggunakan kamera non-metrik sesuai jalur terbang dengan *sidelap* 80% dan *overlap* 80%.
4. *Load Dataset*  
Memasukkan parameter kamera, koordinat GCP serta hasil akuisisi foto udara pada perangkat lunak untuk dapat diproses dan menghasilkan basis data foto.
5. Pembuatan Ortofoto  
Dilakukan pembuatan ortofoto secara otomatis oleh perangkat lunak *open source* OpenDroneMap yang didalamnya meliputi beberapa tahapan, yaitu:
  - *Structure from Motion (SfM)*  
Merupakan teknik pada fotogrametri untuk mengestimasi objek tiga dimensi dari susunan foto yang saling bertampalan dan menghasilkan *point cloud*.
  - *Meshing*  
Merupakan proses menghubungkan antar *point cloud* untuk dibuat menjadi model yang menyerupai bentuk asli di lapangan.
  - *Texturing*  
Merupakan proses penambahan warna dari hasil *meshing* dengan mengkomputasikan setiap poligon yang terbentuk dari warna foto.

- *Georeferencing*  
Merupakan proses transformasi koordinat lokal menjadi sistem koordinat global dengan menggunakan data koordinat GPS yang terdapat pada setiap foto udara yang di-*input*.
- *Orthophoto Processing*  
Merupakan proses pembentukan dari *textured 3D mesh* dan menghasilkan peta ortofoto berformat GeoTIFF.
- Validasi proses pengolahan  
Proses pengolahan dapat dikatakan berhasil jika *task output* berwarna hijau dan menampilkan tulisan '*Completed*', sedangkan jika gagal akan berwarna merah.

Hasil dari rangkaian proses diatas akan menghasilkan satu set *output* berupa DSM, DEM, hasil *texturing*, hasil *georeferencing*, dan *report* berformat txt.

#### 6. Analisis Planimetrik

Melakukan pengujian ketelitian planimetrik (X dan Y) dengan membandingkan ICP pada ortofoto dan ICP pada hasil pengukuran di lapangan dengan mengacu pada Perka BIG No. 6 Tahun 2018.

### **3.3.3. Tahap Akhir**

Hasil dari analisis dari penelitian ini akan diolah menjadi kesimpulan dalam laporan penelitian. Analisis tersebut akan menjadi kesimpulan dalam penentuan akurasi horizontal dari perangkat lunak *open source* OpenDroneMap. Hasil dari seluruh penelitian ini akan disajikan dalam bentuk laporan yang di dalamnya berisi mengenai data-data yang digunakan dan dihasilkan, proses akuisisi dan pengolahan data, serta analisis perangkat lunak yang digunakan.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil

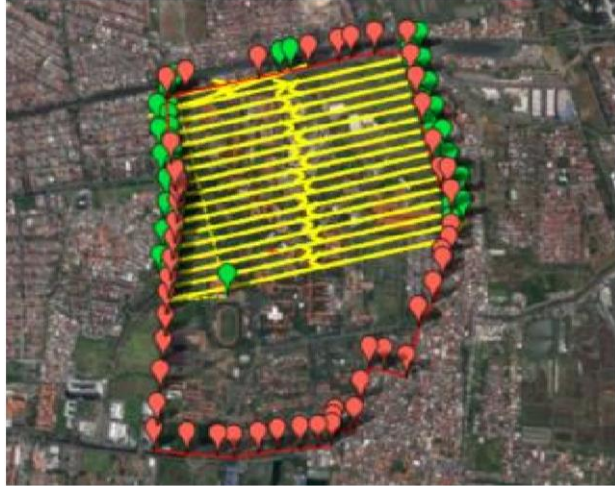
#### 4.1.1. Pembuatan Jalur Terbang

Pembuatan jalur terbang merupakan sebuah langkah awal yang diperlukan dalam akuisisi data foto udara yang diinginkan. Jalur terbang yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jalur terbang yang digunakan pada penelitian sebelumnya oleh (Ayyubi, 2017) dengan jumlah jalur terbang sebanyak dua set.

Jalur (a.) adalah pemotretan sesi pertama dimana terdapat 18 jalur terbang, sedangkan jalur (b.) adalah pemotretan sesi kedua dimana terdapat 17 jalur terbang. Pertimbangan dalam membagi jalur terbang ini menjadi dua set adalah karena keterbatasan daya baterai pada wahana serta adanya sinyal wireless ITS yang kuat sehingga wahana tidak mampu untuk terbang dengan cakupan area yang jauh dengan pilot yang berada di permukaan tanah.



(a.)



(b.)

Gambar 4.1. Rencana Jalur Terbang Fixed Wing UAV  
sesi 1 (a.) dan sesi 2 (b.)  
(Ayyubi, 2017)

Dari perencanaan jalur terbang di atas, didapatkan beberapa spesifikasi detail pada tabel di bawah.

Tabel 4.1. Perencanaan Terbang UAV

Luas Area	184 Ha
Tinggi Terbang	250 m
Jumlah Jalur	34
<i>Overlap</i>	80%
<i>Sidelap</i>	80%
<i>Shutter Speed</i>	<i>5 Second/image</i>
Foto yang Dihasilkan	775
Target Hasil Skala	1:1000
GSD	6,4 cm/pix

(Ayyubi, 2017)

#### **4.1.2. Hasil Pengukuran GCP dan ICP**

Pengukuran GCP dan ICP menggunakan GPS Geodetik dengan menggunakan metode statik dengan lama pengamatan setiap titik  $\pm 30$  menit untuk GCP dan  $\pm 20$  menit untuk ICP. Pengukuran GCP dilakukan pada titik ikat yang telah dibuat pada daerah akuisisi data foto udara dan pengukuran ICP dilakukan pada titiktitik di lokasi yang telah ditentukan. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data koordinat planimetris (X, Y).



Gambar 4.2. Persebaran Titik GCP

Tabel 4.2. Koordinat GCP dari Hasil Pengukuran di Lapangan

Nama	X (m)	Y (m)	Z (m)	Std E (X)	Std N (Y)
GCP 1	698237,230	9194668,144	32,989	0	0
GCP 2	698508,220	9194729,711	33,188	0,004	0,003
GCP 3	698644,925	9195187,724	33,250	0,002	0,002
GCP 4	698494,704	9195499,468	34,299	0,002	0,002
GCP 5	697755,469	9194270,818	32,802	0,003	0,003
GCP 6	697838,937	9193748,098	32,988	0,004	0,003
GCP 7	697601,838	9193874,318	32,658	0,004	0,004
GCP 8	698304,954	9195234,883	33,376	0,001	0,001
GCP 9	698007,789	9194957,100	33,140	0,002	0,002
GCP 10	697898,365	9195337,811	33,001	0,005	0,005
GCP 11	697685,559	9194971,537	33,209	0,002	0,002
GCP 12	697636,224	9194519,192	32,734	0,002	0,002
GCP 13	697799,404	9194749,112	32,749	0,002	0,002
GCP 14	698079,260	9194188,999	32,904	0,002	0,002
GCP 15	698291,716	9193886,317	33,233	0,002	0,002
GCP 16	698712,976	9194301,842	33,338	0,002	0,002

(Ayyubi, 2017)

Tabel 4.3. Koordinat ICP dari Hasil Pengukuran di Lapangan

Nama	X (m)	Y (m)	Std E (X)	Std N (Y)
ICP 1	698172,409	9194706,868	0,002	0,002
ICP 2	698648,046	9194453,315	0,002	0,002
ICP 3	698081,713	9194584,292	0,002	0,002
ICP 4	697691,093	9194944,470	0,002	0,002
ICP 5	697975,718	9194954,652	0,002	0,002
ICP 6	697751,197	9195277,464	0,002	0,002
ICP 7	697998,237	9195170,971	0,002	0,002
ICP 8	698547,395	9194280,043	0,004	0,003
ICP 9	698317,085	9195303,223	0,001	0,001
ICP 10	698336,506	9195097,264	0,002	0,002
ICP 11	698517,240	9195179,311	0,001	0,001
ICP 12	698514,684	9194990,538	0,002	0,002
ICP 13	698442,626	9194894,856	0,002	0,002
ICP 14	697941,831	9194461,741	0,002	0,001
ICP 15	697836,409	9194309,069	0,002	0,002
ICP 16	697814,602	9193993,850	0,003	0,004
ICP17	698142,662	9194106,803	0,005	0,004
ICP 18	698293,455	9194461,140	0,002	0,003
ICP 19	698437,617	9194410,411	0,002	0,002

(Ayyubi, 2017)

Pada tabel 4.2. terdapat nilai standar deviasi terkecil pada GCP 8 yaitu sebesar 0,001 m dan nilai standar deviasi terbesar pada GCP 10 yaitu 0,005 m. Sedangkan pada tabel 4.3. terdapat nilai standar deviasi terkecil pada ICP 9, ICP 11, dan ICP 14 yaitu sebesar 0,001 m dan nilai standar deviasi terbesar terdapat pada ICP 18 yaitu sebesar 0,005 m. Standar deviasi rata-rata X sebesar 0,22 m dan standar deviasi rata-rata Y sebesar 0,22 m.

Data 16 titik kontrol tanah (GCP) ini akan digunakan untuk proses *georeferencing* pada pembuatan ortofoto sementara 19 titik ICP akan digunakan untuk proses uji akurasi planimetrik yang terdapat pada ortofoto yang telah dihasilkan dari proses pembuatan peta foto udara.

#### **4.1.3. Hasil Kalibrasi Kamera**

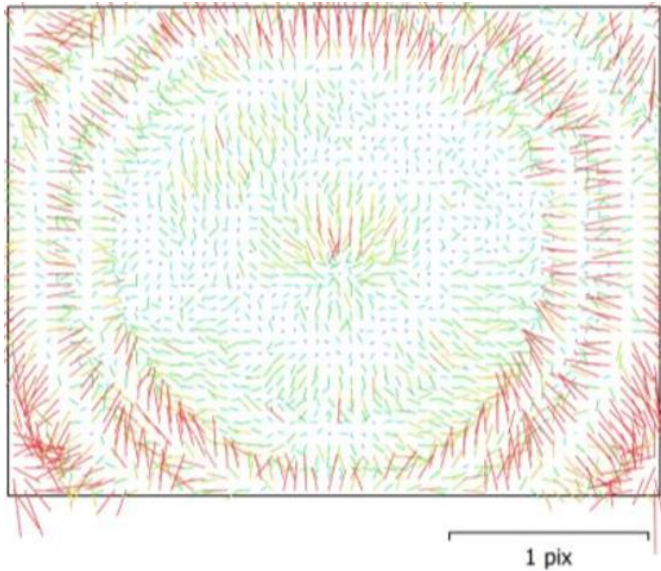
Kalibrasi kamera dilakukan untuk mendapatkan nilai *Interior Orientation Parameter* (IOP) dari kamera non-metrik digital yang terdapat pada wahana, yaitu Canon PowerShoot S100. Kalibrasi kamera dilakukan dengan menggunakan software *Photodeler Scanner* dan didapatkan hasil kalibrasi seperti berikut:

Tabel 4.4. Hasil Kalibrasi Kamera

IOP	Nilai (mm)
<i>Focal Length</i>	5,380979
X0	3,730569
Y0	2,825719
Radial K1	$1,676 \times 10^{-3}$ (1,676E-03)
Radial K2	$-1,128 \times 10^{-5}$ (-1,128E-05)
Radial K3	0,000
Tangensial P1	$-4,998 \times 10^{-5}$ (-4,998E-05)
Tangensial P2	$4,924 \times 10^{-4}$ (4,924E-04)

(Ayyubi, 2017)





Gambar 4.3. Visualisasi Distorsi pada Kamera  
(Ayyubi, 2017)

Kamera dengan resolusi tinggi dan distorsi rendah dapat digunakan untuk keperluan foto udara. Pada umumnya fotogrametri menggunakan kamera dengan format besar dimana mempunyai sumbu vertikal sebesar  $1/1000$  dari tinggi terbang, sedangkan kamera format kecil hanya memiliki akurasi setengah dari kamera format besar.  $K_1$ ,  $K_2$ , dan  $K_3$  merupakan koefisien dari radial, sedangkan  $P_1$  dan  $P_2$  merupakan koefisien dari Tangensial.

#### **4.1.4. Pengolahan *Orthophoto***

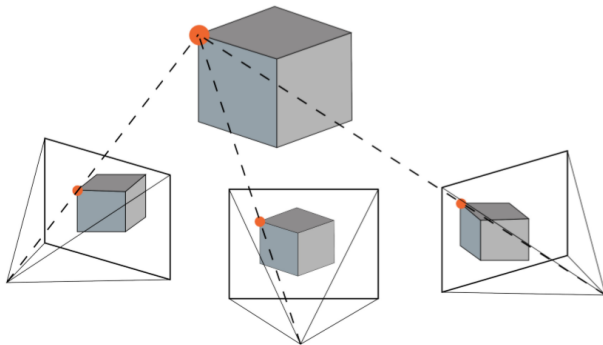
Proses pengolahan ortofoto dilakukan secara otomatis melalui perangkat lunak OpenDroneMap. Secara umum, proses pengolahan foto terbagi menjadi tujuh bagian, yaitu:

- *Load Dataset*

Data foto yang akan digunakan terkadang memiliki kekurangan kelengkapan pada koordinat yang terdapat pada *EXIF tags*. Proses ini berfungsi untuk menghitung jumlah foto yang akan digunakan serta memasukkan informasi lokasi, berupa koordinat, yang terdapat pada foto. *Input* dari proses ini adalah foto udara, GCP, dan parameter kamera, sedangkan *output* dari proses ini adalah *image database*.

- *Structure from Motion*

SfM bertugas untuk mengekstraksi informasi kamera dari foto yang digunakan, seperti *EXIF tags*. SfM juga bertugas dalam pengidentifikasian fitur-fitur yang terdapat pada foto, seperti sisi sebuah objek, *point of interest*, dan objek unik lainnya. ODM menggunakan set perangkat lunak bernama *Open Structure from Motion* (OpenSfM) untuk menyelesaikan permasalahan yang ada pada SfM. *Input* dari proses ini adalah foto udara dan GCP, sedangkan *output* dari proses ini adalah *sparse point cloud*.



Gambar 4.4. Konsep *Structure from Motion*.

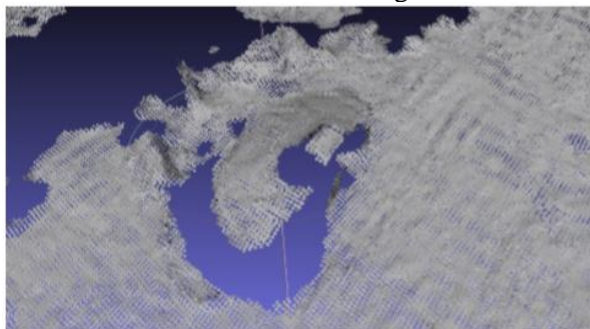
- *Meshing*

*3D points* adalah hasil awal dari proses fotogrametri. Untuk membuat model dari *3D points*, terdapat dua tahapan yang perlu dilakukan. Yang pertama adalah menghubungkan setiap titik pada *3D points* untuk mendapatkan *mesh* dan tahap kedua adalah menambahkan warna yang sesuai pada hasil *mesh* yang didapat (dikenal juga sebagai *texturing*).

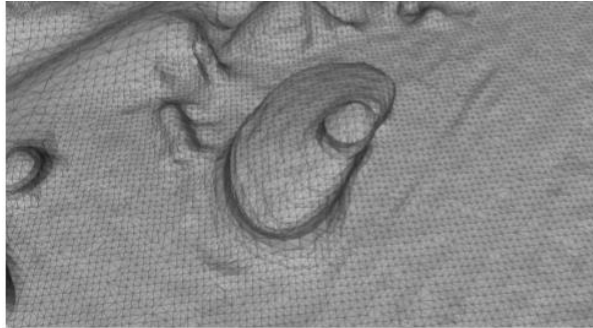
*Meshing* sendiri merupakan proses menghubungkan titik-titik yang terdapat pada *3D points*. Aplikasi ODM ini mendukung dua tipe algoritma dalam pembuatan *mesh* dengan berdasarkan situasi dan kebutuhan yang diinginkan pengguna.

Yang pertama adalah *Screened Poisson Surface*, dimana proses ini membentuk model tiga dimensi secara utuh dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Proses ini biasanya digunakan dalam pembuatan *3D Modeling* dimana membutuhkan bentuk tiga dimensi secara utuh.

Sementara algoritma yang lainnya adalah *dem2mesh*, dimana proses ini membentuk model 2.5D, yakni model yang terlihat seperti tiga dimensi namun dengan menggunakan permukaan dua dimensi. Proses ini biasanya digunakan dalam pembuatan ortofoto dimana tidak memerlukan model tiga dimensi utuh.



(a)



(b)

Gambar 4.5. Hasil pembentukan *mesh* (b) dari *3D points* (a).

*Input* dari proses ini adalah *point cloud* dari proses sebelumnya (*sparse* atau *dense*), sedangkan *output* dari proses ini adalah *3D meshes* atau *2.5D meshes*.

- *Texturing*

Pada tahap ini, *mesh* yang telah terbentuk tidak memiliki warna yang sesuai dimana hanya berisi kumpulan poligon tertutup. *Texturing* merupakan proses penambahan warna terhadap *mesh* yang sudah terbentuk. Proses ini bekerja dengan cara mengasosiasikan setiap poligon kepada setiap piksel yang ada pada foto. Proses ini dilakukan menggunakan perangkat lunak MvsTexturing.

Tahapan pada proses *texturing* meliputi *input* data dari hasil proses SfM, *input* data dari hasil proses *meshing*, pengasosiasian setiap poligon pada *mesh* dengan bagian pada foto udara yang sesuai, pengecekan dan penghapusan objek bergerak seperti kendaraan, dan penggabungan warna pada bagian pinggir gambar yang bersebelahan untuk mengurangi perbedaan warna.



Gambar 4.6. Textured Mesh

Karena ketidakkonsistenan dari algoritma *texturing*, data set yang sama dapat memiliki hasil yang berbeda. *Input* dari proses ini adalah foto dan hasil *mesh*, sedangkan *output* dari proses ini adalah *textured mesh*.

- *Georeferencing*

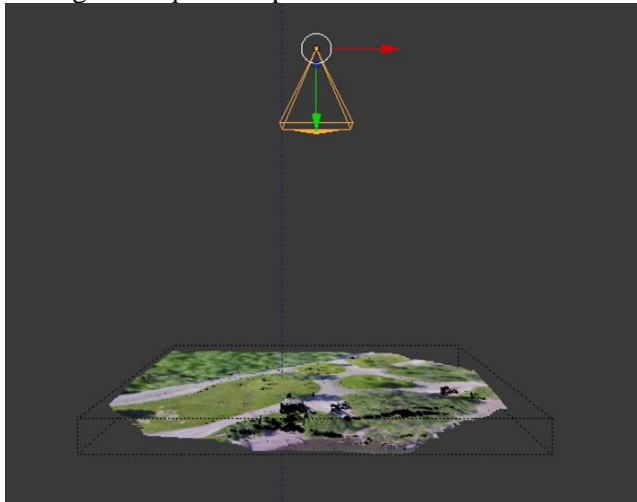
Pada tahap ini, seluruh hasil telah direpresentasikan dengan menggunakan sistem koordinat lokal. Koordinat lokal ini tidak memiliki korelasi dengan posisi sesungguhnya di lapangan. *Georeferencing*, merupakan proses transformasi sistem koordinat lokal menjadi sistem koordinat global. ODM dapat melakukan proses tersebut jika informasi mengenai lokasi tersedia pada data foto atau dari *file GCP*.

*Input* dari proses ini adalah *point cloud* dan *textured mesh*, sedangkan *output* dari proses ini adalah *point cloud* yang telah tergeoreferensi, *textured mesh*, dan batas geografis yang telah terpotong. Proses *georeferencing* ini tidak menghasilkan nilai EOP, tingkat akurasi, dan nilai standar deviasi sehingga untuk mengetahui ketelitian yang dihasilkan, pengguna harus melakukan uji akurasi.

- *Orthophoto Processing*

Ortofoto dibentuk dari *textured mesh* tiga dimensi yang dilihat dari atas (*bird view*). Proses ini dilakukan dengan mengubah sudut pandang *textured mesh* menjadi sudut pandang ortografik dan menyimpan hasilnya sebagai sebuah ortofoto. Hasil ortofoto ini kemudian tergeoreferensi dan dikonversi menjadi ekstensi GeoTIFF menggunakan informasi yang dihasilkan dari proses *georeferencing*. Kemudian, hasilnya akan dipotong sesuai dengan batas yang telah ditentukan.

*Input* dari proses ini adalah *textured mesh*, sedangkan *output* dari proses ini adalah ortofoto



Gambar 4.7. Sudut kamera ortografik

#### **4.1.5. Hasil Koordinat ICP Orthophoto**

Setelah dihasilkan ortofoto, maka diambil koordinat ICP dengan memberikan marker pada titik di ortofoto. Berikut adalah hasil koordinat ICP ortofoto:

Tabel 4.5. Koordinat ICP Ortofoto

Nama	Easting (m)	Northing (m)
ICP 1	698172.510	698172.361
ICP 2	698648.064	698648.005
ICP 3	698081.761	698081.668
ICP 4	697691.206	697691.044
ICP 5	697975.666	697975.764
ICP 6	697751.303	697751.149
ICP 7	697998.274	697998.193
ICP 8	698547.506	698547.345
ICP 9	698317.077	698317.125
ICP 10	698336.608	698336.458
ICP 11	698517.101	698517.292
ICP 12	698514.725	698514.639
ICP 13	698442.566	698442.673
ICP 14	697941.778	697941.876
ICP 15	697836.421	697836.368
ICP 16	697814.752	697814.549
ICP 17	698142.578	698142.707
ICP 18	698293.442	698293.496
ICP 19	698437.544	698437.663

## 4.2. Pembahasan

### 4.2.1. Proses Instalasi Perangkat Lunak OpenDroneMap

OpenDroneMap dapat digunakan pada berbagai *platform* yang umum digunakan seperti Windows, macOS, dan Linux. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan *platform* Windows untuk menggunakan program OpenDroneMap yang di-*install* pada komputer milik Laboratorium Geoinformatika Teknik Geomatika ITS.

Spesifikasi minimum yang harus dimiliki oleh perangkat yang akan di-*install* adalah sebagai berikut:

- CPU 64bit yang diproduksi setelah tahun 2010
- Memori penyimpanan kosong sebesar 20GB
- RAM sebesar 4 GB

Spesifikasi tersebut merupakan spesifikasi minimum yang dapat menjalankan program WebODM namun tidak akan bisa memproses lebih dari 200 foto udara. Spesifikasi yang disarankan agar program ini dapat berjalan dengan baik adalah sebagai berikut:

- CPU generasi terbaru
- Memori penyimpanan kosong sebesar 100GB
- RAM sebesar 16 GB

Untuk performa yang lebih baik dapat menggunakan perangkat yang memiliki RAM dan memori penyimpanan yang lebih besar.

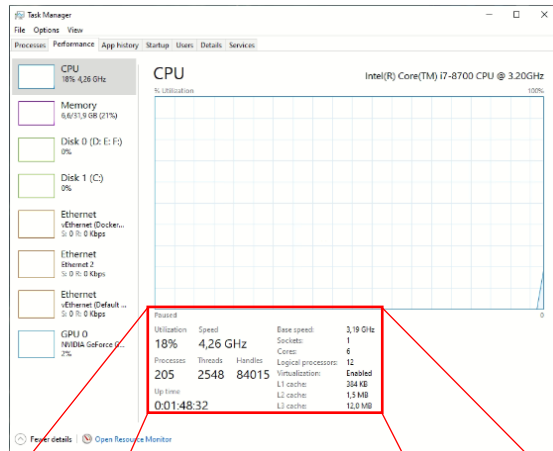
Dalam instalasinya, program ini membutuhkan beberapa aplikasi pendukung seperti Docker, Git, dan Python. Tahapan untuk melakukan instalasi program OpenDroneMap pada *platform* Windows adalah sebagai berikut:

#### 1. Pengecekan *Virtualization Support*

Program ini membutuhkan sebuah fitur dari CPU bernama '*virtualization*' untuk menjalankan VMs. Untuk itu, buka 'Task Manager' pada Windows (tekan tombol



‘Ctrl+Shift+Esc’ kemudian buka tab ‘performance’. Cari tulisan ‘*Virtualization*’ dan pastikan bertanda ‘Enabled’.



(1)

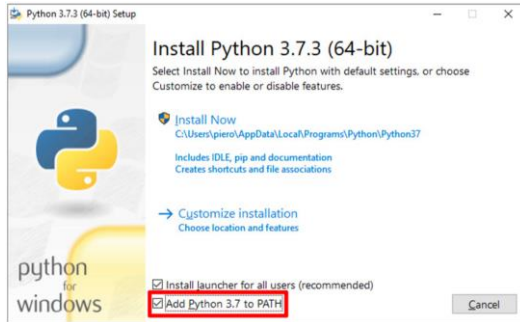
Paused			
Utilization	Speed	Base speed:	3,19 GHz
18%	4,26 GHz	Sockets:	1
Processes	Threads	Cores:	6
205	2548	Logical processors:	12
Handles	84015	Virtualization:	Enabled
Up time	0:01:48:32	L1 cache:	384 KB
		L2 cache:	1,5 MB
		L3 cache:	12,0 MB

(2)

Gambar 4.8. Virtualization Support

## 2. *Install* aplikasi pendukung

Aplikasi pendukung meliputi ‘Git’, ‘Python’, serta ‘Docker’. Untuk aplikasi ‘Python’, pastikan kotak ‘Add Python 3.x to PATH’ tercentang saat instalasi

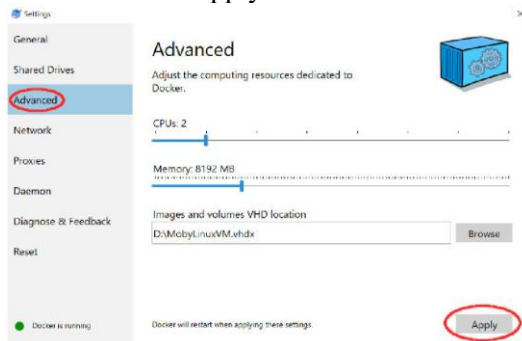


Gambar 4.9. Instalasi Python

Kemudian, lakukan instalasi ‘Docker’ dengan memilih ‘Docker Desktop’ untuk *platform* Windows 10 Pro, atau ‘Docker Toolbox’ untuk Windows lainnya. Jangan meng-*install* kedua docker tersebut karena akan merusak sistem komputer.

### 3. Cek Memori dan *CPU Allocation*

Cari ikon ‘Docker’ pada ‘*System Tray*’ (ikon berbentuk paus berwarna putih), kemudian tekan ‘Settings’. Dari panel tersebut, pilih ‘Advanced’ dan alokasikan 60-70 % memori yang tersedia lalu klik ‘Apply’.

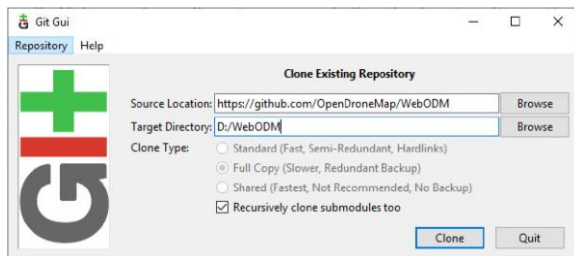


Gambar 4.10. Pengalokasian CPU dan memori

#### 4. Unduh WebODM

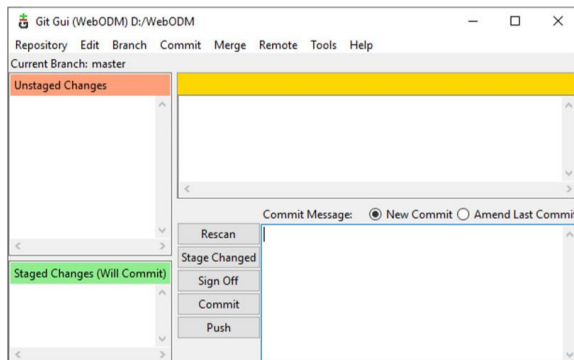
Buka program ‘Git Gui’ dari hasil instalasi ‘Git’ kemudian

- Isi kolom ‘Source Location’ dengan ‘https://github.com/Open-Drone-Map/WebODM’
- Isi kolom ‘Target Directory’ dengan folder yang dikehendaki (Contoh: D:/WebODM)
- Klik ‘Clone’



Gambar 4.11. Proses pengunduhan WebODM

Setelah itu maka akan muncul *window* seperti di bawah ini:



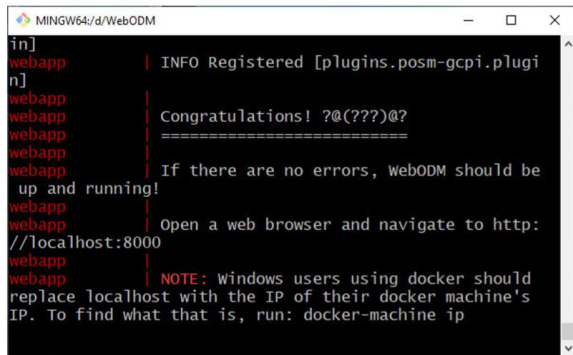
Gambar 4.12. Pengunduhan WebODM yang telah berhasil

## 5. Jalankan aplikasi WebODM

Dari program 'Git Gui', buka menu 'repository' kemudian klik 'Git Bash' lalu isi *command line* dengan kode berikut

```
$ ./webodm.sh start
```

Kemudian akan muncul window seperti di bawah ini:



```

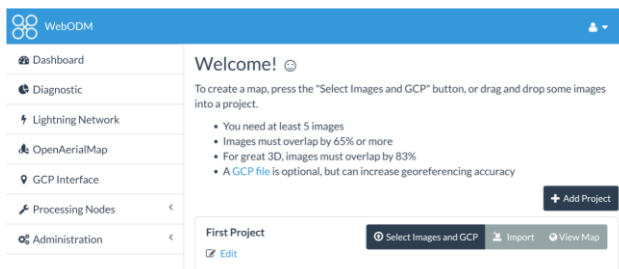
MINGW64:/d/WebODM
[In]
webapp | INFO Registered [plugins.posm-gcpi.plugi
n]
webapp |
webapp | Congratulations! ?@(?@?)@?
webapp | =====
webapp |
webapp | If there are no errors, WebODM should be
up and running!
webapp |
webapp | Open a web browser and navigate to http:
//localhost:8000
webapp |
webapp | NOTE: Windows users using docker should
replace localhost with the IP of their docker machine's
IP. To find what that is, run: docker-machine ip

```

Gambar 4.13. Console output dari instalasi WebODM

Buka *web browser* kemudian masukkan alamat `http://localhost:8000` lalu koneksikan ke alamat `http://192.168.1.100:8000` (ganti alamat tersebut sesuai dengan IP address yang sesuai).

Setelah semua proses diatas dilakukan maka aplikasi WebODM dapat dijalankan dengan membuka aplikasi tersebut menggunakan *browser* internet dan memiliki tampilan seperti berikut:



Gambar 4.14. Tampilan awal WebODM

Secara umum, proses diatas dapat dirangkum pada tabel di bawah:

Tabel 4.6. Analisis proses instalasi

Analisis	Keterangan
Instalasi	Sulit
Lama instalasi	2-3 jam
Spesifikasi Minimum	- CPU 64bit - Memori 20GB - RAM 4 GB
Tahapan	- Pengecekan CPU - Instalasi aplikasi pendukung - Pengecekan memori - Pengunduhan aplikasi - Penggunaan aplikasi
Kendala	- <i>Interface</i> yang tidak <i>familiar</i> - Membutuhkan perangkat lunak tambahan yang banyak - Membutuhkan spesifikasi komputer yang baik - Proses instalasi yang panjang - Membutuhkan kemampuan analisa yang baik

#### 4.2.2. Analisis Fitur pada Perangkat Lunak OpenDroneMap

Pada bagian ini, penulis akan membahas mengenai beberapa fitur mayor yang umum digunakan pengguna dalam pembuatan ortofoto yang terdapat pada aplikasi OpenDroneMap

##### 1. Seleksi Foto

Pada perangkat lunak yang lumrah digunakan, terdapat fitur *align photo*, dimana fitur tersebut bertugas untuk menempatkan data foto sesuai dengan lokasi sebenarnya. Jika terdapat data foto yang tidak sesuai dengan data foto lainnya, maka fitur tersebut dapat menghapus data foto yang tidak sesuai secara individu tanpa mengganggu data foto lainnya.

WebODM tidak memiliki fitur penghapusan foto yang gagal ter-*align* pada proses *alignment*. Maka dari itu, pengguna harus memastikan bahwa foto yang akan digunakan sudah sesuai dengan data foto lain yang akan digunakan.

+ 10	42	05:17:42	Completed
+ 9	42	04:46:12	Process exited with code 1
+ 8	42	04:17:45	Completed
+ 7	42	03:45:27	Process exited with code 1

Gambar 4.15. Fitur seleksi foto

Pada gambar di atas, kotak berwarna merah mengindikasikan bahwa terdapat foto yang tidak sesuai dengan standar pengerjaan yang ditetapkan.

Fitur ini memungkinkan untuk menghasilkan ketelitian hasil ortofoto yang baik, namun di sisi lain, fitur ini dapat memperlambat proses pembuatan ortofoto karena pengguna diharuskan untuk menyeleksi data foto udara secara manual dengan memecah data foto tersebut menjadi bagian-bagian yang lebih sedikit (tidak dapat meng-*input* data foto secara masif).

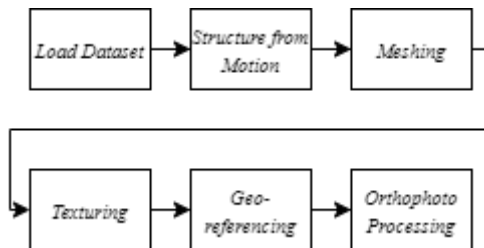
## 2. Proses yang ringkas

Umumnya, perangkat lunak pengolah foto udara memiliki beberapa tahapan yang harus dilalui. Seperti *align photos*, *build dense cloud*, *meshing*, *texturing*, dan tahapan lainnya hingga terbentuk foto udara yang dikehendaki. Hal tersebut dapat mengurangi efisiensi dari pembuatan ortofoto dikarenakan pengguna harus selalu sedia dalam memantau proses setiap tahapan hingga selesai untuk dapat melanjutkan ke tahap selanjutnya.

WebODM merupakan aplikasi yang ringkas karena pengolahannya cukup memasukkan data set ke dalam aplikasi kemudian mengatur *task options* yang diinginkan. Setelah itu, WebODM akan memproses data set hingga menghasilkan luaran yang diharapkan tanpa terpotong pada setiap *processing pipeline*.

Fitur ini meningkatkan efisiensi dari pembuatan ortofoto karena pengguna hanya perlu memasukkan data set pada langkah awal serta mengatur *task options* yang diinginkan dan WebODM akan mengerjakannya secara otomatis.

Di sisi lain, fitur ini juga membingungkan pengguna jika proses yang dijalankan gagal. Hal tersebut mengharuskan pengguna untuk membuka *task output* dan melihat kesalahan yang terdapat pada proses pembuatan ortofoto. Hal ini juga memerlukan kemampuan analisa yang baik dalam menyelesaikan proses yang gagal tersebut.



Gambar 4.16. Alur pembuatan ortofoto

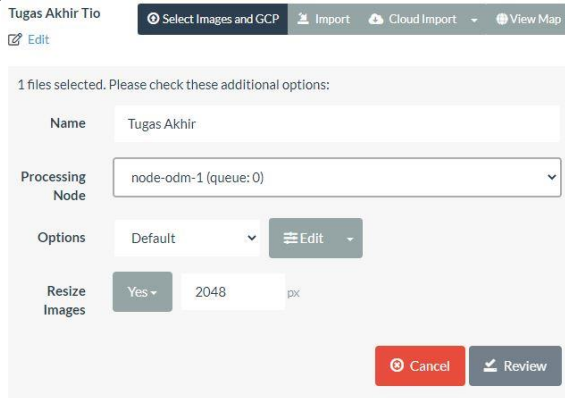
### 3. *Interface* yang sederhana

Jika perangkat lunak lain memiliki tampilan yang sangat lengkap dan memiliki beragam fitur pada *menu bar*, *tool bar*, dan bagian lainnya, WebODM memiliki tampilan yang sangat sederhana, yakni tampilan seperti tampilan pada *website* pada umumnya. Hal ini juga memudahkan bagi pengguna untuk dapat merasa *familiar* dengan fitur-fitur yang tersedia dalam waktu yang singkat.

Tampilan sederhana ini juga memudahkan pengguna dalam menjelajah fitur-fitur yang tersedia. Di sisi lain, tampilan yang sederhana ini juga mengakibatkan minimnya fitur yang dapat digunakan sehingga untuk mendapatkan fitur yang diinginkan, pengguna diharuskan untuk menggabungkan fitur-fitur yang tersedia untuk membuat ortofoto. Hal tersebut



dapat meningkatkan efisiensi dalam pembelajaran bagi pengguna awal namun menghambat pengguna yang sudah mahir.



Gambar 4.17. Interface WebODM

#### 4. Fitur lainnya

Fitur unik lainnya, yang terdapat pada WebODM, seperti *task output*, *GCP Interface*, *Interface* parameter kamera, serta fitur tambahan dalam melihat hasil yang disajikan akan dibahas pada sub-bab selanjutnya.

Tabel 4.7. Analisis fitur

Analisis	Keterangan
Fitur seleksi foto	- Mudah digunakan - Pengguna diharuskan untuk memastikan kesesuaian foto
<i>Processing Pipeline</i>	- Enam tahapan dalam satu proses pengolahan yang otomatis
<i>Interface</i>	- Seperti pada tampilan web sederhana pada umumnya
Kendala	- Tidak adanya fitur penghapus foto - <i>Interface</i> yang minim akan fitur

### **4.2.3. Analisis Proses Pengolahan**

#### 1. *Input GCP (Georeferencing)*

Dalam pembuatan ortofoto, diperlukan adanya informasi spasial agar ortofoto yang dihasilkan dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Informasi spasial tersebut didapat dari informasi yang sudah terpasang pada setiap foto. Namun, untuk meningkatkan akurasi peta ortofoto, diperlukan adanya *Ground Control Point (GCP)*.

*Georeferencing* merupakan proses pemberian titik kontrol pada model agar mempunyai koordinat sesuai dengan yang diinginkan. Foto yang akan digunakan akan di masukkan pada *load data set* kemudian dilakukan georeferencing pada fitur *input GCP*. Perangkat lunak ini akan secara otomatis mengetahui pergeseran nilai koordinat berdasarkan titik-titik yang diproyeksikan setelah semua proses dari *processing pipeline* terselesaikan.

Dalam penelitian ini, digunakan metode *direct georeferencing* dimana *exterior orientation* dari sensor didapatkan tanpa *onboard position orientation sensor (POS)*. Orientasi ini dapat ditentukan dengan berbasis GCP, dimana dapat terlihat dari hasil foto yang dapat diketahui posisinya. Standar deviasi dari piksel dikaitkan dengan *tie points* pada koordinat dalam gambar sesuai dengan *mean projection error*.

Fitur ini bertugas untuk menambahkan informasi spasial dari GCP yang telah diukur yang kemudian dimasukkan dalam setiap foto yang akan digunakan. Fitur ini juga memiliki *window* terpisah dari tampilan utama WebODM namun tetap berada pada aplikasi yang sama.

Cara menggunakan fitur ini adalah dengan memasukkan daftar GCP yang akan digunakan beserta koordinat dan sistem proyeksinya, kemudian memasukkan data foto yang di dalamnya memiliki GCP yang dapat dilihat. Setelah itu, atur posisi GCP sehingga letak *marker* berada tepat pada titik GCP yang sesuai.

Fitur ini akan menghasilkan *file* berformat txt dimana di dalamnya berisi mengenai informasi spasial di lapangan dan informasi spasial yang terdapat pada setiap data foto yang akan digunakan dalam proses selanjutnya.

WebODM juga dapat memproses data foto yang tidak memiliki informasi spasial yang terdapat pada foto maupun informasi spasial dari GCP. WebODM akan memproses data foto tersebut menjadi ortofoto yang tidak memiliki informasi spasial di dalamnya.



Gambar 4.18. *GCP Interface*

Fitur ini akan mudah digunakan jika data foto yang digunakan adalah data foto udara tegak lurus, karena fitur ini mengharuskan untuk memindahkan *marker* pada setiap foto yang memiliki GCP berada tepat di tengah masing-masing GCP tersebut sehingga pengguna harus dapat mengidentifikasi GCP secara manual.

Tabel 4.8. RMS Error proses georeferencing

GCP	X Error (m)	Y Error (m)	Total (m)
GCP 1	0.50	-0.82	0.96
GCP 2	0.35	1.45	1.49
GCP 3	1.09	-2.04	2.31
GCP 4	-3.30	1.54	3.64
GCP 5	-0.82	-0.37	0.90
GCP 6	-0.53	-1.31	1.41
GCP 7	1.64	0.03	1.64
GCP 8	0.47	-3.67	3.70
GCP 9	-3.44	1.36	3.70
GCP 10	5.00	0.41	5.02
GCP 11	1.28	0.52	1.38
GCP 12	0.15	-1.99	2.00
GCP 13	-2.43	2.01	3.15
GCP 14	-0.01	0.02	0.02
GCP 15	-0.59	3.10	3.16
GCP 16	-2.05	-2.73	3.41
Total	-2.69	-2.49	6.16

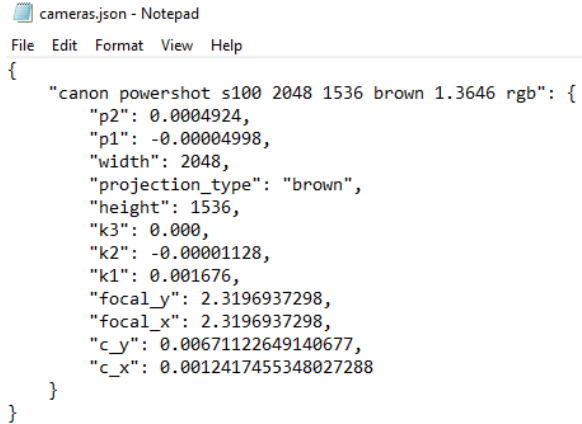
Nilai pada tabel tersebut didapatkan bukan setelah proses georeferencing selesai, namun setelah semua proses selesai karena fitur ini memiliki kekurangan yang cukup signifikan. Pembuatan peta ortofoto pada umumnya menitikberatkan pada proses *georeferencing* untuk mengetahui ketelitian peta. Diperlukan fitur yang dapat menyajikan proses sebelum dan sesudah *georeferencing* saja tanpa tergabung dalam proses lainnya.

Pada perangkat lunak ini, tidak dapat diketahui hasil *georeferencing* yang dilakukan hingga pengguna mendapatkan hasil berupa ortofoto. Hal tersebut dapat mempengaruhi proses analisis yang diperlukan dalam melihat hasil *georeferencing*.

## 2. *Input* Parameter Kamera

Pada setiap proses pembuatan peta ortofoto, parameter kamera merupakan salah satu parameter yang penting. Hal ini diakibatkan karena parameter kamera membantu dalam mengidentifikasi data foto udara yang digunakan. Parameter kamera ini dapat diketahui dari spesifikasi kamera yang digunakan serta dari hasil kalibrasi kamera.

Fitur *input* parameter kamera digunakan untuk memasukkan parameter yang ada pada kamera yang digunakan. Cara menggunakannya adalah dengan membuat file teks dan disimpan dengan format json, kemudian file tersebut dapat diunggah pada fitur *task options* yang tersedia. Hal ini bertujuan agar data foto yang digunakan dapat disesuaikan dalam pengolahan.



```

cameras.json - Notepad
File Edit Format View Help
{
  "canon powershot s100 2048 1536 brown 1.3646 rgb": {
    "p2": 0.0004924,
    "p1": -0.00004998,
    "width": 2048,
    "projection_type": "brown",
    "height": 1536,
    "k3": 0.000,
    "k2": -0.00001128,
    "k1": 0.001676,
    "focal_y": 2.3196937298,
    "focal_x": 2.3196937298,
    "c_y": 0.00671122649140677,
    "c_x": 0.0012417455348027288
  }
}

```

Gambar 4.19. Format penulisan input parameter kamera

Jika pengguna tidak mengetahui parameter kamera, maka WebODM akan menggunakan parameter kamera secara *default* dan hal tersebut dapat mempengaruhi hasil dari peta ortofoto yang dihasilkan. Fitur ini akan mengganggu pengguna yang tidak mengetahui parameter kamera secara lengkap. Maka dari itu, pengguna disarankan agar mengkalibrasi secara lengkap kamera yang digunakan.

Dalam pengaplikasiannya, fitur ini menimbulkan kendala karena parameter yang dimasukkan dalam fitur tidak spesifik dan parameter yang dimasukkan harus sesuai dengan format yang disediakan. Jika pengguna memiliki parameter yang tidak ada dalam format maka pengguna diharuskan memasukkan parameter tersebut secara *default*. Hal ini dapat mempengaruhi hasil secara signifikan karena parameter *default* tersebut memiliki kemungkinan tidak sama dengan parameter sesungguhnya.

### 3. *Input Dataset Foto*

Fitur ini merupakan fitur utama yang berfungsi untuk memasukkan data set berupa foto udara ke dalam sistem yang selanjutnya akan diproses secara otomatis. Cara menggunakannya adalah dengan menekan pilihan ‘*Select Images*’ kemudian pilih data set foto udara.

Semakin banyak foto yang dimasukkan dalam satu *task* yang sama maka semakin lama proses pengolahan foto yang akan dilakukan. Untuk pemrosesan. Untuk pemrosesan foto yang berjumlah banyak, dianjurkan agar membagi data set foto tersebut menjadi beberapa *task* yang berisi kurang dari 100 data set foto.

Pada penelitian ini, penulis membagi data set yang berjumlah 775 foto menjadi 23 bagian. Hal ini dikarenakan terdapat beberapa foto yang tidak sesuai sehingga diharuskan untuk memisah data set tersebut menjadi bagian yang lebih kecil. Jika semua foto dimasukkan secara bersamaan maka proses pengolahan tidak dapat dijalankan.



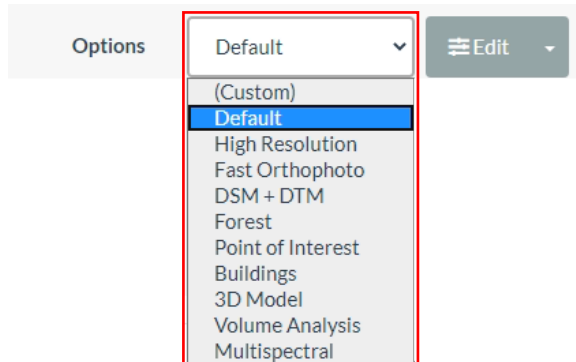
Gambar 4.20. Input dataset foto

Fitur ini juga mengharuskan pengguna untuk memastikan data foto yang digunakan layak untuk diproses karena jika terdapat satu data foto yang tidak sesuai maka proses pengolahan akan terhenti. Hal tersebut dapat menurunkan efisiensi dari proses pengolahan namun peta ortofoto yang dihasilkan akan semakin baik.

#### 4. Pengaturan *Task Options*

Praktisnya, peta ortofoto yang ingin dibuat memiliki beberapa karakteristik yang ingin dicapai agar sesuai dengan tujuannya. Hal tersebut memerlukan kemampuan analisa yang baik terhadap pilihan yang ditawarkan WebODM dalam memproses data set.

Fitur ini digunakan untuk mengatur luaran yang diharapkan dari proses pengolahan. Untuk penelitian ini, penulis menggunakan mode *default* karena mencakup keseluruhan proses yang perlu dilakukan. Jika membutuhkan luaran khusus yang sangat terperinci maka dapat menggunakan menu 'Edit' untuk mengubah proses dan luaran yang dikehendaki



Gambar 4.21. Pengaturan task options



Beberapa fitur utama dalam mengatur *output* adalah *high resolution, fast orthophoto, DSM + DTM, Forest, Point of Interest, Buildings, 3D Model, Volume Analysis, Multispectral*. Fitur utama ini memiliki fokus yang spesifik terhadap *output* yang dikehendaki oleh pengguna.

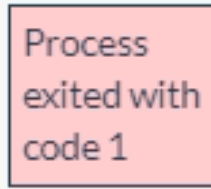
Fitur utama tersebut memiliki perbedaan yang signifikan dalam memproses data set yang digunakan sehingga pengguna diharuskan untuk memahami secara lengkap mengenai fitur apa yang harus digunakan agar sesuai dengan hasil yang diharapkan. Hal tersebut dapat disiasati dengan memilih opsi *default* namun proses pengolahan menjadi lebih lama karena WebODM akan memproses data set tersebut ke dalam setiap opsi yang tersedia.

5. Validasi proses pengolahan

Pada tahap ini, akan dilakukan validasi pada *task output*. Proses pengolahan dapat dikatakan berhasil jika *task output* berwarna hijau dan menampilkan tulisan '*Completed*', sedangkan jika gagal akan berwarna merah. Pada penelitian ini, setiap proses yang gagal menampilkan tulisan '*Process exited with code 1*' dimana hal tersebut berarti bahwa terdapat data set yang tidak sesuai yang dimasukkan dalam proses pengolahan. Solusi dari hal tersebut adalah menganalisis kembali setiap data set yang digunakan dan melakukan proses pengolahan kembali.



(a.)



(b.)

Gambar 4.22. Tampilan task output WebODM

Tabel 4.9. Analisis proses pengolahan

Analisis	Keterangan
<i>Input GCP</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Memasukkan koordinat GCP dalam format txt</li> <li>- Meletakkan <i>marker</i> satu persatu pada setiap foto</li> </ul>
<i>Input parameter kamera</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Memasukkan parameter kamera sesuai format txt</li> </ul>
<i>Input data set foto</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Memasukkan data foto udara yang sudah sesuai</li> </ul>
<i>Task Options</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengaturan proses dan hasil yang diinginkan</li> </ul>
Validasi Proses	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengecekan keberhasilan dari proses pengolahan</li> </ul>
Kendala	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membutuhkan kemampuan analisa yang baik jika proses gagal</li> <li>- Satu foto yang tidak sesuai dapat menyebabkan kegagalan proses</li> <li>- Membutuhkan banyak eksperimen agar hasil sesuai dengan yang dikehendaki               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perlunya membagi proses pengolahan menjadi beberapa bagian untuk meminimalisir kegagalan</li> </ul> </li> </ul>

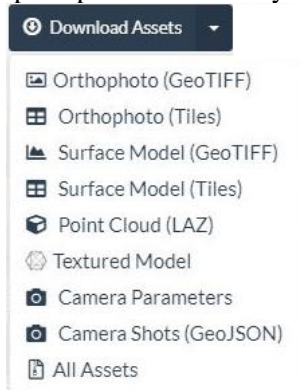
#### **4.2.4. Analisis Hasil Visual**

*Output* dari proses pengolahan foto udara dapat dilakukan dengan berbagai pilihan sesuai kebutuhan pengguna, yakni ‘*Download Assets*’, ‘*View Map*’, dan ‘*View 3D Model*’ yang terdapat pada bagian bawah di setiap *task* yang sudah selesai diproses.

##### 1. Fitur ‘*Download Assets*’

Fitur ini menyajikan *output* yang dihasilkan dari proses pengolahan data set foto yang siap untuk diunduh. Beberapa pilihan yang tersedia adalah ‘*Orthophoto (GeoTIFF)*’, ‘*Orthophoto (Tiles)*’, ‘*Surface Model (GeoTIFF)*’, ‘*Surface Model (Tiles)*’, ‘*Point Cloud (LAZ)*’, ‘*Textured Model*’, ‘*Camera Parameters*’, ‘*Camera Shots (GeoJSON)*’, dan ‘*All Assets*’.

Setiap fitur ini memberikan *output* yang berbeda sesuai dengan kebutuhan pengguna. Penulis mengunduh pada fitur ‘*All Assets*’ untuk keperluan penelitian agar dapat melihat setiap hasil yang telah selesai diproses. Aset yang unduh dapat mengindikasikan kesesuaian *task options* yang dipilih pada proses sebelumnya.



Gambar 4.23. Fitur *download assets*

Fitur *orthophoto* menampilkan peta ortofoto dua dimensi yang dapat digunakan pada perangkat lunak sistem informasi geografis. Fitur *surface model* menampilkan tampilan permukaan berupa warna berdasarkan ketinggian. Fitur *point cloud* dan *textured model* menampilkan hasil dari setiap proses yang terjadi. Fitur *camera* menampilkan parameter kamera yang digunakan dalam pemrosesan data set.

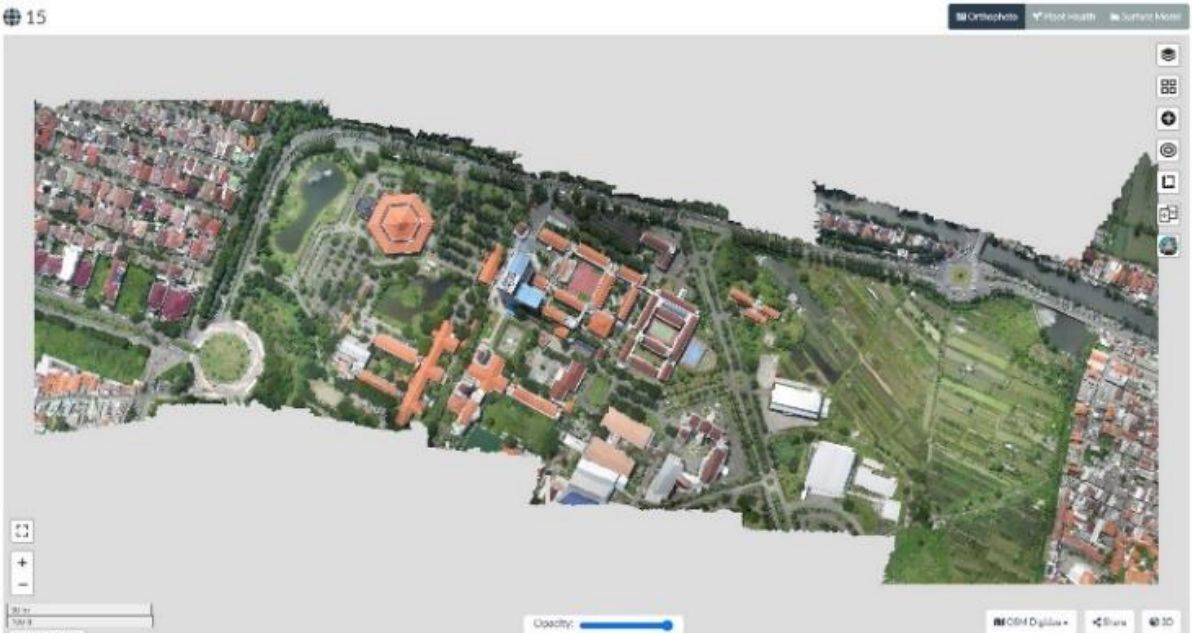
## 2. Fitur 'View Map'

Fitur ini menyajikan *output* berupa peta ortofoto yang sudah selesai diolah. Fitur ini juga memiliki fitur tambahan meliputi '*Layers*', '*Base Maps*', '*Add Overlay*', '*Contours*', '*Measure Area, Volume, and Length*', '*Change Detection*', dan '*Elevation Map*' yang berada pada menu di sebelah kanan.

Selain peta ortofoto, fitur *view map* juga dapat menyajikan *plant health* dan *surface model* yang terdapat pada menu sebelah atas.

Fitur-fitur ini dapat digunakan langsung setelah proses pengolahan selesai tanpa perlu melibatkan perangkat lunak lain sehingga meningkatkan kepraktisan dari aplikasi ini. Namun perlu diketahui bahwa fitur yang tersedia sangat terbatas untuk keperluan yang lebih detail seperti keperluan analisis informasi geospasial.

Jika pengguna ingin menganalisis peta ortofoto, atau aset lainnya, disarankan untuk menggunakan perangkat lunak lain yang memiliki fitur-fitur lengkap sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 4.24. Fitur view map

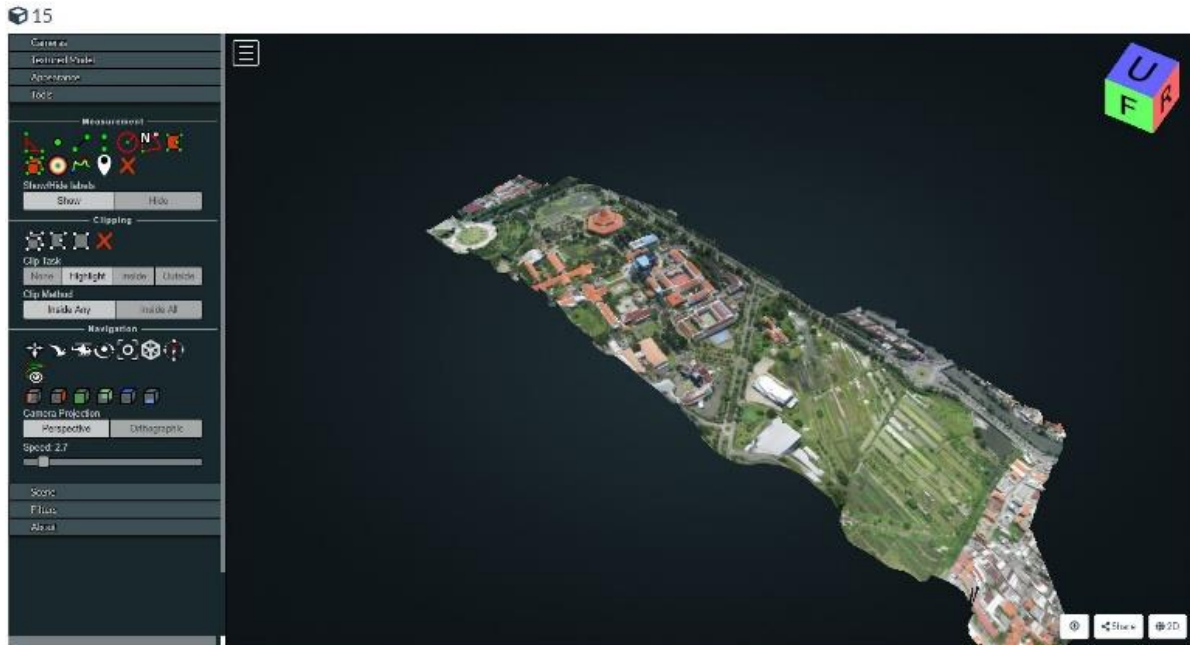
Pada gambar 4.23. di atas, dapat dilihat tampilan fitur *view map* dari WebODM. Fitur-fitur tersebut memiliki beberapa fungsi seperti mengganti *layer* yang ditampilkan, mengganti *base map* yang digunakan sebagai peta dasar, *contours* untuk melihat pembagian kontur pada peta ortofoto, *measure* untuk mengukur dimensi berupa luas, volume, dan panjang, serta *elevation map* untuk menampilkan sebaran ketinggian dari peta ortofoto. Penulis menggunakan fitur *default* dalam menampilkan gambar di bawah untuk keperluan demonstrasi.

### 3. Fitur ‘*View 3D Model*’

Fitur ini menyajikan *output* berupa model tiga dimensi dari data yang sudah selesai diolah. Dalam penelitian ini, model tiga dimensi tidak terlihat signifikan karena berfokus pada pembuatan ortofoto. Fitur *view 3D model* ini memiliki fitur tambahan meliputi ‘Show Cameras’, ‘Show Textured Model’, Appearance Editor’, ‘Measurement Tools’, ‘Clipping Tools’, ‘Navigation Tools’, ‘Scene Options’, dan ‘Filters’.

Umumnya, fitur-fitur tersebut hanya berfungsi untuk keperluan analisis sederhana karena fitur yang disajikan sangatlah terbatas. Fitur-fitur tersebut juga hanya untuk keperluan visual saja dimana hanya mengubah tampilan peta ortofoto menjadi tampilan lain jika menginginkan analisis sederhana.

Fitur-fitur tersebut akan sangat berguna jika ingin melakukan *3D Modeling* atau *Close Range Photogrammetry* karena hasil yang dihasilkan dapat dilihat secara langsung dengan sudut pandang secara tiga dimensi.



Gambar 4.25. Fitur view 3D model

Pada gambar 4.24. di atas, dapat dilihat tampilan fitur *view 3D model* dari WebODM. Fitur-fitur tersebut memiliki beberapa fungsi seperti menampilkan lokasi kamera, menampilkan hasil *textured model*, mengganti tampilan *background*, sudut pandang kamera, dan ukuran *node*, mengukur area, volume, dan panjang, mengatur navigasi penglihatan proyeksi kamera, mengatur tampilan *point cloud*, serta mengatur *filter* dari peta ortofoto yang dihasilkan.

Tabel 4.10. Analisis hasil visual

Analisis	Keterangan
<i>Download Assets</i>	- Mengunduh hasil dari proses pengolahan
<i>View Map</i>	- Melihat hasil ortofoto - Dapat menggunakan fitur untuk keperluan analisis
<i>View 3D Model</i>	- Melihat hasil tiga dimensi - Dapat menggunakan fitur untuk keperluan analisis
Kendala	- Minimnya fitur yang dapat digunakan - Aset yang diunduh mengalami penurunan kualitas - Kualitas hasil visualisasi yang kurang baik

#### **4.2.5. Ketelitian Horizontal**

Perhitungan ketelitian geometri horizontal menggunakan acuan pada PERKA BIG No. 6 Tahun 2018. Rencana peta ortofoto yang dihasilkan adalah peta dengan skala 1:1000. GSD yang didapatkan dari hasil foto udara sebesar 6,4 cm.



Uji ketelitian pada penelitian ini dilakukan terhadap koordinat horizontal (X, Y). Perhitungan diambil dari RMSe horizontal titik ICP. Titik ICP di lapangan akan dibandingkan dengan titik ICP pada ortofoto.

Aturan dari BIG menggunakan perhitungan *Circular Error* 90% (CE90). Ukuran ketelitian geometrik horizontal yang didefinisikan sebagai radius lingkaran yang menunjukkan 90% kesalahan atau perbedaan posisi horizontal obyek di peta dengan posisi yang dianggap sebenarnya tidak lebih besar dari radius tersebut.

Nilai CE90 diperoleh dari rumus:

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

$$RMSE_x = \frac{\sqrt{\Sigma(X_{model} - X_{lapangan})^2}}{n}$$

$$RMSE_x = \frac{\sqrt{\Sigma(X_{model} - X_{lapangan})^2}}{n}$$

$$RMSE_x = \frac{\sqrt{\Sigma(X_{model} - X_{lapangan})^2}}{n}$$

Tabel 4.11. Uji Ketelitian Horizontal

Ketelitian	Hasil Uji CE90 (m)	Ketelitian Peta Skala 1:1000		
		Kelas 1 (m)	Kelas 2 (m)	Kelas 3 (m)
Horizontal	0.338649	0.3	0.6	0.9

$RMSE_r$  berarti RMS error horizontal (X, Y). Didapat nilai RMSe horizontal sebesar 0.223 meter. Setelah didapat nilai RMSe, lakukan perhitungan CE90.

Setelah dilakukan perhitungan ketelitian horizontal dari PERKA BIG (tabel lengkap pada lampiran), didapat nilai CE90 sebesar 0,339 meter.

Dengan demikian, peta skala 1:1000 yang dihasilkan tersebut memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian horizontal kelas 2.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari hasil penelitian ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah dilakukan proses instalasi perangkat lunak *open source* OpenDroneMap berbasis Windows dan digunakan untuk menghasilkan berbagai macam produk fotogrametri, terutama ortofoto.
2. Proses pengolahan ortofoto pada perangkat lunak *open source* OpenDroneMap menggunakan data set berupa foto udara sebanyak 775 foto, GCP sebanyak 16 titik, serta parameter kamera yang terkalibrasi. Proses ini terbagi menjadi enam tahapan dalam satu rangkaian proses otomatis. Keenam tahapan tersebut adalah *load dataset, structure from motion, meshing, texturing, georeferencing, dan orthophoto processing*. Cakupan wilayah penelitian ini adalah kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang terbagi menjadi 23 bagian. Hal ini dikarenakan banyaknya foto yang tidak sesuai karena tidak memenuhi spesifikasi *input data* OpenDroneMap, sehingga mengharuskan pengguna membagi data set foto menjadi bagian yang lebih sedikit.
3. Perangkat lunak *open source* OpenDroneMap memiliki *interface* seperti tampilan *website* pada umumnya serta memiliki fitur *view map* dan *view 3D model* yang dapat digunakan untuk menganalisis langsung hasil ortofoto secara sederhana.
4. Dari uji akurasi koordinat planimetris hasil pemetaan foto udara, didapatkan nilai RMSe ICP pada ortofoto sebesar 0.223 m serta didapatkan nilai CE90 sebesar 0.339 m, yang berarti bahwa uji akurasi horizontal ketelitian peta memenuhi untuk skala 1:1000, yaitu masuk ke dalam orde kelas 2 dengan ketelitian minimum sebesar 0,6 m.

## **5.2. Saran**

Dari hasil dan analisis dari penelitian ini, terdapat beberapa saran yang diberikan, yaitu:

1. Perlu dilakukan analisis yang lebih mendalam mengenai fitur-fitur yang tersedia pada OpenDroneMap, khususnya WebODM, untuk dapat memperoleh hasil yang diinginkan.
2. Perlunya akuisisi data secara langsung oleh peneliti agar peneliti mengetahui secara detil mengenai data set yang digunakan dalam penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, K. I. (2018). *Analisis Akurasi Horizontal Peta Ortofoto Skala 1:1000 Menggunakan DJI Mavic Pro (Studi Kasus : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Sukolilo Surabaya)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Axis. (2010). *CCD and CMOS Sensor Technology Technical White Paper*. Stockholm: Axis Communication.
- Ayyubi, A. S. (2017). *Analisa Planimetrik Hasil Pemetaan Foto Udara Skala 1:1000 Menggunakan Wahana Fix Wing UAV (Studi Kasus : Kampus ITS Sukolilo)*". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- BIG. (2018). *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*. Jakarta: Badan Informasi Geospasial.
- Burdziakowski, P. (2017). EVALUATION OF OPEN DRONE MAP TOOLKIT FOR GEODETIC GRADE AERIAL DRONE MAPPING – CASE STUDY. *17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017*, 101-109.
- Dempsey, C. (2003, April 27). *Orthophoto and GIS*. Retrieved from GIS Lounge:  
<https://www.gislounge.com/orthophotos-and-gis/>
- Eisenbeiss, H. (2009). *UAV Photogrammetry*. Zürich: ETH Zürich.
- Fraser, C. S. (1997). Digital Camera Self-calibration. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote sensing*, 52(4), 149-159.

- Fryer, J. G. (1985). Non-metric Photogrammetry and Surveyors. *Australian surveyor*, 32(5), 330-341.
- Groos, A. R., Bertschinger, T. J., Kummer, C. M., Erlwein, S., & Philipp, A. (2019). The Potential of Low-Cost UAVs and Open-Source Photogrammetry Software for High-Resolution Monitoring of Alpine Glaciers: A Case Study from the Kanderfirn (Swiss Alps). *MDPI Journal of Geosciences*, 356-377.
- Gularso, H., Subiyanto, S., & Sabri, L. M. (2013). Tinjauan Pemotretan Udara Format Kecil Menggunakan Pesawat Model Skywalker 1680 (Studi Kasus: Area Sekitar Kampus UNDIP). *Jurnal Geodesi UNDIP*, 2(2).
- Harintaka, Subaryono, & Tanjung, A. M. (2008). Evaluasi Penerapan Mini Bundle Block Adjustment Pada Foto Udara Format Kecil. *Media Teknik No.3 Tahun XXX Edisi Agustus 2008 ISSN 0216-3012*, 239-247.
- Hertanto, H. (2014). *Pembuatan Mosaik Foto Udara Format Kecil Menggunakan Metode Kolinearitas*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive image features from scale-invariant keypoints. *International journal of computer vision*, 60(2), 91-110.
- Neupane, B., Horanont, T., Hung, N. D., Suebvong, S., & Mahattanawutakorn, T. (2019). An Open-Source UAV Image Processing Web Service for Crop Health Monitoring. In *2019 8th International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI)*, 11-16.
- Octori, O. (2015). *Analisa Foto Udara Format Kecil dengan Wahana UAV Tipe Fix Wing*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Rahman, S. (2019). *Implementasi Hand Gesture Pada Kontrol Music Player Dengan Scale-Invariant Feature Transform Dan K-Nearest Neighbor*. Bandung: Universitas Komputer Indonesia.
- Snaveley, N. (2010). Scene Reconstruction and Visualization from Internet Photo Collections: A Survey. *IPSN Transactions on Computer Vision and Applications*, 3, 44-66.
- Toffanin, P. (2019). *A Practical Guide To Drone Mapping Using Free and Open Source Software*. Florida: Masserano Labs LLC.
- Warner, W. S., Graham, R. W., & Read, R. E. (1996). *Small Format Aerial Photography*. Scotland, UK: Whittles Publishing.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314.
- Wicaksono, F. Y. (2009). *Apa Itu Foto Udara?* Yogyakarta: Badan Perpustakaan dan Arsip Daerah Provinsi DIY.
- Wijayanti, M. (2008). *Penerapan Metode Direct Linear Transformation Dalam Penentuan Posisi Distorsi Kamera Non Metrik*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Wolf, P. R., & Dewitt, B. A. (2000). *Elements of Photogrammetry with Application in GIS*. New York: McGraw-Hill Company.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Uji Akurasi Planimetrik

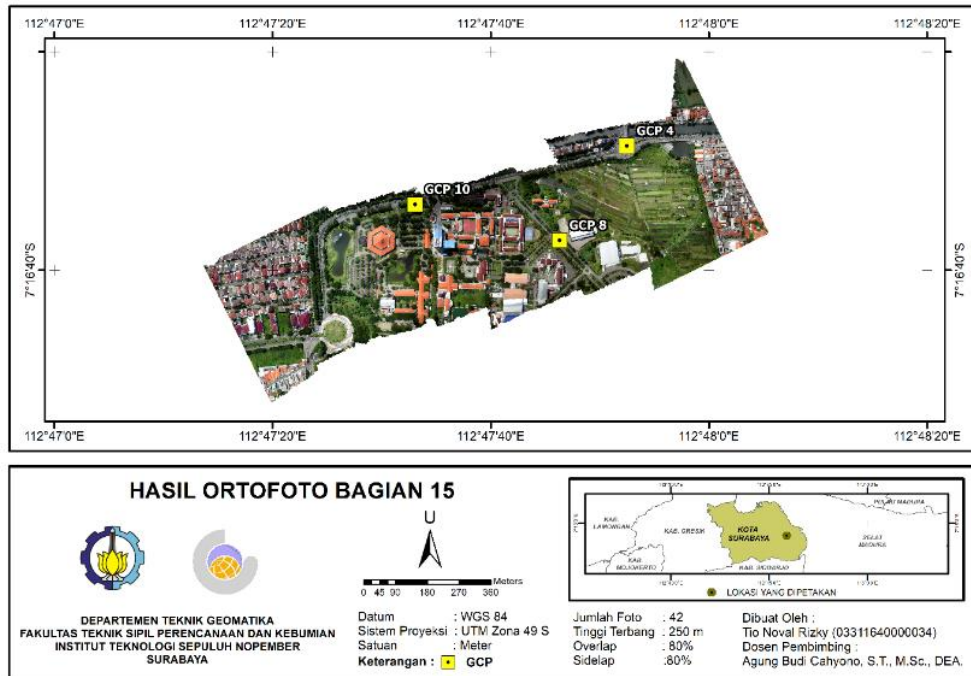
Nomor Titik	Nama	X Model	X ICP	(dx)	(dx)^2
1	ICP 1	698172.510	698172.361	0.149	0.022201
2	ICP 2	698648.064	698648.005	0.059	0.003481
3	ICP 3	698081.761	698081.668	0.093	0.008649
4	ICP 4	697691.206	697691.044	0.162	0.026244
5	ICP 5	697975.666	697975.764	-0.098	0.009604
6	ICP 6	697751.303	697751.149	0.154	0.023716
7	ICP 7	697998.274	697998.193	0.081	0.006561
8	ICP 8	698547.506	698547.345	0.161	0.025921
9	ICP 9	698317.077	698317.125	-0.048	0.002304
10	ICP 10	698336.608	698336.458	0.150	0.022500
11	ICP 11	698517.101	698517.292	-0.191	0.036481
12	ICP 12	698514.725	698514.639	0.086	0.007396
13	ICP 13	698442.566	698442.673	-0.107	0.011449
14	ICP 14	697941.778	697941.876	-0.098	0.009604
15	ICP 15	697836.421	697836.368	0.053	0.002809
16	ICP 16	697814.752	697814.549	0.203	0.041209
17	ICP 17	698142.578	698142.707	-0.129	0.016641
18	ICP 18	698293.442	698293.496	-0.054	0.002916
19	ICP 19	698437.544	698437.663	-0.119	0.014161

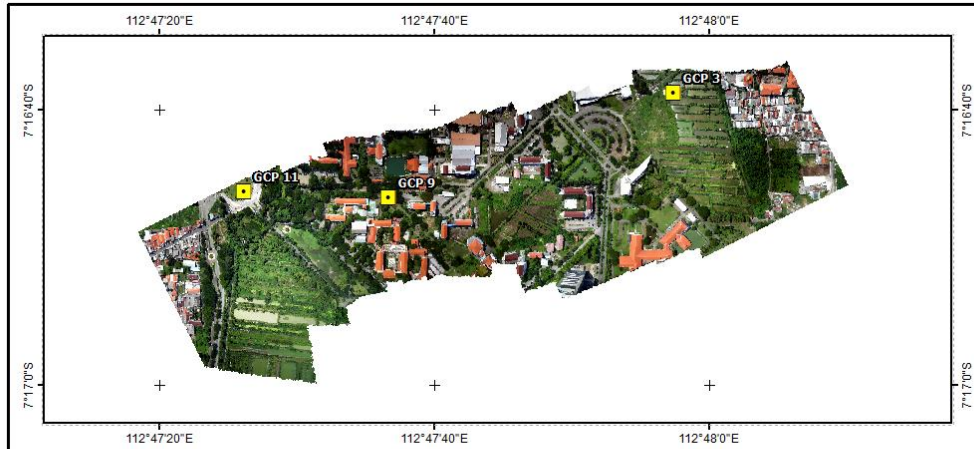
Nomor Titik	Nama	Y Model	Y ICP	(dY)	(dY)^2
1	ICP 1	9194706.818	9194706.821	-0.003	0.000009
2	ICP 2	9194453.442	9194453.273	0.169	0.028561
3	ICP 3	9194584.149	9194584.247	-0.098	0.009604
4	ICP 4	9194944.531	9194944.421	0.110	0.012100
5	ICP 5	9194954.833	9194954.698	0.135	0.018225
6	ICP 6	9195277.587	9195277.417	0.170	0.028900
7	ICP 7	9195171.186	9195170.928	0.258	0.066564
8	ICP 8	9194280.439	9194279.992	0.447	0.199809
9	ICP 9	9195303.200	9195303.264	-0.064	0.004096
10	ICP 10	9195097.185	9195097.217	-0.032	0.001024
11	ICP 11	9195179.259	9195179.362	-0.103	0.010609
12	ICP 12	9194990.514	9194990.492	0.022	0.000484
13	ICP 13	9194894.718	9194894.903	-0.185	0.034225
14	ICP 14	9194461.608	9194461.787	-0.179	0.032041
15	ICP 15	9194309.036	9194309.027	0.009	0.000081
16	ICP 16	9193993.847	9193993.808	0.039	0.001521
17	ICP 17	9194106.933	9194106.849	0.084	0.007056
18	ICP 18	9194461.285	9194461.182	0.103	0.010609
19	ICP 19	9194410.473	9194410.458	0.015	0.000225

Nomor Titik	Nama	$(dX)^2 + (dY)^2$
1	ICP 1	0.022210
2	ICP 2	0.032042
3	ICP 3	0.018253
4	ICP 4	0.038344
5	ICP 5	0.027829
6	ICP 6	0.052616
7	ICP 7	0.073125
8	ICP 8	0.225730
9	ICP 9	0.006400
10	ICP 10	0.023524
11	ICP 11	0.047090
12	ICP 12	0.007880
13	ICP 13	0.045674
14	ICP 14	0.041645
15	ICP 15	0.002890
16	ICP 16	0.042730
17	ICP 17	0.023697
18	ICP 18	0.013525
19	ICP 19	0.014386

Jumlah	0.759590
Rata-rata	0.039978422
RMSe	0.223162552
CE90	0.338649173

## Lampiran 2. Ortofoto yang dihasilkan dari OpenDroneMap

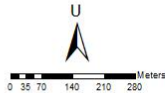




**HASIL ORTOFOTO BAGIAN 18**



DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN  
 INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
 SURABAYA

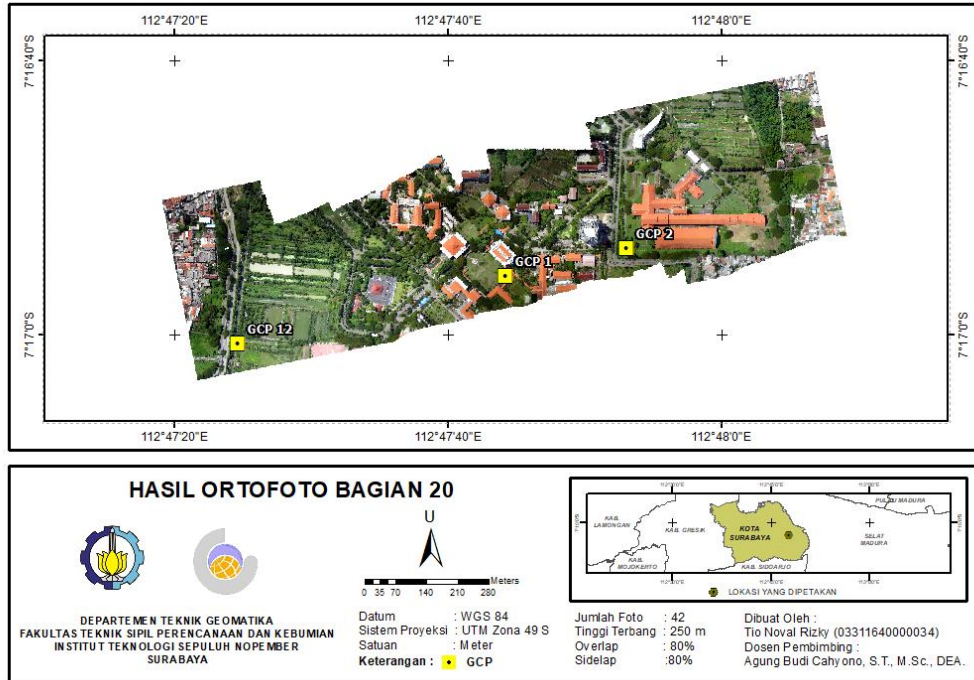


Datum : WGS 84  
 Sistem Proyeksi : UTM Zona 49 S  
 Satuan : Meter  
 Keterangan : GCP



Jumlah Foto : 42  
 Tinggi Terbang : 250 m  
 Overlap : 80%  
 Sidelap : 80%

Dibuat Oleh :  
 Tio Noval Ritzy (03311640000034)  
 Dosen Pembimbing :  
 Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA.



## BIODATA PENULIS



Tio Noval Rizky, lahir di Jakarta pada tanggal 11 Juli 1998. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan di TK Persiapan Jakarta, SDN Klender 04 Pagi, SMPN 27 Jakarta, dan SMAN 12 Jakarta. Penulis kemudian melanjutkan perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan tercatat sebagai mahasiswa departemen Teknik Geomatika dengan NRP 03311640000034. Selama

perkuliahan, penulis aktif di organisasi intra kampus seperti Staff Kementereian Hubungan Luar BEM ITS Gelora Aksi, Koordinator Steering Committee Kaderisasi ‘Metamorfosis’ HIMAGE ITS, dan Kepala Bidang Pelatihan PVIA 2019. Penulis juga aktif dalam kepanitiaan seperti menjadi Koordinator Divisi Acara Ini Lho ITS! 2018, Koordinator Pemandu LKMM TD HIMAGE-ITS 2019, dan Koordinator Komisi Materi LKMM Pra-TD FTSLK 2018. Penulis juga mengikuti pelatihan menjadi delegasi Departemen Teknik Geomatika dalam program pertukaran pelajar di Universiti Teknologi Malaysia selama satu semester di tahun 2019 dan menjadi *Best Participant* dalam *Global Project Based Learning* yang diadakan oleh ITS International Office di tahun 2018. Dalam penelitian ini, penulis mengambil bidang keahlian fotogrametri dengan judul “Analisis Pembuatan Peta Ortofoto dengan Data Unmanned Aerial Vehicle (UAV) menggunakan Perangkat Lunak Open Source OpenDroneMap”.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*