



TUGAS AKHIR - RM184831

**ANALISIS PETA *ORTHOPHOTO*  
MENGUNAKAN *GROUND CONTROL POINT*  
DAN *DIRECT GEOREFERENCING*  
(Studi Kasus: Kota Palangkaraya, Kalimantan  
Tengah)**

AGUS PRAPTO SASONO  
NRP 0331154000047

Dosen Pembimbing  
Agung Budi Cahyono, ST, MSc, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019





TUGAS AKHIR - RM184831

**ANALISIS PETA *ORTHOPHOTO*  
MENGUNAKAN *GROUND CONTROL POINT*  
DAN *DIRECT GEOREFERENCING*  
(Studi Kasus: Kota Palangkaraya, Kalimantan  
Tengah)**

AGUS PRAPTO SASONO  
NRP 0331154000047

Dosen Pembimbing  
Agung Budi Cahyono, ST, MSc, DEA

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



FINAL ASSIGNMENT - RM184831

**ORTHOPHOTO MAP ANALYSIS USING  
GROUND CONTROL POINTS AND DIRECT  
GEOREFERENCING  
(Case Study: Palangkaraya City, Central  
Kalimantan)**

AGUS PRAPTO SASONO  
NRP 0331154000047

Supervisor  
Angung Budi Cahyono, ST, MSc, DEA

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT  
Fakultas of Civil, Environmental, and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

**ANALISIS PETA *ORTHOPHOTO* MENGGUNAKAN  
*GROUND CONTROL POINT* DAN *DIRECT*  
*GEOREFERENCING*  
(Studi Kasus: Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah)**

**Nama Mahasiswa : Agus Prapto Sasono**  
**NRP : 0331154000047**  
**Departemen : Teknik Geomatika**  
**Dosen Pembimbing : Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA**

**ABSTRAK**

*Fotogrametri merupakan salah satu metode dalam survei dan pemetaan. Metode ini dapat memotret cakupan wilayah yang luas dari jarak yang ditentukan dan ketelitian yang besar. Secara garis besar, pemetaan menggunakan teknik fotogrametri dilakukan membutuhkan pengukuran Ground Control Point (GCP) di lapangan dengan ketelitian tinggi. Namun seringkali terjadi kondisi dimana saat pemasangan titik GCP (Premarking) dilapangan, tidak memungkinkan dilakukan pada lokasi yang telah direncanakan. Kondisi seperti hutan lebat dan wilayah sengketa, sering terjadi pada saat dilakukan orientasi lapangan. Metode Direct Georeferencing (DG) merupakan solusi tepat untuk permasalahan tersebut, DG dapat mengurangi jumlah GCP dalam proses georeference foto udara.*

*Dalam penelitian ini dilakukan tiga metode pengolahan yang berbeda untuk membuat orthophoto yaitu dengan Aerial Triangulasi (AT), Direct Georeferencing, dan gabungan dari kedua metode tersebut. Metode AT dilakukan pengolahan dengan 11 GCP. Sedangkan Direct Georeferencing dan gabungan dilakukan pengolahan dengan tiga komposisi yang berbeda, tanpa GCP, 4 GCP, dan dengan 11 GCP. Dari hasil pengolahan tersebut dilakukan pengujian ketelitian geometik berdasarkan Perka BIG No. 15 Tahun 2014.*

*Hasil dari penelitian ini yaitu uji ketelitian geometrik dari orthophoto yang dihasilkan dari ketiga metode tersebut. metode*

*Aerial Triangulasi memenuhi standart ketelitian peta dasar dengan skala 1:1.000 kelas 2 untuk ketelitian horizontal, dan skala 1:1.000 kelas 3 untuk ketelitian vertikal. Sedangkan metode Direct Georeferencing dengan menggunakan sebelas GCP memenuhi standart ketelitian peta dasar dengan skala 1:50.000 kelas 3 untuk ketelitian horizontal. Dan metode gabungan dengan menggunakan sebelas GCP memenuhi standart ketelitian peta dasar dengan skala 1:1.000 kelas 1 untuk ketelitian horizontal dan vertikal.*

***Kata kunci: Fotogrametri, Direct Georeferencing, Ground Control Point, Uji Ketelitian***

**ORTHOPHOTO MAP ANALYSIS USING GROUND  
CONTROL POINTS AND DIRECT GEOREFERENCING  
(Case Study: Palangkaraya City, Central Kalimantan)**

**Name** : Agus Prapto Sasono  
**NRP** : 0331154000047  
**Department** : Teknik Geomatika  
**Supervisor** : Agung Budi Cahyono, S.T., M.Sc., DEA

**ABSTRACT**

*Photogrammetry is one method in surveying and mapping. This method can capture a wide area coverage from a specified distance and great accuracy. Broadly speaking, mapping using photogrammetric techniques is carried out requiring Ground Control Point (GCP) measurements in the field with high accuracy. But often conditions occur when the installation of GCP points (Premarking) in the field is not possible at the planned location. Conditions such as dense forests and disputed areas often occur during field orientation. The Direct Georeferencing (DG) method is the right solution for these problems, DG can reduce the number of GCP in the process of aerial photo georeference.*

*In this study, three different processing methods were carried out to make orthophoto by Aerial Triangulation (AT), Direct Georeferencing, and a combination of the two methods. The AT method is processed with 11 GCP. Whereas Direct Georeferencing and the combined are treated with three different compositions, without GCP, 4 GCP, and with 11 GCP. From the results of the processing, geometric precision testing was carried out based on BIG Perka No. 15 of 2014.*

*The results of this study are the geometric accuracy test of orthophoto resulting from the three methods. Aerial Triangulation method meets the standard accuracy of the base map with a scale of 1: 1,000 class 2 for horizontal accuracy, and scale 1: 1,000 class 3 for vertical accuracy. While the Direct Georeferencing method*

*using eleven GCP meets the standard accuracy of the base map with a scale of 1: 50,000 grade 3 for horizontal accuracy. And the combined method using eleven GCP meets the standard accuracy of the base map with a scale of 1: 1,000 class 1 for horizontal and vertical accuracy.*

***Keywords: Photogrammetry, Direct Georeferencing, Ground Control Point, Accuracy Test***

**ANALISIS PETA ORTHOPHOTO MENGGUNAKAN  
GROUND CONTROL POINT DAN DIRECT  
GEOREFERENCING**  
(Studi Kasus: Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah)

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**AGUS PRAPTO SASONO**  
NRP. 0331154000047

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Agung Budi Cahyono, S.T, MSc., DEA.  
NIP. 1969 0520 1999 03 1002



***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur senantiasa saya haturkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Peta *Orthophoto* Menggunakan *Ground Control Point* dan *Direct Georeferencing* (Studi Kasus: Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah)” dengan lancar dan tepat pada waktunya. Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu prasyarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Strata-1 di Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tersusunnya Laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari banyak pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis Rohmad dan Purwati yang selalu memotivasi, mendoakan, memberikan dukungan baik secara moril maupun finansial selama menjalani masa perkuliahan dan pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Mokhamad Nur Cahyadi, S.T., M.Sc., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika ITS dan selaku dosen wali.
3. Bapak Agung Budi Cahyono, S.T, MSc., DEA sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan banyak pengarahan, bimbingan, ilmu, kesempatan, dan waktu, untuk membantu penulis.
4. Bapak Perdana Rian Juniarta, ST., Bapak Ir. Soetaat Dipl. Ph. E., Mas Wazir, Mas Jaja, Mas Sawiradana, Mas Joko dan Mas Ali selaku pembimbing saya selama pengolahan data di PT. Waindo Specterra.
5. PT Waindo Specterra dan BIG atas bimbingan dan data yang telah diberikan demi kelancaran Tugas Akhir ini.

6. Saudara seperjuangan Teknik Geomatika ITS angkatan 2015 (G17) yang selalu memberikan semangat dan dukungan serta masukan yang membangun.
7. Serta berbagai pihak yang tidak bias disebutkan satu-persatu, penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya.

Laporan Tugas Akhir (TA) ini disusun sebagai penunjang untuk menambah wawasan ilmu pengetahuan kepada para pembaca. Penulis mohon maaf jika masih terdapat kekurangan dalam Laporan Tugas Akhir ini, maka dari itu penulis mengharapkan kritik maupun saran dari pembaca untuk perbaikan yang semestinya.

Surabaya, 2019

**Agus Prapto Sasono**

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
DAFTAR LAMPIRAN .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Perumusan Permasalahan .....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Tugas Akhir.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Fotogrametri .....	5
2.2. <i>Ground Control Point</i> .....	6
2.3. <i>Exterior Orientation (EO)</i> .....	7
2.4. Interior Orientation.....	9
2.5. <i>Orthophoto</i> .....	10
2.6. Triangulasi Udara .....	10
2.7. GPS/IMU.....	13
2.8. <i>Direct Georeferencing</i> .....	14
2.9. <i>Scale Invariant Feature Transform</i> .....	14
2.10. Boresight calibration .....	18
2.11. Ketelitian peta.....	20
2.12. Penelitian Terdahulu.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1. Lokasi Penelitian .....	27
3.2. Data dan Peralatan.....	28
3.2.1. Data .....	28
3.2.2. Peralatan .....	28
3.2. Metode Penelitian.....	29
3.3.1. Tahapan Penelitian .....	29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1. Hasil Pengolahan Dengan Agisoft PhotoScan.....	33
4.1.1. Proses Pengolahan Dengan Agisoft PhotoScan .....	33
4.1.2. Nilai Exterior Parameter hasil pengolahan dengan <i>Software Agisoft PhotoScan</i> .....	34
4.2. Hasil Pengolahan <i>Orthophoto</i> Dengan GCP (AT) .....	36
4.2.1. Proses Input Data .....	36
4.2.2. Proses Match-AT multi photo measurement.....	38
4.2.3. Proses Match-AT Aerial Frame Triangulation.....	39
4.2.4. Proses Mosaicking.....	40
4.2.5. Hasil <i>Orthophoto</i> Dengan Metode Aerial Triangulasi Dengan Titik Kontrol (GCP) Sebanyak 11 Titik.....	41
4.3. Hasil Pengolahan <i>Orthophoto</i> Dengan Direct Georeferencing .....	42
4.3.1. EO Hasil Direct Georeferencing .....	42
4.3.2. Hasil <i>Orthophoto</i> Menggunakan Metode <i>Direct Georeferencing</i> Tanpa Menggunakan Titik Ikat .....	43
4.3.3. Hasil <i>Orthophoto</i> Menggunakan Metode <i>Direct Georeferencing</i> Menggunakan 4 Titik Ikat .....	45
4.3.4. Hasil <i>Orthophoto</i> Menggunakan Metode <i>Direct Georeferencing</i> Dengan Menggunakan 11 Titik Ikat .....	48
4.4. Hasil Pengolahan <i>Orthophoto</i> Dengan <i>Direct</i> <i>Georeferencing</i> yang dilakukan proses Aerial Triangulasi.....	50
4.4.1. Hasil <i>Orthophoto</i> Menggunakan Metode Gabungan Tanpa Menggunakan Titik Ikat .....	50
4.4.2. Hasil <i>Orthophoto</i> Menggunakan Metode Gabungan Dengan Menggunakan 4 Titik Ikat .....	53
4.4.3. Hasil <i>Orthophoto</i> Menggunakan Metode Gabungan Dengan Menggunakan 11 Titik Ikat .....	54
4.5. Selisih Koordinat ICP Model dan Lapangan.....	56

4.5.1. Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Aerial Triangulasi dan Lapangan .....	57
4.5.2. Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan <i>Direct Georeferencing</i> Tanpa GCP dan Lapangan.....	57
4.5.3. Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan <i>Direct Georeferencing</i> + 4 GCP dan Lapangan .....	58
4.5.4. Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan <i>Direct Georeferencing</i> + 11 GCP dan Lapangan .....	58
4.5.5. Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Gabungan Tanpa GCP dan Lapangan .....	59
4.5.6. Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Gabungan + 4 GCP dan Lapangan .....	60
4.5.7. Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Gabungan + 11 GCP dan Lapangan .....	61
4.6. Analisa Hasil Nilai Parameter Luar Kamera (EO) Hasil AT dan DG.....	62
4.7. Analisa Georeference .....	64
4.8. Analisa Orthophoto .....	67
4.9. Uji Akurasi Horizontal dan Vertikal .....	70
4.9.1. Uji Akurasi Horizontal/Vertikal <i>Orthophoto</i> Menggunakan Metode Aerial Triangulasi Dengan Titik Kontrol Sebanyak 11 Titik .....	71
4.9.2. Uji Akurasi Horizontal/Vertikal <i>Orthophoto</i> Menggunakan Metode <i>Direct Georeferencing</i> Tanpa Menggunakan Titik Ikat .....	72
4.9.3. Uji Akurasi Horizontal/Vertikal <i>Orthophoto</i> Menggunakan Metode <i>Direct Georeferencing</i> Menggunakan 4 Titik Ikat .....	73

4.9.4. Uji Akurasi Horizontal/Vertikal <i>Orthophoto</i> Menggunakan Metode <i>Direct Georeferencing</i> Dengan Menggunakan 11 Titik Ikat.....	74
4.9.5. Uji Akurasi Horizontal/Vertikal <i>Orthophoto</i> Menggunakan Metode Gabungan Tanpa Menggunakan Titik Ikat .....	75
4.9.6. Uji Akurasi Horizontal/Vertikal <i>Orthophoto</i> Menggunakan Metode Gabungan Dengan Menggunakan 4 Titik Ikat .....	76
4.9.7. Uji Akurasi Horizontal/Vertikal <i>Orthophoto</i> Menggunakan Metode Gabungan Dengan Menggunakan 11 Titik Ikat .....	77
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>81</b>
5.1. Kesimpulan.....	81
5.2. Saran.....	83
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>85</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>89</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>131</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Proses Pengambilan Foto Udara.....	5
Gambar 2. 2	Geometri Foto Vertikal.....	6
Gambar 2. 3	Hubungan antara kamera, GPS, dan IMU .....	9
Gambar 2. 4	Boresight calibration flight design .....	19
Gambar 3. 1	Lokasi Penelitian .....	27
Gambar 3. 2	Diagram Alir Pengolahan .....	29
Gambar 4. 1	Hasil akhir dari pengolahan dengan Software Agisoft PhotoScan.....	34
Gambar 4. 2	Tampilan area pemotretan telah tersusun .....	38
Gambar 4. 3	Tampilan pengintegrasian titik GCP .....	39
Gambar 4. 4	Hasil input DEM dengan plugin Ortho Master.....	40
Gambar 4. 5	Blok foto yang saling bertampalan membentuk mosaik .....	40
Gambar 4. 6	Hasil mosaicking .....	41
Gambar 4. 7	Hasil pengolahan dengan metode DG tanpa titik ikat.....	44
Gambar 4. 8	Objek sungai yang tidak terbentuk .....	45
Gambar 4. 9	Hasil pengolahan dengan metode DG menggunakan 4 titik ikat .....	46
Gambar 4. 10	Objek perkebunan kelapa sawit yang masih terdapat pergeseran.....	47
Gambar 4. 11	Hasil pengolahan dengan metode DG menggunakan 11 titik ikat .....	48
Gambar 4. 12	Objek jalan diperkebunan kelapa sawit yang masih terdapat pergeseran .....	49
Gambar 4. 13	Hasil pengolahan dengan metode gabungan tanpa menggunakan titik ikat .....	51
Gambar 4. 14	Objek jalan diperkebunan kelapa sawit yang masih terdapat sedikit pergeseran .....	52
Gambar 4. 15	Hasil pengolahan dengan metode gabungan menggunakan 4 titik ikat .....	53
Gambar 4. 16	Objek jalan diperkebunan kelapa sawit tanpa adanya pergeseran.....	54

Gambar 4. 17 Hasil pengolahan dengan metode gabungan menggunakan 11 titik ikat .....	55
Gambar 4. 18 Objek jalan diperkebunan kelapa sawit tanpa adanya pergeseran.....	56
Gambar 4. 19 Proses Georeferencing pada foto.....	65
Gambar 4. 20 Objek jalan diperkebunan kelapa sawit yang terbentuk dengan sempurna (AT).....	68
Gambar 4. 21 Objek jalan diperkebunan kelapa sawit yang tidak terbentuk dengan sempurna (DG).....	68
Gambar 4. 22 GSD dari Orthophoto sebesar 15 cm.....	69

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Ketelitian Geometri Peta RBI.....	21
Tabel 2. 2	Tabel Ketelitian Geometri Berdasarkan Kelas.....	21
Tabel 4. 1	Beberapa Contoh Nilai Exterior Parameter Hasil Pengolahan Dengan Software Agisoft PhotoScan .....	35
Tabel 4. 2	Beberapa Contoh Nilai EO Hasil AT.....	36
Tabel 4. 3	Koordinat titik GCP .....	37
Tabel 4. 4	Hasil statistik dari Match-AT Aerial Frame.....	39
Tabel 4. 5	Beberapa Contoh Nilai Exterior Parameter Hasil Direct Georeferencing .....	42
Tabel 4. 6	Koordinat titik GCP .....	45
Tabel 4. 7	Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Aerial Triangulasi dan Lapangan.....	57
Tabel 4. 8	Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Direct Georeferencing + 4 GCP dan Lapangan.....	58
Tabel 4. 9	Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Direct Georeferencing + 11 GCP dan Lapangan.....	59
Tabel 4. 10	Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Gabungan Tanpa GCP dan Lapangan.....	60
Tabel 4. 11	Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Gabungan + 4 GCP dan Lapangan.....	60
Tabel 4. 12	Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Gabungan + 11 GCP dan Lapangan.....	61
Tabel 4. 13	Tabel Selisih Nilai Parameter Luar Kamera (EO) AT dan DG.....	63
Tabel 4. 14	Error pergeseran pada proses georeferencing metode Aerial Triangulasi .....	66

Tabel 4. 15	Error pergeseran pada proses georeferencing metode gabungan dengan menggunakan 4 titik ikat (GCP).....	66
Tabel 4. 16	Error pergeseran pada proses georeferencing metode gabungan dengan menggunakan 11 titik ikat (GCP).....	67
Tabel 4. 17	Uji CE90 Skala 1:1.000.....	72
Tabel 4. 18	Uji LE90 Skala 1:1.000.....	72
Tabel 4. 19	Uji CE90 Skala 1:100.000.....	73
Tabel 4. 20	Uji CE90 Skala 1:50.000.....	74
Tabel 4. 21	Uji CE90 Skala 1:25.000.....	75
Tabel 4. 22	Uji LE90 Skala 1:250.000.....	75
Tabel 4. 23	Uji CE90 Skala 1:1.000.....	76
Tabel 4. 24	Uji LE90 Skala 1:1.000.....	77
Tabel 4. 25	Uji CE90 Skala 1:1.000.....	77
Tabel 4. 26	Uji LE90 Skala 1:1.000.....	78
Tabel 4. 27	Kesesuaian Skala Dengan Target Yang Diharapkan .....	78

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Dokumentasi Foto Proses Pengolahan Data.....	87
Lampiran 2	Dokumentasi Foto Pengukuran GCP .....	88
Lampiran 3	Dokumentasi Foto Pengukuran ICP.....	89
Lampiran 4	Dokumentasi Foto Saat di PT Waindo Specterra Indonesia .....	90
Lampiran 5	Uji Ketelitian Horizontal (CE90) .....	91
Lampiran 6	Uji Ketelitian Vertikal (LE90) .....	97
Lampiran 7	Data DEM .....	101
Lampiran 8	Persebaran GCP dan ICP.....	102
Lampiran 9	Spesifikasi Kamera Phase One IXA-R-180 .....	103
Lampiran 10	<i>MATCH-AT log file</i> (AT+11 GCP) .....	105
Lampiran 11	<i>MATCH-AT log file</i> (DG+AT Tanpa GCP) .....	112
Lampiran 12	<i>MATCH-AT log file</i> (DG+AT+4 GCP) .....	116
Lampiran 13	<i>MATCH-AT log file</i> (DG+AT+11 GCP) .....	122

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Pekerjaan pengukuran terestris sedikit demi sedikit telah digantikan oleh pengamatan data yang direkam tanpa menyentuh objeknya. Pengamatan ini sering disebut teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*), termasuk di dalamnya adalah fotogrametri. Kemudian ada pula pemotretan dari pesawat yang diterbangkan yang disebut dengan fotogrametri udara, dan yang terakhir adalah penginderaan dengan menggunakan satelit (Rochmadi 1993).

Fotogrametri merupakan metode survei dan pemetaan yang cukup efektif. Metode ini dapat memotret cakupan wilayah yang luas dari jarak yang ditentukan dan ketelitian yang besar hanya dalam waktu singkat. Peta foto yang dihasilkan juga dapat memiliki skala yang besar sehingga sangat cocok untuk dimanfaatkan dalam hal perencanaan.

Secara garis besar, pemetaan menggunakan teknik penginderaan jauh atau foto udara dilakukan membutuhkan pengukuran *Ground Control Point* (GCP) di lapangan dengan ketelitian tinggi. Pengukuran GCP dapat dilakukan menggunakan *Global Satellite System* (GPS) dengan metode pengukuran yang beragam sesuai dengan ketelitian hasil yang diperlukan. GCP berfungsi sebagai titik sekutu yang menghubungkan antara sistem koordinat peta dan sistem koordinat foto (Hendy 2014).

Dalam pengambilan data koordinat dilapangan menggunakan GPS, tidak menutup kemungkinan titik GCP harus dilakukan pergeseran beberapa ratus meter dari titik yang telah direncanakan karena titik GCP tidak memungkinkan untuk dipasang pada titik tersebut, karena hal yang mungkin terjadi dilapangan seperti kondisi dilapangan yang berupa hutan yang sangat rapat ataupun suatu wilayah yang terjadi sengketa lahan yang tentunya dapat mempengaruhi proses pengukuran. Apabila fungsi titik-titik

GCP yang digunakan pada metode triangulasi udara sulit untuk dilakukan pengukuran dilapangan maka juga akan berpengaruh terhadap proses ortofoto.

Pengolahan pada tahap mengikat koordinat foto dan koordinat tanah, juga dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Direct Georeferencing* (DG) yang merupakan metode baru dalam fotogrametri. Dengan menggunakan DG dapat mengurangi bahkan sama sekali tidak perlu menggunakan koordinat dari pengukuran titik GCP dilapangan dalam proses orthorektifikasi pada foto udara, karena dapat diganti dengan koordinat yang dihasilkan oleh DG. Secara teoritis, metode ini tidak memerlukan GCP dan Triangulasi Udara (AT), untuk mengolah foto udara ke koordinat ground. Dibandingkan dengan metode lama, metode ini memiliki tiga keunggulan utama yaitu: pemrosesan data yang lebih cepat, alur kerja yang sederhana dan proyek yang lebih murah, dengan keakuratan yang sama. DG menggunakan dua perangkat, GPS dan *Inertial Measurement Unit* (IMU). GPS merekam koordinat kamera (X, Y, Z) dan IMU merekam orientasi kamera ( $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$ ). Kedua parameter digabung menjadi parameter Orientasi Eksterior (EO). Parameter ini diperlukan untuk proses orthorektifikasi dan mosaik (Rizaldy 2012). Salah satu perkembangan dari teknologi fotogrametri ini juga berdampak pada perkembangan di bidang pemetaan.

Dari pembahasan tersebut diatas, maka dari itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui perbedaan dan seberapa besar ketelitian koordinat ortofoto yang dihasilkan dengan menggunakan GCP dan DG pada proses pengikatan koordinat foto.

Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah (Kalteng) jadi salah satu nominasi yang akan dijadikan ibu kota negara setelah Presiden Joko Widodo (Jokowi) menggelar Rapat Kabinet Terbatas yang membahas rencana pemindahan ibu kota ke luar pulau Jawa, pada Senin 29 April 2019. Terkait hal ini, Pemerintah Provinsi Kalteng mulai melakukan persiapan,

di antaranya menyiapkan lahan seluas sekira 300 ribu hektar untuk keperluan rencana pembangunan ibu kota Indonesia (Dzakwan 2019). Untuk itu dibutuhkan peta *orthophoto* Kota Palangkaraya dengan skala besar sebagai peta dasar untuk melakukan pembangunan. Peta *orthophoto* merupakan peta yang terbentuk dari stereofoto permukaan bumi dengan ketinggian tertentu dan sudah terkoreksi dengan koordinat titik dibumi..

### **1.2 Perumusan Permasalahan**

Rumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana penerapan metode *Direct Georeferencing* untuk melakukan proses pengolahan foto udara?
- b. Bagaimana ketelitian hasil peta *orthophoto* yang dihasilkan dari *Ground Control Point* (GCP) dan *Direct Georeferencing*?
- c. Bagaimana hasil ketelitian peta *orthophoto* dari GCP dan *Direct Georeferencing* dalam pembuatan peta foto berdasarkan Perka BIG No. 15 Tahun 2014 tentang pedoman teknis ketelitian peta dasar?

### **1.3. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Wilayah yang dijadikan studi kasus adalah Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah.
- b. Sumber data pembuatan peta *orthophoto* adalah data foto udara dengan jumlah foto sebanyak 2.650 foto.
- c. Data titik-titik *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Check Point* (ICP) yang digunakan adalah data yang dihasilkan melalui pengukuran terestris menggunakan alat ukur GPS geodetik dan telah diolah menggunakan perangkat lunak TopconTools dengan jumlah titik ikat sebanyak 11 GCP dan 10 ICP.

#### **1.4. Tujuan Tugas Akhir**

Tujuan tugas akhir ini adalah sebagai berikut yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

- a. Menganalisis peta *orthophoto* hasil pengolahan dengan metode Aerial Triangulasi dan *Direct Georeferencing*.
- b. Menganalisis nilai Exterior Orientation dari proses triangulasi udara dan *Direct Georeferencing*.
- c. Menghitung ketelitian hasil peta *orthophoto* menggunakan Aerial Triangulasi dan *Direct Georeferencing*.
- d. Menganalisis ketelitian peta *orthophoto* yang dihasilkan dengan metode Aerial Triangulasi dan *Direct Georeferencing* dalam pembuatan peta foto berdasarkan Perka BIG No. 15 Tahun 2014 tentang pedoman teknis ketelitian peta dasar.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang ingin diperoleh dari penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

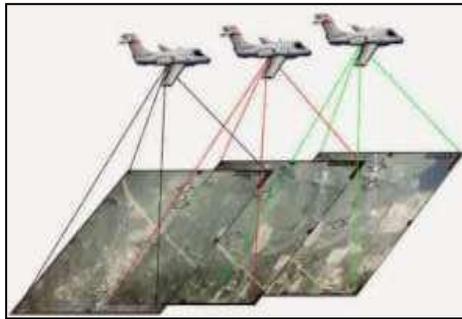
- a. Menjadi rekomendasi dalam melakukan proses *orthophoto* dengan menggunakan metode yang lebih efisien untuk pemetaan suatu wilayah.
- b. Memberikan analisis ketelitian peta *orthophoto* yang dihasilkan menggunakan *ground control point* (GCP) dan *Direct Georeferencing* dalam pembentukan peta foto.
- c. Menghasilkan rekomendasi penggunaan metode mana yang menghasilkan ketelitian peta *orthophoto* yang lebih baik dalam proses *orthorektifikasi* foto udara.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Fotogrametri**

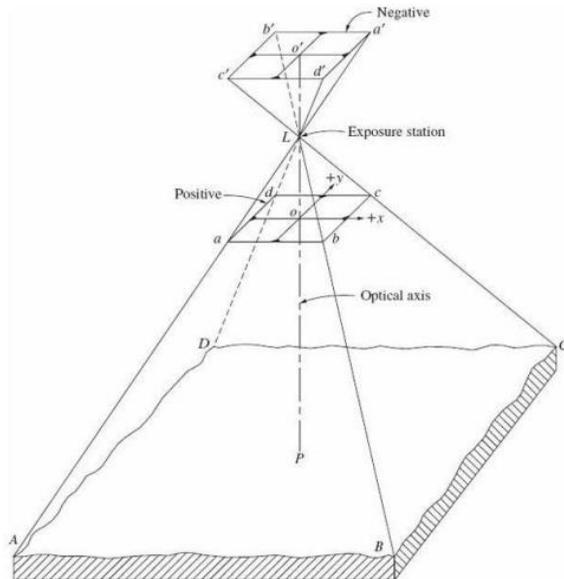
Fotogrametri adalah suatu metode pemetaan objek-objek dipermukaan bumi yang menggunakan foto udara sebagai media. Fotogrametri merupakan seni, ilmu, dan teknologi perolehan informasi tentang obyek fisik dan lingkungan melalui perekaman, pengukuran, dan penafsiran foto udara. Sedangkan foto udara merupakan foto yang dibuat dari perspektif pesawat udara atau balon udara (Sutanto 1994).



Gambar 2. 1 Proses Pengambilan Foto Udara  
(Sutanto 1994)

Ada dua jenis teknik pengambilan foto yang dilakukan pada fotogrametri, yaitu terestris dan udara. Pada pemetaan skala besar, teknik yang digunakan yaitu foto udara. Dalam pelaksanaannya dapat juga digunakan model foto udara tegak (vertikal) atau miring (*oblique*). Foto tegak diambil dengan sumbu kamera yang diletakkan di atas bidang dengan posisi setegak mungkin. Jika sumbu kamera diletakkan tegak saat dilakukan pencahayaan, hasil foto akan memiliki datum yang sama dengan lapangan serta hasil fotonya tegak vertikal. Pada praktiknya, sumbu kamera sangat jarang menjadi tegak karena kemiringan pada pesawat yang tidak dapat dihindari. Ketika sumbu kamera sedikit mengalami kemiringan, hasil fotonya

disebut sebagai *tilted photograph* (foto miring). Kemiringan yang terjadi biasanya kurang dari  $1^\circ$  dan jarang lebih dari  $3^\circ$  (Duantari 2017).



Gambar 2. 2 Geometri Foto Vertikal  
(Wolf 1993)

## **2.2. Ground Control Point**

*Ground Control Point* (GCP) atau yang biasa disebut dengan titik kontrol adalah titik-titik yang berada di lapangan yang dapat digunakan untuk mentransformasikan sistem koordinat udara dengan sistem koordinat tanah suatu objek yang dipetakan. Titik kontrol ini nantinya akan digunakan pada saat pengolahan foto udara tahap triangulasi udara. Disamping titik GCP, adapula titik-titik yang disebut dengan *Independent Check Point* (ICP) yakni titik yang digunakan untuk menguji kualitas hasil dan tidak diikutkan pada proses pengolahan foto udara (Abidin 2006). Selain fungsi utama tersebut, GCP juga berfungsi sebagai:

1. Faktor penentu ketelitian geometris hasil olah foto (misalnya Orthophoto, DSM, DTM). Semakin teliti GCP maka akan semakin baik pula ketelitian geometris hasil dari pengolahan foto udara tersebut.
2. Mempermudah proses orientasi relatif antar foto.
3. Mengkoreksi hasil olah foto udara yang berupa *ball effect* (kesalahan yang mengakibatkan model 3D akan berbentuk cembung di tengah area yang di ukur).
4. Menyatukan hasil olah data yang terpisah dengan lebih cepat dan lebih efektif. Pengukuran titik-titik GCP dan ICP dapat dilaksanakan dengan metode pengukuran satelit GPS (*Global Positioning System*).  
Pengukuran ini umumnya terbagi menjadi dua jenis baik secara absolut (satu *receiver* GPS) ataupun diferensial (dua *receiver* GPS), yaitu:

1. Pengukuran GPS Statik. Pengukuran metode ini dilakukan pada beberapa *epoch* pengamatan. Menggunakan *receiver* jenis geodetik atau *mapping* yang diam di satu titik dan objek titik lainnya juga dalam keadaan diam.
2. Pengukuran GPS *Real Time Kinematic* (RTK). Pengukuran metode ini dilakukan pada titiktitik yang bergerak, cukup hanya dengan interval data yang pendek, dan hasil pengamatannya dapat diperoleh pada saat pengamatan (*real time*).

### **2.3. Exterior Orientation (EO)**

*Exterior Orientation* (EO) adalah orientasi luar kamera dalam ruang yang terdiri dari enam parameter yang menggambarkan posisi system koordinat dari kamera yang digunakan untuk pemotretan udara. Parameter-parameter itu yakni koordinat posisi *principal point* ( $X, Y, Z$ ) dan rotasi ( $\omega, \phi, \kappa$ ) dari titik pusat foto (Rizaldy 2012). Adanya parameter rotasi kamera untuk setiap foto yang dihasilkan disebabkan oleh ketidaksempurnaan posisi terbang

pesawat pada saat pemotretan. Berikut parameter rotasi yang terjadi akibat pergerakan pesawat (Indra 2012 dalam Aristia 2014):

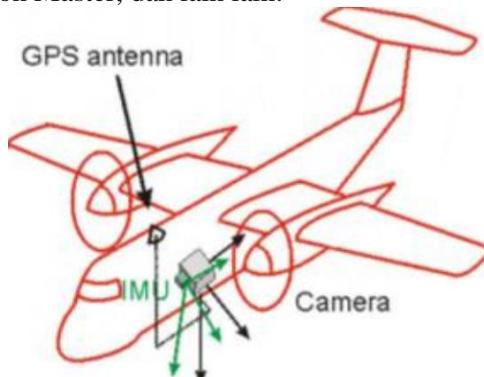
1. Parameter *omega* ( $\omega$ ). Parameter ini bertujuan untuk mengkoreksi gerakan *roll* pada pesawat yang menyebabkan foto berotasi terhadap sumbu X.
2. Parameter *phi* ( $\phi$ ). Parameter ini bertujuan untuk mengkoreksi gerakan *pitch* pada pesawat yang menyebabkan foto berotasi terhadap sumbu Y.
3. Parameter *kappa* ( $\kappa$ ). Parameter ini bertujuan untuk mengkoreksi gerakan *yaw* pada pesawat yang menyebabkan foto berotasi terhadap sumbu Z.

Seiring perkembangan teknologi, terdapat dua teknik pendekatan dasar untuk menentukan parameter EO, yaitu (Ip 2007):

1. *Indirectly by Aerial Triangulation*  
Teknik ini dilakukan apabila foto udara telah melalui proses triangulasi udara. Penentuan orientasi ini bertujuan untuk menentukan parameter yang berkaitan dengan system koordinat foto dan ruang obyek dimana membutuhkan sebaran titik-titik control (GCP) secara proporsional pada daerah pengamatan. Pelaksanaannya mirip dengan prinsip metode pemotongan kemuka.
2. *Direct Georeferencing*  
Teknologi GNSS dan IMU yang terpasang pada kamera saat diterbangkan juga dapat menghasilkan enam parameter orientasi eksternal. GNSS yang umumnya disebut juga dengan pengamatan GPS ini menggunakan metode pengamatan relatif kinematik atau diferensial kinematik (Jacobsen 2004). Pengamatan ini menggunakan minimal dua buah *receiver* yang salah satunya berupa titik yang harus

diketahui koordinat tiga dimensinya dan pengamat (*rover*) dalam keadaan bergerak (Abidin 2006).

Sedangkan IMU atau *Inertial Measurement Unit* diintegrasikan dengan GPS pada pemotretan udara dan memiliki dua sensor, yakni gyroskop dan akselerometer. Sensor gyro digunakan untuk mengukur kecepatan putar sudut *roll*, kecepatan putar sudut *pitch* dan kecepatan putar sudut *yaw*. Kecepatan putaran adalah perubahan sudut terhadap waktu. Sedangkan akselerometer digunakan untuk mengukur percepatan sebuah benda yang bergerak, seperti pesawat terbang atau UAV yang sedang bergerak dengan percepatan tertentu. Pengolahan raw data dari GNSS dan IMU untuk menghasilkan parameter orientasi eksternal ini umumnya menggunakan metode *postprocessing* pada beberapa perangkat lunak, misalnya IGI AEROoffice, POSPac, Application Master, dan lain lain.



Gambar 2. 3 Hubungan antara kamera, GPS, dan IMU (Jacobsen 2004)

## **2.4. Interior Orientation**

Proses *Interior Orientation* dilakukan untuk merekonstruksi berkas arah sinar yang diproyeksikan agar sama dengan arah-arah sinar dalam kamera pada saat pemotretan atau sama dengan geometri foto aslinya

(Suharsana 1997). Dalam fotogrametri digital, tujuan dari proses interior orientation adalah untuk mentransformasi sistem koordinat pixel (kolom dan baris) dengan origin terletak dipojok kiri atas menjadi sistem koordinat foto ( $x, y$ ) dengan origin terletak dipusat foto.

## 2.5 Orthophoto

*Orthophoto* adalah reproduksi foto yang telah dikoreksi pada kesalahan oleh kemiringan pesawat, relief, serta distorsi lensa. *Orthophoto* dibentuk berdasarkan foto stereomodel, yaitu pembuatannya model demi model, dengan proses rektifikasi diferensial sehingga gambaran obyek pada foto tersebut posisinya benar sesuai dengan proyeksi ortogonal (Subiyanto 2007).

Rektifikasi diferensial adalah proses peniadaan pergeseran letak gambar oleh kesendengan fotografik dan relief. Tujuan rektifikasi adalah menghapus efek kesendengan sumbu dan menghasilkan ekuivalen foto tegak. *Orthophoto* berbeda dengan foto yang direktifikasi, karena dalam rektifikasi hanya kesalahan oleh kemiringan pesawat saja yang dikoreksi. Dalam rektifikasi diferensial dilakukan pemotretan kembali atas foto aslinya. Pada *orthophoto* tidak terdapat lagi pergeseran letak oleh relief serta tidak terdapat paralaks sehingga tidak mungkin dilakukan pengamatan stereoskopik.

## 2.6 Triangulasi Udara

Triangulasi udara merupakan metode penentuan titik kontrol dengan cara melakukan pengukuran koordinat foto atau koordinat model yang selanjutnya diproses dengan perhitungan perataan, sehingga dapat diperoleh koordinat maupun elevasi tanah dengan ketelitian yang memenuhi persyaratan teknik untuk keperluan pemetaan fotogrametri (Rokhim 2014). Berdasarkan data koordinat yang diukur, maka triangulasi udara dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

1. *Aeropoligon*, yaitu dengan data input berupa koordinat strip
2. *Independent Model Triangulation*, yaitu dengan data input berupa koordinat model
3. *Bundle Adjustment*, yaitu dengan data input berupa koordinat foto. Dalam metode perataan ini berasal dari potongan atau blok fotografi dengan sekurang-kurangnya 60% *overlap* dan 20% *sidelap*. Prinsip *Bundle blok Adjustment* adalah menghubungkan secara langsung sistem koordinat foto ke sistem koordinat peta atau tanah tanpa melalui tahap orientasi relatif dan absolut.

Secara matematis persamaan *Bundle blok Adjustment* dapat diekspresikan sebagai persamaan transformasi konform tiga dimensi, yaitu:

$$\begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{pmatrix} \text{Tanah} = \begin{pmatrix} x_o \\ y_o \\ z_o \end{pmatrix} + \lambda R \begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{pmatrix} \text{Foto} \quad (2.1)$$

dalam hal ini:

$X_p, Y_p, Z_p$  : posisi titik p dalam sistem koordinat tanah/peta

$X_o, Y_o, Z_o$  : posisi pusat proyeksi kamera

$x_p, y_p, z_p$  : posisi titik p dalaam sistem koordinat foto

$\lambda$  : faktor skala

$R$  : faktor rotasi

Definisi dari prinsip *least squares adjustment* adalah bundel-bundel sinar ditempatkan dan diputar sedemikian rupa sehingga tumpang tindih satu sama lain pada titik-titik yang bertalian dan menerobos titik kontrol sedekat mungkin (Subiyanto 2007). Ketelitian geometrik foto udara hasil triangulasi udara bergantung pada jumlah, ketelitian, dan distribusi GCP yang diukur. Semakin banyak dan teliti, ketelitiannya akan semakin baik (Susetyo 2018).

Model matematika dari *Bundle blok Adjustment*, yang menggunakan persamaan collinearity, adalah hubungan linear langsung antara koordinat stereo-komparator dan koordinat objek. Model ini didasarkan pada dua persamaan *collinearity* berikut:

$$x_c = -f \frac{r_{11}(X-X_0) + r_{21}(Y-Y_0) + r_{31}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0) + r_{23}(Y-Y_0) + r_{33}(Z-Z_0)} \quad (2.2)$$

$$z_c = -f \frac{r_{12}(X-X_0) + r_{22}(Y-Y_0) + r_{32}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0) + r_{23}(Y-Y_0) + r_{33}(Z-Z_0)}$$

Hubungan antara posisi kamera ( $x_c, z_c$ ) dan objek ( $X, Y, Z$ ) ditentukan oleh tujuh parameter ruang tiga dimensi, yaitu: skala, tiga parameter terjemahan, dan tiga parameter rotasi. Hubungan-hubungan ini diekspresikan oleh persamaan collinearity (2.2) yang menyatakan kondisi dasar di mana suatu titik objek dan gambarnya terletak pada garis lurus yang melewati pusat perspektif. Secara teoritis, garis lurus memiliki enam derajat kebebasan dalam ruang 3D: koordinat titik sembarang yang terletak pada garis ini dan komponen vektor orientasinya dan dalam aplikasi ini, dan telah diketahui keenam parameter yang diberikan oleh sistem GNSS + IMU (Popescu 2015).

Dalam aplikasi ini, persamaan collinearity di atas menggunakan matriks rotasi "R", yang elemennya  $r_{ij}$  ( $i = 1 \dots 3, j = 1 \dots 3$ ) diberikan oleh:

$$\begin{aligned} r_{11} &= \cos \Phi \cos \kappa \\ r_{12} &= -\cos \Phi \sin \kappa \\ r_{13} &= \sin \Phi \\ r_{21} &= \cos \Omega \sin \kappa + \sin \Omega \sin \Phi \cos \kappa \\ r_{22} &= \cos \Omega \cos \kappa - \sin \Omega \sin \Phi \cos \kappa \\ r_{23} &= -\sin \Omega \cos \Phi \\ r_{31} &= \sin \Omega \sin \kappa - \cos \Omega \sin \Phi \sin \kappa \\ r_{32} &= \sin \Omega \cos \kappa + \cos \Omega \sin \Phi \sin \kappa \\ r_{33} &= \cos \Omega \cos \Phi \end{aligned} \quad (2.3)$$

## 2.7. GPS/IMU

Teknologi GPS/IMU telah membawa paradigma baru dalam fotogrametri digital. Rekor koordinat GPS (X, Y, Z) dan orientasi catatan IMU ( $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$ ) dari paparan gambar. Keenam parameter ini disebut parameter Orientasi Eksterior (EO), yang diperlukan dalam fotogrametri. Dalam fotogrametri tradisional, parameter EO berasal dari Aerial Triangulation (AT). Ini juga membutuhkan *Ground Control Points* (GCP) yang didistribusikan secara merata.

Metode yang parameter EO direkam langsung dari GPS/IMU disebut *Direct Georeferencing*. Berdasarkan kemampuan ini, secara teoritis, tidak memerlukan GCP dan dapat menggantikan proses AT. Dengan kata lain, *Direct Georeferencing* benar-benar memotong AT tanpa persyaratan GCP (Mostafa 2011b). Ini memberikan waktu yang lebih singkat dan lebih murah dalam proyek pemetaan dan alur kerja sederhana, karena kompleksitas dalam proses AT. Ini juga memberikan proyek dengan biaya lebih rendah.

Penelitian lain (Mostafa 2011) telah menyelidiki metode *Direct Georeferencing* praktis menggunakan perangkat POS / AV dari Applanix, dibandingkan dengan spesifikasi teoritis. Hasil membuktikan bahwa metode ini memenuhi akurasi dari spesifikasi teoritis.

Continues Reference Station (CORS) yang banyak digunakan sekarang, juga memiliki potensi untuk digunakan dalam *Direct Georeferencing*. CORS memiliki kemampuan untuk mendukung aktivitas pemosisian 3D akurasi tinggi, terutama ketika stasiun dipadatkan dan frekuensi data ditingkatkan menjadi interval 1 - 2 detik, bukan interval 15 - 30 detik (Mostafa 2001).

Namun, tantangan yang paling dalam metode ini adalah ketika gambar diproses dalam stereocompilation, yang masalah paralaks sangat penting. Investigasi tentang hasil ini masih membutuhkan AT diikuti dengan orientasi massal untuk memecahkan masalah paralaks (Madani 2001).

Performing AT juga memungkinkan pemodelan kesalahan sistematis yang tidak terhitung menggunakan teknik kalibrasi diri. Ini juga dijelaskan oleh (Scroth 2004), metode *Direct Georeferencing* dapat digunakan secara luas untuk generasi ortofoto, tetapi masih memerlukan AT untuk pekerjaan stereokompilasi. Untuk meningkatkan akurasi, dimungkinkan untuk melakukannya dengan menggunakan Orientasi Sensor Terpadu (Skaloud 2007).

## 2.8. Direct Georeferencing

*Direct Georeferencing* (DG) adalah penentuan langsung posisi dan parameter orientasi eksterior, yaitu posisi (koordinat X / Y / Z) dan sikap (roll / pitch / heading) pada saat foto udara diambil, untuk membantu atau mengganti triangulasi udara. Ini adalah teknologi yang memungkinkan untuk akuisisi data kuantitatif dan aplikasi pemetaan di mana orientasi dan posisi yang tepat sensor diperlukan. Sistem DG memberikan posisi dan orientasi sensor yang diperlukan untuk mendaftarkan data yang diperoleh dalam koordinat geografis. Dalam fotogrametri, DG digunakan untuk menghasilkan pengukuran *exterior orientation parameters* (EOP) untuk setiap foto tanpa menggunakan titik kontrol tanah atau triangulasi udara.

Jika vektor kondisi IMU  $[\omega \ \phi \ \kappa]$  dan vektor posisi antena GPS  $[X \ Y \ Z]$  diukur dengan akurasi yang cukup untuk aplikasi yang tersedia, tidak perlu melakukan triangulasi pada blok gambar yang terlibat. Hal ini dapat lebih efisien karena lebih menghemat waktu dan uang. Sudut boresight  $[\omega_B \ \phi_B \ \kappa_B]$  dan *offset* antena  $[\Delta X \ \Delta Y \ \Delta Z]$  masih harus diketahui secara akurat dan diterapkan dengan benar pada vektor kondisi IMU dan vektor posisi antena.

Kondisi dan data posisi terkadang tersedia dengan koreksi *boresight* dan *offset* diterapkan, membuat penerapan metode ini menjadi mudah. Dalam metode ini, koreksi untuk *drift* dan *shift* untuk kedua sudut posisi IMU dan posisi GPS diasumsikan nol ( $[\Delta\omega_0 \ \Delta\phi_0 \ \Delta\kappa_0]$ ,  $[\Delta\omega_1 \ \Delta\phi_1 \ \Delta\kappa_1]$ ,  $[\Delta X_0$

$\Delta OY0 \Delta Z0]$ ,  $[\Delta X1 \Delta Y1 \Delta Z1]$ ) menjadikan variabel waktu tidak relevan (Kiraci 2008).

Sistem DG menyediakan kemampuan untuk secara langsung menghubungkan data yang dikumpulkan oleh sistem penginderaan jauh ke Bumi, dengan secara akurat mengukur posisi geografis dan orientasi sensor tanpa menggunakan pengukuran ground-base tradisional. DG menyiratkan pengukuran langsung posisi dan orientasi dari setiap *frame* gambar tunggal atau garis pindai pada saat akuisisi data. Pada prinsipnya, ini memungkinkan produksi peta secara langsung menggunakan unit fotogrametri (baik stereopair gambar, atau gambar tunggal + DEM). Pada akhirnya, pendekatan ini benar-benar melewati langkah aerotriangulasi tanpa persyaratan titik kontrol ground, kecuali untuk *quality control* (Mostafa 2001).

Dalam penelitian ini, menggunakan konsep collinearity yang merupakan dasar untuk semua formula DG, tanpa menggunakan titik kontrol tanah. Digunakan titik kontrol tanah hanya untuk estimasi akurasi yang baik dari metode ini. Sebagai kesimpulan adalah bahwa sebagian besar perkembangan aktual dari kamera digital optik, atau jenis sensor lainnya, telah mengintegrasikan IMU dan penggunaan GNSS / IMU untuk DG data sensor udara yang saat ini menjadi standar. Keakuratan hasil perbaikan ini, melalui metode DG, sangat penting untuk melapisi data dengan data set atau peta yang ada dan menggunakannya untuk evaluasi dalam deteksi perubahan, pembaruan peta atau tujuan lain.

Secara teoritis, proses DG dari data LiDAR dalam bingkai-e dapat diabstraksikan:

$$T_{grd} = T_{eo} + R_{eo}R_{scan}T_{range} = T_{eo} + T_{dg} \quad (2.4)$$

di mana  $T_{grd}$  adalah vektor yang dibentuk oleh koordinat tanah,  $T_{eo}$  dan  $R_{eo}$  adalah vektor dan matriks rotasi yang dibentuk oleh EOP linier dan sudut, masing-masing,

Trange dan  $R_{scan}$  adalah masing-masing vektor jangkauan dan matriks sudut pindaian, dan  $T_{dg}$  disebut sebagai sebagai vektor DG, yang dapat dihitung dengan menggabungkan EOP sudut dan pengamatan pemindaian laser (yaitu, sudut pemindaian dan pengamatan rentang). Itu bisa dilihat dari persamaan (2.4) bahwa proses georeferensi langsung dari data LiDAR di udara dapat dengan mudah dinyatakan sebagai operasi penambahan vektor antara  $T_{eo}$  dan  $T_{dg}$ .

Jika georeferensi langsung dilakukan dalam bingkai-p, maka  $T_{eo}^p$  dapat secara akurat dihitung dengan rumus proyeksi peta, tetapi  $T_{dg}^p$  (mis., Hasil perkalian dari  $T_{eo}^p R_{scan} T_{range}$ ) salah karena skala datum diubah dan operasi geometris spasial tidak dapat diterapkan secara ketat ke p-frame. Jika kita menunjukkan vektor DG yang benar (yaitu,  $T_{gd}^p - T_{eo}^p$ ) yang diperoleh dari transformasi yang ketat dari awan titik setelah georeferensi sebagai  $T_{dg}'^p$ , maka distorsi georeferensi langsung dalam kerangka-p dapat dikarakteristikan sebagai perbedaan koordinat antara memperbaiki vektor DG  $T_{dg}'^p$  dan DG vektor  $T_{dg}^p$  salah (Zhang 2013).

## **2.9. Scale Invariant Feature Transform**

Algoritme *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT), yang dikembangkan oleh Lowe, adalah algoritma yang mengubah gambar menjadi koleksi besar vektor fitur lokal, yang masing-masingnya tidak berubah-ubah untuk pergeseran, penskalaan, dan rotasi, dan sebagian tidak berubah terhadap perubahan pencahayaan dan proyeksi affine atau 3D, yang merupakan pendekatan untuk mengekstraksi fitur invarian berbeda dari gambar. Ini telah berhasil diterapkan pada berbagai masalah penglihatan komputer berdasarkan pencocokan fitur termasuk pengenalan objek, estimasi pose, pengambilan gambar dan banyak lainnya. Perhitungan fitur gambar SIFT dilakukan melalui empat

langkah berurutan yang dijelaskan secara singkat sebagai berikut:

1. Skala-Ruang Deteksi Ekstrema Lokal: lokasi fitur ditentukan sebagai ekstrema lokal Perbedaan Gaussians (piramida DOG). Prosedur ini diulangi selama pengambilan sampel bawah dimungkinkan. Setiap koleksi gambar dengan ukuran yang sama disebut satu oktaf. Semua oktaf membangun bersama apa yang disebut piramida Gaussian, yang diwakili oleh fungsi 3D. Piramida DOG dihitung dari perbedaan masing-masing dua gambar terdekat dalam piramida Gaussian. Ekstrema lokal (maksimum atau minimum) dari fungsi DOG dideteksi dengan membandingkan setiap piksel dengan 26 tetangganya dalam skala-ruang (8 tetangga dalam skala yang sama, 9 tetangga yang bersesuaian dalam skala di atas dan 9 dalam skala di bawah).
2. Pelokalan Keypoint: ekstrem lokal yang terdeteksi adalah kandidat yang baik untuk keypoints. Namun, mereka perlu dilokalisasi secara tepat dengan memasang fungsi kuadrat 3D ke titik sampel skala-ruang lokal. Fungsi kuadrat dihitung menggunakan ekspansi Taylor orde kedua yang memiliki asal pada titik sampel. Kemudian, ekstrem lokal dengan kontras rendah dan sedemikian yang sesuai dengan tepi dibuang karena mereka sensitif terhadap kebisingan.
3. Penetapan Orientasi: setelah lokasi fitur SIFT ditentukan, orientasi utama ditetapkan untuk setiap fitur berdasarkan gradien gambar lokal. Besaran gradien ditimbang oleh jendela Gaussian yang ukurannya tergantung pada fitur oktaf.
4. deskriptor keypoint - wilayah di sekitar keypoint dibagi menjadi 4x4 kotak. Besaran gradien dan orientasi dalam setiap kotak dihitung dan ditimbang dengan jendela Gaussian yang sesuai, dan koordinat masing-masing piksel serta orientasi gradiennya diputar relatif

terhadap orientasi keypoints. Kemudian, untuk setiap kotak histogram orientasi 8 nampun dibuat. Dari 16 histogram orientasi yang diperoleh, vektor 128 dimensi (SIFT-descriptor) dibangun. Deskriptor ini adalah invarian orientasi, karena dihitung relatif terhadap orientasi utama. Akhirnya, untuk mencapai invarian terhadap perubahan penerangan, deskriptor dinormalisasi menjadi satuan panjang.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa secara umum, algoritma SIFT dapat dipahami sebagai operator citra lokal yang mengambil gambar input dan mengubahnya menjadi kumpulan fitur lokal.

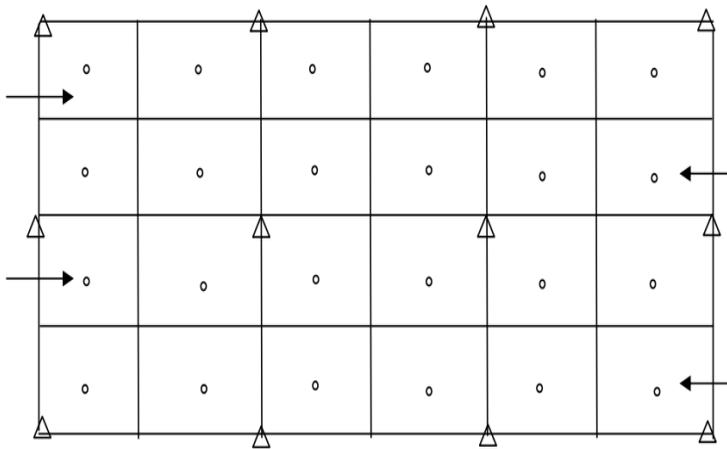
#### **2.10. Boresight calibration**

Jarak antara kamera dan IMU diukur secara fisik saat IMU dipasang. Diharapkan bahwa sumbu IMU akan sejajar sehubungan dengan kamera tetapi ini tidak mungkin dan tidak dapat diukur. Karenanya sudut antara kamera dan IMU harus dihitung.

Sudut boresight antara IMU dan bidang gambar kamera dihitung dalam triangulasi udara blok yang diterbangkan adalah bidang uji yang terkontrol dengan baik. Minimal empat strip yang berlawanan arah biasanya diterbangkan, dengan 60% *overlap* dan 20% *sidelap* (Gambar 2.4). Skala foto biasanya antara 1: 5000 dan 1: 8000. Bahkan nomor strip digunakan, masing-masing dengan setidaknya lima hingga delapan foto. Titik kontrol tanah ditandai dan didistribusikan di sekeliling bidang uji.

Blok ini kemudian triangulasi dalam *least squares bundle adjustment* menggunakan titik kontrol tanah dan pusat foto turunan GPS. Sudut boresight dihitung dengan membangun perbedaan rata-rata dari sudut orientasi dari *bundle adjustment* dengan sudut dari sistem DG, atau diselesaikan untuk langsung dalam *bundle adjustment*.

Triangulasi udara menyediakan EOP dengan *bundle block adjustment*. Untuk menentukan parameter, jumlah GCP yang cukup diperlukan. Perspektif koordinat pusat ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) dan sudut rotasi ( $\omega, \phi, \kappa$ ) dari setiap gambar di blok diselesaikan dengan menggunakan koordinat GCP dengan *space resection*. Dengan menggunakan GPS / INS, dimungkinkan untuk menentukan EOP dengan integrasi GPS/INS. Secara teoritis tidak perlu GCP tetapi akurasi geometris GPS/INS harus ditentukan.



Gambar 2. 4 Boresight calibration flight design  
(Kiraci 2008)

Model fungsional orientasi sensor terintegrasi didasarkan pada persamaan *collinearity*. Simbol *tilde* menunjukkan bahwa nilai yang sesuai diperkenalkan sebagai tidak diketahui secara langsung diamati dari GPS / sistem inersia. Elemen-elemen rotasi Matrix R diperoleh dari matriks produk:

$$R = R_P^L = R_B^L(\omega\sim, \varphi\sim, \kappa\sim). \Delta R_P^B(\Delta\omega, \Delta\varphi, \Delta\kappa) \quad (2.5)$$

Sikap  $\omega\sim, \varphi\sim, \kappa\sim$  diperoleh langsung dari sudut navigasi GPS/inersia setelah transformasi ke fotogrametri, sistem

koordinat referensi tingkat lokal.  $\Delta\omega$ ,  $\Delta\phi$ ,  $\Delta\kappa$  mewakili ketidakselarasan fisik yang disebut *boresight* antara tubuh dan kamera atau bingkai foto. Perimbangan sikap yang tidak diketahui ini harus ditentukan selama kalibrasi. Offset terjemahan tidak dimodelkan sejauh ini, karena mereka diukur dengan metode survei standar sebelum misi penerbangan dan sudah dipertimbangkan selama GPS/integrasi data inersia.

Selain parameter kalibrasi yang telah disebutkan untuk kalibrasi *boresight*, model fungsional diperluas dengan parameter tambahan untuk memodelkan offset sistematis atau drift linier dari posisi dan sikap yang diukur secara langsung. Oleh karena itu, Persamaan menjadi:

$$\begin{aligned} X_0^{\sim} &= X_0 + a_0 + a_1 \cdot t & \omega^{\sim} &= \omega + u_0 + u_1 \cdot t \\ Y_0^{\sim} &= Y_0 + b_0 + b_1 \cdot t & \omega^{\sim} &= \varphi + v_0 + v_1 \cdot t \\ Z_0^{\sim} &= Z_0 + c_0 + c_1 \cdot t & \omega^{\sim} &= \kappa + w_0 + w_1 \cdot t \end{aligned} \quad (2.6)$$

Pendekatan ini sangat mirip dengan triangulasi udara standar yang didukung GPS, di mana ketentuan koreksi offset dan drift tambahan menangani kesalahan sistematis yang tersisa dalam GPS yang ditentukan koordinat pusat perspektif. Karena offset sikap dalam Persamaan (2.5) sangat berkorelasi dengan *boresight* seperti yang diberikan dalam Persamaan (2.6) parameter  $u_0$ ,  $v_0$ ,  $w_0$  juga memodelkan misalignment fisik, yang menggantikan tiga offset perilaku dalam matriks  $\Delta R_P^B$ .

## 2.11. Ketelitian peta

Ketelitian peta *orthophoto* dapat mengikuti ketelitian dari Perka BIG No. 15 Tahun 2014. Didapat tabel ketelitian geometri sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Ketelitian Geometri Peta RBI

No	Skala	Interval Kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horizontal	Vertikal	Horizontal	Vertikal	Horizontal	Vertikal
			(CE90)	(LE90)	(CE90)	(LE90)	(CE90)	(LE90)
1	1:1.000.000	400	200	200	300	300	500	500
2	1:500.000	200	100	100	150	150	250	250
3	1:250.000	100	50	50	75	75	125	125
4	1:100.000	40	20	20	30	30	50	50
5	1:50.000	20	10	10	15	15	25	25
6	1:25.000	10	5	5	7,5	7,5	12,5	12,5
7	1:10.000	4	2	2	3	3	5	5
8	1:5.000	2	1	1	1,5	1,5	2,5	2,5
9	1:2.500	1	0,5	0,5	0,75	0,75	1,25	1,25
10	1:1.000	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5

Adapun ketetapan di setiap kelas diperoleh dari ketentuan seperti tertera pada tabel 2.6 berikut:

Tabel 2. 2 Tabel Ketelitian Geometri Berdasarkan Kelas

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

Nilai ketelitian pada tabel 2.2 adalah nilai CE90 untuk ketelitian horizontal dan LE90 untuk ketelitian vertikal, yang berarti bahwa kesalahan posisi peta dasar tidak melebihi nilai tersebut dengan tingkat kepercayaan 90%. Nilai CE90 dan LE90 dapat diperoleh dengan rumus mengacu kepada standar USNMAS (United States National Map Accuracy Standards) sebagai berikut:

$$CE90 = 1,5175 \times RMSEr \quad (2.7)$$

$$LE90 = 1,6499 \times RMSEz \quad (2.8)$$

Dengan:

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

- RMSE<sub>z</sub> : Root Mean Square Error pada posisi z  
(vertikal)  
 CE90 : Ukuran Ketelitian Geometrik Horizontal  
 LE90 : Ukuran Ketelitian Geometrik Vertikal

Uji ketelitian posisi dilakukan hingga mendapatkan tingkat kepercayaan peta 90% *Circular Error* dan *Linear Error*. Uji ketelitian posisi ditentukan dengan menggunakan titik uji yang memenuhi ketentuan objek yang digunakan sebagai titik uji, yaitu:

1. Dapat diidentifikasi dengan jelas di lapangan dan di peta yang akan diuji.
2. Merupakan objek yang relatif tetap tidak berubah bentuk dalam jangka waktu yang singkat.
3. Memiliki sebaran yang merata di seluruh area yang akan diuji.

Pengujian ketelitian posisi mengacu pada perbedaan koordinat (X, Y, Z) antara titik uji pada gambar atau peta dengan lokasi sesungguhnya dari titik uji pada permukaan tanah. Pengukuran akurasi menggunakan *root mean square error* (RMSE) atau *circular error*. Pada pemetaan dua dimensi yang perlu diperhitungkan adalah koordinat (X, Y) titik uji dan posisi sebenarnya di lapangan. Analisis akurasi posisi menggunakan *root mean square error* (RMSE), yang menggambarkan nilai perbedaan antara titik uji dengan titik sebenarnya. RMSE digunakan untuk menggambarkan akurasi meliputi kesalahan random dan sistematik. Nilai RMSE dirumuskan sebagai berikut:

$$RMSE_r = \sqrt{D^2/n} \quad (2.9)$$

$$D^2 = RMSE_x^2 + RMSE_y^2 \quad (2.10)$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{(z_{data} - z_{cek})^2}{n}} \quad (2.11)$$

Keterangan:

- n : Jumlah total pengecekan pada peta
- D : Selisih antara koordinat yang diukur dilapangan dengan koordinat di peta
- x : Nilai koordinat pada sumbu X
- y : Nilai koordinat pada sumbu Y
- z : Nilai koordinat pada sumbu Z

## 2.12. Penelitian Terdahulu

Pada bagian ini akan dibahas beberapa penelitian serupa yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti lain:

- a. *Direct Georeferencing: A New Standard In Photogrammetry For High Accuracy Mapping* pada tahun 2012 oleh Rizaldy, dkk. Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap metode *Direct Georeferencing* (DG), yang mana hasilnya akan digunakan sebagai rekomendasi standar baru dalam pemetaan dengan ketelitian tinggi. Secara teoritis, metode ini tidak memerlukan titik kontrol tanah (GCP) dan Triangulasi Udara (AT), untuk memproses foto udara menjadi koordinat tanah. Dibandingkan dengan metode yang lama, metode ini memiliki tiga keunggulan utama: pemrosesan data yang lebih cepat, alur kerja yang sederhana dan proyek yang lebih murah, dengan akurasi yang sama. Keakuratan metode ini diuji pada proyek peta topografi di Medan, Indonesia. Kamera digital format besar Ultracam X dari Vexcel digunakan, sedangkan GPS / IMU adalah IGI AeroControl. 19 *Independent Check Point* (ICP) digunakan untuk menentukan akurasi. Akurasi horizontal adalah 0,356 meter dan akurasi vertikal 0,483 meter. Data dengan akurasi ini dapat digunakan untuk proyek skala peta 1: 2.500.
- b. *Calibration And Accuracy Assessment In A Direct Georeferencing System For UAS Photogrammetry* pada tahun 2018 oleh Gabrlik, dkk. Pada penelitian ini

memperkenalkan sistem multi-sensor yang dibuat khusus untuk *Direct Georeferencing*, sebuah konsep yang memungkinkan georeferensi dilakukan tanpa akses ke area pemetaan dan memastikan akurasi objek tingkat sentimeter. Sistem yang diusulkan terdiri dari teknologi sistem navigasi terkemuka di kategori berat UAS mikro dan ringan. *Receiver* sistem satelit navigasi global yang sangat akurat yang mengintegrasikan teknologi *real time* kinematik mendukung sistem navigasi inersial dimana data dari berbagai sensor menyatu. Perhatian khusus diberikan pada sinkronisasi waktu semua sensor, dan metode untuk *field calibration* system dirancang. Sistem multi-sensor sepenuhnya independen dari UAS yang digunakan. Para penulis juga membahas verifikasi kinerja sistem yang diusulkan pada misi nyata. Untuk membuat hasil yang kredibel, sejumlah besar titik uji digunakan, dengan Teknik *direct* dan *inDirect Georeferencing* dikenakan perbandingan, bersama dengan metode kalibrasi yang berbeda. Akurasi objek spasial yang dicapai (sekitar 4 cm RMSE) cukup untuk sebagian besar aplikasi.

- c. *The Use of Direct Georeferencing in Aerial Photogrammetry with Micro UAV* pada tahun 2015 oleh Gabrlík, P. Penelitian ini berkaitan dengan penggunaan praktis dari teknik *Direct Georeferencing* (DG) yang telah diterapkan di bidang fotogrametri udara dan penciptaan model permukaan digital (DSM). Saat ini kendaraan udara mikro tak berawak (UAV) mampu membawa kamera resolusi tinggi, sistem satelit navigasi global (Penerima GNSS) dengan akurasi posisi 1 sentimeter dan unit pengukuran internal (IMU) berdasarkan teknologi MEMS. Sensor ini sangat mendasar untuk DG. Perhatian khusus diberikan pada metode geometris yang disebut *triangulation* membentuk dasar dari teknik ini. Pengukuran fotogrametri praktis

dengan data foto udara tersimulasi dijelaskan pada bagian kedua dari makalah ini. Untuk keperluan ini kamera komersial *lowcost* sebagai sensor gambar dan penerima GNSS *real time kinematic* (RTK) akurat tinggi sebagai sensor posisi digunakan.

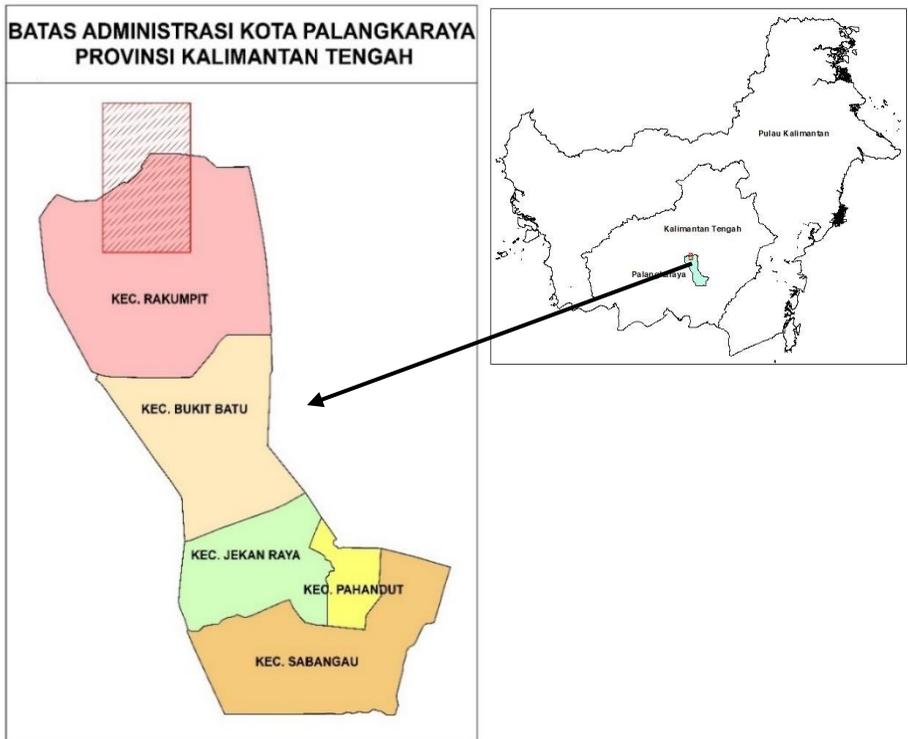
- d. *Direct Georeferencing And Orthorectification Of Airborne Digital Images* pada tahun 2008 oleh Kiraci, A. C. Dalam penelitian ini algoritma rektifikasi diferensial diprogram dengan perangkat lunak Matlab untuk *frame* kamera foto udara. Program ini diuji menggunakan parameter orientasi luar yang diperoleh oleh GPS/INS dan gambar yang telah dilakukan ortorektifikasi. *Ground Control Points* (GCP) diukur dalam gambar yang telah dilakukan ortorektifikasi dan dibandingkan dengan metode perbaikan lainnya sesuai dengan RMSE dan kesalahan rata-rata. Selain itu, akurasi *Direct Georeferencing* diselidiki dengan menggunakan data GPS/INS. Oleh karena itu, model stereo dan *ortho-images* dibangun dengan menggunakan parameter orientasi eksterior yang diperoleh dengan triangulasi udara dan integrasi GPS / INS. GCP diukur dalam model stereo dan *ortho-images*, dibandingkan dengan RMSE dan kesalahan rata-rata. Untuk menentukan efek Digital Elevation Model (DEM) dalam ortho-rektifikasi, data DEM yang berbeda digunakan dan hasilnya dibandingkan.
- e. Analisis Akurasi Pemetaan Menggunakan Direct Georeferencing pada tahun 2018 oleh Susetyo, D. B. Dan Gularso, H. Pada penelitian ini menguji metode direct georeferencing terhadap data yang ada di Indonesia, sehingga nantinya dapat mengurangi jumlah penggunaan GCP. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah foto udara Palu yang diakuisisi dengan kamera RCD30, parameter Exterior Orientation (EO), dan titik Independent Check Point (ICP). Jumlah ICP yang

digunakan sebanyak 8 titik. Pengukuran langsung posisi dan orientasi sensor kamera kemudian dilakukan dengan data-data tersebut tanpa menggunakan GCP. Analisis dilakukan dari dua aspek, yaitu ketelitian hasil foto udara dan perbandingan nilai X, Y, Z antar model. Hasil statistik perataan menunjukkan nilai sigma naught = 2,7 mikron, sehingga masih masuk dalam toleransi 1 piksel. Hasil uji akurasi menunjukkan nilai 1,9 m untuk ketelitian horizontal (CE90) dan 3,6 m untuk ketelitian vertikal (LE90), sehingga ketelitian horizontal masuk pada skala 1:5.000 kelas 3 atau skala 1:10.000 kelas 1, dan ketelitian vertikal masuk pada skala 1:10.000 kelas 3 atau skala 1:25.000 kelas 1.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi yang dijadikan studi kasus pada penelitian ini berada di Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah. Secara geografis Kota Palangkaraya terletak di 1°35'- 2°24' LS dan 113°30'- 114°07' BT, dengan luas wilayah 2.678,51 km<sup>2</sup> (267.851 Ha) dengan topografi terdiri dari tanah datar dan berbukit dengan kemiringan kurang dari 40% (Palangkaraya.go.id 2018).



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

Secara spesifik lokasi penelitian ini berada di perbatasan antara Kota Palangkaraya dan Kabupaten Gunung Mas yang dijadikan sebagai lokasi untuk kalibrasi alat. Dapat dilihat pada (Gambar 3.1).

### **3.2 Data dan Peralatan**

Bagian ini menjelaskan mengenai data dan peralatan yang akan digunakan dalam melaksanakan penelitian.

#### **3.2.1. Data**

Pada penelitian ini, dibutuhkan beberapa data untuk menunjang pelaksanaan penelitian. Berikut adalah data yang dibutuhkan dalam penelitian ini:

- a. Foto udara Kota Palangkaraya tahun 2018 dengan jumlah foto sebanyak 2.654 foto yang berasal dari kamera *Phase One IXA-R-180* dengan skala foto 1:15.000, tinggi terbang 750 m, sensor resolusi 80 *Mega Pixels* dengan resolusi spasial 7 cm dan fokus kamera sebesar 50 mm.
- b. Data koordinat titik *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Check Point* (ICP) Kota Palangkaraya tahun 2018 yang dihasilkan melalui pengukuran terestris menggunakan alat ukur GPS geodetik dan telah diolah menggunakan perangkat lunak *TopconTools*.
- c. Data DEM kota palangkaraya tahun 2018 dari hasil pengolahan LiDAR dengan resolusi 2 meter.

#### **3.2.2. Peralatan**

Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa perangkat lunak:

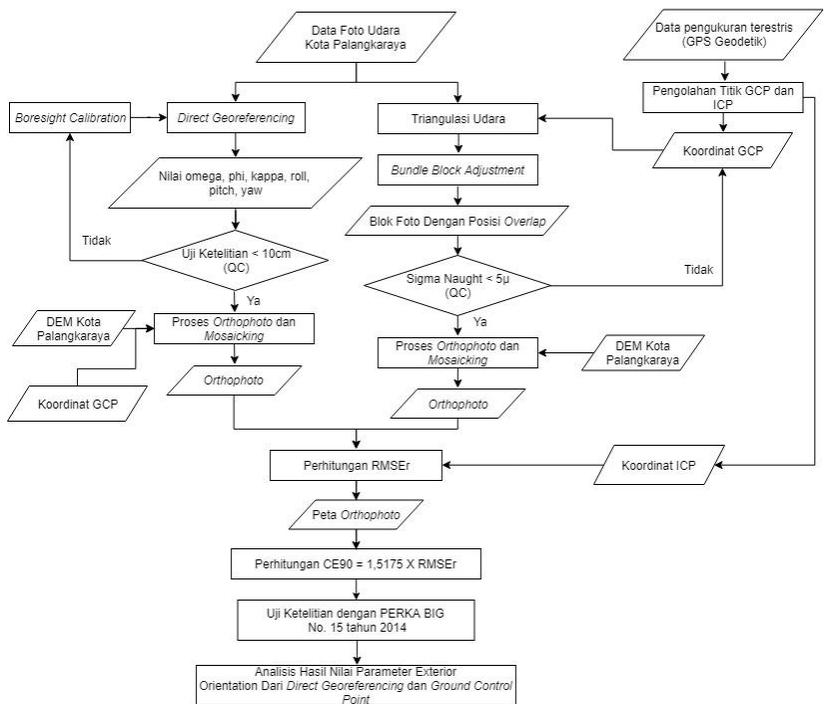
1. *Software TopconTools*
2. *Software Trimble Inpho Photogrammetry*
3. *Software Agisoft PhotoScan*
4. *Software Summit Evolution*

### 3.2. Metode Penelitian

Pada bagian ini akan dibahas mengenai diagram alir metodologi yang akan dilaksanakan pada penelitian ini. Dalam penelitian ini akan dijelaskan diagram alir mengenai tahap pengolahan.

#### 3.3.1. Tahapan Penelitian

Adapun tahapan pengolahan data pada penelitian ini dijelaskan pada diagram alir berikut:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengolahan

Berikut adalah penjelasan dari diagram alir diatas: Pada tahap pengolahan data terdiri atas 2 tahap, yakni pengolahan foto dengan GCP dan DG.

## 1. Pengolahan Foto dengan GCP

Adapun pengolahan foto dengan GCP hingga menjadi sebuah model melalui tahap seperti berikut:

### a. Triangulasi Udara

Pengolahan data foto udara yang mana akan dijadikan mosaik dengan menggunakan GCP sebagai titik ikatnya, pada proses ini dilakukan perhitungan nilai dan parameter yang mempengaruhi pertampalan foto udara. Dalam pengolahan foto udara pada penelitian kali ini menggunakan *software Trimble Inpho Photogrammetry*.

### b. Blok foto dengan posisi *overlap*

Dari hasil pengolahan triangulasi udara, akan membentuk suatu blok foto yang saling bertampalan.

### c. Sigma Naught

Didapatkan hasil perataan terhadap proses perhitungan Triangulasi Udara. Bila memasuki toleransi maka proses pengolahan foto udara dapat dilanjutkan, Bila tidak memasuki toleransi maka dilakukan proses editing terhadap tie point hingga memasuki toleransi.

### d. Proses *Orthophoto* dan *Mosaicking*

Blok foto yang saling bertampalan kemudian dijadikan *orthophoto*. Dengan mengekspor *orthophoto* dengan plugin Ortho Master (plugin untuk membuat *orthophoto*). Pembuatan area *orthophoto* secara otomatis tergenerate. Setelah tahap pembuatan *orthophoto*, dilanjutkan proses mozaiking untuk pembuatan citra foto udara dengan plugin OrthoVista.

## 2. Pengolahan Foto dengan DG

Adapun pengolahan foto dengan DG hingga menjadi sebuah model melalui tahap seperti berikut:

- a. *Direct Georeferencing*  
Dilakukan pengolahan terhadap foto udara tanpa menggunakan titik ikat atau GCP dalam proses pengolahannya, dalam proses ini nilai parameter eksterior telah diketahui secara langsung dari IMU yang telah dipasang pada sensor kamera. Hasil dari proses ini berupa DEM yang kemudian akan dijadikan ortofotonya.
  - b. Proses *Orthophoto* dan *Mosaicking*  
Dari data DEM yang telah terbentuk kemudian dilakukan proses export sehingga menjadi ortofoto.
3. Tahap Pengolahan Selanjutnya
- Adapun tahap pengolahan selanjutnya setelah proses pembuatan ortofoto dengan DG dan GCP telah selesai, yang dilakukan yaitu:
- a. Perhitungan Nilai RMS Error  
Dalam tahapan uji akurasi, ortofoto yang telah dihasilkan dari 2 metode tersebut akan diuji tingkat akurasinya dengan melakukan pengecekan pada titik ICP, sedangkan *Root Mean Square Error* (RMSE) dari titik-titik GCP untuk suatu pengolahan fotogrametri adalah nilai yang sangat penting karena menunjukkan seberapa teliti pengolahan yang telah dilaksanakan.
  - b. Uji Ketelelitian dengan Perka BIG No. 15 Tahun 2014  
Melakukan uji ketelitian hasil untuk melakukan klasifikasi kelas berdasarkan Perka BIG.
  - c. Analisis Hasil  
Pada tahap analisis hasil, akan dibandingkan antara hasil pengolahan menggunakan *Direct Georeferencing* dan *Ground Control Point* (GCP).

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### **4.1. Hasil Pengolahan Dengan Agisoft PhotoScan**

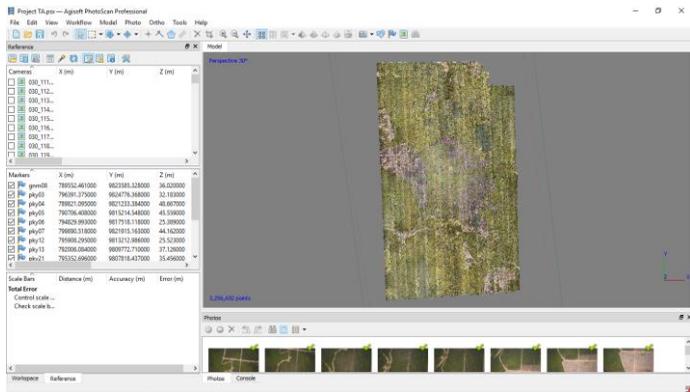
#### **4.1.1. Proses Pengolahan Dengan Agisoft PhotoScan**

Lokasi yang menjadi studi kasus pada penelitian ini, yaitu Kota Palangkaraya khususnya pada area kalibrasi, maka dilakukan pemilihan data foto udara dan GCP sesuai batas area kalibrasi yang selanjutnya dilakukan pengolahan dengan menggunakan *Software Agisoft PhotoScan* dengan tujuan untuk mendapatkan nilai parameter luar dari foto. Nilai parameter luar hasil dari pengolahan tersebut akan dijadikan bahan untuk proses pembuatan *orthophoto* dengan metode Aerial Triangulasi.

Langkah pertama dalam pengolahan ini yaitu melakukan proses *align photos*. Dalam proses *align photos* yang dilakukan dipenelitian ini menggunakan pengaturan dengan akurasi medium. Pada proses alignment foto dilakukan proses identifikasi tie point secara otomatis dengan menggunakan algoritma *SIFT invariant* yaitu menggabungkan paralaks antar foto hingga membentuk tiga dimensi dari suatu model. Algoritma ini akan mengenali titik-titik yang mempunyai kesamaan nilai pixel. Hasil dari *alignment* foto yaitu berupa parameter orientasi dalam kamera (IO), kumpulan tie point yang terdeteksi dalam model tiga dimensi dan posisi kamera berdasarkan jalur terbang yang telah ter-geotagging sebelumnya.

Setelah proses *align photos* selesai, maka dapat dilakukan proses penempatan titik GCP pada setiap foto yang terdapat titik yang sama sesuai dengan titik koordinat masing-masing yang ditandai dengan *premark* dilapangan, hal ini dapat dilakukan dengan cepat dengan fungsi *Filter Photos By Marker*. Dengan fungsi tersebut, maka dapat mengetahui foto mana saja yang terdapat titik yang sama,

kemudian dilakukan proses *Build Dense Cloud* dan proses *Build Mesh*. Untuk proses *Build Dense Cloud* digunakan pengaturan dengan kualitas medium sedangkan untuk proses *Build Mesh* digunakan pengaturan *default*. Apabila semua proses tersebut telah dilakukan secara berurutan kemudian dilakukan proses *Export Camera Orientation Parameters* untuk mendapatkan nilai parameter luar dari foto (EOP).



Gambar 4. 1 Hasil akhir dari pengolahan dengan *Software Agisoft PhotoScan*

#### **4.1.2. Nilai Exterior Parameter hasil pengolahan dengan Software Agisoft PhotoScan**

Setelah proses *export* selesai maka didapatkan nilai *exterior parameter* yang berisi informasi tentang posisi dan sikap dari masing-masing *frame* foto (X, Y, Z, Omega, Phi, dan Kappa) yang kemudian akan dilakukan pengolahan menggunakan koordinat titik GCP dengan metode *Aerial Triangulation*.

Triangulasi Udara yang dimaksud disini adalah suatu proses pengolahan foto udara dengan *Bundle Block Adjustment* (BBA). BBA merupakan proses penghitungan EO setiap foto udara berdasarkan adanya kenyataan bahwa titik ditanah, potret titik tersebut di foto, dan pusat

kamera/lensa terletak pada satu garis. Adanya kesejarisan ini sangat dikenal, dan dinyatakan sebagai model matematis dalam bentuk Persamaan Kolinear.

Dengan bantuan titik kontrol tanah yaitu titik target yang diberi tanda sebelum dilakukan pemotretan (*Premarked*), dan diukur koordinatnya dengan GPS. EO bisa dihitung berdasarkan persamaan kolinear dan prinsip perataan kuadrat terkecil, dengan cara yang disebut *BBA*. Perhitungan EO dengan *BBA*, pada penelitian ini disebut sebagai *AT Supported GPS*. Pada pelaksanaannya dilakukan dengan 2 perangkat lunak, yaitu *Agisoft* dan *Inpho*. Pengolahan dengan *Agisoft* digunakan untuk mendapatkan nilai pendekatan (*Approximate Values*) dari EO, kemudian nilai pendekatan ini dipakai oleh *Inpho* untuk menghitung nilai *Adjusted* dari EO.

Tabel 4. 1 Beberapa Contoh Nilai *Exterior Parameter* Hasil Pengolahan Dengan *Software Agisoft PhotoScan*

<b>ID FOTO</b>	<b>Easting (m)</b>	<b>Northing (m)</b>	<b>Elevasi (m)</b>	<b>Omega (°)</b>	<b>Phi (°)</b>	<b>Kappa (°)</b>
030_111	800090,798	9806722,693	739,540	-0,390	0,079	-174,356
030_112	800089,364	9806896,326	741,972	-1,481	0,197	-174,284
030_113	800087,954	9807068,088	744,376	-1,476	0,729	-173,637
030_114	800089,272	9807238,931	748,939	-2,186	0,622	-175,700
030_115	800091,844	9807407,754	752,437	-3,082	0,951	-177,062
030_116	800095,595	9807575,907	756,114	-2,877	0,199	-178,223
030_117	800102,310	9807742,619	764,090	-3,182	-0,240	-178,678
030_118	800105,977	9807905,344	769,821	-4,121	0,046	-177,735
030_119	800103,658	9808064,291	770,010	-4,776	0,578	-176,503
030_120	800098,066	9808223,948	765,623	-4,992	1,419	-174,921

Nilai EO yang diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan *Software Agisoft* yang disebut dengan nilai pendekatan (*Approximate Values*) dari EO kemudian nilai

pendekatan ini dilakukan proses perhitungan menggunakan *Software Inpho* untuk menghitung nilai *Adjusted EO*. nilai *Adjusted EO* hasil *Inpho* ini kemudian disebut sebagai *EO Hasil AT*.

Tabel 4. 2 Beberapa Contoh Nilai *EO Hasil AT*.

<b>ID FOTO</b>	<b>Easting (m)</b>	<b>Northing (m)</b>	<b>Elevasi (m)</b>	<b>Omega (°)</b>	<b>Phi (°)</b>	<b>Kappa (°)</b>
030_111	800090,843	9806722,538	739,718	-0,402	0,080	-174,353
030_112	800089,392	9806896,106	742,124	-1,488	0,197	-174,282
030_113	800088,016	9807067,888	744,524	-1,484	0,731	-173,635
030_114	800089,321	9807238,717	749,089	-2,193	0,624	-175,699
030_115	800091,883	9807407,562	752,580	-3,092	0,953	-177,059
030_116	800095,595	9807575,714	756,247	-2,886	0,198	-178,221
030_117	800102,266	9807742,402	764,226	-3,189	-0,244	-178,677
030_118	800105,946	9807905,116	769,965	-4,127	0,042	-177,734
030_119	800103,661	9808064,086	770,148	-4,783	0,576	-176,502
030_120	800098,102	9808223,705	765,764	-4,996	1,420	-174,919

## **4.2. Hasil Pengolahan *Orthophoto* Dengan GCP (AT)**

### **4.2.1. Proses Input Data**

Proses pengolahan *orthophoto* dilakukan dengan menggunakan *Software Trimble Inpho Photogrammetry*, menggunakan sample foto udara sebanyak 2.654 *frame* foto yang berasal dari kamera *Phase One IXA-R-180* dengan sensor resolusi 10328 (X axis) x 7760 (Y axis) atau 80 *Mega Pixels*. Untuk pengolahan dengan metode *Aerial Triangulation* diperlukan titik kontrol GCP, digunakan 11 titik GCP dan nilai exterior parameter hasil pengolahan dengan menggunakan *Software Agisoft PhotoScan* sebagai data *inputnya*. Berikut adalah langkah-langkah pengolahannya. Masukkan *platform* kamera yang meliputi (*Camera ID, Serial Number, Sensor Type, Sensor Size,*

*Sensor System (Focal length dan pixel size), Principal Point, GNSS antena offset X, Y, dan Z* yang diperoleh dari pengukuran jarak antara posisi GNSS/IMU dengan sensor kamera, *IMU boresight alignment*, Nilai distorsi untuk koreksi dan kalibrasi (K1,K2,K3,K4,P1,P2).

Langkah selanjutnya yaitu memasukkan data yang telah didapatkan sebagai *input* dalam pengolahan, data tersebut meliputi: foto udara yang akan diolah dengan jumlah sebanyak 2.654 *frame* foto, Nilai parameter luar foto udara yang meliputi X, Y, Z, Omega, Phi, dan Kappa yang diperoleh dari hasil pengolahan dengan menggunakan *Software Agisoft PhotoScan*, dan data koordinat titik GCP yang telah dilakukan pengolahan dengan menggunakan *Software TopconTools* ke dalam *project editor*, selain itu juga informasi tentang format *strips* dan *blocks* foto udara, *strips* disini disebut sebagai banyaknya lintasan yang akan ditempuh pesawat, sedangkan *blocks* disebut sebagai banyaknya blok pengolahan data pada foto udara dalam satu *project*.

Pengukuran *Ground Control Point (GCP)* menggunakan GPS Geodetik dengan menggunakan metode statik dengan lama pengamatan per-titik  $\pm 1$  jam.

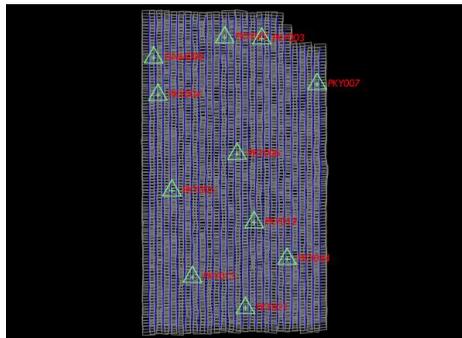
Tabel 4. 3 Koordinat titik GCP

<b>Titik</b>	<b>Easting (m)</b>	<b>Northing (m)</b>	<b>Elevasi (m)</b>
PKY003	796391,375	9824776,368	32,183
PKY004	789821,095	9821233,384	48,667
PKY005	790706,408	9815214,548	45,559
PKY006	794829,993	9817518,118	25,389
PKY007	799890,518	9821915,163	44,162
PKY012	795908,295	9813212,986	25,523
PKY013	792006,084	9809772,710	37,126
PKY021	795352,696	9807818,437	35,456
PKY042	794050,947	9824862,611	15,412

Lanjutan Tabel 4. 3 Koordinat titik GCP

Titik	Easting (m)	Northing (m)	Elevasi (m)
PKY044	797987,454	9810911,111	12,847
GNM008	789552,461	9823585,328	36,020

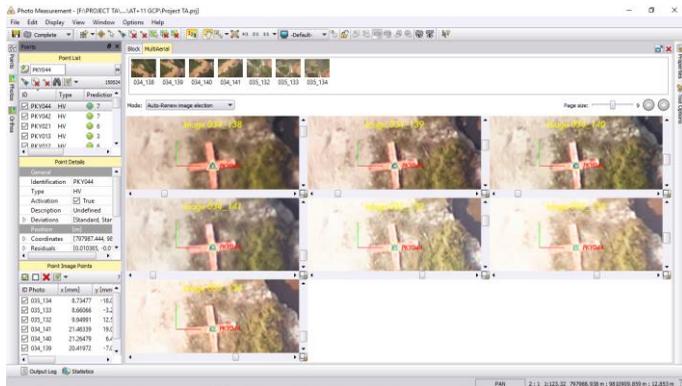
Setelah semua selesai dimasukkan maka akan secara otomatis terbentuk area keseluruhan dari foto udara yang terbentuk dari beberapa kumpulan *blocks* foto udara yang saling bertampalan. Namun masih dalam bentuk yang kasar dan tidak menampilkan gambaran dari kenampakan alam yang sesungguhnya (masih berupa pertampalan *frame* dari blok foto).



Gambar 4. 2 Tampilan area pemotretan telah tersusun

#### 4.2.2. Proses Match-AT multi photo measurement

Tahap selanjutnya yaitu melakukan *Match-AT multi photo measurement* dengan tujuan untuk mengintegrasikan secara otomatis dengan adanya *sidelap* dan *overlap* serta untuk mengikatkan blok foto udara yang diidentifikasi terdapat *premark* yang dipasang dilapangan yang kemudian dilakukan pengikatan terhadap titik GCP yang ada pada blok foto udara dengan nilai koordinat hasil pengukuran secara terestris menggunakan alat GNSS.



Gambar 4. 3 Tampilan pengintegrasian titik GCP

#### 4.2.3. Proses Match-AT Aerial Frame Triangulation

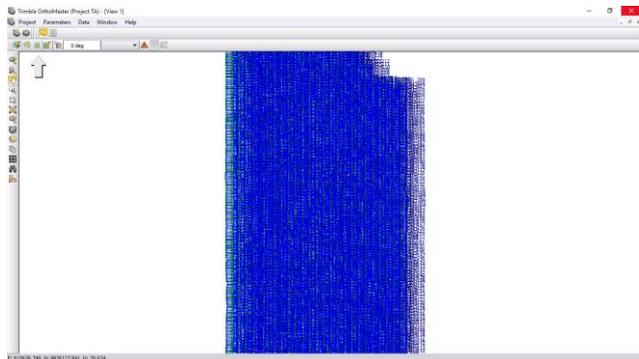
*Match-AT Aerial Frame Triangulation (Aerial Triangulasi)* adalah tahap selanjutnya setelah pengintegrasian semua titik GCP pada *frame* foto selesai dilakukan dalam proses *Match-AT multi photo measurement*. Didalam proses ini dilakukan perhitungan *bundle blok adjustment* yang bertujuan untuk menghubungkan secara langsung sistem koordinat foto ke sistem koordinat peta atau tanah tanpa melalui tahap orientasi relatif dan absolut. Proses tersebut menghasilkan ribuan titik yang disebut dengan *tie points*. Selain itu hasil yang didapatkan dari perhitungan ini yaitu nilai *Sigma Naught*, secara teori perhitungan dianggap baik apabila nilai *Sigma Naught* kurang dari 5 micron.

Tabel 4. 4 Hasil statistik dari *Match-AT Aerial Frame*

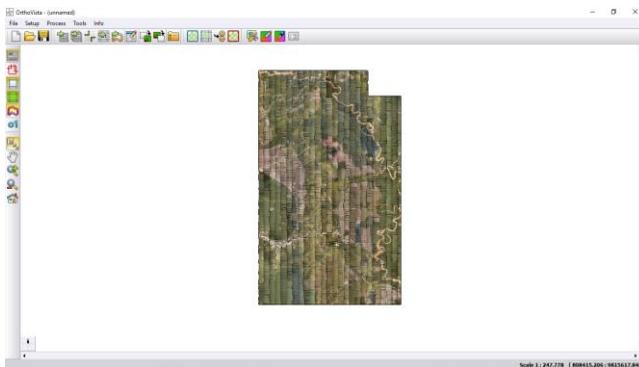
Sigma Naught	Number Of Images	Number Block Points	RMS Image Points	RMS Control In Image
0.8 [micron]	2,654 [Photos]	151,509 [Points]	X : 0.552 [micron]	X : 1.567 [micron]
			Y : 0.685 [micron]	Y : 1.412 [micron]

#### 4.2.4. Proses Mosaicking

Proses *mosaicking* adalah tahap terakhir dalam pembuatan *orthophoto*. Setelah proses *Match-AT Aerial Frame Triangulation* selesai dilakukan dan menghasilkan nilai sigma naught yang memenuhi syarat untuk dilakukan pembuatan mosaik, maka dilanjutkan dengan memasukkan data DEM hasil pengolahan LiDAR dengan *plugin* Ortho Master. Pembuatan mosaik dilakukan dengan menggunakan *plugin* Ortho Vista.



Gambar 4. 4 Hasil input DEM dengan *plugin* Ortho Master



Gambar 4. 5 blok foto yang saling bertampalan membentuk mosaik

#### 4.2.5. Hasil Orthophoto Dengan Metode Aerial Triangulasi Dengan Titik Kontrol (GCP) Sebanyak 11 Titik

Pembuatan *orthophoto* dilakukan setelah proses *mosaicking* selesai, kemudian dilakukan *exporting* dengan *plugin* OrthoVista. Pilih area yang akan dilakukan *exporting* sesuai dengan batas yang diinginkan. Hasil dari proses *mosaicking* dapat dilihat dari (Gambar 4.8).



Gambar 4. 6 Hasil *mosaicking*

### 4.3. Hasil Pengolahan Orthophoto Dengan Direct Georeferencing

Pengolahan menggunakan metode *Direct Georeferencing* dilakukan dengan tiga cara yang berbeda, dalam penelitian ini jumlah titik ikat (GCP) menjadi faktor pembeda. Pengolahan pertama dilakukan tanpa menggunakan titik ikat, pengolahan kedua dilakukan dengan menggunakan 4 (empat) titik ikat, dan pengolahan ketiga dilakukan dengan menggunakan 11 (sebelas) titik ikat. Untuk persebaran GCP dilakukan semerata mungkin pada area penelitian.

#### 4.3.1. EO Hasil Direct Georeferencing

Selain data berupa foto udara dan *point clouds*, data yang terekam dari hasil akuisisi dilapangan juga diperoleh data berupa nilai parameter luar dari posisi kamera atau sikap yang dibentuk oleh *frame* foto yang berupa nilai dari X, Y, Z, Omega, Phi, Kappa. Nilai tersebut didapatkan atau direkam langsung oleh GNSS/IMU yang dipasang dipesawat dan telah dilakukan pengintegrasian dengan posisi dari sensor kamera dan LiDAR yang disebut dengan *Boresight Calibration*. Karena nilai parameter luar dilakukan pengukuran secara langsung dengan bantuan GNSS/IMU tanpa melalui proses perhitungan dengan menggunakan persamaan *Bundle Blok Adjustment*, maka metode ini biasa disebut sebagai *Direct Georeferencing*.

Beberapa contoh hasil nilai exterior parameter yang didapatkan dengan menggunakan metode *Direct Georeferencing* dapat dilihat pada (Tabel 4.4).

Tabel 4. 5 Beberapa Contoh Nilai *Exterior Parameter* Hasil *Direct Georeferencing*

ID FOTO	Easting (m)	Northing (m)	Elevasi (m)	Omega (°)	Phi (°)	Kappa (°)
030_111	800091,178	9806722,229	782,077	0,668	-0,038	-174,132
030_112	800089,712	9806895,866	784,572	-0,422	0,082	-174,068

Lanjutan Tabel 4. 5 Beberapa Contoh Nilai *Exterior Parameter*  
Hasil *Direct Georeferencing*

<b>ID FOTO</b>	<b>Easting (m)</b>	<b>Northing (m)</b>	<b>Elevasi (m)</b>	<b>Omega (°)</b>	<b>Phi (°)</b>	<b>Kappa (°)</b>
030_113	800088,283	9807067,648	787,049	-0,417	0,620	-173,424
030_114	800089,645	9807238,439	791,698	-1,127	0,471	-175,477
030_115	800092,251	9807407,283	795,267	-2,028	0,781	-176,854
030_116	800095,987	9807575,416	799,004	-1,838	0,009	-177,995
030_117	800102,669	9807742,182	807,036	-2,134	-0,453	-178,443
030_118	800106,363	9807904,999	812,807	-3,074	-0,142	-177,508
030_119	800104,064	9808064,023	813,048	-3,728	0,409	-176,284
030_120	800098,480	9808223,686	808,726	-3,934	1,278	-174,714

#### **4.3.2. Hasil Orthophoto Menggunakan Metode Direct Georeferencing Tanpa Menggunakan Titik Ikat (GCP)**

Langkah yang dilakukan dari pengolahan ini hampir sama dengan pengolahan dengan menggunakan metode *Aerial Triangulasi*. Hal yang menjadi pembeda yaitu dalam pengolahan kali ini menggunakan *input* data EO yang diperoleh dari hasil *Direct Georeferencing* dan tanpa dilakukan pengikatan terhadap titik kontrol tanah. Selain itu hal yang sangat membedakan dari pengolahan kali ini yaitu tanpa dilakukan proses *Match-AT Aerial Frame Triangulation* karena memang secara teori metode *Direct Georeferencing* dilakukan untuk menggantikan proses AT. Hasil dari pengolahan ini dapat dilihat dilihat pada (Gambar 4.7).



Gambar 4. 7 Hasil pengolahan dengan metode DG tanpa titik ikat

Dapat dilihat pada (Gambar 4.7) yaitu *orthophoto* hasil pengolahan dengan metode *Direct Georeferencing* tanpa dilakukan pengikatan dengan titik kontrol tanah (GCP), menghasilkan *orthophoto* yang tidak membentuk objek-objek seperti kenyataan dilapangan. Tidak dapat dilakukan interpretasi terhadap objek karena semua *frame* foto yang termosaik saling bergeser satu sama lain. Diambil contoh yaitu objek sungai, semua foto saling bergeseran satu sama lain yang disebabkan karena tidak

ada titik kontrol yang berfungsi untuk mengikatkan foto kedalam koordinat tanah, maka semua objek termasuk sungai tidak terbentuk. Dari gambar diatas bisa dipastikan bahwa metode DG tidak dapat dilakukan tanpa adanya titik ikat.



Gambar 4. 8 Objek sungai yang tidak terbentuk

#### 4.3.3. Hasil Orthophoto Menggunakan Metode Direct Georeferencing Menggunakan 4 Titik Ikat (GCP)

Dalam pengolahan ini dilakukan pemrosesan yang sama seperti pengolahan sebelumnya, namun kali ini dilakukan pengikatan terhadap sistem koordinat tanah dengan menggunakan 4 (empat) titik kontrol tanah (GCP). Penggunaan 4 titik kontrol diambil dari GCP yang paling luar dari area penelitian agar kesalahan dapat terdistribusi secara merata pada area penelitian. Berikut adalah titik kontrol dan hasil *orthophoto* dari pengolahan metode *Direct Georeferencing* dengan 4 titik ikat (GCP).

Tabel 4. 6 Koordinat titik GCP

Titik	Easting (m)	Northing (m)	Elevasi (m)
PKY007	799890,518	9821915,163	44,162
PKY013	792006,084	9809772,710	37,126
PKY044	797987,454	9810911,111	12,847
GNM008	789552,461	9823585,328	36,020



Gambar 4. 9 Hasil pengolahan dengan metode DG menggunakan 4 titik ikat

Dapat dilihat pada (Gambar 4.9) yaitu *orthophoto* hasil pengolahan dengan metode *Direct Georeferencing* menggunakan 4 (empat) titik kontrol tanah (GCP), menghasilkan *orthophoto* yang lebih baik dibandingkan pengolahan sebelumnya yaitu tanpa dilakukan pengikatan terhadap titik kontrol tanah, objek-objek dapat terlihat

dengan jelas dan membentuk seperti kenyataan dilapangan. Namun dalam beberapa objek masih ditemukan pergeseran (*split*) yang cukup jauh bergesernya. Diambil contoh yaitu objek perkebunan kelapa sawit, meskipun sudah dilakukan pengikatan terhadap sistem koordinat tanah dengan menggunakan 4 GCP namun masih banyak ditemukan pergeseran. Hal ini karena dalam metode DG, nilai dari parameter luar kamera langsung dilakukan mosaik tanpa dilakukan perataan dengan persamaan *bundle blok adjustment*. Maka meski *orthophoto* sudah cukup baik namun belum bisa dipakai untuk keperluan peta foto skala besar atau untuk keperluan pemetaan yang membutuhkan peta foto ketelitian tinggi.

Dapat dilihat pada (Gambar 4.10), terlihat sangat jelas bahwa objek perkebunan kelapa sawit masih terdapat banyak sekali pergeseran. Dari peta *orthophoto* yang dihasilkan dilakukan pengukuran terhadap 8 sampel yang diambil secara acak dan hasilnya untuk sumbu X memiliki nilai rata-rata pergeseran sebesar 10 meter, dan sumbu Y memiliki nilai rata-rata pergeseran sebesar 22,5 meter.



Gambar 4. 10 Objek perkebunan kelapa sawit yang masih terdapat pergeseran

#### **4.3.4. Hasil Orthophoto Menggunakan Metode Direct Georeferencing Dengan Menggunakan 11 Titik Ikat (GCP)**

Pengolahan ini dilakukan pemrosesan yang sama seperti pengolahan sebelumnya, namun kali ini dilakukan pengikatan terhadap sistem koordinat tanah dengan menggunakan 11 (sebelas) titik kontrol tanah (GCP). Untuk koordinat titik GCP dapat dilihat pada (Tabel 4.2). Berikut adalah hasil *orthophoto* dari pengolahan metode *Direct Georeferencing* dengan 11 titik ikat (GCP).



Gambar 4. 11 Hasil pengolahan dengan metode DG menggunakan 11 titik ikat

Dapat dilihat pada (Gambar 4.11) yaitu *orthophoto* hasil pengolahan dengan metode *Direct Georeferencing* menggunakan 11 (sebelas) titik kontrol tanah (GCP), menghasilkan *orthophoto* yang jika dilihat sekilas tidak jauh lebih baik dibandingkan pengolahan sebelumnya, objek-objek dapat terlihat dengan jelas dan membentuk seperti kenyataan dilapangan. Namun dalam beberapa objek masih ditemukan pergeseran (*split*) yang cukup jauh bergesernya. Sama halnya seperti pengolahan sebelumnya, hal ini karena dalam metode DG, nilai dari parameter luar kamera langsung dilakukan mosaik tanpa dilakukan perataan dengan persamaan *bundle blok adjustment*.

Dapat dilihat pada (Gambar 4.12), terlihat sangat jelas bahwa objek perkebunan kelapa sawit masih terdapat banyak sekali pergeseran, namun tidak sebanyak pada pengolahan dengan 4 GCP. Dari peta *orthophoto* yang dihasilkan dilakukan pengukuran terhadap 8 sampel yang diambil secara acak dan hasilnya untuk sumbu X memiliki nilai rata-rata pergeseran sebesar 4,5 meter, dan sumbu Y memiliki nilai rata-rata pergeseran sebesar 23,5 meter.



Gambar 4. 12 Objek jalan diperkebunan kelapa sawit yang masih terdapat pergeseran

#### **4.4. Hasil Pengolahan Orthophoto Dengan Direct Georeferencing yang dilakukan proses Aerial Triangulasi**

Dalam penelitian ini juga dilakukan pengolahan dengan metode *Direct Georeferencing* yang kemudian dilakukan perhitungan perataan dengan persamaan *bundle blok adjustment* melalui proses *Match-AT multi photo measurement* pada *software trimble inpho photogrametry*, dengan kata lain pengolahan ini dengan *Direct Georeferencing* yang dilakukan proses aerial triangulasi atau metode gabungan. Disebut metode gabungan karena pada dasarnya pengolahan ini menggunakan prinsip yang sama dengan pengolahan menggunakan metode aerial triangulasi, namun untuk data input berupa nilai parameter EO yang didapatkan dari hasil pengukuran dengan bantuan GNSS/IMU atau dengan kata lain menggunakan metode *Direct Georeferencing* dalam mendapatkan nilai parameter luar dari kamera. Dalam metode gabungan ini dilakukan pengolahan sebanyak tiga kali dengan tiga cara yang berbeda, dalam penelitian ini jumlah titik ikat (GCP) menjadi faktor pembeda. Pengolahan pertama dilakukan tanpa menggunakan titik ikat, pengolahan kedua dilakukan dengan menggunakan 4 (empat) titik ikat, dan pengolahan ketiga dilakukan dengan menggunakan 11 (sebelas) titik ikat.

##### **4.4.1. Hasil Orthophoto Menggunakan Metode Gabungan Tanpa Menggunakan Titik Ikat (GCP)**

Dalam pengolahan ini dilakukan pemrosesan yang sama seperti pengolahan dengan metode *Direct Georeferencing*, namun kali ini dilakukan proses *Match-AT multi photo measurement* dengan tujuan untuk dilakukan perhitungan perataan dari semua blok foto yang saling bertampalan, pengikatan terhadap sistem koordinat tanah dalam pengolahan ini tidak dilakukan. Berikut adalah hasil *orthophoto* dari pengolahan metode gabungan tanpa menggunakan titik ikat (GCP).



Gambar 4. 13 Hasil pengolahan dengan metode gabungan tanpa menggunakan titik ikat

Dapat dilihat pada (Gambar 4.13) yaitu *orthophoto* hasil pengolahan dengan metode gabungan tanpa dilakukan pengikatan dengan titik kontrol tanah (GCP), menghasilkan *orthophoto* yang cukup baik. Objek-objek dapat terlihat dengan jelas dan membentuk seperti kenyataan dilapangan. Namun dalam beberapa objek masih ada sedikit ditemukan pergeseran (*split*) yang bergesernya lebih baik dari pengolahan sebelumnya. Diambil contoh yaitu objek perkebunan kelapa sawit, meskipun sudah dilakukan perhitungan perataan pada

semua blok foto yang saling bertampalan, namun masih ditemukan banyak pergeseran, meski jumlah objek yang bergeser jauh berkurang dibandingkan pengolahan sebelumnya. Hal ini karena dalam metode ini, tidak ada titik kontrol yang berfungsi untuk mengikatkan foto kedalam koordinat tanah.

Pada gambar gambar dibawah ini (Gambar 4.14) dapat dilihat bahwa pergeseran masih tetap ditemukan dari hasil pengolahan ini yaitu terlihat jelas pada gambar tersebut jalan diperkebunan kelapa sawit masih ada yang putus, namun untuk jumlahnya relatif lebih sedikit jika dibandingkan dengan metode sebelumnya. Terdapatnya pergeseran antar foto disebabkan oleh paralaks yang masih terdapat pada suatu model. Dari peta *orthophoto* yang dihasilkan dilakukan pengukuran terhadap 8 sampel yang diambil secara acak dan hasilnya untuk sumbu X memiliki nilai rata-rata pergeseran sebesar 12,5 meter, dan sumbu Y memiliki nilai rata-rata pergeseran sebesar 6 meter.



Gambar 4. 14 Objek jalan diperkebunan kelapa sawit yang masih terdapat sedikit pergeseran

#### 4.4.2. Hasil Orthophoto Menggunakan Metode Gabungan Dengan Menggunakan 4 Titik Ikat (GCP)

Pengolahan ini dilakukan pemrosesan yang sama seperti pengolahan sebelumnya yaitu dengan metode gabungan, perhitungan perataan dari semua blok foto yang saling bertampalan tetap dilakukan, dan pengikatan terhadap sistem koordinat tanah dalam pengolahan ini dilakukan dengan jumlah titik kontrol tanah sebanyak 4 titik (GCP). Untuk tabel dari titik kontrol yang digunakan dalam pengolahan ini dapat dilihat pada (Tabel 4.6). Berikut adalah hasil *orthophoto* dari pengolahan metode gabungan menggunakan 4 titik ikat (GCP).



Gambar 4. 15 Hasil pengolahan dengan metode gabungan menggunakan 4 titik ikat

Dapat dilihat pada (Gambar 4.15) yaitu *orthophoto* hasil pengolahan dengan metode gabungan dan dilakukan pengikatan dengan 4 titik kontrol tanah (GCP), menghasilkan *orthophoto* yang sangat baik. Tidak ditemukannya pergeseran (*split*) pada semua objek yang membuat hasilnya jauh lebih baik dari pengolahan sebelumnya. Hal ini karena dalam pengolahan ini dilakukan perhitungan perataan dari semua blok foto yang saling bertampalan dan juga dilakukan pengikatan terhadap sistem koordinat tanah dengan 4 titik kontrol tanah.

Pada gambar gambar dibawah ini (Gambar 4.16) dapat dilihat bahwa tidak ditemukan pergeseran pada jalan yang terdapat pada perkebunan kelapa sawit. Namun jika dilakukan pengamatan lebih dalam dengan melakukan perbesaran, terdapat beberapa objek yang masih terlihat bergeser walaupun pergeserannya masih sangat kecil.



Gambar 4. 16 Objek jalan diperkebunan kelapa sawit tanpa adanya pergeseran

#### **4.4.3. Hasil Orthophoto Menggunakan Metode Gabungan Dengan Menggunakan 11 Titik Ikat (GCP)**

Pengolahan yang terakhir dilakukan pemrosesan yang sama seperti pengolahan sebelumnya yaitu dengan metode gabungan, perhitungan perataan dari semua blok

foto yang saling bertampalan tetap dilakukan, dan pengikatan terhadap sistem koordinat tanah dalam pengolahan ini dilakukan dengan jumlah titik kontrol tanah sebanyak 11 titik (GCP). Untuk tabel dari titik kontrol yang digunakan dalam pengolahan ini dapat dilihat pada (Tabel 4.2). Berikut adalah hasil *orthophoto* dari pengolahan metode gabungan menggunakan 11 titik ikat (GCP).



Gambar 4. 17 Hasil pengolahan dengan metode gabungan menggunakan 11 titik ikat

Dapat dilihat pada (Gambar 4.17) yaitu *orthophoto* hasil pengolahan dengan metode gabungan dan dilakukan pengikatan dengan 11 titik kontrol tanah (GCP), menghasilkan *orthophoto* yang sangat baik sama seperti pada pengolahan sebelumnya yang menggunakan 4 titik kontrol tanah. Tidak ditemukannya pergeseran (*split*) pada semua objek karena menggunakan metode yang sama dan jumlah titik ikat yang digunakan jauh lebih banyak dari pengolahan sebelumnya.

Pada gambar gambar dibawah ini (Gambar 4.18) dapat dilihat bahwa tidak ditemukan pergeseran pada jalan yang terdapat pada perkebunan kelapa sawit. Jika dilihat sekilas maka akan tampak sama secara tampilan dibandingkan dengan metode sebelumnya. Namun jika dilihat lebih dalam lagi maka akan tampak perbedaannya yaitu pada metode ini dihasilkan *orthophoto* yang sangat bagus dan tidak ada objek yang bergeser.



Gambar 4. 18 Objek jalan diperkebunan kelapa sawit tanpa adanya pergeseran

#### **4.5. Selisih Koordinat ICP Model dan Lapangan**

*Independent Check Point* (ICP) bertujuan untuk menguji keakuratan titik-titik kontrol tanah (GCP). Pengujian yang dilakukan yaitu uji horizontal dan vertikal dari ICP model. Koordinat ICP Model didapatkan setelah proses *georeferencing*.

#### 4.5.1. Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Aerial Triangulasi dan Lapangan

Dari data koordinat ICP model dan lapangan terdapat perbedaan. Perbedaan terbesar untuk koordinat X yaitu pada CP012 terdapat perbedaan sebesar -0,236 m, CP014 sebesar -0,321 m untuk koordinat Y dan CP021 sebesar 0,464 m untuk koordinat Z.

Tabel 4. 7 Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Aerial Triangulasi dan Lapangan

Titik	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)
CP001	-0,116	-0,225	-0,171
CP002	0,000	0,000	0,000
CP003	0,000	0,000	-0,436
CP005	-0,082	-0,167	0,421
CP006	-0,024	-0,077	0,068
CP011	0,201	-0,069	-0,222
CP012	-0,236	-0,117	-0,263
CP013	-0,185	0,143	-0,344
CP014	-0,066	-0,321	-0,025
CP021	0,000	0,000	0,464

#### 4.5.2. Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan *Direct Georeferencing* Tanpa GCP dan Lapangan

Dari data koordinat ICP model dan lapangan pada pengolahan ini tidak dapat dihitung selisihnya. Hal itu dikarenakan *orthophoto* pada pengolahan ini tidak terbentuk dengan baik dan objek tidak dapat diinterpretasi, sehingga koodinat ICP tidak dapat diidentifikasi.

#### **4.5.3. Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan *Direct Georeferencing* + 4 GCP dan Lapangan**

Dari data koordinat ICP model dan lapangan terdapat perbedaan. Perbedaan terbesar untuk koordinat X yaitu pada CP003 terdapat perbedaan sebesar 17,940 m, CP014 sebesar 25,829 m untuk koordinat Y dan untuk koordinat Z tidak dapat dihitung selisihnya karena dalam pengolahan tidak melewati proses *Match-AT multi photo measurement* sehingga tidak menghasilkan nilai EO hasil perhitungan yang digunakan untuk uji vertikal. Jadi nilai Z dari model tidak dapat diukur.

Tabel 4. 8 Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan *Direct Georeferencing* + 4 GCP dan Lapangan

<b>Titik</b>	<b><math>\Delta X</math> (m)</b>	<b><math>\Delta Y</math> (m)</b>	<b><math>\Delta Z</math> (m)</b>
CP001	-3,354	-11,366	-
CP002	-2,061	13,784	-
CP003	17,940	15,797	-
CP005	1,430	10,753	-
CP006	3,775	13,887	-
CP011	-0,897	-14,785	-
CP012	1,025	16,269	-
CP013	-15,105	-17,403	-
CP014	0,348	25,829	-
CP021	-0,588	9,051	-

#### **4.5.4. Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan *Direct Georeferencing* + 11 GCP dan Lapangan**

Dari data koordinat ICP model dan lapangan terdapat perbedaan. Perbedaan terbesar untuk koordinat X

yaitu pada CP013 terdapat perbedaan sebesar -15,068 m, CP014 sebesar -23,217 m untuk koordinat Y dan untuk koordinat Z tidak dapat dihitung selisihnya karena dalam pengolahan tidak melewati proses *Match-AT multi photo measurement* sehingga tidak menghasilkan nilai EO hasil perhitungan yang digunakan untuk uji vertikal. Jadi nilai Z dari model tidak dapat diukur.

Tabel 4. 9 Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan *Direct Georeferencing* + 11 GCP dan Lapangan

Titik	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)
CP001	-3,346	-11,371	-
CP002	-2,037	13,789	-
CP003	6,768	-16,903	-
CP005	1,437	10,797	-
CP006	3,745	13,915	-
CP011	-0,913	-14,726	-
CP012	1,002	16,289	-
CP013	-15,068	-17,330	-
CP014	-6,374	-23,217	-
CP021	-0,591	8,999	-

#### **4.5.5. Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Gabungan Tanpa GCP dan Lapangan**

Dari data koordinat ICP model dan lapangan terdapat perbedaan. Perbedaan terbesar untuk koordinat X yaitu pada CP003 terdapat perbedaan sebesar 14,149 m, CP021 sebesar -4,353 m untuk koordinat Y dan CP003 sebesar 45,492 m untuk koordinat Z.

Tabel 4. 10 Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Gabungan Tanpa GCP dan Lapangan

<b>Titik</b>	<b><math>\Delta X</math> (m)</b>	<b><math>\Delta Y</math> (m)</b>	<b><math>\Delta Z</math> (m)</b>
CP001	0,234	3,842	44,316
CP002	-6,205	0,331	44,796
CP003	14,149	0,612	45,492
CP005	-2,560	-2,997	44,944
CP006	-0,307	0,065	44,751
CP011	3,349	-0,141	45,476
CP012	-2,936	2,388	44,756
CP013	-11,740	-2,644	45,205
CP014	6,257	2,288	45,339
CP021	-4,412	-4,353	45,121

#### **4.5.6. Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Gabungan + 4 GCP dan Lapangan**

Dari data koordinat ICP model dan lapangan terdapat perbedaan. Perbedaan terbesar untuk koordinat X yaitu pada CP021 terdapat perbedaan sebesar 0,086 m, CP005 sebesar -0,176 m untuk koordinat Y dan CP012 sebesar -0,440 m untuk koordinat Z.

Tabel 4. 11 Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Gabungan + 4 GCP dan Lapangan

<b>Titik</b>	<b><math>\Delta X</math> (m)</b>	<b><math>\Delta Y</math> (m)</b>	<b><math>\Delta Z</math> (m)</b>
CP001	0,000	0,000	-0,126
CP002	-0,035	-0,102	0,203
CP003	0,036	-0,053	0,206
CP005	0,056	-0,176	-0,140
CP006	0,043	-0,124	-0,108
CP011	0,065	0,011	-0,193

Lanjutan Tabel 4. 11 Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Gabungan + 4 GCP dan Lapangan

Titik	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)
CP012	0,016	-0,145	-0,440
CP013	-0,033	-0,110	-0,171
CP014	0,034	-0,151	0,055
CP021	0,086	-0,104	-0,243

#### **4.5.7. Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Gabungan + 11 GCP dan Lapangan**

Dari data koordinat ICP model dan lapangan terdapat perbedaan. Perbedaan terbesar untuk koordinat X yaitu pada CP003 terdapat perbedaan sebesar 0,117 m, CP014 sebesar 0,084 m untuk koordinat Y dan CP003 sebesar 0,194 m untuk koordinat Z. Dapat dilihat bahwa dari beberapa metode pengolahan, selisih nilai Z memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan selisih nilai X dan Y. Hal itu berpengaruh terhadap ketelitiannya, peta *orthophoto* yang dihasilkan selalu memiliki ketelitian horizontal yang lebih baik dibandingkan dengan ketelitian vertikal.

Tabel 4. 12 Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Gabungan + 11 GCP dan Lapangan

Titik	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)
CP001	0,030	-0,022	0,004
CP002	-0,041	-0,036	0,022
CP003	0,117	0,077	0,194
CP005	0,044	-0,072	0,065
CP006	0,044	-0,032	-0,133
CP011	0,055	0,041	0,023

Lanjutan Tabel 4. 12 Selisih Koordinat Titik ICP Model Dengan Metode Pengolahan Gabungan + 11 GCP dan Lapangan

Titik	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)
CP012	0,003	-0,054	-0,151
CP013	-0,035	-0,025	-0,192
CP014	0,000	-0,084	-0,131
CP021	0,069	-0,039	-0,079

#### **4.6. Analisa Hasil Nilai Parameter Luar Kamera (EO) Hasil AT dan DG**

Parameter Luar Kamera (EO) adalah orientasi luar kamera dalam ruang yang terdiri dari enam parameter yang menggambarkan posisi system koordinat dari kamera saat digunakan untuk melakukan pemotretan diudara. Parameter-parameter itu yakni koordinat posisi *principal point* (X, Y, Z) dan rotasi (*omega*, *phi*, *kappa*) dari titik pusat foto. Adanya parameter rotasi kamera untuk setiap foto yang dihasilkan disebabkan oleh ketidaksempurnaan posisi terbang pesawat pada saat pemotretan yang disebabkan oleh banyak faktor, salah satunya yaitu disebabkan oleh angin yang membuat pesawat tidak terbang dengan lurus. Sedangkan untuk parameter koordinat posisi kamera untuk setiap foto yang dihasilkan disebabkan karena setiap foto dilakukan pemotretan dari pesawat yang terus bergerak.

Hasil pengolahan dari kedua metode tersebut mendapatkan nilai parameter kamera yang memiliki nilai yang tidak jauh berbeda, kemudian hasil EO kedua cara tersebut dibandingkan dan dievaluasi. Hasil perbandingan bisa dilihat pada (Tabel 4.15).

Tabel 4. 13 Tabel Selisih Nilai Parameter Luar Kamera (EO)  
AT dan DG

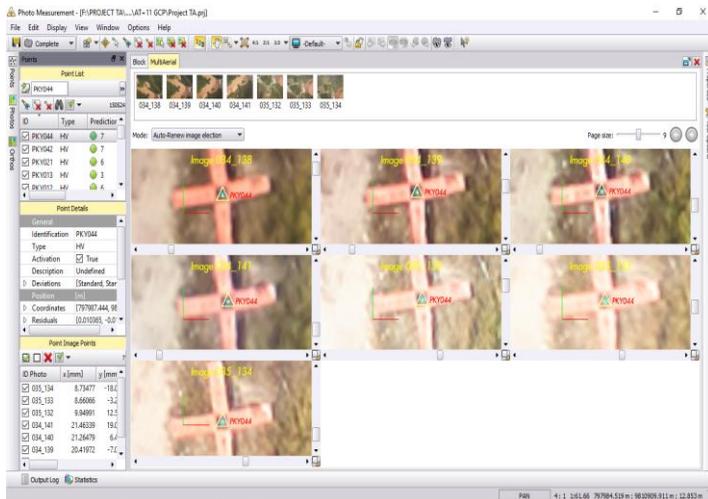
<b>ID FOTO</b>	<b>D X (m)</b>	<b>D Y (m)</b>	<b>D Z (m)</b>	<b>D <math>\omega</math> (°)</b>	<b>D <math>\phi</math> (°)</b>	<b>D <math>\kappa</math> (°)</b>
030_150	-0,286	0,719	45,185	1,050	-0,173	0,249
031_150	0,162	-0,584	45,075	-0,969	0,396	0,238
032_150	-0,545	0,640	45,434	1,043	-0,182	0,227
033_150	-0,539	0,525	45,758	1,005	-0,361	0,282
034_150	-0,365	0,648	45,306	1,031	-0,288	0,232
035_150	-0,051	-0,765	45,524	-0,995	0,307	0,195
036_150	-0,485	0,729	45,418	1,009	0,030	0,208
037_150	-0,085	-0,687	45,397	-0,986	0,352	0,239
038_150	-0,479	0,614	45,198	1,038	-0,263	0,215
039_150	0,023	-0,692	45,102	-1,010	0,260	0,225
040_150	-0,647	0,618	44,893	1,032	-0,268	0,187
041_150	0,021	-0,587	44,771	-1,014	0,276	0,200
042_150	-0,283	0,576	44,483	0,997	-0,384	0,238
043_150	0,216	-0,562	44,323	-1,015	0,282	0,169
044_150	0,054	0,621	44,426	1,020	-0,288	0,191
045_150	0,413	-0,594	44,542	-1,004	0,324	0,193
046_150	0,065	0,621	44,582	1,022	-0,275	0,166
047_150	0,645	-0,531	44,714	-1,042	0,255	0,205
048_150	0,148	0,632	44,820	1,023	-0,239	0,201
049_150	0,662	-0,436	44,922	-1,051	0,223	0,179
050_150	0,174	0,634	44,898	1,013	-0,350	0,235
051_150	0,726	-0,404	45,061	-1,022	0,325	0,241
052_150	0,562	-0,400	45,134	-1,022	0,331	0,218
053_150	-0,159	0,734	44,958	1,020	-0,240	0,229
054_150_A	-0,001	0,734	45,212	0,973	-0,387	0,211

Dari ke dua cara perhitungan EO, yaitu cara AT dan cara DG atau GPS/IMU, diperoleh analisa sebagai berikut:

- a. Ada perbedaan yang konsisten, dengan tanda yang sama, sekitar 0,2 derajat pada  $\kappa$ .
- b. Ada perbedaan yang konsisten, dengan tanda yang berbeda, yang tergantung pada arah terbang, sekitar 0,28 derajat pada  $\phi$ .
- c. Ada perbedaan yang konsisten, dengan tanda yang berbeda, yang tergantung pada arah terbang, sekitar 1 derajat pada  $\omega$ .
- d. Ada perbedaan yang konsisten, dengan tanda yang sama, sekitar 45 m pada Z. Perbedaan sebesar 45 m pada Z disebabkan karena pada EO AT tidak dilakukan pengikatan terhadap GCP namun dilakukan pengolahan dengan image matching, sedangkan EO DG dilakukan pengikatan terhadap GCP.
- e. Dengan besar dan tanda yang tergantung pada arah terbang, ada perbedaan yang konsisten pada X dan Y,
- f. Kesimpulan umum, ada konsistensi, atau beda sistematik, antara EO hasil AT dan EO hasil DG atau GPS/IMU

#### **4.7. Analisa Georeference**

*Georeferencing* adalah proses pemberian referensi geografi atau lebih mudahnya memberikan suatu sistem koordinat dari objek berupa raster atau image yang belum mempunyai acuan sistem koordinat ke dalam sistem koordinat dan proyeksi tertentu. Dalam penelitian ini proses *georeferencing* dilakukan dengan menggunakan titik kontrol (GCP) hasil pengukuran dilapangan. Proses georeferencing dilakukan pada tahap *Match-AT multi photo measurement*. Tujuan dilakukan proses ini adalah untuk mengikatkan blok foto udara yang diidentifikasi terdapat *premark* yang dipasang dilapangan yang kemudian dilakukan pengikatan terhadap koordinat titik GCP.



Gambar 4. 19 Proses *Georeferencing* pada foto

Setelah memasukkan data koordinat GCP pada foto kemudian akan didapatkan nilai *error* dari GCP. Dalam penelitian ini nilai *error* dari pergeseran GCP tidak dapat dihitung dari semua metode yang telah dilakukan, hal itu karena ada dua kasus metode yang tidak menggunakan titik ikat (GCP) dan untuk metode DG tidak dapat dilakukan perhitungan karena pada proses ini tidak dilakukan proses perhitungan perataan.

Berikut metode yang dapat dilakukan perhitungan terhadap nilai *error* dari pergeseran GCP dengan rumus sebagai berikut:

$$Error\ Total = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (4.1)$$

$$Total\ Error\ X/Y/Z = \sqrt{\frac{Point\ 1^2 + Point\ 2^2 + Point\ 3^2 \dots}{n}} \quad (4.2)$$

Dari hasil perhitungan *error georeferencing* dapat dilihat pada tabel seperti berikut:

Tabel 4. 14 *Error* pergeseran pada proses *georeferencing* metode Aerial Triangulasi

Titik	X Error (m)	Y Error (m)	Z Error (m)	Total (m)
GNM008	0,076	0,077	-0,001	0,108
PKY003	-0,035	-0,016	-0,008	0,039
PKY004	0,135	-0,007	0,000	0,136
PKY005	0,170	0,045	0,002	0,176
PKY006	-0,014	0,021	0,005	0,026
PKY007	-0,011	-0,018	0,004	0,021
PKY012	0,009	0,013	-0,005	0,017
PKY013	0,132	0,080	0,001	0,154
PKY021	0,040	0,015	0,000	0,043
PKY042	0,078	0,091	0,008	0,120
PKY044	0,010	-0,016	-0,006	0,020
Total	0,085	0,047	0,005	0,097

Hasil *georeferencing* dari model menunjukkan bahwa nilai *error* titik kontrol terbesar yaitu pada PKY005 sebesar 0,176 m sedangkan nilai *error* titik kontrol terkecil yaitu pada PKY012 sebesar 0,017 m.

Tabel 4. 15 *Error* pergeseran pada proses *georeferencing* metode gabungan dengan menggunakan 4 titik ikat (GCP)

Titik	X Error (m)	Y Error (m)	Z Error (m)	Total (m)
GNM008	-0,012	0,029	-0,001	0,031
PKY007	0,000	-0,039	-0,002	0,039
PKY013	0,025	0,038	0,002	0,046
PKY044	-0,014	-0,028	0,001	0,031
Total	0,016	0,034	0,002	0,037

Hasil *georeferencing* dari model menunjukkan bahwa nilai *error* titik kontrol terbesar yaitu pada PKY013 sebesar 0,046 m sedangkan nilai *error* titik kontrol terkecil yaitu pada PKY044 dan GNM008 sebesar 0.031 m.

Tabel 4. 16 *Error* pergeseran pada proses *georeferencing* metode gabungan dengan menggunakan 11 titik ikat (GCP)

Titik	X Error (m)	Y Error (m)	Z Error (m)	Total (m)
GNM008	-0,007	0,008	-0,001	0,011
PKY003	-0,010	0,023	-0,012	0,028
PKY004	0,032	-0,001	0,006	0,033
PKY005	-0,023	0,032	0,014	0,042
PKY006	0,002	0,007	0,001	0,007
PKY007	0,012	-0,061	-0,003	0,062
PKY012	0,010	-0,025	0,000	0,027
PKY013	0,036	0,019	0,003	0,041
PKY021	-0,016	0,049	0,013	0,053
PKY042	-0,030	0,013	-0,020	0,038
PKY044	-0,006	-0,063	-0,001	0,063
Total	0,020	0,034	0,009	0,041

Hasil *georeferencing* dari model menunjukkan bahwa nilai *error* titik kontrol terbesar yaitu pada PKY044 sebesar 0,063 m sedangkan nilai *error* titik kontrol terkecil yaitu pada PKY006 sebesar 0,007 m.

#### 4.8. Analisa Orthophoto

*Orthophoto* yang dihasilkan dalam penelitian ini yang diolah dengan menggunakan software pengolahan data foto udara (*Trimble Inpho Photogrammetry*) menggunakan metode Triangulasi Udara ditentukan oleh nilai Sigma Naught yang dihasilkan. Sigma Naught yang dihasilkan harus  $< 5\mu$

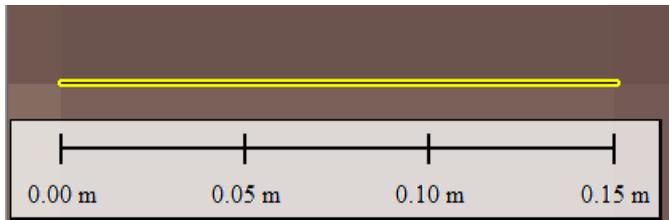
(*micron*) untuk memenuhi standart dari BIG. *Orthophoto* yang dihasilkan memiliki total *tie point* sebanyak 609.491 titik dan GSD sebesar 15 cm. Sedangkan yang menggunakan metode *Direct Georeferencing* memiliki hasil yang kurang baik meskipun sudah dilakukan pengikatan terhadap titik kontrol namun masih banyak ditemukan pergeseran (*Split*).



Gambar 4. 20 Objek jalan diperkebunan kelapa sawit yang terbentuk dengan sempurna (AT)



Gambar 4. 21 Objek jalan diperkebunan kelapa sawit yang tidak terbentuk dengan sempurna (DG)



Gambar 4. 22 GSD dari *orthophoto* sebesar 15 cm

Untuk nilai GSD dari data foto yang diperoleh dapat dibuat dengan nilai sebesar 7 cm, namun karena peta foto diperuntukkan untuk skala 1:5.000 maka dalam penelitian ini dibuat peta foto dengan nilai GSD sebesar 15 cm, selain dengan alasan karena tidak dibutuhkan ketelitian yang begitu teliti juga karena alasan ruang penyimpanan yang dibutuhkan akan lebih kecil.

Pada Gambar 4.20 dan 4.21 terlihat sangat jelas perbedaannya, pada Gambar 4.20 dilakukan pengolahan dengan metode Aerial Triangulasi, objek jalan pada perkebunan kelapa sawit tidak terdapat pergeseran. Hasil *orthophoto* sudah bagus karena foto yang dihasilkan tidak split. Nilai sigma naught sangat berpengaruh terhadap *orthophoto* yang dihasilkan, pada proses Triangulasi Udara nilai dari sigma naught yang dihasilkan sebesar  $0,8\mu$ . Tentu sudah masuk dalam standart ketentuan dari BIG yaitu kurang dari  $5\mu$ . Sedangkan pada Gambar 4.21 dilakukan pengolahan dengan metode *Direct Georeferencing*, dengan objek yang sama terlihat terdapat banyak pergeseran. Hal ini dikarenakan pada pengolahan metode *Direct Georeferencing* tidak memiliki acuan sebagai standart baik atau tidaknya seperti halnya dalam metode Aerial Triangulasi.

Pada penelitian ini dihasilkan peta *orthophoto* yang memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan skala 1:1.000 untuk metode Triangulasi Udara dan Gabungan. Sedangkan pada proyek foto udara biasanya membutuhkan peta foto dengan skala 1:5.000.

#### 4.9. Uji Akurasi Horizontal dan Vertikal

Uji akurasi horizontal dan vertikal pada penelitian ini adalah menghitung ketelitian geometri baik horizontal maupun vertikal yang mengacu kepada Perka BIG No. 15 Tahun 2014. Pengujian ketelitian posisi mengacu pada perbedaan koordinat (X, Y, Z) antara titik uji pada gambar atau peta dengan lokasi sesungguhnya dari titik uji pada permukaan tanah. Pengukuran akurasi menggunakan *root mean square error* (RMSE) atau *circular error*. Pada pemetaan dua dimensi yang perlu diperhitungkan adalah koordinat (X, Y) titik uji dan posisi sebenarnya di lapangan.

Nilai ketelitian posisi peta dasar adalah nilai CE90 untuk ketelitian horizontal dan LE90 untuk ketelitian vertikal yang berarti bahwa kesalahan posisi horizontal (X, Y) dan vertikal (Z) pada peta tersebut tidak melebihi nilai ketelitian dengan tingkat kepercayaan sebesar 90%. Ukuran ketelitian geometric didefinisikan sebagai radius lingkaran yang menunjukkan 90% kesalahan atau perbedaan posisi objek di peta dengan posisi yang dianggap benar tidak lebih besar dari radius tersebut.

Nilai CE90 dapat diperoleh dengan rumus yang mengacu kepada standar USNMAS (*United States National Map Accuracy Standards*) adalah sebagai berikut:

$$CE90 = 1,5175 \times RMSEr \quad (4.3)$$

$$LE90 = 1,6499 \times RMSEz \quad (4.4)$$

Dengan:

RMSEr	: Root Mean Square Error pada posisi x dan y (horizontal)
RMSEz	: Root Mean Square Error pada posisi z (vertikal)
CE90	: Ukuran Ketelitian Geometrik Horizontal
LE90	: Ukuran Ketelitian Geometrik Vertikal

Analisis akurasi posisi menggunakan *root mean square error* (RMSE), yang menggambarkan nilai perbedaan antara titik uji dengan titik sebenarnya. RMSE digunakan untuk menggambarkan akurasi meliputi kesalahan random dan sistematis. Nilai RMSE dirumuskan sebagai berikut:

$$RMSE_r = \sqrt{D^2/n} \quad (4.5)$$

$$D^2 = RMSE_x^2 + RMSE_y^2 \quad (4.6)$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{(Z_{data} - Z_{cek})^2}{n}} \quad (4.7)$$

Keterangan:

- n : Jumlah total pengecekan pada peta
- D : Selisih antara koordinat yang diukur dilapangan dengan koordinat di peta
- x : Nilai koordinat pada sumbu X
- y : Nilai koordinat pada sumbu Y
- z : Nilai koordinat pada sumbu Z

Dalam penelitian ini memiliki target skala yang diharapkan untuk peta *orthophoto* yang dihasilkan dari semua metode yaitu dengan skala 1:5.000.

#### **4.9.1. Uji Akurasi Horizontal/Vertikal Orthophoto Menggunakan Metode Aerial Triangulasi Dengan Titik Kontrol (GCP) Sebanyak 11 Titik**

Setelah dilakukan perhitungan terhadap akurasi dari *orthophoto* yang dihasilkan didapatkan nilai sebesar 0,297 meter untuk nilai akurasi horizontal dan 0,482 meter untuk nilai akurasi vertikal. Kemudian dari ketelitian yang didapatkan dilakukan uji ketelitian menurut Perka BIG No. 15 Tahun 2014 tentang pedoman teknis ketelitian peta dasar seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. 17 Uji CE90 Skala 1:1.000

Ketelitian	Hasil Uji CE 90 (meter)	Ketelitian Peta Skala 1:1.000		
		Kelas 1 (meter)	Kelas 2 (meter)	Kelas 3 (meter)
Horizontal	0,297	0,2	0,3	0,5

Dari hasil pengujian CE90, peta foto yang dihasilkan tersebut memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian horizontal skala 1:1.000 kelas 2.

Tabel 4. 18 Uji LE90 Skala 1:1.000

Ketelitian	Hasil Uji LE 90 (meter)	Ketelitian Peta Skala 1:1.000		
		Kelas 1 (meter)	Kelas 2 (meter)	Kelas 3 (meter)
Vertikal	0,482	0,2	0,3	0,5

Sedangkan dari hasil pengujian LE90, peta foto yang dihasilkan tersebut memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian vertikal skala 1:1.000 kelas 3.

Karena peta *orthophoto* yang dihasilkan dari metode ini memenuhi skala 1:1.000 untuk ketelitian horizontal dan vertikal, maka metode ini telah memenuhi target skala yang diharapkan.

#### **4.9.2. Uji Akurasi Horizontal/Vertikal *Orthophoto* Menggunakan Metode *Direct Georeferencing* Tanpa Menggunakan Titik Ikat (GCP)**

Setelah dilakukan perhitungan terhadap akurasi dari *orthophoto* yang dihasilkan didapatkan nilai sebesar - meter untuk nilai akurasi horizontal dan - meter untuk nilai

akurasi vertikal. Kemudian dari ketelitian yang didapatkan dilakukan uji ketelitian menurut Perka BIG No. 15 Tahun 2014 tentang pedoman teknis ketelitian peta dasar seperti pada tabel berikut:

Dari hasil pengujian CE90 dan LE90, peta foto yang dihasilkan tersebut tidak memenuhi standar ketelitian peta dasar karena peta tidak terbentuk dengan sempurna sehingga tidak dapat dilakukan pengujian. Maka metode ini juga tidak memenuhi target skala yang diinginkan.

#### **4.9.3. Uji Akurasi Horizontal/Vertikal Orthophoto Menggunakan Metode Direct Georeferencing Menggunakan 4 Titik Ikat (GCP)**

Setelah dilakukan perhitungan terhadap akurasi dari *orthophoto* yang dihasilkan didapatkan nilai sebesar 26,269 meter untuk nilai akurasi horizontal dan - meter untuk nilai akurasi vertikal. Kemudian dari ketelitian yang didapatkan dilakukan uji ketelitian menurut Perka BIG No. 15 Tahun 2014 tentang pedoman teknis ketelitian peta dasar seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. 19 Uji CE90 Skala 1:100.000

Ketelitian	Hasil Uji CE 90 (meter)	Ketelitian Peta Skala 1:100.000		
		Kelas 1 (meter)	Kelas 2 (meter)	Kelas 3 (meter)
Horizontal	26,269	20	30	50

Dari hasil pengujian CE90, peta foto yang dihasilkan tersebut memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian horizontal skala 1:100.000 kelas 2.

Sedangkan untuk pengujian LE90, peta foto yang dihasilkan tersebut tidak dapat dilakukan pengujian karena tidak menghasilkan nilai EO hasil AT yang nantinya

diperlukan untuk membentuk model stereo. Hal itu menyebabkan tidak dapat dilakukan pengujian terhadap akurasi vertikal.

Karena peta *orthophoto* yang dihasilkan dari metode ini memenuhi skala 1:100.000 untuk ketelitian horizontal, maka metode ini tidak memenuhi target skala yang diharapkan.

#### **4.9.4. Uji Akurasi Horizontal/Vertikal Orthophoto Menggunakan Metode Direct Georeferencing Dengan Menggunakan 11 Titik Ikat (GCP)**

Setelah dilakukan perhitungan terhadap akurasi dari *orthophoto* yang dihasilkan didapatkan nilai sebesar 24,773 meter untuk nilai akurasi horizontal dan - meter untuk nilai akurasi vertikal. Kemudian dari ketelitian yang didapatkan dilakukan uji ketelitian menurut Perka BIG No. 15 Tahun 2014 tentang pedoman teknis ketelitian peta dasar seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. 20 Uji CE90 Skala 1:50.000

Ketelitian	Hasil Uji CE 90 (meter)	Ketelitian Peta Skala 1:50.000		
		Kelas 1 (meter)	Kelas 2 (meter)	Kelas 3 (meter)
Horizontal	24,773	10	15	25

Dari hasil pengujian CE90, peta foto yang dihasilkan tersebut memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian horizontal skala 1:50.000 kelas 3.

Sedangkan untuk pengujian LE90, peta foto yang dihasilkan tersebut tidak dapat dilakukan pengujian karena tidak menghasilkan nilai EO hasil AT yang nantinya diperlukan untuk membentuk model stereo. Hal itu menyebabkan tidak dapat dilakukan pengujian terhadap akurasi vertikal.

Karena peta *orthophoto* yang dihasilkan dari metode ini memenuhi skala 1:50.000 untuk ketelitian horizontal, maka metode ini tidak memenuhi target skala yang diharapkan.

#### **4.9.5. Uji Akurasi Horizontal/Vertikal Orthophoto Menggunakan Metode Gabungan Tanpa Menggunakan Titik Ikat (GCP)**

Setelah dilakukan perhitungan terhadap akurasi dari *orthophoto* yang dihasilkan didapatkan nilai sebesar 10,972 meter untuk nilai akurasi horizontal dan 74,280 meter untuk nilai akurasi vertikal. Kemudian dari ketelitian yang didapatkan dilakukan uji ketelitian menurut Perka BIG No. 15 Tahun 2014 tentang pedoman teknis ketelitian peta dasar seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. 21 Uji CE90 Skala 1:25.000

Ketelitian	Hasil Uji CE 90 (meter)	Ketelitian Peta Skala 1:25.000		
		Kelas 1 (meter)	Kelas 2 (meter)	Kelas 3 (meter)
Horizontal	10,972	5	7,5	12,5

Dari hasil pengujian CE90, peta foto yang dihasilkan tersebut memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian horizontal skala 1:25.000 kelas 3.

Tabel 4. 22 Uji LE90 Skala 1:250.000

Ketelitian	Hasil Uji LE 90 (meter)	Ketelitian Peta Skala 1:250.000		
		Kelas 1 (meter)	Kelas 2 (meter)	Kelas 3 (meter)
Vertikal	74,280	50	75	125

Sedangkan dari hasil pengujian LE90, peta foto yang dihasilkan tersebut memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian vertikal skala 1:250.000 kelas 2.

Karena peta *orthophoto* yang dihasilkan dari metode ini memenuhi skala 1:250.000 untuk ketelitian horizontal dan vertikal, maka metode ini tidak memenuhi target skala yang diharapkan.

#### **4.9.6. Uji Akurasi Horizontal/Vertikal Orthophoto Menggunakan Metode Gabungan Dengan Menggunakan 4 Titik Ikat (GCP)**

Setelah dilakukan perhitungan terhadap akurasi dari *orthophoto* yang dihasilkan didapatkan nilai sebesar 0,184 meter untuk nilai akurasi horizontal dan 0,351 meter untuk nilai akurasi vertikal. Kemudian dari ketelitian yang didapatkan dilakukan uji ketelitian menurut Perka BIG No. 15 Tahun 2014 tentang pedoman teknis ketelitian peta dasar seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. 23 Uji CE90 Skala 1:1.000

Ketelitian	Hasil Uji CE 90 (meter)	Ketelitian Peta Skala 1:1.000		
		Kelas 1 (meter)	Kelas 2 (meter)	Kelas 3 (meter)
Horizontal	0,184	0,2	0,3	0,5

Dari hasil pengujian CE90, peta foto yang dihasilkan tersebut memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian horizontal skala 1:1.000 kelas 1.

Tabel 4. 24 Uji LE90 Skala 1:1.000

Ketelitian	Hasil Uji LE 90 (meter)	Ketelitian Peta Skala 1:1.000		
		Kelas 1 (meter)	Kelas 2 (meter)	Kelas 3 (meter)
Vertikal	0,351	0,2	0,3	0,5

Sedangkan dari hasil pengujian LE90, peta foto yang dihasilkan tersebut memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian vertikal skala 1:1.000 kelas 3.

Karena peta *orthophoto* yang dihasilkan dari metode ini memenuhi skala 1:1.000 untuk ketelitian horizontal dan vertikal, maka metode ini telah memenuhi target skala yang diharapkan.

#### **4.9.7. Uji Akurasi Horizontal/Vertikal Orthophoto Menggunakan Metode Gabungan Dengan Menggunakan 11 Titik Ikat (GCP)**

Setelah dilakukan perhitungan terhadap akurasi dari *orthophoto* yang dihasilkan didapatkan nilai sebesar 0,115 meter untuk nilai akurasi horizontal dan 0,198 meter untuk nilai akurasi vertikal. Kemudian dari ketelitian yang didapatkan dilakukan uji ketelitian menurut Perka BIG No. 15 Tahun 2014 tentang pedoman teknis ketelitian peta dasar seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. 25 Uji CE90 Skala 1:1.000

Ketelitian	Hasil Uji CE 90 (meter)	Ketelitian Peta Skala 1:1.000		
		Kelas 1 (meter)	Kelas 2 (meter)	Kelas 3 (meter)
Horizontal	0,115	0,2	0,3	0,5

Dari hasil pengujian CE90, peta foto yang dihasilkan tersebut memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian horizontal skala 1:1.000 kelas 1.

Tabel 4. 26 Uji LE90 Skala 1:1.000

Ketelitian	Hasil Uji LE 90 (meter)	Ketelitian Peta Skala 1:1.000		
		Kelas 1 (meter)	Kelas 2 (meter)	Kelas 3 (meter)
Vertikal	0,198	0,2	0,3	0,5

Sedangkan dari hasil pengujian LE90, peta foto yang dihasilkan tersebut memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan ketelitian vertikal skala 1:1.000 kelas 1.

Karena peta *orthophoto* yang dihasilkan dari metode ini memenuhi skala 1:1.000 untuk ketelitian horizontal dan vertikal, maka metode ini telah memenuhi target skala yang diharapkan.

Dalam penelitian ini memiliki target skala yang diharapkan untuk peta *orthophoto* yaitu skala 1:5.000 untuk semua metode pengolahan. Dari hasil analisa ketelitian berdasarkan Perka BIG No. 15 Tahun 2014 tentang pedoman teknis ketelitian peta dasar. Berikut adalah tabel kesesuaian dengan target skala yang diharapkan:

Tabel 4. 27 Kesesuaian Skala Dengan Target Yang Diharapkan

Metode	Skala yang dihasilkan		Hasil Analisa
	Horizontal	Vertikal	
Aerial Triangulasi	1:1.000	1:1.000	Memenuhi
DG Tanpa GCP	-	-	Tidak Memenuhi

Lanjutan Tabel 4. 27 Kesesuaian Skala Dengan Target Yang Diharapkan

Metode	Skala yang dihasilkan		Hasil Analisa
	Horizontal	Vertikal	
DG Dengan 4 GCP	1:100.000	-	Tidak Memenuhi
DG Dengan 11 GCP	1:50.000	-	Tidak Memenuhi
Gabungan Tanpa GCP	1:25.000	1:250.000	Tidak Memenuhi
Gabungan Dengan 4 GCP	1:1.000	1:1.000	Memenuhi
Gabungan Dengan 11 GCP	1:1.000	1:1.000	Memenuhi

Dapat dilihat dari (tabel 4.27) bahwa dalam penelitian ini yang memenuhi target skala yang diharapkan yaitu peta *orthophoto* hasil pengolahan dengan metode Aerial Triangulasi, Gabungan dengan 4 dan 11 GCP.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Peta *orthophoto* yang dihasilkan dengan menggunakan metode Aerial Triangulasi sudah sangat baik, tidak ditemukannya pergeseran antar foto, tekstur dan detil objek sangat jelas karena peta foto yang dihasilkan memiliki GSD sebesar 15 cm dan dapat dengan mudah untuk melakukan interpretasi terhadap objek, bentuk dan warna yang dihasilkan juga sudah sesuai dengan kondisi di lapangan, bayangan juga terbentuk dengan baik sehingga dapat dengan mudah untuk dilakukan interpretasi terhadap ketinggian objek. Sedangkan untuk peta *orthophoto* yang dihasilkan dengan metode *Direct Georeferencing* secara umum sama dengan metode sebelumnya, namun pada peta foto ini masih banyak ditemukan pergeseran (*split*) antar foto sehingga peta foto yang dihasilkan memiliki detil dan ketelitian yang kurang baik. Pergeseran (*split*) antar foto disebabkan karena masih terdapat paralaks pada suatu model foto.
2. Nilai *Exterior Orientation* dari kedua metode tersebut mendapatkan nilai yang tidak jauh berbeda, terdapat konsistensi atau beda sistematik antara EO hasil AT dan EO hasil DG dengan selisih terbesar dari sampel nilai EO pada X sebesar 0,726 meter pada sampel nomor 22, Y sebesar -0,765 meter pada sampel nomor 6, Z sebesar 45,758 meter pada sampel nomor 4,  $\omega$  sebesar -1,051 derajat pada sampel nomor 20,  $\phi$  sebesar 0,396 derajat pada sampel nomor 2, dan  $\kappa$  sebesar 0,282 derajat pada sampel nomor 4. Pada nilai Z terdapat selisih yang cukup besar yaitu lebih dari 45 meter, hal itu disebabkan karena pada EO AT tidak dilakukan pengikatan terhadap GCP namun dilakukan pengolahan dengan image matching, sedangkan

EO DG dilakukan pengikatan terhadap GCP.

3. Nilai ketelitian horizontal dari peta *orthophoto* yang dihasilkan dengan metode Aerial Triangulasi yaitu sebesar 0,297 meter dan 0,482 meter untuk ketelitian vertikal, sedangkan untuk metode *Direct Georeferencing* dilakukan pengolahan dengan tiga cara yaitu:
  - a. Tanpa GCP: Nilai ketelitian dari metode *Direct Georeferencing* tanpa GCP tidak dapat dilakukan karena hasil *orthophoto* tidak terbentuk dengan sempurna sehingga tidak dapat dilakukan interpretasi terhadap objek.
  - b. Empat GCP: dengan empat GCP mendapatkan nilai ketelitian horizontal sebesar 26,269 meter.
  - c. Sebelas GCP: dengan sebelas GCP mendapatkan nilai ketelitian horizontal sebesar 24,773 meter.

Untuk nilai ketelitian vertikal dari metode *Direct Georeferencing* tidak dapat dilakukan karena tidak dapat dibuat model stereo dari metode ini. Pembuatan model stereo dapat dilakukan apabila paralaks dihilangkan, karena metode DG tidak dapat menghilangkan paralaks maka model stereo dari metode ini tidak dapat dibuat. Ketelitian peta *orthophoto* hasil pengolahan metode DG memiliki ketelitian yang rendah karena untuk ketelitian horizontal masih diangka 26 meter. Dari nilai tersebut maka metode DG tidak dapat digunakan untuk pembuatan peta *orthophoto*, metode DG hanya dapat digunakan untuk rektifikasi.

4. Hasil ketelitian peta *orthophoto* dengan menggunakan metode Aerial Triangulasi telah memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan skala 1:1.000 kelas 2 untuk ketelitian horizontal, dan vertikal skala 1:1.000 kelas 3, sedangkan metode *Direct Georeferencing* dilakukan pengolahan dengan tiga cara yaitu:
  - a. Tanpa GCP: tidak memenuhi standar ketelitian peta dasar karena peta tidak terbentuk dengan sempurna

sehingga tidak dapat dilakukan pengujian.

- b. Empat GCP: telah memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan skala 1:100.000 kelas 2 untuk ketelitian horizontal.
- c. Sebelas GCP: telah memenuhi standar ketelitian peta dasar masing masing dengan skala 1:50.000 kelas 3 untuk ketelitian horizontal.

Untuk ketelitian vertikal pada metode *Direct Georeferencing* tidak dapat dilakukan pengujian karena tidak menghasilkan nilai EO hasil AT yang nantinya diperlukan untuk membentuk model stereo. Untuk metode DG, peta yang dihasilkan tidak memenuhi target skala yang diharapkan. Karena pada penelitian ini diharapkan peta dapat memenuhi standar ketelitian peta dasar dengan skala 1:5.000.

## 5.2. Saran

Berdasarkan hasil dan kesimpulan yang didapatkan pada penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya terkait penelitian menggunakan metode *Direct Georeferencing* adalah sebagai berikut:

1. Pada saat melakukan pengolahan dengan menggunakan metode *Direct Georeferencing* lebih baik menggunakan data yang sudah dilakukan kalibrasi alat terlebih dahulu pada saat pengambilan data dilapangan, agar mendapatkan nilai EO yang lebih baik.
2. Dalam melakukan metode *automatic tie point*, sebaiknya *tie point* yang dihasilkan tetap dilakukan pengecekan ulang terhadap nilai residualnya agar *tie point* yang memiliki nilai residual tinggi dapat diminimalisir dan nantinya akan didapatkan ketelitian pengolahan yang baik.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. 2006. "Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya". Jakarta: Pradnya Pramita.
- Aristia, N. 2014. "Pemodelan 3D Kawasan Cagar Budaya Menggunakan Fotogrametri Jarak Dekat Kombinasi Data Foto Terestris dan Foto Udara (Studi Kasus Kawasan Candi Sambisari-Yogyakarta)". Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- BIG. 2014. "Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial: Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar". Bogor.
- Duantari, N. 2017. "Analisis Perbandingan DTM (Digital Terrain Model) dari LiDAR (Light Detection and Ranging) dan Foto Udara dalam Pembuatan Kontur Peta Rupa Bumi Indonesia". Surabaya: Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Gabrlik, dkk. 2018. "*Calibration And Accuracy Assessment In A Direct Georeferencing System For UAS Photogrammetry*". Brno, Czech Republic: Brno University of Technology.
- Gabrlik, P. 2015. "*The Use of Direct Georeferencing in Aerial Photogrammetry with Micro UAV*". Brno, Czech Republic: Brno University of Technology.
- Harnanto, J. 2012. "Evaluasi Ketelitian Elevasi Hasil Akuisisi Airbone Laser Scanning dengan Pengukuran Topografi Menggunakan Total Station pada Daerah Tambang Batubara". Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Hendy, I. N. 2014. "Pembuatan Model Tiga Dimensi Candi Gebang Menggunakan Metode Fotogrametri Jarak Dekat". Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Indra, H. G. 2012. "Pembuatan Peta Foto Menggunakan Wahana Udara Tanpa Awak Lokasi Minas Provinsi Riau PT. Chevron Pacific Indonesia". Yogyakarta: Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

- Ip, dkk. 2007. "Performance Analysis of Integrated Sensor Orientation". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* (1):73.
- Jacobsen, K. 2004. "Direct Integrated Sensor Orientation – Pros and Cons". Invited Paper ISPRS.
- Kiraci, A. C. 2008. "*Direct Georeferencing And Orthorectification Of Airborne Digital Images*". Geodetic and Geographic Information Technologies Department, Middle East Technical University.
- Madani, dan Mostafa. 2001. "Integrated Sensor Orientation ISAT Direct Exterior Orientation QA/QC Strategy Using POS Data". *Proc. of OEEPE Workshop*. Hanover, Germany.
- Mostafa, dan Hutton. 2001. "Airborne *Direct Georeferencing* of Frame Imagery: An Error Budget". *The 3rd International Symposium on Mobile Mapping Technology*. Cairo. Egypt.
- Mostafa, dan Hutton. 2001. "Direct Positioning and Orientation Systems, How Do They Work? What is The Attainable Accuracy?". *Proc. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing Annual Meeting*. USA.
- Naula, S. 2016. "Husna Penggunaan Parameter Orientasi Eksternal (Eo) Untuk Optimalisasi Digital Triangulasi Fotogrametri Untuk Keperluan Ortofoto". Semarang: Universitas Diponegoro.
- Popescu, dkk. 2015. "*Direct Georeferencing Application Of Aerial Photogrammetry Using A Gnss/Imu/Sensor System*". Romania: University of Agronomic Sciences & Veterinary Medicine of Bucharest.
- Rizaldy, dkk. 2012. "*Direct Georeferencing: A New Standard In Photogrammetry For High Accuracy Mapping*". Cibinong. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXIX-B1, 2012 XXII ISPRS Congress 2012*. Melbourne Australia.
- Rochmadi, S. 1993. "Perkembangan Teknologi Pemetaan dan Kaitannya dengan Pendidikan". Cakrawala Pendidikan Nomor 1 Tahun XII.

- Rokhim, W. N. 2014. "Triangulasi Udara". <URL: <http://geospasial.net/2014/03/triangulasi-udara/>>. Dikunjungi pada 11 Oktober 2018. Pukul 18.20 WIB.
- Scroth, R. 2004. "Direct Geo-Referencing in Practical Application". *International Federation of Survey*.
- Skaloud, J. 2007. "Reliability of *Direct Georeferencing* – Beyond the Achilles' Heel of Modern Airborne Mapping". *Photogrammetric Week 7*.
- Subiyanto, S. 2007. "Konsep Dasar Pemetaan Fotogrametri". Semarang: Universitas Diponegoro.
- Suharsana. 1997. "Fotogrametri Dasar". Yogyakarta: Teknik Geodesi, Universitas Gadjah Mada.
- Susetyo, D. B. 2018. "Analisis Akurasi Pemetaan Menggunakan *Direct Georeferencing*". Cibinong: Badan Informasi Geospasial.
- Sutanto. 1994. "Penginderaan Jauh Jilid 2". Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Wolf, P. R. 1993. "Elemen Fotogrametri dengan Interpretasi Foto Udara dan Penginderaan Jauh, Penerjemah: Gunadi, Gunawan, T., Zuharnen, Edisi kedua". Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Zhang, Y. 2013. "*Direct Georeferencing* of airborne LiDAR data in national coordinates". China: Wuhan University.
- Dzakwan, S. 2019. "Rencana Pemindahan Ibu Kota, Pemprov Kalteng Siapkan Lahan Seluas 300 Ribu Hektar Di Palangkaraya". Okenews. Dikunjungi pada 16 Juli 2019. Pukul 21.00 WIB.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Dokumentasi Foto Proses Pengolahan Data



Gambar 1. Proses Pengolahan Data Foto Udara



Gambar 2. Proses Uji Akurasi Vertikal Dengan Model Stereo

**Lampiran 2 Dokumentasi Foto Pengukuran GCP**

Gambar 3. Pengukuran koordinat titik PKY 23

### Lampiran 3 Dokumentasi Foto Pengukuran ICP



Gambar 4. Pengukuran koordinat titik CP 32

## Lampiran 4 Dokumentasi Foto Saat Di PT. Waindo Specterra Indonesia



Gambar 5. Foto bersama dengan *President Commisary*, *President Director*, dan Pembimbing TA



Gambar 6. Foto bersama anak SMK yang sedang magang



Gambar 7. Foto bersama karyawan divisi fotogrametri dan anak magang

## Lampiran 5 Uji Ketelitian Horizontal (CE90)

Tabel 1. Ketelitian Horizontal Peta *Orthophoto* Metode AT+11GCP

FORM.AK		FORM.AK								
		UJI KETELTIAN HORIZONTAL								
		Pemotretan Udara dalam Rangka Pembuatan Peta Dasar Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah								
		AT+11 GCP								
Nomor Titik	Nama Titik	X	X	(D X)	(D X) <sup>2</sup>	Y	Y	(D Y)	(D Y) <sup>2</sup>	(D X) <sup>2</sup> + (D Y) <sup>2</sup>
		(Koordinat ICP)	(Koordinat Mosaik Ortofoto)			(Koordinat ICP)	(Koordinat Mosaik Ortofoto)			
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	CP 001	791500,991	791500,874	-0,116	0,014	9824693,668	9824693,443	-0,225	0,051	0,064
2	CP 002	793649,027	793649,027	0,000	0,000	9822761,187	9822761,187	0,000	0,000	0,000
3	CP 003	796708,888	796708,888	0,000	0,000	9817710,733	9817710,733	0,000	0,000	0,000
4	CP 005	793720,438	793720,356	-0,082	0,007	9815139,2	9815139,033	-0,167	0,028	0,035
5	CP 006	792885,106	792885,082	-0,024	0,001	9819433,813	9819433,736	-0,077	0,006	0,006
6	CP 011	797865,326	797865,527	0,201	0,040	9814966,539	9814966,47	-0,069	0,005	0,045
7	CP 012	791010,001	791009,765	-0,236	0,056	9811505,699	9811505,582	-0,117	0,014	0,069
8	CP 013	793144,345	793144,160	-0,185	0,034	9807865,773	9807865,916	0,143	0,020	0,055
9	CP 014	796694,393	796694,327	-0,066	0,004	9809858,791	9809858,47	-0,321	0,103	0,107
10	CP 021	794575,469	794575,469	0,000	0,000	9810914,157	9810914,157	0,000	0,000	0,000
									<b>Jumlah</b>	0,382
									<b>Rata-Rata</b>	0,038
									<b>RMSE</b>	0,195
									<b>Akurasi</b>	0,297

Tabel 2. Ketelitian Horisontal Peta *Orthophoto* Metode DG+AT TANPA GCP

FORM.AK		FORM.AK								
		UJI KETELTIAN HORIZONTAL								
		Pemotretan Udara dalam Rangka Pembuatan Peta Dasar Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah								
		DG+AT TANPA GCP								
Nomor Titik	Nama Titik	X	X	(D X)	(D X) <sup>2</sup>	Y	Y	(D Y)	(D Y) <sup>2</sup>	(D Y) <sup>2</sup> + (D Y) <sup>2</sup>
		(Koordinat ICP)	(Koordinat Mosaik Ortofoto)			(Koordinat ICP)	(Koordinat Mosaik Ortofoto)			
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	CP 001	791500,991	791501,225	0,234	0,055	9824693,668	9824697,51	3,842	14,765	14,819
2	CP 002	793649,027	793642,822	-6,205	38,506	9822761,187	9822761,518	0,331	0,110	38,616
3	CP 003	796708,888	796723,037	14,149	200,191	9817710,733	9817711,345	0,612	0,375	200,565
4	CP 005	793720,438	793717,878	-2,560	6,551	9815139,2	9815136,203	-2,997	8,983	15,535
5	CP 006	792885,106	792884,799	-0,307	0,094	9819433,813	9819433,878	0,065	0,004	0,099
6	CP 011	797865,326	797868,675	3,349	11,219	9814966,539	9814966,398	-0,141	0,020	11,239
7	CP 012	791010,001	791007,065	-2,936	8,618	9811505,699	9811508,087	2,388	5,701	14,319
8	CP 013	793144,345	793132,605	-11,740	137,819	9807865,773	9807863,129	-2,644	6,989	144,808
9	CP 014	796694,393	796700,650	6,257	39,149	9809858,791	9809861,079	2,288	5,236	44,384
10	CP 021	794575,469	794571,057	-4,412	19,462	9810914,157	9810909,804	-4,353	18,949	38,411
									<b>Jumlah</b>	522,795
									<b>Rata-Rata</b>	52,280
									<b>RMSE</b>	7,230
									<b>Akurasi</b>	10,972

Tabel 3. Ketelitian Horisontal Peta *Orthophoto* Metode DG+AT+4 GCP

FORM.AK		FORM.AK								
		UJI KETELTIAN HORIZONTAL								
		Pemotretan Udara dalam Rangka Pembuatan Peta Dasar Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah								
		DG+AT+4 GCP								
Nomor Titik	Nama Titik	X	X	(D X)	(D X) <sup>2</sup>	Y	Y	(D Y)	(D Y) <sup>2</sup>	(D X) <sup>2</sup> + (D Y) <sup>2</sup>
		(Koordinat ICP)	(Koordinat Mosaik Ortofoto)			(Koordinat ICP)	(Koordinat Mosaik Ortofoto)			
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	CP 001	791500,991	791500,991	0,000	0,000	9824693,668	9824693,668	0,000	0,000	0,000
2	CP 002	793649,027	793648,992	-0,035	0,001	9822761,187	9822761,085	-0,102	0,010	0,012
3	CP 003	796708,888	796708,924	0,036	0,001	9817710,733	9817710,68	-0,053	0,003	0,004
4	CP 005	793720,438	793720,494	0,056	0,003	9815139,2	9815139,024	-0,176	0,031	0,034
5	CP 006	792885,106	792885,149	0,043	0,002	9819433,813	9819433,689	-0,124	0,015	0,017
6	CP 011	797865,326	797865,391	0,065	0,004	9814966,539	9814966,55	0,011	0,000	0,004
7	CP 012	791010,001	791010,017	0,016	0,000	9811505,699	9811505,554	-0,145	0,021	0,021
8	CP 013	793144,345	793144,312	-0,033	0,001	9807865,773	9807865,663	-0,110	0,012	0,013
9	CP 014	796694,393	796694,426	0,034	0,001	9809858,791	9809858,64	-0,151	0,023	0,024
10	CP 021	794575,469	794575,555	0,086	0,007	9810914,157	9810914,053	-0,104	0,011	0,018
									<b>Jumlah</b>	0,148
									<b>Rata-Rata</b>	0,015
									<b>RMSE</b>	0,122
									<b>Akurasi</b>	0,184

Tabel 4. Ketelitian Horisontal Peta *Orthophoto* Metode DG+AT+11 GCP

FORM.AK		FORM.AK								
		UJI KETELTIAN HORIZONTAL								
		Pemotretan Udara dalam Rangka Pembuatan Peta Dasar Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah								
		DG+AT+11 GCP								
Nomor Titik	Nama Titik	X	X	(D X)	(D X) <sup>2</sup>	Y	Y	(D Y)	(D Y) <sup>2</sup>	(D X) <sup>2</sup> + (D Y) <sup>2</sup>
		(Koordinat ICP)	(Koordinat Mosaik Ortofoto)			(Koordinat ICP)	(Koordinat Mosaik Ortofoto)			
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	CP 001	791500,991	791501,021	0,030	0,001	9824693,668	9824693,646	-0,022	0,000	0,001
2	CP 002	793649,027	793648,986	-0,041	0,002	9822761,187	9822761,151	-0,036	0,001	0,003
3	CP 003	796708,888	796709,005	0,117	0,014	9817710,733	9817710,81	0,077	0,006	0,020
4	CP 005	793720,438	793720,482	0,044	0,002	9815139,2	9815139,128	-0,072	0,005	0,007
5	CP 006	792885,106	792885,150	0,044	0,002	9819433,813	9819433,781	-0,032	0,001	0,003
6	CP 011	797865,326	797865,381	0,055	0,003	9814966,539	9814966,58	0,041	0,002	0,005
7	CP 012	791010,001	791010,004	0,003	0,000	9811505,699	9811505,645	-0,054	0,003	0,003
8	CP 013	793144,345	793144,310	-0,035	0,001	9807865,773	9807865,748	-0,025	0,001	0,002
9	CP 014	796694,393	796694,393	0,000	0,000	9809858,791	9809858,707	-0,084	0,007	0,007
10	CP 021	794575,469	794575,538	0,069	0,005	9810914,157	9810914,118	-0,039	0,002	0,006
									<b>Jumlah</b>	0,057
									<b>Rata-Rata</b>	0,006
									<b>RMSE</b>	0,076
									<b>Akurasi</b>	0,115

Tabel 5. Ketelitian Horisontal Peta *Orthophoto* Metode DG TANPA AT+4 GCP

FORM.AK		FORM.AK								
		UJI KETELTIAN HORIZONTAL								
		Pemotretan Udara dalam Rangka Pembuatan Peta Dasar Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah								
		DG TANPA AT+4 GCP								
Nomor Titik	Nama Titik	X	X	(D X)	(D X) <sup>2</sup>	Y	Y	(D Y)	(D Y) <sup>2</sup>	(D X) <sup>2</sup> + (D Y) <sup>2</sup>
		(Koordinat ICP)	(Koordinat Mosaik Ortofoto)			(Koordinat ICP)	(Koordinat Mosaik Ortofoto)			
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	CP 001	791500,875	791497,637	-3,354	11,249	9824693,668	9824682,302	-11,366	129,186	140,435
2	CP 002	793648,843	793646,966	-2,061	4,248	9822761,187	9822774,971	13,784	189,999	194,246
3	CP 003	796708,515	796726,828	17,940	321,844	9817710,733	9817726,53	15,797	249,545	571,389
4	CP 005	793720,438	793721,868	1,430	2,045	9815139,2	9815149,953	10,753	115,627	117,672
5	CP 006	792885,106	792888,881	3,775	14,251	9819433,813	9819447,7	13,887	192,849	207,099
6	CP 011	797865,339	797864,429	-0,897	0,805	9814966,539	9814951,754	-14,785	218,596	219,401
7	CP 012	791010,001	791011,026	1,025	1,051	9811505,699	9811521,968	16,269	264,680	265,731
8	CP 013	793144,049	793129,24	-15,105	228,161	9807865,773	9807848,37	-17,403	302,864	531,025
9	CP 014	796694,393	796694,741	0,348	0,121	9809858,791	9809884,62	25,829	667,137	667,258
10	CP 021	794575,469	794574,881	-0,588	0,346	9810914,157	9810923,208	9,051	81,921	82,266
									<b>Jumlah</b>	2996,524
									<b>Rata-Rata</b>	299,652
									<b>RMSE</b>	17,310
									<b>Akurasi</b>	26,269

Tabel 6. Ketelitian Horizontal Peta *Orthophoto* Metode DG TANPA AT+11 GCP

FORM.AK		FORM.AK								
		UJI KETELTIAN HORIZONTAL								
		Pemotretan Udara dalam Rangka Pembuatan Peta Dasar Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah								
		DG TANPA AT+11 GCP								
Nomor Titik	Nama Titik	X	X	(D X)	(D X) <sup>2</sup>	Y	Y	(D Y)	(D Y) <sup>2</sup>	(D X) <sup>2</sup> + (D Y) <sup>2</sup>
		(Koordinat ICP)	(Koordinat Mosaik Ortofoto)			(Koordinat ICP)	(Koordinat Mosaik Ortofoto)			
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	CP 001	791500,875	791497,645	-3,346	11,194	9824693,668	9824682,297	-11,371	129,293	140,486
2	CP 002	793648,843	793646,990	-2,037	4,151	9822761,187	9822774,976	13,789	190,125	194,277
3	CP 003	796708,515	796715,656	6,768	45,810	9817710,733	9817693,83	-16,903	285,709	331,519
4	CP 005	793720,438	793721,875	1,437	2,066	9815139,2	9815149,997	10,797	116,582	118,648
5	CP 006	792885,106	792888,851	3,745	14,026	9819433,813	9819447,728	13,915	193,614	207,640
6	CP 011	797865,339	797864,413	-0,913	0,833	9814966,539	9814951,813	-14,726	216,858	217,690
7	CP 012	791010,001	791011,003	1,002	1,004	9811505,699	9811521,988	16,289	265,337	266,341
8	CP 013	793144,345	793129,277	-15,068	227,042	9807865,773	9807848,443	-17,330	300,342	527,383
9	CP 014	796694,393	796688,019	-6,374	40,634	9809858,791	9809835,574	-23,217	539,025	579,659
10	CP 021	794575,469	794574,878	-0,591	0,350	9810914,157	9810923,156	8,999	80,986	81,336
									<b>Jumlah</b>	2664,979
									<b>Rata-Rata</b>	266,498
									<b>RMSE</b>	16,325
									<b>Akurasi</b>	24,773

## Lampiran 6 Uji Ketelitian Vertikal (LE90)

Tabel 7. Ketelitian Vertikal Peta *Orthophoto* Metode AT+11 GCP

FORM.AK		FORM.AK			
		QC UJI KETELTIAN VERTIKAL			
		Pemotretan Udara dalam Rangka Pembuatan Peta Dasar Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah			
		AT+11 GCP			
Nomor Titik	Nama Titik	Z (Koordinat ICP)	Z (Koordinat Stereomodel)	(D Z)	(D Z) <sup>2</sup>
A	B	C	D	E	F
1	CP 001	23,624	23,453	-0,171	0,029
2	CP 002	17,176	17,176	0,000	0,000
3	CP 003	18,702	18,266	-0,436	0,190
4	CP 005	42,111	42,532	0,421	0,177
5	CP 006	29,655	29,723	0,068	0,005
6	CP 011	17,674	17,452	-0,222	0,049
7	CP 012	30,955	30,692	-0,263	0,069
8	CP 013	39,479	39,135	-0,344	0,118
9	CP 014	27,374	27,349	-0,025	0,001
10	CP 021	39,270	39,734	0,464	0,215
				<b>Jumlah</b>	0,854
				<b>Rata-Rata</b>	0,085
				<b>RMSE</b>	0,292
				<b>Akurasi</b>	0,482

Tabel 8. Ketelitian Vertikal Peta *Orthophoto* Metode DG+AT TANPA GCP

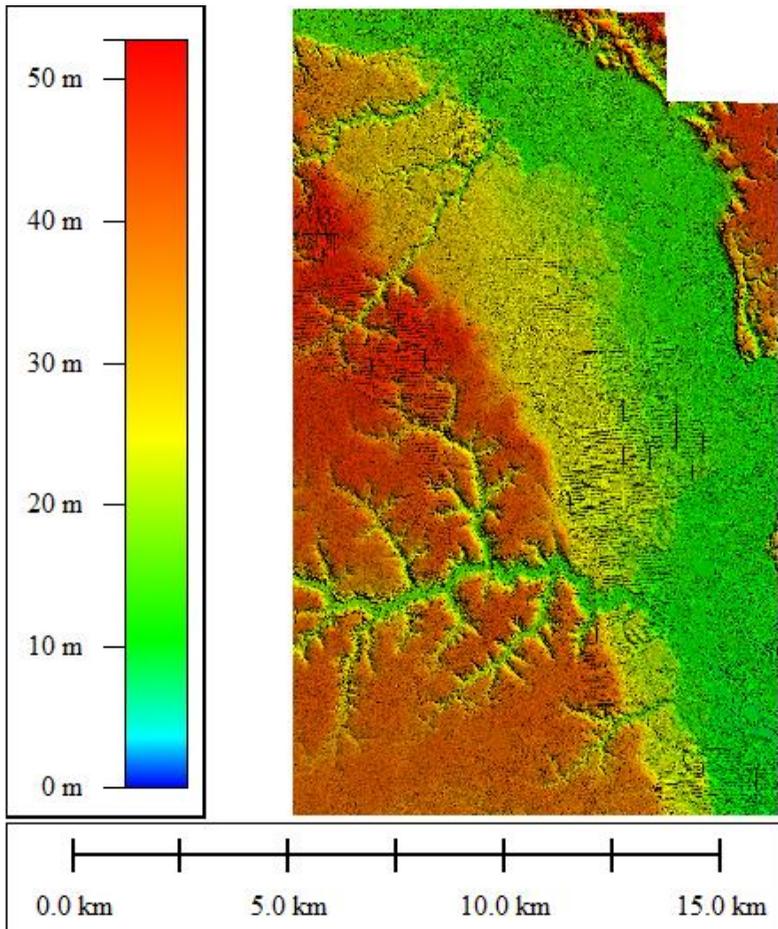
FORM.AK		FORM.AK			
		QC UJI KETELITIAN VERTIKAL			
		Pemotretan Udara dalam Rangka Pembuatan Peta Dasar Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah			
		DG+AT TANPA GCP			
Nomor Titik	Nama Titik	Z (Koordinat ICP)	Z (Koordinat Stereomodel)	(D Z)	(D Z) <sup>2</sup>
A	B	C	D	E	F
1	CP 001	23,624	67,94	44,316	1963,908
2	CP 002	17,176	61,972	44,796	2006,682
3	CP 003	18,702	64,194	45,492	2069,522
4	CP 005	42,111	87,055	44,944	2019,963
5	CP 006	29,655	74,406	44,751	2002,652
6	CP 011	17,674	63,15	45,476	2068,067
7	CP 012	30,955	75,711	44,756	2003,100
8	CP 013	39,479	84,684	45,205	2043,492
9	CP 014	27,374	72,713	45,339	2055,625
10	CP 021	39,270	84,391	45,121	2035,905
<b>Jumlah</b>					20268,914
<b>Rata-Rata</b>					2026,891
<b>RMSE</b>					45,021
<b>Akurasi</b>					74,280

Tabel 9. Ketelitian Vertikal Peta *Orthophoto* Metode DG+AT+4 GCP

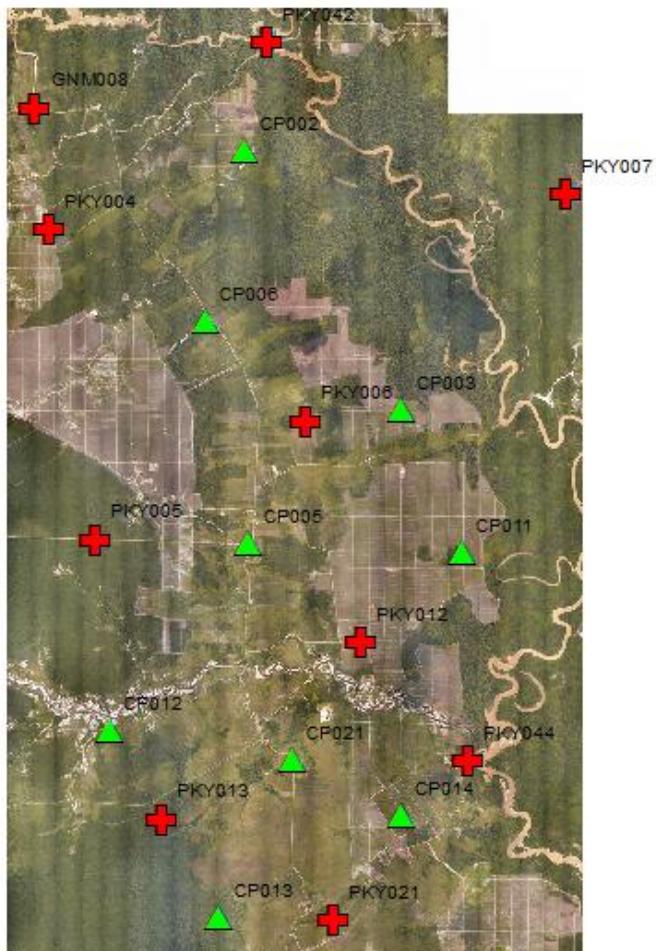
FORM.AK		FORM.AK			
		QC UJI KETELITIAN VERTIKAL			
		Pemotretan Udara dalam Rangka Pembuatan Peta Dasar Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah			
		DG+AT+4 GCP			
Nomor Titik	Nama Titik	Z (Koordinat ICP)	Z (Koordinat Stereomodel)	(D Z)	(D Z) <sup>2</sup>
A	B	C	D	E	F
1	CP 001	23,624	23,498	-0,126	0,016
2	CP 002	17,176	17,379	0,203	0,041
3	CP 003	18,702	18,908	0,206	0,042
4	CP 005	42,111	41,971	-0,140	0,020
5	CP 006	29,655	29,547	-0,108	0,012
6	CP 011	17,674	17,481	-0,193	0,037
7	CP 012	30,955	30,515	-0,440	0,194
8	CP 013	39,479	39,308	-0,171	0,029
9	CP 014	27,374	27,429	0,055	0,003
10	CP 021	39,270	39,027	-0,243	0,059
<b>Jumlah</b>					0,453
<b>Rata-Rata</b>					0,045
<b>RMSE</b>					0,213
<b>Akurasi</b>					0,351

Tabel 10. Ketelitian Vertikal Peta *Orthophoto* Metode DG+AT+11 GCP

FORM.AK		FORM.AK			
		QC UJI KETELITIAN VERTIKAL			
		Pemotretan Udara dalam Rangka Pembuatan Peta Dasar Kota Palangkaraya, Kalimantan Tengah			
		DG+AT+11 GCP			
Nomor Titik	Nama Titik	Z (Koordinat ICP)	Z (Koordinat Stereomodel)	(D Z)	(D Z) <sup>2</sup>
A	B	C	D	E	F
1	CP 001	23,624	23,628	0,004	0,000
2	CP 002	17,176	17,198	0,022	0,000
3	CP 003	18,702	18,896	0,194	0,038
4	CP 005	42,111	42,176	0,065	0,004
5	CP 006	29,655	29,522	-0,133	0,018
6	CP 011	17,674	17,697	0,023	0,001
7	CP 012	30,955	30,804	-0,151	0,023
8	CP 013	39,479	39,287	-0,192	0,037
9	CP 014	27,374	27,243	-0,131	0,017
10	CP 021	39,270	39,191	-0,079	0,006
<b>Jumlah</b>					0,144
<b>Rata-Rata</b>					0,014
<b>RMSE</b>					0,120
<b>Akurasi</b>					0,198

**Lampiran 7 Data DEM**

Gambar 8. Data DEM Kota Palangkaraya Tahun 2018 dari hasil pengolahan LiDAR

**Lampiran 8 Persebaran GCP dan ICP**

 = GCP

 = ICP

Gambar 8. Persebaran koordinat GCP dan ICP pada area penelitian

### Lampiran 9 Spesifikasi Kamera *Phase One IXA-R-180*

Camera type	Medium format camera for aerial photography
Lens mount	Phase One R dedicated mount
Shutter speed	- Focal plane: up to 1/4000 second - Leaf shutter: up to 1/1600 second*
Shutter control	1/3 f-stop increments
Interfaces	- USB 3.0 - FireWire 800 - Secured power input (LEMO) - Camera trigger - Mid-exposure pulse - Camera status
GPS/IMU support	Applanix, NovAtel, IGI, NMEA Devices
Forward Motion Compensation	TDI controlled
Data storage	- 1 TB SSD storage (optional iX Controller) - CompactFlash card Type I/II including UDMA 6 and 7
Synchronization speed in multiple camera configuration	100 microseconds with factory calibrated (FS) lenses
Resolution	10328 x 7760 (80 MP)
Dynamic range	>72 db
Spectral ratio	04.03
Pixel size	5.2 micron
CCD size effective	53.7 x 40.4 mm
Lens factor	1
Light sensitivity (ISO)	35-800
Full resolution frame	1.5 sec
RAW File compression	IIQ large: 80 MB IIQ small: 54 MB

Lens + technology optimizes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Color cast</li> <li>- Light falloff</li> <li>- Chromatic aberration</li> <li>- Fringing</li> <li>- Sharpness falloff</li> <li>- Lens distortion</li> </ul>
Output format	Phase One Raw, TIF and JPG
Post processing	<ul style="list-style-type: none"> <li>- iX Capture</li> <li>- Capture One Pro</li> <li>- Capture One Processing Engine</li> </ul>
R cut-off filter	Camera system available either with or without IR filter
Connection to pod	Four M4 bolts
Tripod sockets	Two 3/8 inch
Power input	12 – 30 V DC
Maximum power consumption	20 W
Dimensions iXA excluding lens)*	132 x 114 x 128.5 mm / 5.2 x 4.4 x 5 in (W x H x D)
Dimensions IXA-R including lens 40)*	128.5 x 114 x 190.5 mm / 5.06 x 4.48 x 7.5 in (W x H x D)
Dimensions IXA-R including lens 50)*	128.5 x 114 x 199 mm / 5.06 x 4.48 x 7.83 in (W x H x D)
Dimensions IXA-R including lens 70)*	128.5 x 114 x 191 mm / 5.06 x 4.48 x 7.51 in (W x H x D)
Weight (excluding lens)	1.75 kg / 3.86 lb - for iXA cameras 1.73 kg / 3.81 lb - for iXA-R cameras
Weight iXA-R camera and lens)	iXA-R 40 2.5 kg / 5.4 lb iXA-R 50 2.5 kg / 5.6 lb iXA-R 70 2.3 kg / 5.1 lb
pprovals	FCC (Class A), CE, RoHS
Temperature	(-10° to 40°C (14° to 104°F))
Humidity	15 to 80% (non-condensing)

## Lampiran 10 *MATCH-AT log file* (AT+11 GCP)

### Start Post Processing: Thu Apr 04 20:28:37 2019

Active Block : complete Block  
 Number of photos : 2654  
 Number of strips : 25  
 Photo scale : 1:13866  
 Mean terrain height [m] : 28  
 Automatic blunder detection : ON use default mode  
 Use all adjusted points in project file  
 as control (absolute mode) : OFF

### Strategy parameter:

Overview # to start : 5  
 Overview # to stop : 0  
 # of pyramid levels to be processed : 6  
 # of tie points to be measured in last level : 3  
 Use manual measurements as TPC : ON  
 Create numeric point id : ON  
 TiePointCenterPattern : 5 x 5  
 TiePoint density : default  
 Thinout size in pixel : 50  
 Try to track points from upper levels: : OFF  
 Matching sequence : FBM FBM LSM SKIP FBM LSM  
 Number additional threads : 1  
 Cache size per thread : 10 MByte  
 Working directory : .\  
 Output project is different to input: : .\Project TA.prj

### Matching parameter:

FBM-Method:  
 Matching window : 100 x 100  
 Operator window size : 5 x 5  
 Non-max. suppr. window size : 5  
 Threshold for correlation coefficient : 0.92  
 Window for correlation coefficient : 5 x 5

Wmin	: 0.10
Qmin (roundness)	: 0.50
Parallax bound	: 30
Epipolar line to be used	: ON
Distance to epipolar lines	: 0.50

**LSM-Method:**

Correlation coefficient	: 0.93
Template size [pixel]	: 21
Edge size [pixel]	: 6
# of iterations	: 20

**Control parameter for block adjustment:**

Selfcalibration	: ON
Number of selfcalibration parameters	: 12
Write calibrated camera to project	: ON
GNSS-Mode	: ON
Drift-Mode	: ON
drift per block	: ON only shifts are enabled
drift for X,Y,Z	: ON,ON,ON
IMU-Mode	: ON
IMU-Boresight	: ON
Earth's curvature correction	: ON
Atmospheric correction	: ON
Do not eliminate manual points	: ON
Do not eliminate GNSS	: ON

**Standard deviations (a-priori):**

Ground control (planimetry) [m]	
Set	
0 (=default)	: 0.015
1	: 100000.000
Ground control (height) [m]	
Set	
0 (=default)	: 0.009

1 : 100000.000  
 Automatic image points [mm]  
 Set  
 0 (=default) : 0.002  
 Image points of ground control and manual measurements [mm]  
 : 0.002  
 GNSS X Y Z [m] : 0.100 0.100 0.100  
 INS omega phi kappa [deg] : 0.008 0.008 0.008

### Used Cameras in block:

1 PHASE1\_ixa-R180  
 Distortion : Grid  
 GPS antenna eccentricity X Y Z [m] : 0.151 0.005 1.275  
 IMU boresight angles O P K [deg] : 0.000 0.000 0.000

**total of 609491 measurements in 2654 photos are used for adjustment (total 2654 photos)**

sigma naught 1.9 micron (20:28:46)  
 sigma naught 0.9 micron (20:28:51)  
 sigma naught 0.8 micron (20:28:56)  
 sigma naught 0.8 micron (20:29:02)  
 sigma naught 0.8 micron (20:29:07)  
 sigma naught 0.8 micron (20:29:12)  
 sigma naught 0.8 micron (20:29:22)  
 sigma naught 0.8 micron (20:29:32)  
 sigma naught 0.8 micron (20:29:43)  
 sigma naught 0.8 micron (20:29:53)  
 sigma naught 0.8 micron (20:30:03)  
 sigma naught 0.8 micron (20:30:13)  
 sigma naught 0.7 micron (20:30:24)  
 sigma naught 0.7 micron (20:30:34)  
 sigma naught 0.7 micron (20:30:44)  
 sigma naught 0.7 micron (20:30:54)  
 sigma naught 0.7 micron (20:31:04)

sigma naught	0.7 micron (20:31:14)
sigma naught	0.7 micron (20:31:24)
sigma naught	0.7 micron (20:31:35)
sigma naught	0.7 micron (20:31:45)
sigma naught	0.7 micron (20:31:55)
sigma naught	0.7 micron (20:32:05)
sigma naught	0.8 micron (20:32:16)

found	31055 points connecting	2 photos
found	47906 points connecting	3 photos
found	16950 points connecting	4 photos
found	15393 points connecting	5 photos
found	31061 points connecting	6 photos
found	7731 points connecting	7 photos
found	428 points connecting	8 photos

number of observations	1206917
number of unknowns	470472
redundancy	736445

### **additional selfcalibration parameters - camera 1**

parameter value standardized lower bound of number residual  
determinability

1	0.0	3.3	0.0
2	-0.0	-0.7	0.0
3	-0.0	-0.9	0.0
4	0.0	0.8	0.0
5	0.0	0.1	0.0
6	0.0	1.0	0.0
7	0.0	1.0	0.0
8	0.0	1.3	0.0
9	0.0	0.9	0.0
10	0.0	0.5	0.0
11	0.0	1.5	0.0

12	0.0	0.8	0.0
corrections on 9 grid points in micron			
-0.02	-0.02	0.02	
-0.00	-0.03	-0.02	
-0.01	0.00	0.01	
0.01	-0.00	-0.00	
-0.01	-0.00	0.02	
0.01	0.01	0.02	

RMS automatic points in photo (number: 595421)

x	0.6 micron
y	0.7 micron

RMS control and manual points in photo (number: 64)

x	1.6 micron
y	1.4 micron

RMS control points with default standard deviation set (number: 6)

x	0.024 [meter]
y	0.017 [meter]

RMS control points with default standard deviation set (number: 11)

z	0.005 [meter]
---	---------------

RMS IMU observations (number: 2654)

omega	0.004 [deg]
phi	0.005 [deg]
kappa	0.003 [deg]

RMS GNSS observations (number: 2654)

x	0.117 [meter]
y	0.176 [meter]
z	0.054 [meter]

sigma naught      0.8 micron (20:32:35)

**standard deviations of exterior orientation parameters (px, py, pz in [meter] omega,phi,kappa in [deg/1000] )**

mean standard deviations of rotations

omega	1.3 [deg/1000]
phi	1.1 [deg/1000]
kappa	0.4 [deg/1000]

max standard deviations of rotations

omega	2.4 [deg/1000] at photo	031_212
phi	2.2 [deg/1000] at photo	046_109
kappa	1.9 [deg/1000] at photo	030_209

mean standard deviations of translations

x	0.015 [meter]
y	0.017 [meter]
z	0.009 [meter]

max standard deviations of translations

x	0.028 [meter] at photo	053_111
y	0.030 [meter] at photo	052_113
z	0.020 [meter] at photo	030_209

**residuals horizontal control points in [meter]**

control point ID	rx	ry
GNM008	0.076	0.077 eliminated
PKY003	-0.035	-0.016
PKY004	0.195	-0.007 eliminated
PKY005	0.245	0.045 eliminated
PKY006	-0.014	0.021
PKY007	-0.011	-0.018
PKY012	0.009	0.013
PKY013	0.190	0.080 eliminated

PKY021	0.040	0.015
PKY042	0.112	0.091 eliminated
PKY044	0.010	-0.016

### residuals vertical control points in [meter]

control point ID	rz
GNM008	-0.001
PKY003	-0.008
PKY004	-0.000
PKY005	0.002
PKY006	0.005
PKY007	0.004
PKY012	-0.005
PKY013	0.001
PKY021	0.000
PKY042	0.008
PKY044	-0.006

### residuals GNSS observations in [meter]

photo ID	rx	ry	rz
GNSS drift parameter for profile 1			
constant part in [meter]	X 0.065	Y 0.058	Z -1.422
linear part in [meter]	X 0.000	Y -0.000	Z 0.000
max standard deviations of terrain points			
x	0.048 [meter] at point		30023484
y	0.034 [meter] at point		50015382
z	0.092 [meter] at point		60037655
mean standard deviations of terrain points			
x	0.010		
y	0.009		
z	0.029		

**Sigma naught: 0.8 [micron] = 0.2 [pixel in level 0]**

**Lampiran 11 MATCH-AT log file (DG+AT Tanpa GCP)****Parameters of the project:**

Project : PROJECT TA  
 Active Block : complete Block  
 Number of photos : 2654  
 Number of strips : 25  
 Photo scale : 1:14405  
 Mean terrain height [m] : 45

**Strategy parameter:**

Overview # to start : 5  
 Overview # to stop : 0  
 # of pyramid levels to be processed : 6  
 # of tie points to be measured in last level : 3  
 Use manual measurements as TPC : ON  
 Create numeric point id : ON  
 TiePointCenterPattern : 5 x 5  
 TiePoint density : default  
 Thinout size in pixel : 50  
 Try to track points from upper levels: : OFF  
 Matching sequence : FBM FBM LSM SKIP FBM LSM  
 Number additional threads : 1  
 Cache size per thread : 10 MByte  
 Working directory : .\  
 Output project is different to input: : .\Project TA.prj

**Matching parameter:**

FBM-Method:  
 Matching window : 100 x 100  
 Operator window size : 5 x 5  
 Non-max. suppr. window size : 5  
 Threshold for correlation coefficient : 0.92  
 Window for correlation coefficient : 5 x 5  
 Wmin : 0.10

Qmin (roundness) : 0.50  
 Parallax bound : 30  
 Epipolar line to be used : ON  
 Distance to epipolar lines : 0.50

**LSM-Method:**

Correlation coefficient : 0.93  
 Template size [pixel] : 21  
 Edge size [pixel] : 6  
 # of iterations : 20

**Control parameter for block adjustment:**

Selfcalibration : ON  
 Number of selfcalibration parameters : 12  
 Write calibrated camera to project : ON  
 GNSS-Mode : ON  
 Drift-Mode : ON  
 drift per block : ON only shifts are enabled  
 drift for X,Y,Z : ON,ON,ON  
 IMU-Mode : ON  
 IMU-Boresight : ON  
 Earth's curvature correction : ON  
 Atmospheric correction : ON  
 Do not eliminate manual points : ON  
 Do not eliminate GNSS : ON

**Standard deviations (a-priori):**

Ground control (planimetry) [m]  
 Set  
 0 (=default) : 0.015  
 Ground control (height) [m]  
 Set  
 0 (=default) : 0.047  
 Automatic image points [mm]  
 Set

0 (=default) : 0.002  
 Image points of ground control and manual measurements [mm]  
 : 0.002  
 GNSS X Y Z [m] : 0.100 0.100 0.100  
 INS omega phi kappa [deg] : 0.008 0.008 0.008

### Used Cameras in block:

1 PHASE1\_ixa-R180  
 Distortion : Coefficients  
 GPS antenna eccentricity X Y Z [m] : 0.151 0.005 1.275  
 IMU boresight angles O P K [deg] : 0.000 0.000 0.000

**total of 642199 measurements in 2654 photos are used for adjustment (total 2654 photos)**

sigma naught 4.2 micron (00:37:25)

**WARNING - SINGULARITY - NO SUCCESS IN SOLUTION!**

- going to terminate processing - check :
- > initial orientation parameters of photos in project file
- > given control by GNSS and/or control points
- > given camera parameters

found 16069 points connecting 2 photos  
 found 46193 points connecting 3 photos  
 found 16612 points connecting 4 photos  
 found 16559 points connecting 5 photos  
 found 39900 points connecting 6 photos  
 found 10872 points connecting 7 photos  
 found 709 points connecting 8 photos  
 found 2 points connecting 9 photos

number of observations 1290270  
 number of unknowns 456675  
 redundancy 833595

RMS automatic points in photo (number: 641154)

x      1.4 micron  
y      1.8 micron

RMS control and manual points in photo (number: 0)

x      0.0 micron  
y      0.0 micron

RMS IMU observations (number: 2654)

omega 0.000 [deg]  
phi    0.000 [deg]  
kappa 0.000 [deg]

sigma naught      15.4 micron (00:37:30)

**residuals horizontal control points in [meter]**

control point ID      rx              ry

**residuals vertical control points in [meter]**

control point ID      rz

**residuals IMU observations in [deg]**

max standard deviations of terrain points

x      18.857 [meter] at point      20000090  
y      13.960 [meter] at point      20000022  
z      48.676 [meter] at point      20000086

mean standard deviations of terrain points

x      0.368  
y      0.326  
z      0.260

**Sigma naught :    0.8 [micron] =    0.2 [pixel]**

**Lampiran 12 MATCH-AT log file (DG+AT+ 4 GCP)****Parameters of the project:**

Project : PROJECT TA  
 Active Block : complete Block  
 Number of photos : 2654  
 Number of strips : 25  
 Photo scale : 1:14405  
 Mean terrain height [m] : 45

**Strategy parameter:**

Overview # to start : 5  
 Overview # to stop : 0  
 # of pyramid levels to be processed : 6  
 # of tie points to be measured in last level : 3  
 Use manual measurements as TPC : ON  
 Create numeric point id : ON  
 TiePointCenterPattern : 5 x 5  
 TiePoint density : default  
 Thinout size in pixel : 50  
 Try to track points from upper levels: : OFF  
 Matching sequence : FBM FBM LSM SKIP FBM LSM  
 Number additional threads : 1  
 Cache size per thread : 10 MByte  
 Working directory : .\  
 Output project is different to input: : .\Project TA.prj

**Matching parameter:**

FBM-Method:  
 Matching window : 100 x 100  
 Operator window size : 5 x 5  
 Non-max. suppr. window size : 5  
 Threshold for correlation coefficient : 0.92  
 Window for correlation coefficient : 5 x 5  
 Wmin : 0.10

Qmin (roundness) : 0.50  
 Parallax bound : 30  
 Epipolar line to be used : ON  
 Distance to epipolar lines : 0.50

**LSM-Method:**

Correlation coefficient : 0.93  
 Template size [pixel] : 21  
 Edge size [pixel] : 6  
 # of iterations : 20

**Control parameter for block adjustment:**

Selfcalibration : ON  
 Number of selfcalibration parameters : 12  
 Write calibrated camera to project : ON  
 GNSS-Mode : ON  
 Drift-Mode : ON  
 drift per block : ON only shifts are enabled  
 drift for X,Y,Z : ON,ON,ON  
 IMU-Mode : ON  
 IMU-Boresight : ON  
 Earth's curvature correction : ON  
 Atmospheric correction : ON  
 Do not eliminate manual points : ON  
 Do not eliminate GNSS : ON

**Standard deviations (a-priori):**

Ground control (planimetry) [m]  
 Set  
 0 (=default) : 0.015  
 Ground control (height) [m]  
 Set  
 0 (=default) : 0.009  
 Automatic image points [mm]  
 Set

0 (=default) : 0.002  
 Image points of ground control and manual measurements [mm]  
 : 0.002  
 GNSS X Y Z [m] : 0.100 0.100 0.100  
 INS omega phi kappa [deg] : 0.008 0.008 0.008

### Used Cameras in block:

1 PHASE1\_ixa-R180  
 Distortion : Coefficients  
 GPS antenna eccentricity X Y Z [m] : 0.151 0.005 1.275  
 IMU boresight angles O P K [deg] : 0.000 0.000 0.000

**total of 572367 measurements in 2654 photos are used for adjustment (total 2654 photos)**

sigma naught 53.8 micron (15:15:21)  
 sigma naught 0.9 micron (15:15:26)  
 sigma naught 0.8 micron (15:15:31)  
 sigma naught 0.8 micron (15:15:36)  
 sigma naught 0.8 micron (15:15:41)  
 sigma naught 0.8 micron (15:15:46)  
 sigma naught 0.8 micron (15:15:55)  
 sigma naught 0.8 micron (15:16:05)  
 sigma naught 0.8 micron (15:16:14)  
 sigma naught 0.8 micron (15:16:23)  
 sigma naught 0.8 micron (15:16:33)  
 sigma naught 0.8 micron (15:16:42)  
 sigma naught 0.8 micron (15:16:51)  
 sigma naught 0.8 micron (15:17:01)  
 sigma naught 0.8 micron (15:17:10)  
 sigma naught 0.7 micron (15:17:20)  
 sigma naught 0.7 micron (15:17:29)  
 sigma naught 0.7 micron (15:17:38)  
 sigma naught 1.1 micron (15:17:48)  
 sigma naught 1.1 micron (15:17:57)

found 29005 points connecting 2 photos  
found 46668 points connecting 3 photos  
found 15906 points connecting 4 photos  
found 14244 points connecting 5 photos  
found 29203 points connecting 6 photos  
found 7138 points connecting 7 photos  
found 417 points connecting 8 photos

number of observations 1140156  
number of unknowns 445884  
redundancy 694272

### **additional selfcalibration parameters - camera 1**

parameter value standardized lower bound of number residual  
determinability

1	0.0	4.3	0.0
2	0.0	0.6	0.0
3	-0.0	-0.7	0.0
4	-0.0	-0.6	0.0
5	0.0	0.4	0.0
6	0.0	0.9	0.0
7	0.1	11.9	0.0
8	0.1	11.2	0.0
9	0.0	0.6	0.0
10	0.0	1.4	0.0
11	0.0	0.9	0.0
12	0.0	1.8	0.0

corrections on 9 grid points in micron

-0.05	-0.01	0.07
0.02	-0.12	0.02
0.05	-0.00	-0.05

0.00	0.00	-0.01
-0.06	-0.01	0.07
-0.02	0.09	0.01

RMS automatic points in photo (number: 562088)

x	0.6 micron
y	0.7 micron

RMS control and manual points in photo (number: 22)

x	1.1 micron
y	2.2 micron

RMS control points with default standard deviation set (number: 4)

x	0.016 [meter]
y	0.034 [meter]

RMS control points with default standard deviation set (number: 4)

z	0.002 [meter]
---	---------------

RMS IMU observations (number: 2654)

omega	0.006 [deg]
phi	0.006 [deg]
kappa	0.010 [deg]

RMS GNSS observations (number: 2654)

x	0.065 [meter]
y	0.511 [meter]
z	0.066 [meter]

sigma naught 1.1 micron (15:18:15)

**residuals horizontal control points in [meter]**

control point ID	rx	ry
GNM008	0.109	0.204 eliminated
PKY007	-0.000	-0.000
PKY013	0.340	0.307 eliminated
PKY044	-0.322	0.088 eliminated

### residuals vertical control points in [meter]

control point ID	rz
GNM008	-0.004
PKY007	-0.002
PKY013	0.001
PKY044	0.004

### residuals GNSS observations in [meter]

photo ID	rx	ry	rz
GNSS drift parameter for profile 1			
constant part in [meter]	X -0.015	Y 0.121	Z 43.870
linear part in [meter]	X 0.000	Y -0.000	Z 0.000

### max standard deviations of terrain points

x	0.060 [meter] at point	30024809
y	0.045 [meter] at point	70020930
z	0.113 [meter] at point	70021275

### mean standard deviations of terrain points

x	0.013
y	0.012
z	0.038

**Sigma naught: 1.1 [micron] = 0.2 [pixel in level 0]**

**Lampiran 13 MATCH-AT log file (DG+AT+ 11 GCP)****Parameters of the project:**

Project : PROJECT TA  
 Active Block : complete Block  
 Number of photos : 2654  
 Number of strips : 25  
 Photo scale : 1:14405  
 Mean terrain height [m] : 45

**Strategy parameter:**

Overview # to start : 5  
 Overview # to stop : 0  
 # of pyramid levels to be processed : 6  
 # of tie points to be measured in last level : 3  
 Use manual measurements as TPC : ON  
 Create numeric point id : ON  
 TiePointCenterPattern : 5 x 5  
 TiePoint density : default  
 Thinout size in pixel : 50  
 Try to track points from upper levels: : OFF  
 Matching sequence : FBM FBM LSM SKIP FBM LSM  
 Number additional threads : 1  
 Cache size per thread : 10 MByte  
 Working directory : .\  
 Output project is different to input: : .\Project TA.prj

**Matching parameter:**

FBM-Method:  
 Matching window : 100 x 100  
 Operator window size : 5 x 5  
 Non-max. suppr. window size : 5  
 Threshold for correlation coefficient : 0.92  
 Window for correlation coefficient : 5 x 5  
 Wmin : 0.10

Qmin (roundness)	: 0.50
Parallax bound	: 30
Epipolar line to be used	: ON
Distance to epipolar lines	: 0.50

**LSM-Method:**

Correlation coefficient	: 0.93
Template size [pixel]	: 21
Edge size [pixel]	: 6
# of iterations	: 20

**Control parameter for block adjustment:**

Selfcalibration	: ON
Number of selfcalibration parameters	: 12
Write calibrated camera to project	: ON
GNSS-Mode	: ON
Drift-Mode	: ON
drift per block	: ON only shifts are enabled
drift for X,Y,Z	: ON,ON,ON
IMU-Mode	: ON
IMU-Boresight	: ON
Earth's curvature correction	: ON
Atmospheric correction	: ON
Do not eliminate manual points	: ON
Do not eliminate GNSS	: ON

**Standard deviations (a-priori):**

Ground control (planimetry) [m]	
Set	
0 (=default)	: 0.015
Ground control (height) [m]	
Set	
0 (=default)	: 0.009
Automatic image points [mm]	
Set	

0 (=default) : 0.002  
 Image points of ground control and manual measurements [mm]  
 : 0.002  
 GNSS X Y Z [m] : 0.100 0.100 0.100  
 INS omega phi kappa [deg] : 0.008 0.008 0.008

### Used Cameras in block:

1 PHASE1\_ixa-R180  
 Distortion : Coefficients  
 GPS antenna eccentricity X Y Z [m] : 0.151 0.005 1.275  
 IMU boresight angles O P K [deg] : 0.000 0.000 0.000

**total of 572315 measurements in 2654 photos are used for adjustment (total 2654 photos)**

sigma naught 53.7 micron (10:58:44)  
 sigma naught 0.9 micron (10:58:50)  
 sigma naught 0.8 micron (10:58:55)  
 sigma naught 0.8 micron (10:59:00)  
 sigma naught 0.8 micron (10:59:05)  
 sigma naught 0.8 micron (10:59:11)  
 sigma naught 0.8 micron (10:59:20)  
 sigma naught 0.8 micron (10:59:30)  
 sigma naught 0.8 micron (10:59:39)  
 sigma naught 0.8 micron (10:59:49)  
 sigma naught 0.8 micron (10:59:59)  
 sigma naught 0.8 micron (11:00:08)  
 sigma naught 0.7 micron (11:00:18)  
 sigma naught 0.7 micron (11:00:27)  
 sigma naught 0.7 micron (11:00:37)  
 sigma naught 0.7 micron (11:00:46)  
 sigma naught 0.7 micron (11:00:56)  
 sigma naught 0.7 micron (11:01:05)  
 sigma naught 1.1 micron (11:01:15)  
 sigma naught 1.1 micron (11:01:24)

found 29098 points connecting 2 photos  
found 46753 points connecting 3 photos  
found 15933 points connecting 4 photos  
found 14246 points connecting 5 photos  
found 29031 points connecting 6 photos  
found 7177 points connecting 7 photos  
found 415 points connecting 8 photos

number of observations 1139770  
number of unknowns 446145  
redundancy 693625

### **additional selfcalibration parameters - camera 1**

parameter value standardized lower bound of number residual  
determinability

1	0.0	1.7	0.0
2	0.0	0.2	0.0
3	-0.0	-0.7	0.0
4	-0.0	-0.6	0.0
5	0.0	1.6	0.0
6	0.0	1.3	0.0
7	0.0	5.8	0.0
8	0.0	3.3	0.0
9	-0.0	-0.0	0.0
10	0.0	1.1	0.0
11	0.0	2.0	0.0
12	0.0	2.5	0.0

corrections on 9 grid points in micron

-0.01	-0.01	0.04
0.01	-0.05	0.01
0.01	-0.00	-0.04
0.00	0.00	-0.01
-0.02	-0.01	0.04

0.00      0.01      0.02

RMS automatic points in photo (number: 561845)

x      0.6 micron

y      0.7 micron

RMS control and manual points in photo (number: 64)

x      1.2 micron

y      1.8 micron

RMS control points with default standard deviation set (number:  
11)

x      0.018 [meter]

y      0.034 [meter]

RMS control points with default standard deviation set (number:  
6)

z      0.002 [meter]

RMS IMU observations (number: 2654)

omega 0.006 [deg]

phi 0.006 [deg]

kappa 0.010 [deg]

RMS GNSS observations (number: 2654)

x      0.064 [meter]

y      0.511 [meter]

z      0.066 [meter]

sigma naught      1.1 micron (11:01:43)

**residuals horizontal control points in [meter]**

control point ID	rx	ry
GNM008	-0.012	0.007
PKY003	0.004	0.025
PKY004	0.032	0.000

PKY005	-0.010	0.029
PKY006	-0.003	0.009
PKY007	0.009	-0.064
PKY012	0.006	-0.023
PKY013	0.032	0.019
PKY021	-0.018	0.047
PKY042	-0.030	0.012
PKY044	-0.010	-0.061

### residuals vertical control points in [meter]

control point ID	rz
GNM008	-0.001
PKY003	-0.199 eliminated
PKY004	0.134 eliminated
PKY005	0.289 eliminated
PKY006	0.001
PKY007	-0.002
PKY012	0.001
PKY013	0.003
PKY021	0.218 eliminated
PKY042	-0.319 eliminated
PKY044	-0.001

### residuals GNSS observations in [meter]

photo ID	rx	ry	rz	
GNSS drift parameter for profile 1				
constant part in [meter]	X	-0.004	Y 0.069	Z 43.839
linear part in [meter]	X	0.000	Y -0.000	Z 0.000

### max standard deviations of terrain points

x	0.058 [meter] at point	50013982
y	0.043 [meter] at point	70021071
z	0.112 [meter] at point	70021021

mean standard deviations of terrain points

x	0.012
y	0.010
z	0.037

**Sigma naught:** 1.1 [micron] = 0.2 [pixel in level 0]

## BIODATA PENULIS



Agus Prapto Sasono, lahir di Kota Kediri Jawa Timur pada tanggal 03 Desember 1996. Penulis merupakan anak tunggal pasangan Bapak Rohmat dan Ibu Purwati. Penulis telah menempuh pendidikan di TK Darma Wanita Maduretno lulus pada tahun 2003, SDN Maduretno 1 lulus pada tahun 2009, SMP Negeri 1 Papar lulus pada tahun 2012, dan SMA Negeri 2 Pare lulus pada tahun 2015. Pada tahun 2015 penulis diterima dalam seleksi SNMPTN pada Program Studi S1 Teknik Geomatika dengan NRP 0331154000047, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Perencanaan, ITS Surabaya. Selama perkuliahan, penulis aktif di organisasi intra kampus sebagai Staff Departemen Sosial Masyarakat HIMAGE-ITS Periode 2016-2017. Penulis juga aktif dalam berbagai kepanitiaan yang dilaksanakan di departemen seperti Geosentric Teknik Geomatika 2015, GESTURE yang diselenggarakan oleh Departemen Sosial Masyarakat HIMAGE-ITS dan sebagainya. Penulis juga mengikuti pelatihan seperti LKMMPratD lingkup fakultas. Penulis juga pernah mengikuti Program Kreatifitas Mahasiswa (PKM) dan didanai untuk program PKM-P 2016. Selain itu penulis juga telah memiliki pengalaman dilapangan seperti kegiatan survei topografi, survey GPS, fotogramteri, dan telah melaksanakan Kerja Praktik di PT. WAINDO SPECTERRA INDONESIA pada tahun 2018. Penulis dapat dihubungi melalui email [agusprapto695@gmail.com](mailto:agusprapto695@gmail.com) dan HP: 0813 2858 4154.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*