



TUGAS AKHIR - RG 141536

**STUDI PEMOTRETAN UDARA DENGAN
WAHANA *QUADCOPTER UAV-*
PHOTOGRAMMETRY MENGGUNAKAN KAMERA
NON METRIK DIGITAL**

RIZKI INDRA PERMADI
NRP 3510 100 057

Dosen Pembimbing
Agung Budi Cahyono, ST, M.Sc, DEA

JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR - RG 141536

**STUDI PEMOTRETAN UDARA DENGAN
WAHANA *QUADCOPTER UAV-*
PHOTOGRAMMETRY MENGGUNAKAN KAMERA
NON METRIK DIGITAL**

RIZKI INDRA PERMADI
NRP 3510 100 057

Dosen Pembimbing
Agung Budi Cahyono, ST, M.Sc, DEA

JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RG 141536

**AERIAL PHOTOGRAPHY STUDY WITH
QUADCOPTER UAV-PHOTOGRAMMETRY USING
NON-METRIC DIGITAL CAMERA**

**RIZKI INDRA PERMADI
NRP 3510 100 057**

**Supervisor
Agung Budi Cahyono, ST, M.Sc, DEA**

**DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
The Faculty of Planning and Civil Engineering
Sepuluh Nopember Institut of Technology
Surabaya 2014**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**STUDI PEMOTRETAN UDARA DENGAN WAHANA
QUADCOPTER UAV-PHOTOGRAMMETRY
MENGUNAKAN KAMERA NON METRIK
DIGITAL**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Rizki Indra Permadi

NRP: 3510100057

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Agung Budi Cahyono, ST, MSc, DEA

NIP. 1969 0520 199903 1002



Surabaya, Januari 2015

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**STUDI PEMOTRETAN UDARA DENGAN WAHANA
QUADCOPTER UAV-PHOTOGRAMMETRY
MENGUNAKAN KAMERA NON METRIK
DIGITAL**

Nama Mahasiswa : Rizki Indra Permadi

NRP : 3510 100 057

Program Studi : Teknik Geomatika FTSP-ITS

**Dosen Pembimbing : Agung Budi Cahyono, ST, M.Sc,
DEA**

ABSTRAK

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 cukupakurat. Salah satunya adalah dengan menggunakan kamera standar non metric berformat kecil dengan ukuran 24 mm x 35 mm sebagai instrument dalam pemotretan udara.

Pada penelitian ini diteliti kemungkinan penerapan metoda fotogrametri yakni proses dan analisa terhadap hasil yang dilakukan pada proses pemotretan fotudara format kecil menggunakan kamera non metrik digital dalam wahana *Quadcopter UAV-Photogrammetry*. Selain menggunakan metode foto udara, pada penelitian ini menggunakan metode pengukuran GPS untuk mendapatkan titik kontrol lapangan (*Ground Control Point*). Jumlah titik kontrol (*Ground Control Point*) yang didapat berjumlah 10 titik, namun pada saat pengolahan didapat titik yang saling bertampal antara foto 1 dan foto 2 berjumlah 5 titik kontrol.

Dari hasil penelitian, nilai pergeseran planimetrik paling dekat terdapat pada BM 8 dengan jarak pergeseran sebesar 2.203 meter.

Sedangkan untuk jarak pergeseran planimetrik paling jauh terdapat pada BM 7 dengan jarak 5.055 meter. Nilai pergeseran yang cukup besar tersebut dikarenakan oleh proses penerbangan *Quadcopter* dilakukan secara VTOL (*Vertical Take Off Landing*), sehingga operator tidak dapat mengetahui langsung posisi pesawat dalam keadaan stabil atau tidak. Selain itu proses *landing* wahana *Quadcopter* yang sedikit kasar menyebabkan kamera mengalami guncangan yang dapat mengakibatkan *damage* yang dapat berpengaruh pada hasil nilai kalibrasi kamera sehingga berpengaruh pula pada perhitungan untuk mendapatkan koordinat hasil pengukuran. Faktor lain adalah gimbal modifikasi untuk mengangkut kamera pada wahana juga tidak memiliki peredam getaran (*anti-jello*), sehingga hasil foto yang didapat mengalami *Blur* (tidak jelas). Selain itu pemilihan warna pada *premarking* menggunakan warna yang hampir sama dengan kondisi di lapangan, sehingga kesulitan untuk menentukan titik tengah *Ground Control Point* (GCP).

Kata Kunci—Foto udara, Quadcopter, UAV-Photogrammetry, Planimetrik.

AERIAL PHOTOGRAPHY STUDY WITH QUADCOPTER UAV-PHOTOGRAMMETRY USING NON-METRIC DIGITAL CAMERA

Sudent Name: Rizki Indra Permadi

NRP : 3510 100 057

Department : Geomatics Engineering FTSP-ITS

Supervisor: Agung Budi Cahyono, ST, M.Sc, DEA

ABSTRACT

Cost efficiency in mapping using aerial photographs is strongly influenced by the type of camera and vehicle in used. Currently have developed an alternative method of aerial photography at a relatively low cost and fairly accurate. One of this methods is to use non-metric standard camera small format with 24 mm x 35 mm as an instrument in aerial photography.

In this study, the possibility of applying the process of photogrammetric methods and analysis of results in the process of shooting small format aerial photographs using non-metric digital camera in a vehicle Quadcopter UAV-Photogrammetry is investigated. In addition, GPS measurements is used to gain ground control points (GCP). The number of control points (GCP) employed are 10 points, but the processing time of each acquired point patched between photo 1 and photo 2 are 5 control points.

From the research, the closest planimetric shift value contained in the BM 8 with a shift is 2.203 meter distance, while the farthest distance planimetric shift contained in the BM 7 is 5.055 meter distance. Value considerable shift is caused by the flying Quadcopter with VTOL (Vertical Take Off Landing), so the operator didn't know directly the position of the aircraft in a stable state or not. In addition, the process of landing a little

rough rides Quadcopter cause turbulence camera that can result in damage that could affect the results of the calibration value of the camera so that also affect the calculation to obtain the coordinates of the measurement results. Another factor is the modified camera gimbal on the vehicle did not have vibration dampers (anti-jello), so that the images obtained experiencing Blur (not clear). In addition, the selection of colors in premarking using colors that are similar to the conditions in the field, so the difficulty to determine the midpoint of Ground Control Point (GCP).

Keyword—Aerial Photography, Quadcopter, UAV-Photogrammetry, Planimetric.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir dengan judul “Studi Pemotretan Udara Dengan Wahana *Quadcopter UAV-Photogrammetry* Menggunakan Kamera Non Metrik Digital” semoga dapat memberi kontribusi nyata bagi setiap individu khususnya untuk keperluan pekerjaan dalam bidang Teknik Sipil. Tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan banyak pihak. Untuk itu penulis sangat berterima kasih kepada :

1. Kedua Orang tua saya, Mochtar S, S.Pd, M.Pd dan Wiwik Indraswari, BA, serta keluarga besar penulis yang senantiasa membantu, berdoa, memotivasi, serta kasih sayang yang diberikan.
2. Bapak Dr. Ir. M. Taufik selaku Ketua Jurusan Teknik Geomatika ITS
3. Bapak Khomsin, ST, MT selaku Dosen koordinator Tugas Akhir
4. Bapak Agung Budi Cahyono, ST, M.Sc, DEA selaku Dosen Pembimbing atas kesempatan, bimbingan, serta dukungan hingga dapat terselesaikannya Tugas Akhir ini.
5. Ibu Hepi Hapsari, ST, M.Sc, selaku dosen wali penulis atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan.
6. Segenap Bapak dan Ibu Dosen Teknik Geomatika ITS atas segala ilmu dan bimbingan selama kuliah.
7. Bapak Husnul Hidayat, ST, MT selaku Dosen yang turut membantu dalam membagi ilmunya, memberikan bantuan dan masukan dalam pengolahan data Tugas Akhir ini.
8. Teman-teman HIMAGE-ITS yang telah memberikan bantuan dan semangat dalam tercapainya Tugas Akhir ini.

9. Kepada keluarga besar angkatan 2010 yang selama ini menjadi keluarga saat kuliah atas dukungan dan doa dari teman-teman.
10. Oghy Octory, Yuan Kharisma, Yugie Nanda, Zahra Rahma, serta teman-teman PVIA (*Photogrammetry, Vision, and Image Analysis*) Research Group yang telah membantu dalam Tugas Akhir ini.
11. Semua pihak yang telah membantu proses penyusunan laporan ini, sehingga laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi perbaikan laporan ini.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| ABSTRAK | v |
| <i>ABSTRACT</i> | vii |
| LEMBAR PENGESAHAN | ix |
| KATA PENGANTAR | xi |
| DAFTAR ISI | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xvii |
| DAFTAR TABEL | xix |
| DAFTAR LAMPIRAN | xxi |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| BAB II KAJIAN PUSTAKA | |
| 2.1 Fotogrametri | 5 |
| 2.2 Foto Udara | 6 |
| 2.2.1 Pemotretan Udara Tegak | 7 |
| 2.2.2 Pemotretan Udara Miring/Condong | 7 |
| 2.2.3 Pemotretan Udara Sangat Miring | 7 |
| 2.3 Foto Udara Format Kecil | 8 |
| 2.4 Kamera Non Metrik | 8 |
| 2.5 Sensor | 9 |
| 2.5.1 Kamera | 11 |
| 2.5.2 Canon Powershot SX 260 HS | 14 |
| 2.6 <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV) | 15 |
| 2.6.1 Definisi Multirotor | 17 |
| 2.6.2 Definisi Quadcopter | 19 |
| 2.6.2 Definisi VTOL | 20 |
| 2.7 Skala Foto | 20 |
| 2.7.1 Skala Foto Udara Vertikal dengan Medan Tidak Datar | 20 |

| | | |
|-------------------------------------|--|----|
| 2.7.2 | Skala Foto Rata-Rata | 21 |
| 2.8 | Kalibrasi Kamera | 22 |
| 2.8.1 | Parameter Kalibrasi Kamera | 22 |
| 2.8.1.1 | Distorsi Radial | 23 |
| 2.8.1.2 | Distorsi Tangensial | 24 |
| 2.8.2 | Metode Kalibrasi Kamera | 25 |
| 2.9 | Rektifikasi | 26 |
| 2.10 | Kesegarisan | 27 |
| 2.11 | <i>Space Resection</i> | 29 |
| 2.12 | Proses Linearisasi Sistem Kolinieritas | 30 |
| 2.13 | Penelitian Terdahulu | 31 |
| BAB III METODOLOGI PEKERJAAN | | |
| 3.1 | Lokasi Penelitian | 33 |
| 3.2 | Data dan Peralatan | 33 |
| 3.2.1 | Data yang digunakan | 33 |
| 3.2.2 | Peralatan yang digunakan | 33 |
| 3.3 | Metodologi Penelitian | 34 |
| 3.4 | Diagram Alir | 36 |
| 3.4.1 | Kalibrasi Kamera | 36 |
| 3.4.2 | Metode RTK dengan GPS Geodetik | 38 |
| 3.4.3 | Metode FUFK melalui Matlab | 40 |
| 3.4.4 | Diagram Alir Seluruh Kegiatan | 42 |
| BAB IV HASIL DAN ANALISA | | |
| 4.1 | Hasil | 45 |
| 4.1.1 | Transformasi Koordinat Foto | 45 |
| 4.1.2 | Hasil Kalibrasi Kamera | 47 |
| 4.1.3 | Persebaran GCP | 49 |
| 4.1.4 | Perhitungan <i>Space Intersection</i> | 51 |
| 4.2 | Analisa | 51 |
| 4.2.1 | Analisa Perhitungan Pergeseran Planimetrik | 51 |
| 4.2.2 | Nilai Standar Deviasi Tiap Titik | 55 |
| 4.2.3 | Analisa Faktor Nilai Pergeseran Titik | 56 |
| BAB V PENUTUP | | |
| 5.1 | Kesimpulan | 57 |
| 5.2 | Saran | 57 |

DAFTAR PUSTAKA.....xxi

”Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Ilustrasi Ukuran Sensor..... | 10 |
| Gambar 2.2 | Color Filter Array Sensor..... | 11 |
| Gambar 2.3 | Jalan Sinar Hukum Snellius..... | 13 |
| Gambar 2.4 | Bayangan Objek..... | 13 |
| Gambar 2.5 | Bentuk <i>Quadcopter</i> | 19 |
| Gambar 2.6 | Gambar Foto Udara 2D..... | 20 |
| Gambar 2.7 | Prinsip Kesegaran..... | 27 |
| Gambar 3.1 | Lokasi Penelitian..... | 33 |
| Gambar 4.1 | Akuisisi data piksel foto 1..... | 45 |
| Gambar 4.2 | Akuisisi data piksel foto 2..... | 45 |
| Gambar 4.3 | Persebaran titik GCP..... | 49 |
| Gambar 4.4 | Grafik nilai pergeseran planimetrik GCP..... | 52 |
| Gambar 4.5 | Arah Pergeseran Titik..... | 54 |
| Gambar 4.6 | Grafik Standar Deviasi..... | 55 |

”Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabel 2.1 | Spesifikasi Kamera Canon SX 260 HS..... | 15 |
| Tabel 2.2 | Fitur Pengukuran Aerial, CRP, & UAV..... | 17 |
| Tabel 4.1 | Koordinat sensor foto 1 | 46 |
| Tabel 4.2 | Koordinat sensor foto 2 | 47 |
| Tabel 4.3 | Nilai IOP..... | 48 |
| Tabel 4.4 | Nilai EOP | 49 |
| Tabel 4.5 | Koordinat GCP hasil Pengukuran Lapangan | 50 |
| Tabel 4.6 | Persebaran titik GCP metode <i>Space Intersection</i> | 51 |
| Tabel 4.7 | Selisih Koordinat dan Jarak Pergeseran | 52 |
| Tabel 4.8 | Arah Pergeseran Titik | 53 |
| Tabel 4.9 | Nilai Standar Deviasi Koordinat Pengolahan | 55 |

”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 disekitarnya melalui proses perekaman, pengamatan/ pengukuran dan interpretasi citra fotografis atau rekaman gambar gelombang elektromagnetik. Pada umumnya sensor dibawa oleh wahana baik berupa pesawat, balon udara, satelit maupun jenis wahana yang lainnya (Sutanto 1987). Terminologi baru menggunakan pesawat tanpa awak atau yang biasa disebut UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) merupakan platform yang mendukung untuk pengukuran fotogrametri. UAV standar ini memungkinkan untuk melakukan pelacakan posisi dan orientasi dari sensor yang diimplementasikan dalam sistem lokal atau koordinat global (Eisenbeiss 2009).

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 dengan ukuran kurang dari sama dengan 24 mm x 35 mm sebagai instrument dalam pemotretan udara. Kamera non-metrik memiliki kualitas gambar yang baik namun kualitas geometriknya kurang, sehingga perlu dilakukan kalibrasi kamera untuk meningkatkan kualitas geometrik pada kamera yang digunakan (Gularso, dkk 2013). Dengan perkembangan

teknologi yang semakin pesat tersebut, dibutuhkan studi lebih lanjut mengenai pemetaan foto udara menggunakan metode pemotretan udara format kecil dengan kamera non metrik dalam wahana *Quadcopter UAV-Photogrammetry*.

Pada tugas akhir ini, data yang digunakan adalah hasil dari pemotretan foto udara dari kamera non metrik yang dipasang pada wahana *Quadcopter UAV-Photogrammetry* dengan metode foto udara format kecil. Lokasi yang di teliti adalah di daerah kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan topografi yang relatif datar. Dari penelitian tugas akhir ini akan didapatkan suatu wahana pesawat / *multicopter* modifikasi ringan untuk pemetaan udara dengan wahana *Quadcopter UAV-Photogrammetry* menggunakan kamera non metrik digital.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah bagaimana proses dan analisa hasil yang dilakukan pada proses pemotretan foto udara format kecil menggunakan kamera non metrik digital dalam wahana *Quadcopter UAV-Photogrammetry*, Studi area gedung Robotika ITS – Sukolilo, Surabaya.

1.3 Batasan Masalah

Adapun Batasan Masalah dari penulisan laporan ini adalah sebagai berikut:

- a. Wahana yang digunakan adalah Quadcopter DJI phantom 2.
- b. Pengambilan data menggunakan kamera non metrik digital canon SX-260 HS.
- c. Jumlah foto yang diambil 1 foto hingga 3 foto untuk analisis planimetrik saja, jumlah titik kontrol tanah (GCP) minimal 3 titik per foto.

- d. Analisa perbedaan nilai koordinat planimetrik yang didapatkan dari pengukuran di lapangan dengan hasil koordinat foto.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dari penulisan laporan ini adalah sebagai berikut:

- a. Melakukan metode VTOL (*Vertical Take Off Landing*) untuk mendapatkan hasil foto di lapangan.
- b. Menghitung dan menganalisa ketelitian planimetrik koordinat yang didapatkan dari pengukuran di lapangan (titik kontrol tanah) dibanding dengan hasil hitungan koordinat foto.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian dari penulisan laporan ini adalah sebagai berikut :

- a. Mendapatkan informasi mengenai proses dan hasil analisa pemetaan alternatif menggunakan metode pemetaan foto udara format kecil dengan kamera non metrik digital dalam wahana *Quadcopter UAV-Photogrammetry*.
- b. Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai bahan rekomendasi bagi pemerintah/instansi terkait untuk kegiatan pemetaan menggunakan metode pemetaan alternatif rendah biaya dengan metode pemetaan foto udara format kecil.
- c. Hasil penelitian dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut yang berkaitan dengan pemetaan menggunakan metode pemetaan foto udara format kecil alternatif.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Fotogrametri

Fotogrametri adalah sebuah proses untuk memperoleh informasi metris mengenai sebuah obyek melalui pengukuran yang dibuat pada hasil foto udara sebuah obyek. Sedangkan interpretasi foto didefinisikan sebagai ekstraksi dari informasi kualitatif mengenai foto udara dari sebuah obyek oleh analisis visual manusia dan evaluasi fotografi.

Bedasarkan definisi tersebut, maka pekerjaan fotogrametri dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

a) *Metric Photogrammetry*

Metric Photogrammetry adalah suatu pengukuran/pengamatan presisi yang sangat teliti dengan hitungan-hitungannya untuk menentukan ukuran dan bentuk suatu objek.

b) *Fotogrametri Intrepretasi*

Adalah suatu kegiatan-kegiatan pengenalan dan identifikasi suatu objek.

Fotogrametri merupakan suatu pengambilan atau pengukuran data/informasi mengenai sifat dari sebuah fenomena, objek, atau benda dengan menggunakan sebuah perekam tanpa berhubungan langsung dengan objek yang akan dikaji.

Salah satu karakteristik fotogrametri adalah pengukuran terhadap objek yang dilakukan tanpa berhubungan perlu berhubungan ataupun bersentuhan secara langsung dengannya. Pengukuran terhadap objek tersebut dilakukan melalui data yang diperoleh pada sistem sensor yang digunakan. Terminologi Close Range atau Rentang Dekat muncul pada saat teknik ini digunakan untuk objek dengan jarak kurang dari 100 meter dari posisi kamera berada dekat dengan objek. Fotogrametri rentang dekat

adalah teknik pengukuran 3D tanpa kontak langsung dengan objek, menggunakan kamera untuk mendapatkan geometri sebuah objek.

Dalam fotogrametri syarat fundamental yang banyak digunakan adalah syarat kesegarisan berkas sinar (*collinearity condition*) yaitu suatu kondisi dimana titik pusat proyeksi, titik foto dan titik obyek di tanah terletak pada satu garis dalam ruang. Kondisi ini dinamakan kondisi kolinearitas. Kamera fotogrametri tidak mempunyai lensa yang sempurna, sehingga proses perekaman yang dilakukan akan memiliki kesalahan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkalibrasian kamera untuk dapat menentukan besarnya penyimpangan-penyimpangan yang terjadi.

Fotogrametri metrik diterapkan terutama dalam penyusunan planimetrik dan peta topografi dari foto. Foto-foto 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 objek dan penilaian signifikansinya. Penginderaan jauh merupakan cabang baru dari fotogrametri interpretatif seperti penafsiran fotografi yang digunakan untuk mengenali objek dan mengidentifikasi objek 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.

2.2 Foto Udara

Foto udara adalah sebuah gambar (bayangan fotografi) yang dicetak pada media kertas foto (positif, negatif, diapositif) yang dihasilkan dari hasil pemotretan secara fotografi (Wicaksono, 2009). Pemotretan foto udara mempunyai beberapa jenis, yaitu :

1. Pemotretan Udara Tegak (*Vertical*)

2. Pemotretan Udara Miring/Condong (*Oblique*)
3. Pemotretan Udara Sangat Miring (*High Oblique*)

2.2.1 Pemotretan Udara Tegak (*vertical*)

Pemotretan udara secara tegak ini dapat dikatakan bahwa pemotretan dilakukan dengan posisi pesawat udara yang membawa kamera melakukan pemotretan secara tegak lurus dengan permukaan bumi. Posisi kamera yang tegak lurus didapatkan dengan sudut kemiringan dibawah 1 derajat. Maka akan menghasilkan foto udara dengan pemotretan secara *vertical* (Wicaksono, 2009).

2.2.2 Pemotretan Udara Miring/Condong (*Oblique*)

Pemotretan udara secara miring atau *oblique*. Pemotretan ini dilakukan dengan posisi antara pesawat udara yang membawa kamera (sumbu lensa kamera) dengan permukaan bumi memiliki sudut yang agak miring (untuk pemotretan agak miring atau *low oblique*) dan dengan kemiringan tertentu (untuk pemotretan miring atau *oblique*). Pemotretan udara secara miring ini memiliki karakter hasil foto udara terlihat agak miring dan atau miring, namun batas cakrawala atau *horizon* tidak terlihat (Wicaksono, 2009).

2.2.3 Pemotretan Udara Sangat Miring(*High Oblique*)

Pemotretan udara sangat miring atau *high oblique*. Sedikit berbeda dengan pemotretan udara miring. Perbedaan yang terlihat pada pemotretan udara sangat miring atau sangat miring antara pemotretan udara miring adalah terlihat atau tidaknya garis batas cakrawala atau batas *horizon*. Namun, perbedaan lain adalah sudut pengambilan gambar pada *optical axis*-nya yaitu poros sumbu optik-nya, sehingga batas cakrawala bisa ikut terpotret (Wicaksono, 2009).

2.3 Foto Udara Format Kecil

Foto Udara Format Kecil (FUFK) adalah foto yang dihasilkan dari pemotretan yang menggunakan kamera dengan ukuran film sekitar 24 mm x 36 mm 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 dkk, 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, 2008)

2.4 Kamera Non Metrik

Pada kamera metrik dilengkapi dengan titik-titik yang diketahui koordinatnya (disebut sebagai titik Fiducial Mark) yang akan dipakai sebagai acuan / referensi dalam pengukuran dimensi objek. Jenis foto lainnya adalah foto non-metrik, yaitu foto yang dihasilkan dari kamera non-metrik (kamera biasa). Biasanya ukuran foto

yang dihasilkan lebih kecil dari foto metrik. Kamera ini biasa dipakai untuk keperluan pengambilan foto secara umum. (Fryer, 1985)

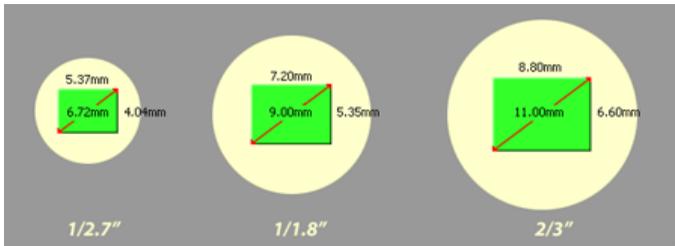
Kamera non metrik pada umumnya tidak ditujukan untuk kepentingan fotogrametri. Tetapi kamera non metrik memiliki beberapa keuntungan, yaitu :

- Banyak tersedia dengan harga yang lebih murah bila dibandingkan kamera metrik.

- Tidak berat dan bisa digunakan dengan tangan.
- Lensa dapat diganti (SLR/DSLR) dan dapat fokus untuk semua jarak objek.
- Dapat menggunakan roll film atau digital yang menghemat biaya produksi hasil foto.

2.5 Sensor

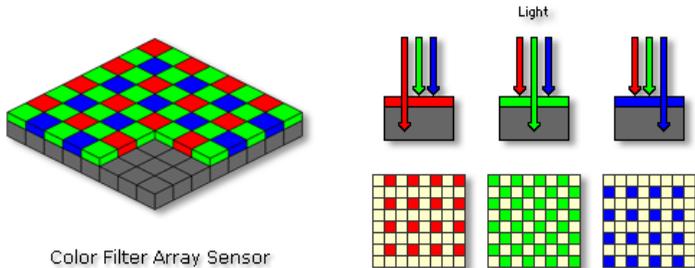
Pada kamera konvensional, dimana cahaya yang masuk diproses secara kimia pada masing-masing layer pada lembar film, sehingga objek dapat terekam. Sedangkan pada kamera digital cahaya yang masuk ke dalam lensa akan difokuskan ke dalam sebuah sensor, sensor akan mengubah cahaya tersebut ke dalam bentuk aliran-aliran listrik. Aliran-aliran ini kemudian disimpan ke dalam memory secara cepat. Seperti pada film di kamera konvensional yang merekam gambar objek ketika ada cahaya, Sensor merekam gambar secara elektronik, dan merubah cahaya menjadi electron-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 actual 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.



Gambar 2.1 Ilustrasi ukuran sensor kamera

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 *Charge Coupled Device* (CCD) memiliki lapisan-lapisan filter yang membagi spektrum warna menjadi warna merah, hijau, biru agar bisa diproses secara digital oleh kamera. Ada dua macam jenis CCD, yaitu rangkaian linier yang digunakan dalam scanner datar, alat pengcopy digital dan Scanner Graphic Arts; 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.

Oleh karena itu, dibuatlah sebuah system 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 2.2 *Color Filter Array Sensor*

2.5.1 Kamera

Dalam fotogrametri kamera merupakan salah satu instrumen paling penting, karena kamera digunakan untuk membuat foto yang merupakan alat utama dalam fotogrametri. Oleh karena itu dapat dikatakan pula bahwa foto yang akurat (mempunyai kualitas geometri yang tinggi) diperoleh dari kamera yang teliti. Baik untuk keperluan foto udara maupun foto terestrial, kamera diklasifikasikan menjadi dua kategori umum yaitu :

a. Kamera metrik

Kamera metrik merupakan kamera yang dirancang khusus untuk keperluan fotogrametrik. Kamera metrik yang umum digunakan mempunyai ukuran format $23\text{cm} \times 23\text{cm}$, 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.

b. Kamera non metrik

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

- Ketidakstabilan geometrik

Masalah terbesar penggunaan kamera non-metrik adalah ketidakstabilan geometrik. Kamera non-metrik memiliki lensa yang tidak sempurna, sehingga foto udara yang dihasilkan dari perekaman kamera non-metrik 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.

- Ukuran film

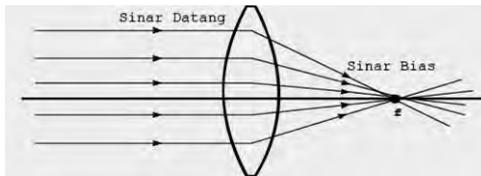
Keterbatasan lain dalam penggunaan kamera non-metrik adalah terbatasnya ukuran film. Untuk mengcover area dengan luas dan skala yang sama, penggunaan kamera format kecil $24\text{mm} \times 36\text{mm}$ membutuhkan jumlah foto lebih banyak dibandingkan jika pemotretan itu dilakukan dengan menggunakan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

- 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

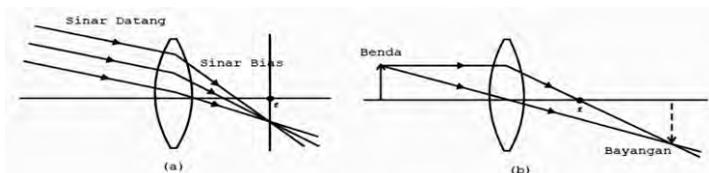
Sifat lensa ini mengikuti prinsip pembiasan sinar sesuai dengan Hukum Snellius. Menurut hukum ini, jika ada seberkas sinar melintasi sebuah permukaan yang berada diantara dua

medium yang mempunyai nilai indeks bias yang berbeda, maka sinar tersebut akan dibelokkan atau dibiaskan. Jika sinar datang dari medium renggang ke medium rapat, maka sinar tersebut akan dibelokkan mendekati garis normal, sebaliknya jika sinar datang dari medium rapat ke medium renggang, maka sinar akan dibelokkan menjauhi garis normal.



Gambar 2.3 Jalan sinar sesuai Hukum Snellius

Seberkas sinar datang yang berasal dari suatu objek pada jarak tak terhingga jauhnya 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 objek dari sebuah lensa, maka akan semakin jauh jarak bayangan yang dibentuk dari lensa tersebut (Gambar 2-3). Oleh karena itu untuk aplikasi foto udara banyak digunakan kamera dengan panjang fokus tetap untuk objek tak terhingga.



Gambar 2.4 a. Bayangan objek tak terhingga b. Bayangan objek dekat

2.5.2 Canon Powershot SX260 HS

Canon Powershot SX 260 HS ini merupakan kamera jajaran SX series terbaru yang tetap mempertahankan desain *compact* namun memiliki lensa zoom yang panjang. Canon PowerShot SX260HS memiliki resolusi sebesar 12.1 Megapixel dengan kemampuan zoom optical 20x. Kamera ini dilengkapi dengan *image processor* yaitu DIGIC5 yang mendukung teknologi HS *system* dan *Intelligent IS*. Fitur berikutnya adalah lensa dengan rentang 25mm yang mampu memanjang hingga 500mm (20x *optical zoom*) dengan optimalisasi hingga 39x dengan bantuan *digital zoom*. Dan dengan didukung oleh *intelligent IS*, pengguna akan mendapatkan hasil foto bebas kabur pada kondisi zoom maksimum sekalipun. Teknologi *Intelligent IS* ini terbilang baru di jajaran kamera Canon namun perbedaannya adalah *Intelligent IS* ini memiliki 7 pilihan yang dapat disesuaikan dengan kondisi pengambilan gambar sehingga foto yang dihasilkan dalam berbagai situasi tetap tajam meskipun dalam kondisi zoom maksimal tanpa bantuan tripod. (www.usa.canon.com)

Tabel 2.1 Spesifikasi Kamera Canon SX260 HS

| | |
|------------------|---|
| Sensor | 12.1 Megapixel - 1/2.3" BSI-CMOS Sensor |
| | Digic 5 Image Processor |
| Movie | 1920x1080p (Full HD)-24 fps |
| | with sound (mono) |
| File Formats | JPEG |
| | Move: H.264 |
| Image Stabilizer | Yes. Intelligent IS |
| Lensa | 25-500 mm |
| Diafragma | F3.5 - F6.8 |
| Zoom | 20x optical zoom |
| | 4x digital zoom |
| ISO sensitivity | Auto. 100 – 3200 |
| Konektivitas | USB2.0. mini HDMI. EyeFi (Wifi) |
| LCD monitor | 3.0 inci Purecolor II TFT |
| | 460.000 dotpixels |
| Memori | SD/SDHC/SDXC card |
| Baterai | Lithium-Ion NB-6L Rechargeable |
| Berat | 231 g |
| Dimensi | 106 x 61 x 33 mm |

(Sumber:www.canon.usa.com)

2.6 Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Fotogrametri

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) adalah teknologi kendaraan udara tak ber-pilot yang dikendalikan dari jarak jauh baik semi-otomatis maupun secara otomatis. Terminologi terbaru UAV fotogrametri menjelaskan bahwa platform ini dapat beroperasi dan dikendalikan dari jarak jauh baik secara semi-otomatis maupun otomatis tanpa perlu pilot duduk di kendaraan.

Platform ini dilengkapi dengan kemampuan untuk melakukan pengukuran fotogrametri baik secara skala kecil maupun besar dengan menggunakan sistem kamera atau kamera video, sistem kamera termal atau inframerah, sistem LIDAR, atau kombinasi ketiganya. UAV standar saat ini memungkinkan pendaftaran, pelacakan posisi dan orientasi dari sensor yang diimplementasikan dalam sistem lokal atau koordinat global. Oleh karena itu teknologi UAV fotogrametri ini dapat dipahami sebagai alat pengukuran fotogrametri terbaru. (Eseinbeiss, 2009)

Tabel 2.2 Fitur Pengukuran Aerial, Jarak Dekat, UAV-
Fotogrametri

| Point | Aerial | Jarak dekat | UAV Fotogrametri |
|--------------------------|---|--|---|
| Perencanaan | Semi-otomatis | Manual | Otomatis-manual |
| Akuisisi data | Manual | Otomatis/Manual | Otomatis/Manual |
| Ukuran Luas Wilayah | km ² | mm ² – m ² | m ² – km ² |
| Reolusi Gambar/GSD | cm-m | mm – dm | mm – m |
| Jarak ke Objek | 100 m – 10 km | cm – 300 m | m – km |
| Orientasi | Normal/Miring | Normal/Miring | Normal/Miring |
| Nilai Akurasi | cm – dm | mm – m | cm – 10 m |
| Jumlah Pemindaian Gambar | 10 – 1000 | 1-500 | 1 – 1000 |
| Pengaplikasian | <ul style="list-style-type: none"> - Wilayah skala besar (pemetaan, kehutanan, glasiologi, 3D Modelling) - Menggunakan awak | <ul style="list-style-type: none"> - Wilayah skala kecil (arkeologi, 3D modelling) - Terestris | <ul style="list-style-type: none"> - Wilayah skala besar dan kecil (arkeologi, pemantauan potensi bencana, 3D modelling) - Wilayah yang sulit dijangkau dan berbahaya - Pemantauan saat itu juga (real-time) |

(sumber: Esienbeiß, Henri.2009. UAV Photogrammetry. Zurich: University of Technology Dresden)

2.6.1 Definisi Multirotor

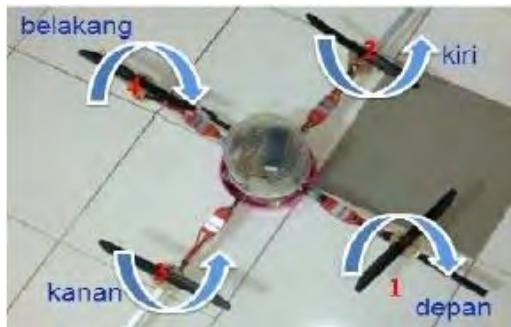
Multirotor terhitung baru populer di dunia *RC plane* dan heli akhir-akhir ini . Multirotor ini terbagi menjadi beberapa jenis, antara lain Tricopter, Quadcopter, Hexacopter, dan Oktocopter.

multirotor adalah gabungan dari Heli dan Pesawat. Karena terbangnya serasa seperti pesawat tetapi bisa hover diam di tempat. Tiap Tipe multirotor berbeda purpose nya diantara lain:

1. Tricopter: dari namanya Multirotor ini memakai 3 Motor, biasanya berbentuk Y. Tricopter ini cocok bagi anda yang ingin terbang lincah, karena Multirotor ini lebih lincah di bandingkan model lain nya. Dan paling ringan payloadnya karena hanya menggunakan 3 motor + 1 servo di tail untuk Yaw.
2. Quadcopter: Multirotor bermotor 4 ini Biasanya berbentuk X dan +, Dimana yang X lebih cocok untuk FPV karena pandangan kamera tidak di halangi oleh proppeler. quad lebih kurang lincah di bandingkan dengan tricopter, tetapi payloadnya lebih besar daripada Tricopter. selain konfigurasi X dan +. ada juga Quadcopter “Y”, yaitu Tricopter Y-4, dimana motor 1 lagi menggantikan servo tail dan berfungsi sebagai elevator.
3. Hexacopter: Multirotor ini bermotor 6, payloadnya lebih besar dibandingkan dari tricopter dan quad, namun lebih kurang lincah lagi. Konfigurasi nya mirip dengan quad, ada yang + dan X. Selain itu ada juga Yang “Y”, yaitu Y-6 dimana frame tricopter tetapi tiap tangan nya memiliki 2 motor. mungkin lebih lincah daripada Hexa konvensional.
4. Octocopter : sedangkan ini, motor nya ada 8. Ini merupakan multirotor terbesar saat ini. mampu membawa payload yang terbesar di bandingkan yang lain nya, lebih mahal konfigurasinya, dan lebih besar. sangat Recommended bila anda ingin mengangkat DSLR sekelas Canon 5D, walau Hexacopter juga bisa membawanya. namun octocopter lebih kuat powernya bila di bandingkan dengan hexa dengan setup motor yang sama. (hobbyterbang.com)

2.6.2 Definisi Quadcopter

Quadcopter adalah pengembangan dari *helicopter* yang hanya memiliki sebuah *rotor*, teknologi yang terdapat pada *quadcopter* ini menggunakan sinkronisasi antara keempat *rotor* yang dikonfigurasi dalam bentuk frame plus (+) dimana *rotor* depan dan belakang berputar searah jarum jam, sedangkan *rotor* sebelah kanan dan kiri bergerak berlawanan arah jarum jam. *Quadcopter* dapat melakukan *take off* dan *landing* secara vertikal. (Kardono, 2012)



Gambar 2.5 Bentuk *Quadcopter*
(Sumber: Kardono, 2012)

Dua pasang baling-baling (1,4) dan (2,3) berputar dengan arah yang berlawanan. Dengan memvariasikan kecepatan *rotor*, dapat mengubah gaya angkat dan menciptakan gerak. Dengan demikian, meningkatkan atau menurunkan kecepatan keempat baling-baling bersama-sama menghasilkan gerakan vertikal. Mengubah kecepatan baling-baling 2 (kiri) dan 3 (kanan) akan menghasilkan gerakan *rotasi roll* ditambah dengan gerakan *translasi* terhadap sumbu *y* sedangkan mengubah kecepatan baling-baling 1 (depan) dan 4 (belakang) akan

menghasilkan gerakan *rotasi pitch* ditambah dengangerakan *translasi* terhadap sumbu x. (Kardono, 2012)

2.6.3 Definisi VTOL (*Vertical Take Off Landing*)

Metode VTOL (*Vertical Take Off Landing*) adalah suatu metode peluncuran dan pendaratan UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) yang dilakukan secara vertikal. Hal ini memungkinkan UAV *System* untuk dioperasikan hampir di semua jenis medan, tidak memerlukan landasan pacu, atau peralatan ketapel yang rumit. Peluncuran dilakukan secara independen dan UAV *System* dapat mengudara beberapa menit untuk tiba dilokasi yang dituju. (Austin, 2010)

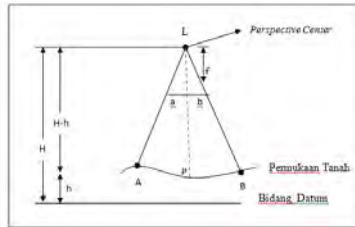
2.7 Skala Foto

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 kamera(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 dapat 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.

2.7.1 Skala Foto Udara Vertikal dengan Medan Tidak Datar

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



Gambar 2.6 Gambar Foto Udara 2D
(Sumber: Hertanto, 2014)

Dari gambar diatas, maka dua segitiga sebagun L_{ab} dan L_{AB} dapat dinyatakan bahwa skala S_{AB} adalah sebagai berikut :

$$S_{AB} = \frac{ab}{AB} = \frac{f}{H} \quad (2.1)$$

Dimana :

S_{AB} = Skala

ab = Ukuran sensor

AB = Ukuran sebenarnya

f = Fokus Kamera

H' = Tinggi Kamera

2.7.2 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 :

$$S_{rata-rata} = \frac{f}{H - h_{rata-rata}} \quad (2.2)$$

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

2.8 Kalibrasi Kamera

Untuk apapun aplikasi fotogrametri, akurasi dari data objek yang dihasilkan sangat tergantung kalibrasi kamera. Sebuah kamera dianggap telah terkalibrasi jika jarak fokus, offset titik pusat foto, dan parameter distorsi kamera telah diketahui. Dalam banyak aplikasi, terutama computer vision, hanya jarak fokus yang diketahui sementara untuk keperluan fotogrametri yang sangat teliti semua parameter kalibrasi digunakan (Kavzoglu dkk, 2008).

Kalibrasi kamera adalah proses menentukan parameter internal dari sebuah kamera. Parameter internal dibutuhkan untuk dapat merekonstruksi ulang berkas-berkas sinar pada saat pemotretan dan untuk mengetahui besarnya kesalahan sistematik dari sebuah kamera.

2.8.1 Parameter Kalibrasi Kamera

Selama proses kalibrasi kamera akan memperoleh unsur unsur dari orientasi dalam, yang terdiri dari (Fryer, 1989) :

1. Panjang fokus/*Principal Distance* (f)
Panjang fokus adalah jarak tegak lurus antara titik pusat lensa (titik focus) dengan bidang proyeksi kamera (sensor). Untuk pekerjaan fotogrametri dibutuhkan nilai pasti dari panjang focus ini, karena akan berhubungan dengan hasil pengukuran obyek.
2. Posisi titik utama foto (X_0, Y_0)
Titik utama adalah titik hasil proyeksi tegak lurus titik pusat perspektif pada bidang foto. Posisi ini dinyatakan

dengan X_0, Y_0 yang merupakan koordinat titik utama dalam system koordinat fidusial.

3. Distorsi Lensa

Distorsi lensa dapat menyebabkan bergesernya titik citra pada foto dari posisi yang sebenarnya, sehingga memberikan ketelitian pengukuran yang kurang baik. Distorsi lensa tak akan mempengaruhi kualitas ketajaman foto yang dihasilkan. Namun untuk pekerjaan fotogrametri, besarnya distorsi tak dapat diabaikan. Distorsi Lensa diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu distorsi radial dan distorsi tangensial (*decentering*).

2.8.1.1 Distorsi Radial

Untuk keperluan fotogrametri teliti, posisi tanda tepi bersama-sama dengan titik tengah foto, panjang fokus, dan distorsi lensa harus ditentukan dengan cara kalibrasi kamera (Harintaka dkk, 2008). Distorsi radial merupakan “aberasi” lensa yang menyebabkan sinar datang yang masuk melalui lensa kamera mengalami deviasi setelah melewati titik pusat proyeksi lensa. Deviasi ini terjadi akibat tidak sempurnanya komposisi lensa. Distorsi lensa akan mengakibatkan pergeseran bayangan ke arah radial terhadap titik utama. Distorsi lensa biasa diekspresikan sebagai fungsi polinomial dari jarak radial (Δr) terhadap titik utama foto (Atkinson, 2000). Distorsi radial dideskripsikan sebagai fungsi polinom dari jarak radial (Δr) terhadap titik utama foto, sebagai berikut

$$\Delta r = K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7 \quad (2.3)$$

Keterangan :

K_i = Koefisien parameter distorsi radial ($i = 1, 2, 3, \dots$)

Δr = Besarnya distorsi radial

r = Jarak radial titik citra terhadap titik utama dengan nilai sebagai berikut,

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad (2.4)$$

Keterangan :

(x, y) = Posisi titik pada foto

(X_0, Y_0) = Posisi titik utama foto

dimana, r adalah besarnya distorsi radial lensa; k_1, k_2, k_3 adalah parameter distorsi radial; r adalah jarak radial. Karakteristik distorsi radial lensa kameradapat diketahui melalui kalibrasi kamera, jika karakteristik distorsi radial diketahui maka posisi objek pada foto dapat dikoreksi.

2.8.1.2 Distorsi Tangensial

Distorsi tangensial atau sering juga disebut *decentering distortion* memiliki komponen radial dan tangensial sebagai vektor dari titik pusat foto ke titik objek, dan nilainya bervariasi terhadap sumbu distorsi tangensial maksimum. Semua elemen dalam sistem lensa idealnya harus diatur sejajar dengan sumbu optis dari seluruh sistem lensa. Pergeseran vertikal ataupun rotasi pada elemen lensa dari susunan yang sempurna akan mengakibatkan pergeseran geometrik dari foto yang dikenal distorsi tangensial. Pergeseran ini biasa dideskripsikan dengan 2 persamaan

polinomial untuk pergeseran pada arah x (Δx) dan y (Δy) (Atkinson 1996).

Lensa kamera non-metrik merupakan gabungan dari beberapa lensa yang memiliki titik pusat yang berbeda. Terjadinya kesalahan dalam mengatur titik pusat lensa pada gabungan lensa (sentering) menyebabkan terjadinya distorsi tangensial yang disebut juga *decenteric distortion*

Distorsi tangensial (P1, P2)

$$\begin{aligned}\Delta x &= P_1[r^2 + 2(x - x_0)^2] + 2P_2(x - x_0)(y - y_0) \\ \Delta x &= P_2[r^2 + 2(y - y_0)^2] + 2P_2(x - x_0)(y - y_0)\end{aligned}\quad (2.5)$$

Keterangan :

- Δx = Pergeseran pada arah X
- Δy = Pergeseran pada arah Y
- $P_1 P_2$ = Parameter distorsi tangensial
- $(X_0 Y_0)$ = Posisi titik utama foto
- r = Jarak radial titik citra terhadap titik utama foto

2.8.2 Metode Kalibrasi Kamera

Kalibrasi kamera dapat dilakukan berdasarkan tiga hal (Hanifa, 2007):

1. Berdasarkan lokasi

Kalibrasi kamera dapat dilakukan dengan metode *laboratory calibration* serta *on the job calibration*. *Laboratory calibration* dilakukan di laboratorium terpisah dengan proses pemotretan objek. Metode yang termasuk di dalamnya antara lain *optical laboratory* dan *test range calibration*. Secara umum metode ini biasanya diaplikasikan untuk jenis kamera metrik. *On the job*

calibration merupakan teknik penentuan parameter kalibrasi kamera yang dilakukan bersamaan dengan pelaksanaan pemotretan objek, biasanya dengan menggunakan objek yang telah diketahui ukurannya.

2. Berdasarkan waktu

Kalibrasi kamera dapat dilakukan sebelum proses *bundle adjustment*, pada saat *bundle adjustment*, maupun sesudah *bundle adjustment*. Kalibrasi pada saat pemotretan dikenal dengan *self calibration*. Pada *self calibration* pengukuran titik – titik target pada objek pengamatan digunakan sebagai data untuk penentuan titik objek sekaligus untuk menentukan parameter kalibrasi kamera.

3. Berdasarkan jenis target

stellar calibration. Untuk kamera non metrik, jenis kalibrasi yang dapat dilakukan adalah metode *on the job calibration* dan *bundle adjustment self calibration*, karena kedua metode ini dapat mengeliminasi efek dari ketidakstabilan orientasi dalam kamera. Pada penelitian ini digunakan metode *bundle adjustment self calibration*.

2.9 Rektifikasi

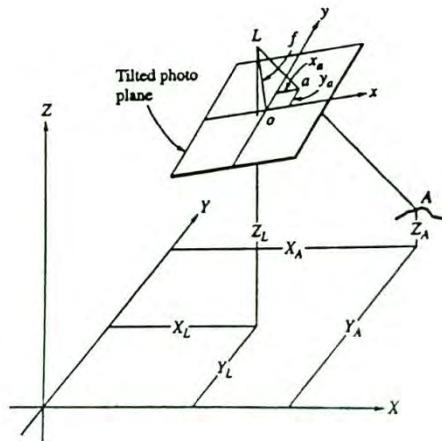
Rektifikasi adalah proses untuk membuat foto tegak ekivalen dari foto negatif miring (Wolf, 1993). Menurut Jansen (1986) ada dua macam rektifikasi, yaitu :

1. Interpolasi spasial yaitu dengan memindahkan letak piksel dengan koordinat citra (x,y) ke koordinat peta yang dijadikan acuan (X,Y). Proses ini disebut koreksi geometrik.
2. Interpolasi intensitas diperlukan karena tidak ada hubungan langsung antara perpindahan masukan nilai piksel dengan lokasi perpindahan, sehingga diperlukan

penentuan nilai kecerahan yang baru melalui transformasi khusus. Proses ini disebut *resampling*.

2.10 Kesegarisan

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 kesegarisan (*collinearity condition*) berkas sinar. Kondisi ini merupakan dasar dari konsep fotogrametri



Gambar 2.7 Prinsip Kesegarisan

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 :

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

$$y_a - y_0 = -C \left[\frac{m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Z_A - Z_L) + m_{23}(Y_A - Y_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Z_A - Z_L) + m_{33}(Y_A - Y_L)} \right]$$

(2.6)

Dimana :

| | |
|-----------------|-----------------------------|
| x_a, y_a | = Koordinat titik A di foto |
| x_0, y_0 | = Koordinat titik utama |
| X_A, Y_A, Z_A | = Koordinat titik A di Bumi |
| C | = Panjang fokus kamera |
| m | = Matriks rotasi |

$$R = R_\omega \cdot R_\varphi \cdot R_\kappa$$

$$\begin{bmatrix} \cos\omega \cdot \cos\kappa & \sin\omega \cdot \sin\varphi \cdot \cos\kappa + \sin\omega \cdot \sin\kappa & -\cos\omega \cdot \sin\varphi \cdot \cos\kappa + \sin\omega \cdot \sin\kappa \\ \cos\omega \cdot \sin\kappa & -\sin\omega \cdot \sin\varphi \cdot \sin\kappa + \cos\omega \cdot \cos\kappa & \cos\omega \cdot \sin\varphi \cdot \cos\kappa + \sin\omega \cdot \cos\kappa \\ \sin\varphi & -\sin\omega \cdot \cos\varphi & \cos\omega \cdot \cos\varphi \end{bmatrix}$$

(2.7)

Dimana :

| | |
|-------------|---------------------------|
| R_ω | = rotasi terhadap sumbu x |
| R_φ | = rotasi terhadap sumbu y |
| R_κ | = rotasi terhadap sumbu z |

2.11 *Space Resection*

Space Resection atau reseksi ruang dengan dengan kolinearitas merupakan metode numerik murni yang secara serentak menghasilkan enam unsur orientasi luar (*Exterior Orientation Parameter*). Besarnya nilai sudut ($X_L, Y_L, Z_L, \omega, \varphi, \kappa$) diperoleh dengan penyelesaian itu. *Space Resection* dengan kolinearitas memungkinkan penggunaan ulang sejumlah titik kontrol medan. Oleh karena itu dapat digunakan cara perhitungan kuadrat terkecil untuk menentukan nilai yang paling mungkin bagi keenam unsure itu. *Space Resection* dengan kolinearitas merupakan metode yang lebih disukai untuk menentukan unsur orientasi luar (Wolf, 2004).

Space Resection dengan kolinearitas meliputi formulasi yang disebut dengan Persamaan Kolinearitas (*collinearity equation*) untuk sejumlah titik kontrol yang koordinat medannya X, Y dan Z diketahui dan yang gambarnya tampak pada foto. Kemudian persamaan itu diselesaikan untuk enam unsur orientasi luar yang belum diketahui dan tampak pada foto. Kolinearitas dideskripsikan sebagai kondisi dimana stasiun pemotretan, beberapa titik objek, dan image foto berada pada satu garis lurus pada space 3D.

Metode reseksi ruang dengan kolinearitas merupakan metode numerik yang secara serentak menghasilkan enam unsur orientasi luar (*exterior orientation*). Orientasi luar ini ($X_o, Y_o, Z_o, \omega, \varphi, \kappa$) merupakan posisi dan orientasi kamera pada saat pemotretan. Posisi dan orientasi kamera diperlukan untuk dapat menentukan posisi dari titik obyek relatif dari sistem koordinat kamera. Sesuai dengan persamaan (2.3) dengan dua persamaan yang mungkin bagi tiap titik kontrol, sejumlah enam persamaan diperoleh dari tiga titik kontrol. Sistem persamaan ini diselesaikan secara serentak untuk enam koreksi yang tak diketahui, dan kemudian koreksi ini ditambahkan pada nilai awal untuk memperoleh nilai yang direvisi. Iterasi dilakukan hingga diperoleh nilai koreksi yang dapat diabaikan.

$$\begin{aligned}
 b_{11}d\omega + b_{12}d\varphi + b_{13}d\kappa - b_{14}X_L - b_{15}Y_L - b_{16}Z_L &= J + v_{xa} \\
 b_{21}d\omega + b_{22}d\varphi + b_{23}d\kappa - b_{24}X_L - b_{25}Y_L - b_{26}Z_L &= K + v_{ya}
 \end{aligned}
 \tag{2.8}$$

Dimana :

- b = Koefisien derivatif parsial
- $d\omega, d\varphi, d\kappa$ = Koreksi Orientasi sudut Foto
- dXL, dYL, DZL = Koreksi Pencahayaan
- J = $x_a - x_0 + f \frac{r}{q}$
- K = $y_a - y_0 + f \frac{s}{q}$

Untuk obyek yang sama di dunia nyata kedua berkas sinar akan saling berpotongan. Interseksi ruang merupakan metode untuk menentukan koordinat medan X,Y,Z titik – titik pada daerah pertampalan pasangan foto stereo dengan menggunakan persamaan kolinearitas. Hal ini dapat dilakukan jika posisi kamera dan orientasinya telah diketahui.

2.12 Proses Linearisasi Sistem Kesegaran

Kedua persamaan diatas merupakan persamaan non linier, dalam melinearakan persamaan kolinear, kedua persamaan tersebut dituliskan lagi sebagai berikut :

$$F = 0 = sxa + uf \dots\dots\dots (2.9)$$

$$G = 0 = sya + tf \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

$$F = x_0 - f \frac{r}{q} = x_a$$

$$G = y_0 - f \frac{r}{q} = y_a$$

$$r = (m11*(Xa-Tx) + (m12*(Ya-Ty) + (m13*(Za-H)$$

$$s = (m21*(Xa-Tx) + (m22*(Ya-Ty) + (m23*(Za-H)$$

$$q = (m31*(Xa-Tx) + (m32*(Ya-Ty) + (m33*(Za-H)$$

Dimana :

$$m11 = \cos \varnothing \cos \kappa$$

$$m12 = \sin \omega \sin \varnothing \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa$$

$$m13 = -\cos \omega \sin \varnothing \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa$$

$$m21 = -\cos \varnothing \sin \kappa$$

$$m22 = -\sin \omega \sin \varnothing \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa$$

$$m23 = \cos \omega \sin \varnothing \sin \kappa + \sin \omega \sin \kappa$$

$$m31 = \sin \varnothing$$

$$m32 = -\sin \omega \cos \varnothing$$

$$m33 = \cos \omega \sin \varnothing$$

2.13 Penelitian Terdahulu

Salah satu penelitian yang berhubungan dengan tugas akhir ini adalah “Pembuatan Peta Foto Dengan Metode Mosaik Semi Terkontrol Menggunakan Foto Udara Format Kecil Non Metrik” oleh Rifki Arifiyantipada tahun 2005. Dalam penelitian ini, dilakukan pembuatan peta foto dengan menggunakan data foto udara format kecil non metrik yang diambil menggunakan fokus kamera 24 milimeter dan tinggi terbang rata-rata 750 meter di lokasi dusun semambung, Driyorejo, Gresik. Untuk metode mosaik semi terkontrol, digunakan 10 titik kontrol tanah (GCP) dengan referensi koordinat pada peta garis BPN dan 7 buah foto udara format kecil non metrik.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Herjuno Gularso, Sawitri Subiyanto, dan L. M. Sabri pada tahun 2013 dengan judul “Tinjauan Pemotretan Udara Format Kecil Menggunakan Pesawat Model Skywalker 1680”. Penelitian ini dilaksanakan di daerah sekitar UNDIP ± 40 hektar. Sensor yang digunakan adalah kameranon *metric digital (Nikon COOLPIX S3300)*. Proses pengolahan menggunakan perangkat lunak *AgisoftPhotoScan*. Proses yang dilakukan pada perangkat lunak yaitu: *alignment* merupakan proses identifikasi titikseketu secara otomatis, kalibrasi kamera untuk menentukan orientasi dalam kamera, hitungan *bundle adjustment* untuk menentukan orientasi

luar kamera, pembuatan model geometri 3 dimensi, dan pemberian tekstur pada model. Setelah tahap pembentukan tekstur dilakukan pada seluruh foto, tahap selanjutnya adalah pemberian titik kontrol hasil pengukuran GPS *geodetic* Hiper GA/GB secara radial.

- a. Laptop Toshiba Satellite L510, Pentium (R) Dual-Core CPU T4400 2.20Ghz, RAM 3 GB, Harddisk 200 GB
 - b. Quadcopter DJI Phantom 2
 - c. Kamera Pocket Canon PowerShot SX 260 HS
 - d. GPS Geodetik
2. Software
 - a. Sistem Operasi *Windows 7*
 - b. MS. Word 2007
 - c. MS. Excel 2007
 - d. MS. Visio 2007
 - e. Software ArcGIS 10
 - f. Matlab 2010
 - g. Notepad

3.3 Metodologi Penelitian

Tahapan yang dilaksanakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Tahap Identifikasi Awal
Pada tahap ini dilakukan penentuan permasalahan mengenai pemotretan udara format kecil yang menggunakan kamera non metrik digital yang dipasang pada wahana quadcopter uav-photogrammetry, serta mencari studi literatur terkait dengan permasalahan yang diangkat.
2. Tahap Pengambilan Data
Pada tahap pengambilan data ini direncanakan tiga kegiatan, yaitu :
 - a. Kalibrasi
Kegiatan ini dilakukan untuk mencari parameter intrinsik dan parameter ekstrinsik menggunakan image 2D suatu objek.

b. Pengukuran Ground Control Point dengan GPS Geodetik

Kegiatan ini dilakukan untuk mendapatkan data berupa koordinat tanah (X, Y, Z).

c. Pengukuran Foto Udara

Kegiatan ini dilakukan untuk mendapatkan data hasil foto udara menggunakan kamera non metrik digital dalam wahana *Quadcopter UAV-Photogrammetry* DJI Phantom.

3. Tahap Pengolahan Data

Pada tahapan ini dilakukan pengolahan dari data-data yang telah dihimpun untuk selanjutnya dilakukan analisa.

4. Tahap Analisa dan Hasil

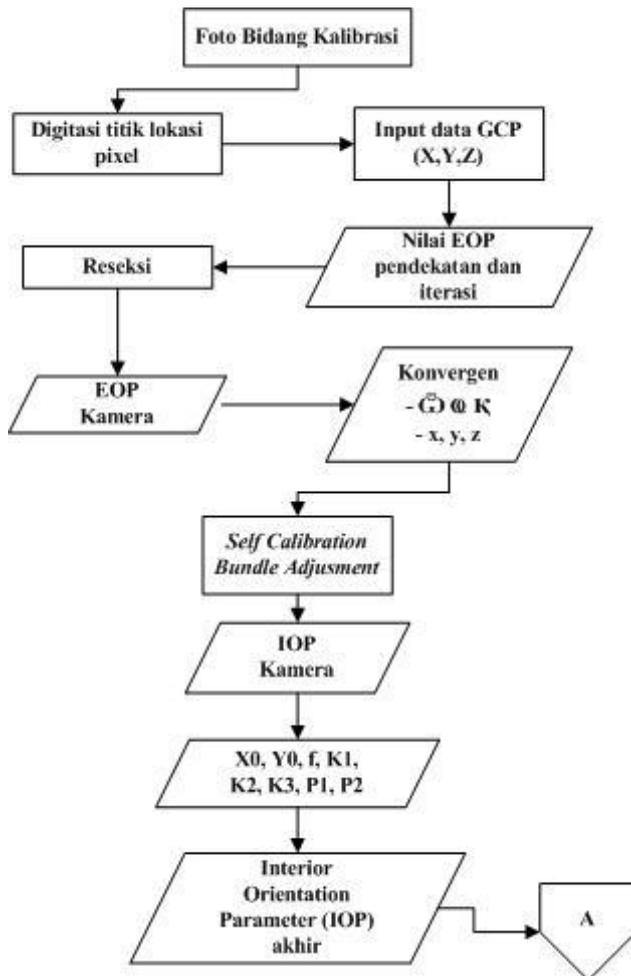
Tahap ini dilakukan untuk mengetahui, menganalisa dan perbedaan planimetrik dari koordinat tanah hasil foto udara dengan koordinat tanah hasil pengukuran sehingga didapatkan hasil dan simpulan yang kemudian dapat digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir.

5. Penyusunan Laporan

Penyusunan laporan merupakan tahap terakhir dari penelitian ini agar hasil penelitian ini bisa bermanfaat dan diketahui orang lain.

3.4 Diagram Alir

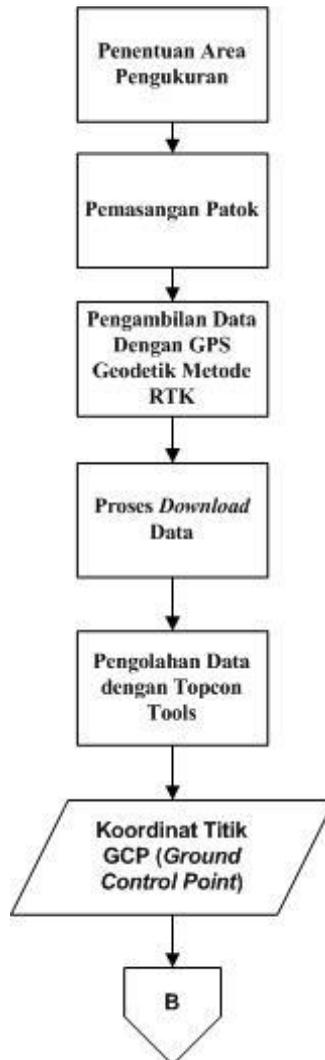
3.4.1 Kalibrasi Kamera



Keterangan :

1. Foto Bidang Kalibrasi
Dilakukan pemotretan bidang kalibrasi sehingga mendapat data foto
2. Digitasi Titik di Foto
Diakukan digitasi titik kontrol atau *ground control point* untuk mendapatkan koordinat foto (x,y) dalam bentuk pixel dan dikonversi ke milimeter.
3. Input Data *ground control point* (GCP)
Digunakan untuk mendapatkan persamaan kolinearitas yang digunakan untuk iterasi nilai *Exterior Orientation Parameter* (EOP) dengan metode reseksi
4. Reseksi
Digunakan untuk mendapatkan Parameter Orientasi Luar
5. Konvergen
Proses reseksi menghasilkan parameter orientasi luar yang konvergen, yakni omega, phi, kappa, X,Y,Z.
6. *Bundle Adjustment*
Proses *self calibration* dan *bundle adjustment* dilakukan untuk mendapatkan parameter orientasi dalam yakni X0,Y0,f,K1,K2,K3,P1,P2.
7. IOP Terkoreksi
Mendapatkan *Interior Orientation Parameter* (IOP) yang terkoreksi melalui proses iterasi sampai RMSE terpenuhi.

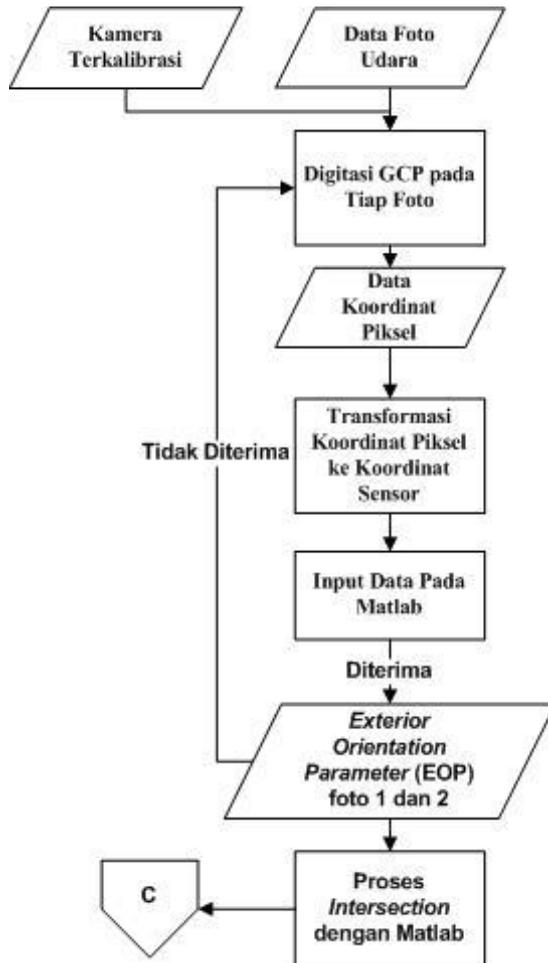
3.4.2 Metode *Real Time Kinetik* Menggunakan GPS Geodetik



Keterangan :

1. Tahap pertama yang dilakukan adalah melakukan orientasi lapangan untuk letak titik persebaran GCP (*Ground Control Point*) di lapangan.
2. Melakukan penanaman patok menyebar di area wilayah yang akan dilakukan pengukuran.
3. Selanjutnya dilakukan pengambilan data dengan menggunakan GPS Geodetik dengan menggunakan metode RTK (*Real Time Kinetik*) pada patok yang telah ditanam.
4. Data yang diperoleh dari pengukuran menggunakan GPS geodetik selanjutnya di download.
5. Data tersebut kemudia diolah dengan menggunakan aplikasi Topcon Tools.
6. Hasil dari pengolahan data tersebut adalah berupa koordinat X,Y,Z dari masing-masing titik GCP yang tersebar di area pengukuran.

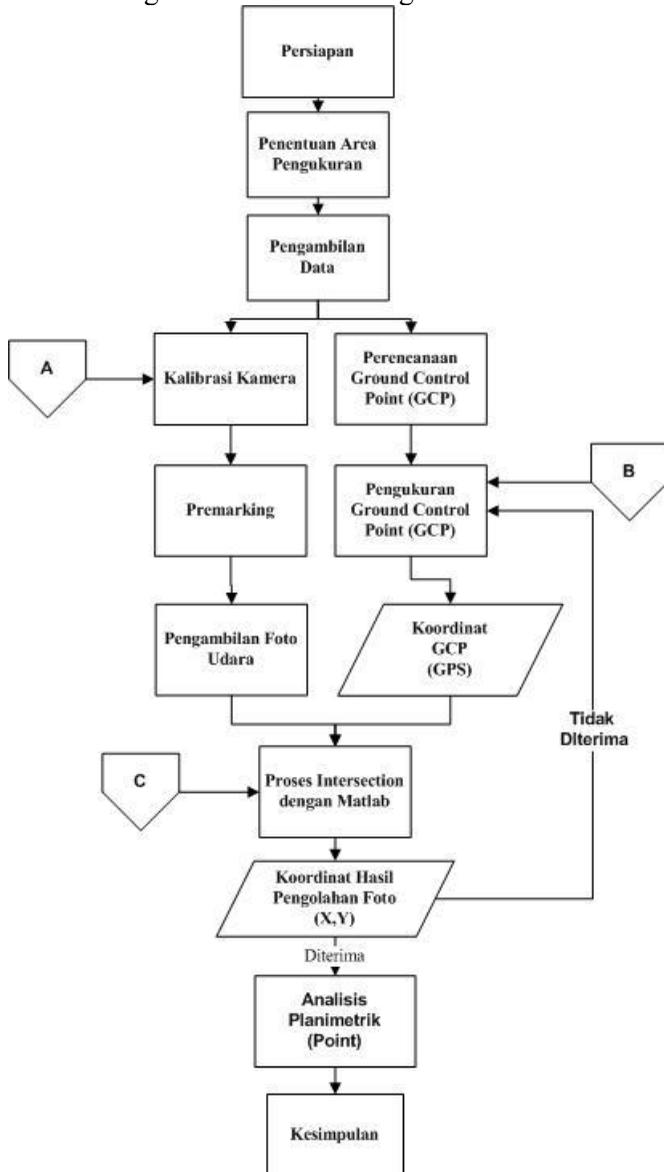
3.4.3 Metode Foto Udara Format Kecil (FUFK) melalui Matlab



Keterangan :

1. Dilakukan digitasi titik GCP di lapangan dari hasil foto udara menggunakan program K-Photo 1.0.
2. Nilai IOP dari kamera yang telah terkalibrasi selanjutnya di olah beserta data koordinat piksel dari digitasi titik GCP dari foto udara dengan menggunakan program K-Photo 1.0.
3. Setelah didapatkan nilai EOP dari masing-masing foto, dilakukan proses *Intersection* melalui Matlab untuk mendapatkan koordinat dari foto yang bertampalan.
4. Setelah proses *Intersection* selesai, maka hasil akhir adalah berupa koordinat tanah hasil pengolahan (X,Y).

3.4.4 Diagram Alir Seluruh Kegiatan



Keterangan :

1. Melakukan persiapan dan orientasi lapangan merupakan sebuah metode awal penelitian ini. Selanjutnya dilakukan pengambilan data yang terbagi menjadi dua bagian, yaitu pengambilan data dengan metode foto udara format kecil (FUFK) dan dengan metode RTK (*Real Time Kinetik*) menggunakan GPS Geodetik.
2. Pada pengambilan data menggunakan kamera non metrik, dilakukan proses kalibrasi kamera terlebih dahulu agar kamera dapat digunakan untuk mengambil data secara akurat. Setelah itu dilakukan pengambilan gambar foto udara di lapangan.
3. Pada pengambilan data untuk mendapatkan nilai koordinat tanah (GCP) dengan menggunakan GPS Geodetik dengan metode RTK (*Real Time Kinetik*).
4. Setelah data foto udara dan koordinat GCP didapat, selanjutnya adalah melakukan digitasi titik kontrol GCP dari foto udara untuk menentukan nilai parameter orientasi luar (EOP).
5. Nilai EOP foto 1 dan 2 yang telah diperoleh selanjutnya di masukkan ke program Matlab untuk mencari nilai koordinat tanah (GCP) hasil pengolahan dengan metode *Intersection*.
6. Setelah koordinat tanah hasil pengolahan diperoleh, maka dilakukan analisa perbandingan dan selisih hasil koordinat tanah hasil pengolahan dengan koordinat tanah hasil pengukuran.
7. Setelah dilakukan analisa, maka dibuat suatu kesimpulan mengenai analisis planimetrik menggunakan metode foto udara format kecil (FUFK) dengan kamera non metrik.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN ANALISA

4.1 Hasil

4.1.1 Transformasi Koordinat Foto

Transformasi koordinat foto dilakukan dengan menggunakan MATLAB untuk mendapatkan koordinat piksel posisi sebaran titik kontrol (GCP) di lapangan. Setelah mendapatkan posisi piksel dilakukan dengan menggunakan transformasi affine 2D untuk mentransformasikan koordinat piksel yang didapat kedalam koordinat sensor dalam milimeter.



Gambar 4.1 Akuisisi data piksel foto 1



Gambar 4.2. Akuisisi data piksel foto 2

Hasil dari transformasi ke dalam koordinat sensor dari dua foto adalah sebagai berikut.

Tabel 4.1 Koordinat sensor foto 1

| Titik | Koordinat Pikel | | Koordinat sensor (mm) | |
|-------|-----------------|----------|-----------------------|------------|
| | X' | Y' | X | Y |
| BM 1 | 446.3327 | 3015.257 | 1.5660345 | 1.6226476 |
| BM 2 | 1454.853 | 2412.5 | 0.6362813 | 0.0695265 |
| BM 3 | 2092.362 | 2688.971 | 1.0627371 | -0.9122377 |
| BM 4 | | | | |
| BM 5 | | | | |
| BM 6 | | | | |
| BM 7 | 2967.647 | 1795.588 | -0.3153051 | -2.2601765 |
| BM 8 | 1920.983 | 1425.735 | -0.8858033 | -0.6483145 |
| BM 9 | 1227.206 | 1125.368 | -1.3491204 | 0.4201029 |
| BM 10 | 18.61765 | 1873.529 | -0.1950809 | 2.2813288 |

Keterangan  : Titik yang tidak bertampalan

 : Titik yang bertampalan

 : Titik yang tidak terlihat di Foto

Tabel 4.2 Koordinat sensor foto 2

| Titik | Koordinat Piksel | | Koordinat sensor (mm) | |
|-------|------------------|----------|-----------------------|------------|
| | X' | Y' | X | Y |
| BM 1 | | | | |
| BM 2 | 733.4522 | 2126.838 | 0.195648 | 1.1804836 |
| BM 3 | 1392.322 | 2284.559 | 0.438932 | 0.1658246 |
| BM 4 | 2369.118 | 2235.846 | 0.3637918 | -1.3384412 |
| BM 5 | 2938.971 | 2180.882 | 0.279011 | -2.2160147 |
| BM 6 | 2878.042 | 1525.735 | -0.7315533 | -2.1221851 |
| BM 7 | 2076.936 | 1249.265 | -1.1580092 | -0.8884809 |
| BM 8 | 1008.774 | 1077.941 | -1.4222757 | 0.7564882 |
| BM 9 | 300 | 912.8676 | -1.6769017 | 1.848 |
| BM 10 | | | | |

Keterangan  : Titik yang tidak bertampalan

 : Titik yang bertampalan

 : Titik yang tidak terlihat di Foto

4.1.2 Hasil Kalibrasi Kamera

Kegiatan ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Interior Orientation Parameter* (IOP) dan *Exterior Orientation Parameter* (EOP) dari kamera non metrik digital yang digunakan. Kalibrasi kamera dilakukan dengan menggunakan toolbox calibration (Matlab) dengan proses *Bundle*

Adjustment. Proses ini dilakukan sekali sebelum pengambilan foto karena hal ini berlaku untuk semua foto.

Tabel 4.3 Nilai IOP (*Interior Orientation Parameter*)

| Nilai IOP | |
|----------------------|-------------|
| Focal Length | 4.547 mm |
| Image width | 4000 pix |
| Image height | 3000 pix |
| x0 | -0.4975 mm |
| y0 | -0.03115 mm |
| Radial K1 | -0.0209 |
| Radial K2 | 0.0006 |
| Radial K3 | 0.0027 |
| Tangensial P1 | -0.0039 |
| Tangensial P2 | 0.0000 |

. Sedangkan nilai EOP dicari nilainya berdasarkan masing-masing foto yang digunakan, sehingga nilai EOP didapatkan setelah proses pengambilan foto dilakukan.

Tabel 4.4 Nilai EOP (*Exterior Orientation Parameter*)

| EOP | | |
|------------------|---------------|---------------|
| | Foto 1 | Foto 2 |
| XL (m) | 698444.729 | 698488.737 |
| YL (m) | 9195141.707 | 9195091.898 |
| ZL (m) | 238.096 | 234.482 |
| Omega (°) | 3.977 | 4.039 |
| Phi (°) | 0.741 | 2.082 |
| Kappa (°) | 9.784 | 19.748 |

4.1.3 Persebaran *Ground Control Point (GCP)*

Persebaran Koordinat titik kontrol tanah (GCP) hasil pengukuran di lapangan menggunakan alat GPS ditunjukkan pada gambar dan tabel berikut :



Gambar 4.3 Persebaran titik GCP

Tabel 4.5 Koordinat GCP hasil Pengukuran Lapangan

| Koordinat GCP hasil pengukuran | | |
|---------------------------------------|--------------|--------------|
| Nama Titik | X (m) | Y (m) |
| BM 1 | 698523.567 | 9195248.487 |
| BM 2 | 698492.046 | 9195169.124 |
| BM 3 | 698517.972 | 9195128.631 |
| BM 4 | 698536.858 | 9195064.66 |
| BM 5 | 698545.967 | 9195027.86 |
| BM 6 | 698503.047 | 9195017.001 |
| BM 7 | 698466.789 | 9195060.631 |
| BM 8 | 698429.647 | 9195125.871 |
| BM 9 | 698399.965 | 9195170.124 |
| BM 10 | 698437.209 | 9195266.598 |

4.1.4 Perhitungan *Space Intersection*

Hasil pengolahan foto menggunakan metode *Space Intersection by Collinearity* untuk mendapatkan koordinat foto terukur dari dua foto yang saling bertampalan. Jumlah titik yang saling bertampalan antar dua foto berjumlah 5 titik GCP, yaitu BM 2, BM 3, BM 7, BM 8, dan BM 9. Berikut adalah hasil dari perhitungannya :

Tabel 4.6 Persebaran titik GCP metode *Space Intersection*

| Titik | X' (m) | Y' (m) |
|-------|------------|-------------|
| BM 2 | 698495.167 | 9195171.127 |
| BM 3 | 698522.011 | 9195127.352 |
| BM 7 | 698467.042 | 9195055.582 |
| BM 8 | 698428.072 | 9195124.33 |
| BM 9 | 698396.865 | 9195171.456 |

4.2 Analisa

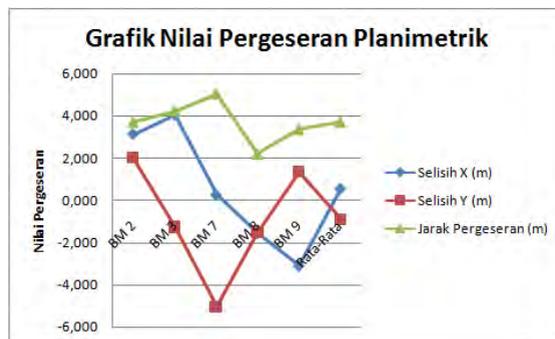
4.2.1 Analisa Perhitungan Pergeseran Planimetrik

Analisa pergeseran planimetrik ini dilakukan dengan membandingkan data lapangan dengan data koordinat hasil pengolahan foto dengan metode *Space Intersection by collinearity* untuk mengetahui nilai pergeserannya.

Tabel 4.7 Selisih Koordinat dan Jarak Pergeseran

| Titik | Selisih X (m) | Selisih Y (m) | Jarak Pergeseran (m) |
|-----------|---------------|---------------|----------------------|
| BM 2 | 3.121 | 2.003 | 3.708 |
| BM 3 | 4.039 | -1.279 | 4.236 |
| BM 7 | 0.253 | -5.049 | 5.055 |
| BM 8 | -1.575 | -1.541 | 2.203 |
| BM 9 | -3.100 | 1.332 | 3.374 |
| Rata-Rata | 0.548 | -0.907 | 3.716 |

Diketahui dari tabel diatas bahwa nilai selisih untuk koordinat X paling besar terdapat pada BM 3 dengan nilai 4.039 meter, sedangkan untuk nilai koordinat X paling kecil terdapat pada BM 7 dengan nilai 0.253 meter dengan nilai rata-rata X sebesar 0.548 meter . Nilai selisih koordinat planimetrik untuk koordinat Y paling besar terdapat pada BM 7 dengan nilai -5.049, sedangkan untuk nilai koordinat Y paling kecil terdapat pada BM 3 dengan nilai -1.279 dengan nilai rata-rata Y sebesar -0.907 meter.

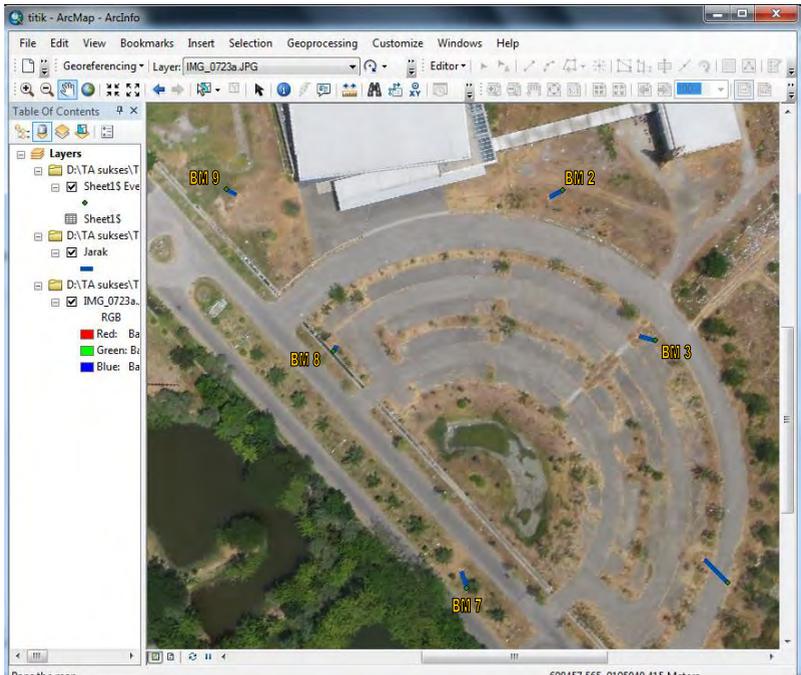


Gambar 4.4 Grafik Nilai Pergeseran Planimetrik GCP

Tabel dibawah adalah letak dan arah pergeseran titik hasil pengolahan.

Tabel 4.8 Arah Pergeseran Titik

| Nama Titik | Arah Pergeseran |
|------------|---|
| BM 2 |  |
| BM 3 |  |
| BM 7 |  |
| BM 8 |  |
| BM 9 |  |



Gambar 4.5 Arah Pergeseran Titik

Dari hasil analisa yang didapat, menunjukkan bahwa semakin jauh titik kontrol dari pusat foto maka nilai pergeseran titik menjadi besar. Hal ini ditunjukkan oleh titik BM 8 yang berada dekat dengan pusat foto memiliki jarak pergeseran sebesar 2.203 meter. Sebaliknya, pada titik BM 7 yang berada jauh dengan pusat foto memiliki jarak pergeseran sebesar 5.055 meter dengan nilai pergeseran rata-rata seluruh titik *Ground Control Point* (GCP) sebesar 3.176 meter.

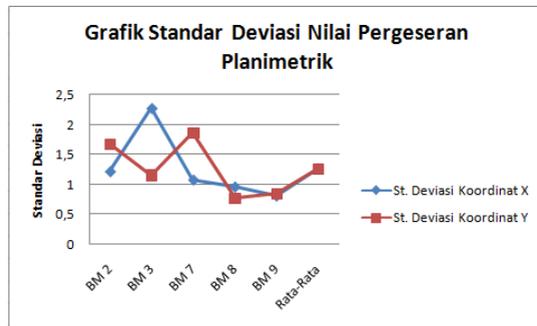
4.2.2 Nilai Standar Deviasi Tiap Titik

Hasil dari perhitungan standar deviasi antara data pengukuran GPS dengan data koordinat hasil pengolahan foto.

Tabel 4.9 Nilai Standar Deviasi Koordinat Hasil Pengolahan

| Titik | St. Deviasi Koordinat X (m) | St. Deviasi Koordinat Y (m) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|
| BM 2 | 1.219 | 1.677 |
| BM 3 | 2.275 | 1.155 |
| BM 7 | 1.080 | 1.859 |
| BM 8 | 0.962 | 0.771 |
| BM 9 | 0.812 | 0.843 |
| Rata-Rata | 1.269 | 1.261 |

Dan berikut adalah grafik standar deviasi nilai pergeseran planimetrik.



Gambar 4.6 Grafik Standar Deviasi Nilai Pergeseran Planimetrik GCP

4.2.3 Analisa Faktor Penyebab Nilai Pergeseran Titik

Dari hasil analisa penyebab nilai pergeseran cukup besar pergeserannya adalah karena pada proses penerbangan *Quadcopter* dilakukan secara VTOL (*Vertical Take Off Landing*), sehingga operator tidak dapat mengetahui langsung posisi pesawat dalam keadaan stabil atau tidak. Selain itu proses *landing* wahana *Quadcopter* yang sedikit kasar menyebabkan kamera mengalami guncangan yang dapat mengakibatkan *damage* yang dapat berpengaruh pada hasil nilai kalibrasi kamera. Faktor lain adalah gimbal modifikasi untuk mengangkut kamera pada wahana juga tidak memiliki peredam getaran (*anti-jello*), sehingga hasil foto yang didapat mengalami *Blur* (tidak jelas). Selain itu pemilihan warna pada *premarking* menggunakan warna yang hampir sama dengan kondisi di lapangan, sehingga kesulitan untuk menentukan titik tengah *Ground Control Point* (GCP).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal yaitu :

1. Mendapatkan hasil foto udara menggunakan metode VTOL (*Vertical Take Off Landing*). Jumlah pengambilan data foto udara dilakukan sebanyak dua kali. Selanjutnya dilakukan tahap evaluasi untuk kriteria foto udara yang baik dan tidak *Blur*, sehingga mendapatkan dua foto udara yang dapat digunakan untuk pengolahan data.
2. Nilai Pergeseran Planimetrik paling dekat terdapat pada BM 8 dengan jarak pergeseran sebesar 2.203 meter. Sedangkan untuk jarak pergeseran planimetrik paling jauh terdapat pada BM 7 dengan jarak 5.055 meter. Hal itu dikarenakan oleh proses penerbangan *Quadcopter* dilakukan secara VTOL (*Vertical Take Off Landing*), sehingga operator tidak dapat mengetahui langsung posisi pesawat dalam keadaan stabil atau tidak. Selain itu proses *landing* wahana *Quadcopter* yang sedikit kasar menyebabkan kamera mengalami guncangan yang dapat mengakibatkan *damage* yang dapat berpengaruh pada hasil nilai kalibrasi kamera sehingga berpengaruh pula pada perhitungan untuk mendapatkan koordinat hasil pengukuran. Faktor lain adalah gimbal modifikasi untuk mengangkat kamera pada wahana juga tidak memiliki peredam getaran (*anti-jello*), sehingga hasil foto yang didapat mengalami *Blur* (tidak jelas). Selain itu pemilihan warna pada *premarking* menggunakan warna yang hampir sama dengan kondisi di lapangan, sehingga kesulitan untuk menentukan titik tengah *Ground Control Point* (GCP).

5.2 Saran

Pada Penelitian ini saran yang dapat diberikan yaitu :

1. Sebaiknya dilakukan tahapan kalibrasi kamera sebelum dan sesudah pengambilan data dengan menggunakan wahana *UAV-Photogrammetry* untuk mendapatkan nilai parameter kamera yang lebih akurat agar mendapatkan nilai pergeseran planimetrik yang kecil
2. Untuk proses penelitian selanjutnya, tinggi terbang dan cakupan *overlap* foto harus diperhitungkan sehingga nilai EOP masing-masing foto tidak terlalu besar.
3. Modifikasi wahana, terutama pada gimbal perlu dibuat peredam getarannya agar hasil foto yang didapat di lapangan sangat jelas dan tidak *Blur*.
4. Kegiatan pemetaan menggunakan wahana *UAV-photogrammetry* kiranya dapat terbantu dengan adanya pengetahuan akan kelebihan dan kekurangan kamera yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Atkinson. K.B. 1996. Close Range Photogrammetry and Machine Vision. Whittles Publishing. Scotland, UK.
- Atkinson. 2000. Theory of Close Range Photogrammetry, Ch.2 Coordinate Transformations.<http://www.lems.brown.edu/vision/people/leymarie/Refs/Photogrammetry/General.html>
- Austin, R. 2010. Unmanned Aircraft System, UAVS Design, Development, and Deployment. A John Wilky and Sons, Ltd, Publication. United Kingdom.
- Budhiman, S., 2000. Praktikum Umum Pendidikan dan Pelatihan Penginderaan Jauh Tingkat Dasar Terampil Angkatan I. Jakarta: Lembaga Penerbangan & Antariksa Nasional.
- Cahyono, A.B. dan Hapsari, H.H. 2008. Petunjuk Praktikum Fotogrametri 1. Laboratorium Fotogrametri. Program Studi Teknik Geomatika, FTSP, ITS.
- Canon. Februari, 2014. http://www.usa.canon.com/cusa/consumer/products/cameras/digital_cameras/powershot_sx260_hs#Specifications
- Eisenbeiss, H. 2009. UAV Photogrammetry. Zürich. ETH Zürich.
- Fryer, J. G. 1985. Non-metric Photogrammetry and surveyors. Dept. of Civil Engineering and Surveying, University of Newcastle. N. S. W
- Fryer, J.G. "Camera Calibration for Non Topographic Photogrammetry." Dalam Non Topographic Photogrammetry, oleh H.M. Karara. ASPRS, 1989.
- 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, Volume 2, Nomor 2, Tahun 2013, (ISSN : 2337-845X)

- Hanifa, N. R. 2007. Studi Penggunaan Kamera Digital Low-Cost Non-Metric Auto-Focus Untuk Pemantauan Deformasi. Bandung: Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika FTSL ITB.
- Harintaka, Subaryono, Tanjung, A. M., 2008. Evaluasi Penerapan *Mini Bundle Block Adjustment* Pada Foto Udara Format Kecil. No.3 Tahun XXX Edisi Agustus 2008 ISSN 0216-3012, Media Teknik.
- Hidayat, H. 2012. Optimalisasi image-based architectural Modeling pada googlesketchup Menggunakan kamera amatir digital Terkalibrasi. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Hertanto, H., 2014, Pembuatan Peta Foto Dengan Mosaik Foto Udara Format Kecil Menggunakan Metode Kolinieritas, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Hobby Terbang. Februari, 2014. <http://hobbyterbang.com/terbang-fpv/264>.
- Jensen, J. R., 1986. Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective. New Jersey: Prentice Hall.
- Kardono, AK. Rushianto E., Fatoni A., 2012, Perancangan dan Implementasi Sistem Pengaturan Optimal LQR untuk Menjaga Kestabilan Hover pada Quadcopter, Jurnal Teknik ITS, Vol.1, No.1, Tahun 2012, (ISSN : 2301-9271)
- Kavzoglu, T., dan Karsli, F. 2008. Calibration of A Digital Single Lens Reflex (SLR) Camera Using Artificial Neural Networks. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing.
- Sutanto., 1986. Penginderaan Jauh, Jilid I dan II. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Warner, W. S., Graham, R. W., and Read, R. E., 1996, Small Format Aerial Photography, ISBN 1-870325-56-7, Whittles Publishing, Scotland, UK.

Wicaksono, F. Y. E. 2009.

ApatuFotoUdara?, Badan Perpustakaan dan Arsip Daerah Provinsi DIY. <URL: <http://bpadjogja.info/file/a993f9ea56c958470ff07f271a12e7a62b.pdf>>. Dikunjungi pada tanggal 28 Januari 2014, jam 20.45.

Wolf, P. R., 1993. Elemen Fotogrametri Dengan Interpretasi Foto Udara dan Penginderaan Jauh, Edisi kedua. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Wolf, P. (2004). Elements of Photogrammetry (3rd ed.). USA: McGraw-Hill Book Company.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A (Data Foto Udara)

Lampiran B (Data Koordinat GCP, Koordinat Piksel dan Koordinat Sensor)

Lampiran C (Koding Matlab EOP)

Lampiran D (Transformasi Koordinat Piksel ke Koordinat Sensor)

Lampiran E (Koding Matlab *Intersection*)

Lampiran F (Dokumentasi Penelitian)

”Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

Lampiran A

Data Foto Udara



Gambar 1. Data Foto Udara 1 dengan Metode VTOL

Tabel 1. Data Exif Foto Udara 1

| No | Property | Value |
|----|---------------|---------------------------|
| 1 | Camera Model | Canon Powershot SX 260 HS |
| 2 | Dimension | 4000 x 3000 pixels |
| 3 | Item Type | JPEG Image |
| 4 | F-Stop | f/4 |
| 5 | Shutter Speed | 1/1250 sec |
| 6 | ISO | 100 |
| 7 | Focal Length | 4 mm |
| 8 | White Balance | Auto |
| 9 | Latitude | 7° 16' 41.52" |
| 10 | Longitude | 112° 47' 50.706" |
| 11 | Altitude | 119 meter |
| 12 | Weather | Sunny Bright |
| 13 | Date Taken | 22/10/2014 10:07 |



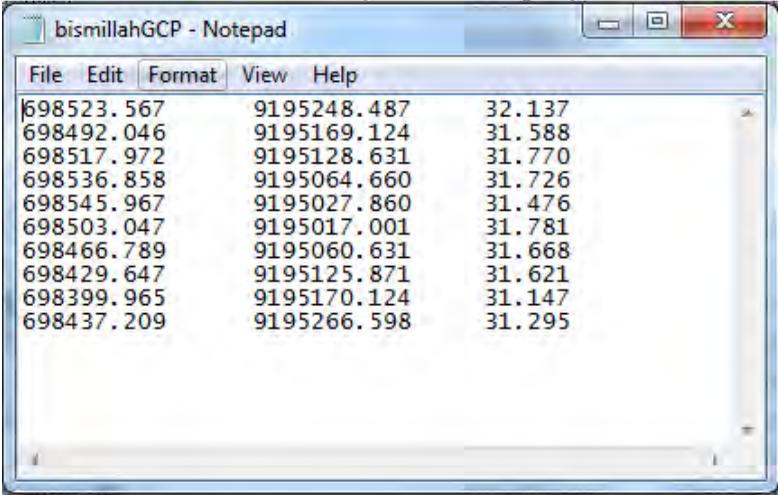
Data Foto Udara 2 dengan Metode VTOL

Tabel 2. Data Exif Foto Udara 2

| No | Property | Value |
|----|---------------|---------------------------|
| 1 | Camera Model | Canon Powershot SX 260 HS |
| 2 | Dimension | 4000 x 3000 pixels |
| 3 | Item Type | JPEG Image |
| 4 | F-Stop | f/4 |
| 5 | Shutter Speed | 1/1000 sec |
| 6 | ISO | 100 |
| 7 | Focal Length | 4 mm |
| 8 | White Balance | Auto |
| 9 | Latitude | 7° 16' 40.399" |
| 10 | Longitude | 112° 47' 55.362" |
| 11 | Altitude | 223.5 meter |
| 12 | Weather | Sunny |
| 13 | Date Taken | 22/10/2014 10:34 |

Lampiran B

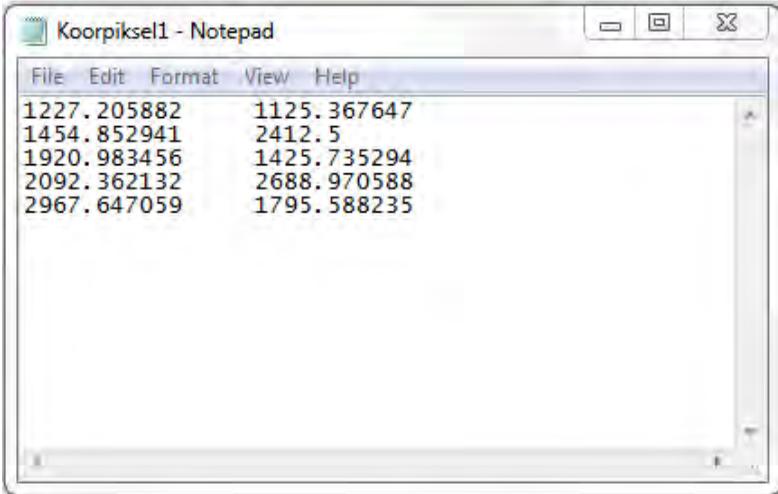
Data Koordinat GCP hasil Pengukuran di Lapangan



The screenshot shows a Notepad window with the title 'bismillahGCP - Notepad'. The window contains a table of GCP coordinates with three columns. The data is as follows:

| File | Edit | Format | View | Help |
|------------|------|-------------|------|--------|
| 698523.567 | | 9195248.487 | | 32.137 |
| 698492.046 | | 9195169.124 | | 31.588 |
| 698517.972 | | 9195128.631 | | 31.770 |
| 698536.858 | | 9195064.660 | | 31.726 |
| 698545.967 | | 9195027.860 | | 31.476 |
| 698503.047 | | 9195017.001 | | 31.781 |
| 698466.789 | | 9195060.631 | | 31.668 |
| 698429.647 | | 9195125.871 | | 31.621 |
| 698399.965 | | 9195170.124 | | 31.147 |
| 698437.209 | | 9195266.598 | | 31.295 |

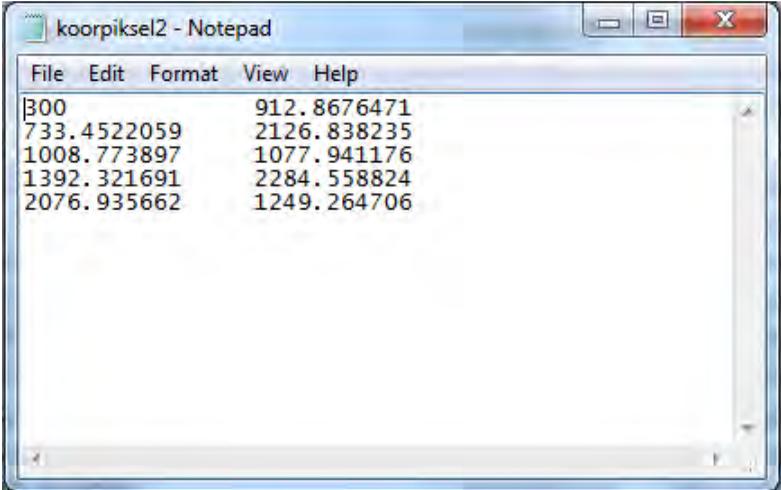
Data Koordinat Pikel Foto 1



The screenshot shows a Notepad window with the title 'Koorpikel1 - Notepad'. The window contains a table of pixel coordinates with two columns. The data is as follows:

| File | Edit | Format | View | Help |
|-------------|------|-------------|------|------|
| 1227.205882 | | 1125.367647 | | |
| 1454.852941 | | 2412.5 | | |
| 1920.983456 | | 1425.735294 | | |
| 2092.362132 | | 2688.970588 | | |
| 2967.647059 | | 1795.588235 | | |

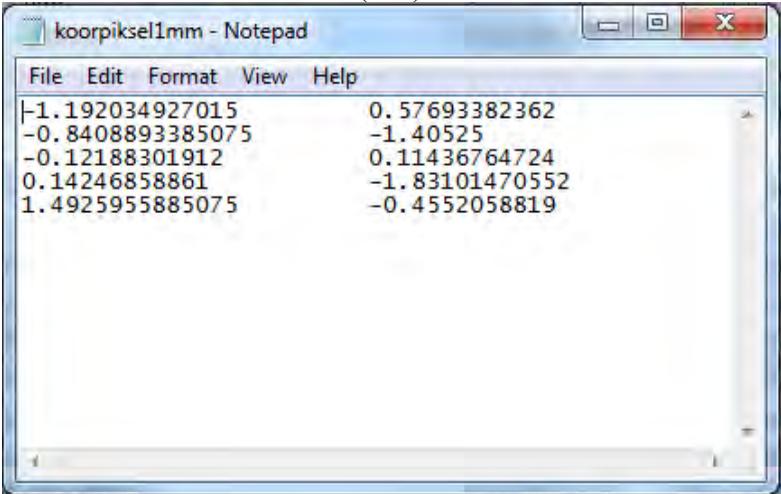
Data Koordinat Pikel Foto 2



A screenshot of a Notepad window titled "koorpiksel2 - Notepad". The window contains a table of coordinate data. The table has two columns of numerical values. The first column contains values: 300, 733.4522059, 1008.773897, 1392.321691, and 2076.935662. The second column contains values: 912.8676471, 2126.838235, 1077.941176, 2284.558824, and 1249.264706.

| File | Edit | Format | View | Help |
|-------------|------|--------|-------------|------|
| 300 | | | 912.8676471 | |
| 733.4522059 | | | 2126.838235 | |
| 1008.773897 | | | 1077.941176 | |
| 1392.321691 | | | 2284.558824 | |
| 2076.935662 | | | 1249.264706 | |

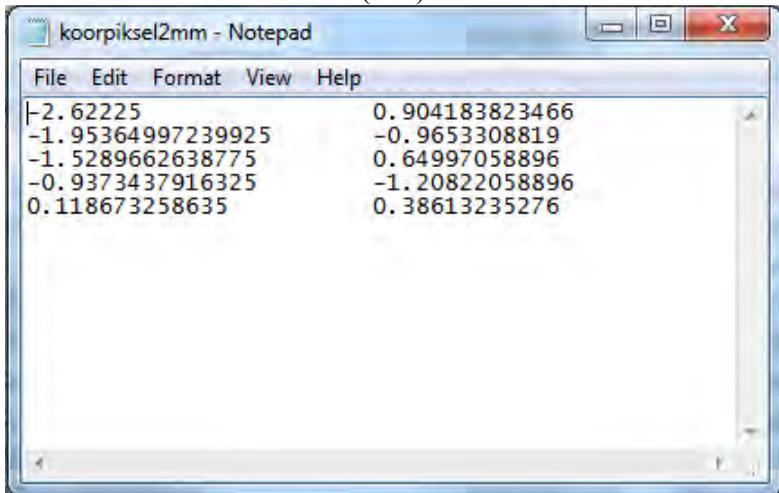
Data Koordinat Sensor Foto 1 (mm)



A screenshot of a Notepad window titled "koorpiksel1mm - Notepad". The window contains a table of coordinate data. The table has two columns of numerical values. The first column contains values: -1.192034927015, -0.8408893385075, -0.12188301912, 0.14246858861, and 1.4925955885075. The second column contains values: 0.57693382362, -1.40525, 0.11436764724, -1.83101470552, and -0.4552058819.

| File | Edit | Format | View | Help |
|------------------|------|--------|----------------|------|
| -1.192034927015 | | | 0.57693382362 | |
| -0.8408893385075 | | | -1.40525 | |
| -0.12188301912 | | | 0.11436764724 | |
| 0.14246858861 | | | -1.83101470552 | |
| 1.4925955885075 | | | -0.4552058819 | |

Data Koordinat Sensor Foto 2 (mm)



Lampiran C

Koding Matlab untuk mencari nilai EOP

```
1 - clear;clc;
2 - disp('simpan data koordinat foto dan koordinat GCP di direktori yang sama dengan file i
3 - koorxy=load('fotoApiksel.txt');
4 - koorXY=load('bismillah GCP.txt');
5 - disp('masukkan nilai fokus,')
6 - % f=input('f =');
7 - f=4.547
8 - x0=-0.4975
9 - y0=-0.03115
10 - omg=0;
11 - phi=0;
12 - dAB=sqrt((koorXY(1,1)-koorXY(2,1))^2+(koorXY(1,2)-koorXY(2,2))^2);
13 - dab=sqrt((koorxy(1,1)-koorxy(2,1))^2+(koorxy(1,2)-koorxy(2,2))^2);
14 - scale=(dab/dAB);
15 - H=f/scale
16 - ground=[];
17 - for i=1:length(koorXY)
18 -     Xi=koorxy(i,1)*(H-koorXY(i,3))/f;
19 -     Yi=koorxy(i,2)*(H-koorXY(i,3))/f;
20 -     ground=[ground;Xi Yi];
21 - end
22 - ground
23 - A=[];
24 - L=[];
25 - for i=1:length(koorXY)
26 -     aa=[ground(i,1)-ground(i,2) 1 0;ground(i,2)-ground(i,1) 0 1];
27 -     ii=[koorXY(i,1);koorXY(i,2)];
28 -     A=[A;aa];
29 -     L=[L;ii];
30 - end
31 - A;
32 - L;
```

```

33 - x=inv(A'*A)*A'*L;
34 - kappa=atan(x(2,1)/x(1,1))
35 - X1=x(1,1)
36 - Y1=x(2,1)
37 - Z1=H
38 - for j=1:length(koorxy)
39 -     m11=cos(phi)*cos(kappa);
40 -     m12=sin(omg)*sin(phi)*sin(kappa)+cos(omg)*sin(kappa);
41 -     m13=-cos(omg)*sin(phi)*cos(kappa)+sin(omg)*sin(kappa);
42 -     m21=-cos(phi)*sin(kappa);
43 -     m22=-sin(omg)*sin(phi)*sin(kappa)+cos(omg)*cos(kappa);
44 -     m23=cos(omg)*sin(phi)*sin(kappa)+sin(omg)*cos(kappa);
45 -     m31=sin(phi);
46 -     m32=-sin(omg)*cos(phi);
47 -     m33=cos(omg)*cos(phi);
48 -     M=[m11 m12 m13;m21 m22 m23;m31 m32 m33];
49 -     XYZp=[ones(i,1)*X1 ones(i,1)*Y1 ones(i,1)*Z1];
50 -     delta_koorXY=koorXY-XYZp
51 -     rsq=M*(delta_koorXY');
52 -     RSQ=rsq';
53 -     B=[];
54 -     E=[];
55 - for i=1:length(koorXY)
56 -     B11=f*(RSQ(i,1)*(-m33*delta_koorXY(i,2)+m32*delta_koorXY(i,3))-RSQ(i,3)*(-m13*delta
57 -     B12=f*((RSQ(i,1)*(cos(phi)*delta_koorXY(i,1)+sin(omg)*sin(phi)*delta_koorXY(i,2)-co
58 -     B13=-f*(M(2,:) *delta_koorXY(i,:)')/RSQ(i,3);
59 -     B14=f*(RSQ(i,1)*m31-RSQ(i,3)*m11)/(RSQ(i,3)^2);
60 -     B15=f*(RSQ(i,1)*m32-RSQ(i,3)*m12)/(RSQ(i,3)^2);
61 -     B16=f*(RSQ(i,1)*m33-RSQ(i,3)*m13)/(RSQ(i,3)^2);
62 -     B21=f*(RSQ(i,2)*(-m33*delta_koorXY(i,2)+m32*delta_koorXY(i,3))-RSQ(i,3)*(-m23*delta
63 -     B22=f*((RSQ(i,2)*(cos(phi)*delta_koorXY(i,1)+sin(omg)*sin(phi)*delta_koorXY(i,2)-co
64 -     B23=f*(M(1,:) *delta_koorXY(i,:)')/RSQ(i,3);

```

```

65 - B24=f*(RSQ(i,2)*m31-RSQ(i,3)*m21)/(RSQ(i,3)^2);
66 - B25=f*(RSQ(i,2)*m32-RSQ(i,3)*m22)/(RSQ(i,3)^2);
67 - B26=f*(RSQ(i,2)*m33-RSQ(i,3)*m23)/(RSQ(i,3)^2);
68 - b=[B11 B12 B13 -B14 -B15 -B16;B21 B22 B23 -B24 -B25 -B26];
69 - B=[B;b];
70 - j=koorxy(i,1)-0+f*RSQ(i,1)/RSQ(i,3);
71 - k=koorxy(i,2)-0+f*RSQ(i,2)/RSQ(i,3);
72 - eps=[j;k];
73 - E=[E;eps];
74 - end
75 - B;
76 - E;
77 - koreksi=inv(B'*B)*B'*E;
78 - omg=omg+koreksi(1,1)
79 - phi=phi+koreksi(2,1)
80 - kappa=kappa+koreksi(3,1)
81 - X1=X1+koreksi(4,1)
82 - Y1=Y1+koreksi(5,1)
83 - Z1=Z1+koreksi(6,1)
84 - end
85 - xy_rep=[];
86 - for i=1:length(koorXY)
87 -     x_rep(i)=0-f*RSQ(i,1)/RSQ(i,3)
88 -     y_rep(i)=0-f*RSQ(i,2)/RSQ(i,3)
89 -     xy_rep=[x_rep;y_rep]
90 -     xy_rep_sub=xy_rep-'
91 -     xy_rep=[xy_rep_sub]
92 -     reprojection_error(i)=abs(xy_rep(i)-koorxy(i))
93 -     RMSE(i)=(sum(reprojection_error(i).^2)/length(koorxy)).^0.5
94 -     stdev(i)=(RMSE(i)).^0.5
95 -     rotasi_translasi=[omg;phi;kappa;X1;Y1;Z1]
96 - end

```


Lampiran E

Koding Matlab untuk *Intersection*

```
1 - |clc, clear all
2   | % omega1=1+17/60+20.35/3600
3   | % fi1=2+3/60+34.93/3600
4   | % kappa1=11+19/60+3.07/3600
5 - | omega1=3.9767683707929
6 - | fi1=0.741249431771659
7 - | kappa1=9.78426729738985
8 - | XL=698444.729422011
9 - | YL=9195141.70653884
10 - | ZL=238.096084066584
11 - | x0=-0.4975
12 - | y0=-0.03115
13
14 | % omega2=2+15/60+18.63/3600
15 | % fi2=3+6/60+17.87/3600
16 | % kappa2=20+10/60+11.75/3600
17 - | omega2=4.03874501348061
18 - | fi2=2.08196754228936
19 - | kappa2=19.7481401021616
20 - | XR=698488.736858521
21 - | YR=9195091.89802592
22 - | ZR=234.481726497747
23
24 - | f=4.547
25
26 | %koordinat titik A foto kiri
27 - | x1=0.63628125
28 - | y1=0.069526471
29 | %koordinat titik A foto kanan
30 - | xr=0.195647978
31 - | yr=1.180483603
32
```

```

42     $perkiraan koordinat 3D titik
43 -     X=698492.046
44 -     Y=9195169.124
45 -     Z=31.588
46
47 -     m11=cosd(fi1)*cosd(kappa1);
48 -     m12=sind(omega1)*sind(fi1)*cosd(kappa1)+cosd(omega1)*sind(kappa1);
49 -     m13=sind(omega1)*sind(kappa1)-cosd(omega1)*sind(fi1)*cosd(kappa1);
50 -     m21=-cosd(fi1)*sind(kappa1);
51 -     m22=cosd(omega1)*cosd(kappa1)-sind(omega1)*sind(fi1)*sind(kappa1);
52 -     m23=cosd(omega1)*sind(fi1)*sind(kappa1)+sind(omega1)*cosd(kappa1);
53 -     m31=sind(fi1);
54 -     m32=-sind(omega1)*cosd(fi1);
55 -     m33=cosd(omega1)*cosd(fi1);
56 -     M=[m11 m12 m13;m21 m22 m23;m31 m32 m33];
57
58 -     n11=cosd(fi2)*cosd(kappa2);
59 -     n12=sind(omega2)*sind(fi2)*cosd(kappa2)+cosd(omega2)*sind(kappa2);
60 -     n13=sind(omega2)*sind(kappa2)-cosd(omega2)*sind(fi2)*cosd(kappa2);
61 -     n21=-cosd(fi2)*sind(kappa2);
62 -     n22=cosd(omega2)*cosd(kappa2)-sind(omega2)*sind(fi2)*sind(kappa2);
63 -     n23=cosd(omega2)*sind(fi2)*sind(kappa2)+sind(omega2)*cosd(kappa2);
64 -     n31=sind(fi2);
65 -     n32=-sind(omega2)*cosd(fi2);
66 -     n33=cosd(omega2)*cosd(fi2);
67 -     N=[n11 n12 n13;n21 n22 n23;n31 n32 n33];
68
69 -     for i=1:1
70 -         $hitung foto kiri
71 -         Delta=[X-XL;Y-YL;Z-ZL];
72 -         rsq=M*Delta;
73 -         r=rsq(1);

```

```

74 - s=rsq(2);
75 - q=rsq(3);
76 - F0=x0-f*r/q;
77 - G0=y0-f*s/q;
78
79
80 - %hitung foto kanan
81 - Delta2=[X-XR;Y-YR;Z-ZR];
82 - rsq2=N*Delta2;
83 - r2=rsq2(1);
84 - s2=rsq2(2);
85 - q2=rsq2(3);
86 - F02=x0-f*r2/q2;
87 - G02=y0-f*s2/q2;
88
89 - %hitung b kiri
90 - lb14=f*(r*m31-q*m11)/q^2;
91 - lb15=f*(r*m32-q*m12)/q^2;
92 - lb16=f*(r*m33-q*m13)/q^2;
93 - lb24=f*(s*m31-q*m21)/q^2;
94 - lb25=f*(s*m32-q*m22)/q^2;
95 - lb26=f*(s*m33-q*m23)/q^2;
96
97 - %hitung b kanan
98 - rb14=f*(r2*m31-q2*m11)/q2^2;
99 - rb15=f*(r2*m32-q2*m12)/q2^2;
100 - rb16=f*(r2*m33-q2*m13)/q2^2;
101 - rb24=f*(s2*m31-q2*m21)/q2^2;
102 - rb25=f*(s2*m32-q2*m22)/q2^2;
103 - rb26=f*(s2*m33-q2*m23)/q2^2;
104
105 - %form b matrix
106 - b=[lb14 lb15 lb16;lb24 lb25 lb26;rb14 rb15 rb16;rb24 rb25 rb26];

```

```

100 - rb24=f*(s2*m31-q2*m21)/q2^2;
101 - rb25=f*(s2*m32-q2*m22)/q2^2;
102 - rb26=f*(s2*m33-q2*m23)/q2^2;
103
104 %form b matrix
105 - b=[lb14 lb15 lb16;lb24 lb25 lb26;rb14 rb15 rb16;rb24 rb25 rb26];
106
107 %form epsilon matrix
108 - eps=[x1-F0;y1-G0;xr-F02;yr-G02];
109 % eps=[F0;G0;F02;G02];
110 - correction=inv(b'*b)*b'*eps;
111 % end
112
113 - X=X+correction(1);
114 - Y=Y+correction(2);
115 - Z=Z+correction(3);
116 - end
117 - b;
118 - correction
119 - v=b*correction-eps
120 - sigma_0=(v'*v);
121 - vcv=sigma_0*inv(b'*b);
122 - stdev=(diag(vcv).^0.5);
123 - disp('-----')
124 - disp('hasil akhir')
125 - disp('-----')
126 - X
127 - Y
128 - Z
129 - stdev
130

```

Lampiran F



| Nama | X (m) | Y (m) | Z (m) |
|------|------------|-------------|--------|
| BM 1 | 698523.567 | 9195248.487 | 32.137 |

Gambar 3. Titik GCP BM 1



| Nama | X (m) | Y (m) | Z (m) |
|------|------------|-------------|--------|
| BM 2 | 698492.046 | 9195169.124 | 31.588 |

Gambar 4. Titik GCP BM 2



| Nama | X (m) | Y (m) | Z (m) |
|------|------------|-------------|-------|
| BM 3 | 698517.972 | 9195128.631 | 31.77 |

Gambar 5. Titik GCP BM 3 dan Tanda Premark



| Nama | X (m) | Y (m) | Z (m) |
|------|------------|------------|--------|
| BM 4 | 698536.858 | 9195064.66 | 31.726 |

Gambar 6. Titik GCP BM 4



| Nama | X (m) | Y (m) | Z (m) |
|------|------------|------------|--------|
| BM 5 | 698545.967 | 9195027.86 | 31.476 |

Gambar 7. Titik GCP BM 5



| Nama | X (m) | Y (m) | Z (m) |
|------|------------|-------------|--------|
| BM 6 | 698503.047 | 9195017.001 | 31.781 |

Gambar 8. Titik GCP BM 6



| Nama | X (m) | Y (m) | Z (m) |
|------|------------|-------------|--------|
| BM 7 | 698466.789 | 9195060.631 | 31.668 |

Gambar 9. Titik GCP BM 7



| Nama | X (m) | Y (m) | Z (m) |
|------|------------|-------------|--------|
| BM 8 | 698429.647 | 9195125.871 | 31.621 |

Gambar 10. Titik GCP BM 8



| Nama | X (m) | Y (m) | Z (m) |
|------|------------|-------------|--------|
| BM 9 | 698399.965 | 9195170.124 | 31.147 |

Gambar 11. Titik GCP BM 9



| Nama | X (m) | Y (m) | Z (m) |
|-------|------------|-------------|--------|
| BM 10 | 698437.209 | 9195266.598 | 31.295 |

Gambar 12. Titik GCP BM 10



Gambar 13. Wahana UAV DJI Phantom 2 Custom

Tabel 3. Spesifikasi DJI Phantom 2
(<http://www.dji.com/product/phantom-2/spec>)

| No | Property | Value |
|----|--|------------------------------------|
| 1 | Name Product | DJI Phantom 2 |
| 2 | Weight (Battery & Propellers Included) | 1000 g |
| 3 | Flight Time | 25 mins |
| 4 | Supported Battery | DJI Smart Battery 5200 mAh, 11.1 V |
| 5 | Operating Frequency | 2.4 GHz ISM |
| 6 | Communication Distance (Open Area) | 1000 m |



Gambar 14. Pengambilan Data Koordinat GCP



Gambar 15. Proses Pengambilan Foto Udara dengan UAV

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di kota Surabaya 26 Maret 1992, Lahir Dari Pasangan Bapak Mochtar dan Ibu Wiwik Indraswari. Nama Penulis adalah Rizki Indra Permadi, yang merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Pendidikan formal yang telah ditempuh penulis antara lain di TK ABA Sukolilo, SDN I/261 Surabaya, SMP Negeri 19 Surabaya, SMA Negeri 16 Surabaya. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2010, penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi dan diterima di Teknik Geomatika FTSP-ITS. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa ITS dengan NRP 3510100057. Selain itu penulis juga aktif berpartisipasi mengikuti pelatihan keterampilan manajemen mahasiswa seperti LKMM PRA-TD, LKMM TD, Program Kreativitas Mahasiswa (PKM), dan lainnya. Penulis juga berkecimpung dalam kegiatan organisasi pemuda seperti anggota HIMAGE-ITS dan anggota PVIA (*Photogrammetry, Vision, and Image Analysis*) *Research Group*. Penulis mengambil penelitian Tugas Akhir di bidang keahlian Geospasial yang mengaplikasikan metode fotogrametri dengan judul “Studi Pemotretan Udara dengan Wahana *Quadcopter UAV-Photogrammetry* Menggunakan Kamera Non Metrik Digital” di bawah bimbingan Agung Budi Cahyono, ST, M.Sc, DEA. Penulis juga pernah mengikuti kegiatan kerja praktek di Dinas ESDM (Energi dan Sumber Daya Mineral) Provinsi Sulawesi Barat.