

SKRIPSI

PEMBUATAN *DIGITAL SURFACE MODEL (DSM)* DARI CITRA FOTO *UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)* MENGUNAKAN *SOFTWARE AGISOFT PHOTOSCAN* *PROFESSIONAL VERSI 0.9*

(Bidang Ilmu : Fotogrametri)

(Studi Kasus : Area Sekitar Desa Tuksono, Kulon Progo, Yogyakarta)



Disusun Oleh :

MUKHLAS

11.25.922

**JURUSAN TEKNIK GEODESI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL**

2014

2014

MINISTERI TEKNOLOGI KOMUNIKASI
KEMENTERIAN PERKOTAAN, TRANSPORTASI DAN INFRASTRUKTUR
KEMENTERIAN KEMUKJIAN

KEPUTUSAN
MENTERI
KEMENTERIAN PERKOTAAN, TRANSPORTASI DAN INFRASTRUKTUR
TENTANG

KEPUTUSAN MENTERI KEMENTERIAN PERKOTAAN, TRANSPORTASI DAN INFRASTRUKTUR
TENTANG
PENETAPAN NAMA DAN SINGKATAN
KEPUTUSAN MENTERI KEMENTERIAN PERKOTAAN, TRANSPORTASI DAN INFRASTRUKTUR
TENTANG
PENETAPAN NAMA DAN SINGKATAN
KEPUTUSAN MENTERI KEMENTERIAN PERKOTAAN, TRANSPORTASI DAN INFRASTRUKTUR
TENTANG
PENETAPAN NAMA DAN SINGKATAN

2014

LEMBAR PERSETUJUAN

**PEMBUATAN *DIGITAL SURFACE MODEL (DSM)* DARI CITRA FOTO
UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) MENGGUNAKAN *SOFTWARE*
*AGISOFT PHOTOSCAN PROFESSIONAL VERSI 0.9***

(Bidang Ilmu : Fotogrametri)

(Studi Kasus : Area Sekitar Desa Tuksono, Kulon Progo, Yogyakarta)

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam mencapai
Gelar Sarjana Teknik (ST) Strata Satu (S-1) Teknik Geodesi S-1
Institut Teknologi Nasional Malang**

Oleh :

MUKHLAS

11.25.922

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



(M. Edwin Tjahjadi, ST., M.Geom.Sc., Ph.D)

Dosen Pembimbing II



(Ir. Agus Darpono, MT)

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Geodesi S-1



(Ir. Agus Darpono, MT)



BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

NAMA : MUKHLAS

NIM : 11.25.922

JURUSAN : TEKNIK GEODESI

**JUDUL : PEMBUATAN *DIGITAL SURFACE MODEL (DSM)* DARI CITRA FOTO
UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) MENGGUNAKAN *SOFTWARE*
*AGISOFT PHOTOSCAN PROFESSIONAL VERSI 0.9***

Telah Dipertahankan di Hadapan Panitia Penguji Skripsi Jenjang

Strata-1 (S-1)

Pada hari : Rabu

Tanggal : 12 Februari 2014

Dengan Nilai :

Panitia Ujian Skripsi

Ketua

(Ir. Agus Darpono, MT)

Sekretaris

(Silvester Sari Sai, ST., MT)

Anggota Penguji

Penguji I

(Silvester Sari Sai, ST., MT)

Penguji II

(Dedy K. Sunaryo, ST., MT)

Penguji III

(Ir. Jasmani, M.Kom)

PEMBUATAN *DIGITAL SURFACE MODEL (DSM)* DARI CITRA FOTO *UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)* MENGGUNAKAN *SOFTWARE AGISOFT PHOTOSCAN PROFESSIONAL VERSI 0.9*

Mukhlas 1125922

Dosen Pembimbing 1 : M. Edwin Tjahjadi, ST., M.Geom.Sc., Ph.D.

Dosen Pembimbing 2 : Ir. Agus Darpono, MT.

Abstraksi

Teknologi pemetaan tanpa awak (*Unmanned Aerial Vehicle*) merupakan teknologi fotogrametri yang menjadi pilihan alternatif disamping teknologi pemetaan lainnya seperti pemotretan udara baik skala besar dan kecil berawak serta pemetaan berbasis satelit. Pengolahan data fotogrametri digital juga terus mengalami perkembangan. Identifikasian *tie point* secara manual menjadi suatu hambatan apabila foto udara yang akan diproses dalam jumlah yang banyak. Pembentukan *digital surface model (DSM)* menggunakan perangkat lunak *Agisoft PhotoScan Versi 0.9* tidak membutuhkan waktu yang terlalu lama, dikarenakan pengidentifikasian *tie point*, mosaik, dan pemodelan 3 dimensi dilakukan secara otomatis oleh *software*.

Penelitian ini dilakukan di Dusun Winong, Desa Tuksono, Kecamatan Sentolo, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan luas ± 34 Ha. Citra foto hasil pemotretan udara dengan pesawat tanpa awak (UAV) diolah untuk pembuatan *digital surface model (DSM)* menggunakan perangkat lunak *Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9*. Proses yang dilakukan pada perangkat lunak yaitu: *alignment* merupakan proses identifikasi *tie point* secara otomatis dengan menggunakan algoritma *SIFT invariant*, hitungan *bundle adjustment* untuk menentukan orientasi luar kamera, *build geometry*, transformasi koordinat konform 3D dan pembentukan *photo texture 3D*.

Hasil dari penelitian ini adalah *digital surface model (DSM)* dari citra foto wahana tanpa awak (UAV). Berdasarkan hasil evaluasi geometrik diperoleh nilai akurasi RMSE pada tingkat kepercayaan 90% untuk X dan Y secara berurutan sebesar 2.07726259 m dan 1.790281238 m. Hasil tersebut tidak memenuhi syarat ketelitian horizontal menurut *United States National Map Accuracy Standards* untuk peta skala 1:1000, yaitu sebesar 0.508 mm dikalikan skala peta untuk tingkat kepercayaan 90%. Sehingga diperoleh toleransi sebesar 0.508 m. Nilai akurasi vertikal (Z) sebesar 0.8704162 m pada tingkat kepercayaan 90%. Hasil tersebut tidak memenuhi syarat ketelitian vertikal menurut *United States National Map Accuracy Standards* untuk peta skala 1:1000, yaitu 0.5 m dikalikan dengan interval kontur, sehingga diperoleh toleransi sebesar 0.25 m.

Kata kunci : *digital surface model (DSM), foto, unmanned aerial vehicle (UAV), agisoft photoscan professional.*

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Mukhlas
NIM : 11.25.922
Program Studi : Teknik Geodesi S-1
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi saya yang berjudul

“Pembuatan *Digital Surface Model (DSM)* Dari Citra Foto *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* Menggunakan *Software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9*”

Adalah hasil karya saya sendiri dan bukan menjiplak atau menduplikat serta tidak mengutip atau menyadur dari hasil karya orang lain kecuali disebutkan sumbernya.

Malang, Maret 2014
Yang membuat pernyataan

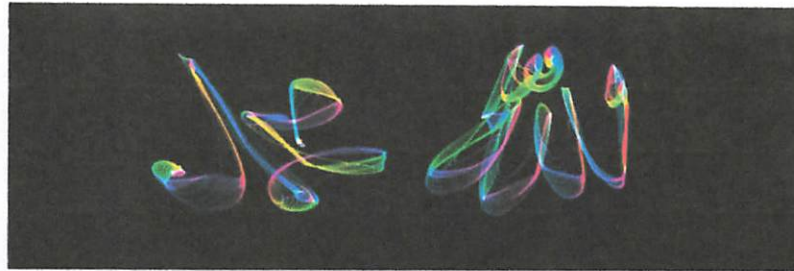
(Materai Rp. 6.000,)



Mukhlas

NIM : 11.25.922

HALAMAN PERSEMBAHAN



Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas Rahmat dan Khidayahnya yang telah memberikan nikmat ilmu, umur, kesehatan kepada hambaNya. Shalawat dan salam kepada junjungan Nabi Muhammad SAW sebagai suri teladan bagi semua umat manusia.

Skripsi ini saya persembahkan untuk

Bapak Sukoyo dan Alm. Ibu Sumpeni

(Semoga bapak sehat dan mamak bahagia di surga sana. #Aamin)

Dua adikku : Ahmadi Syaputra dan Muhammad Taufik

(Semoga kalian lebih baik dan lebih sukses dari Kak Mu. #Aamin)

Mbah Dim Ahmad dan Alm. Mbah Amini

Pakde Tono, Pakde Supri, Paman Su, Mang Said, Om Ahmad, Om Jihan

Bude Yana, Bude Mur, Bik Sudik, Bik Yuli, Bik Sri, Bik Isti, Ibu Titik,

Mbah Kar,

Kak Joko, Jito, Suwadi, Kak Suroto, Ari, Panji, Apriani, Apriandi, Lisa,

Widya, Nata, Ryan, Rahmalia, Tita

(Terima kasih atas doa dan dukungannya yang terus tiada henti)

Ketu4Kiddo : Adhitya Mardiansyah, Arie Yudhistira, Miani Dame Cristin,

Mujahit Perdana, M. Ilham Kurniawan, Nicco Ananda, Rahmad Ariyadi.

"Dan kawan

bawaku tersesat ke entah berantah

tersaru antara nikmat atau lara

berpeganglah erat bersiap terhempas ke tanda tanya"

#Banda Neira – Ke Entah Berantah

Terus merasa muda, merasa tangguh, merasa paling keren :))

Udah yah gengs, jangan berkurang lagi membernya sampe nama ketulis semua

diplakat ntar. (Aamin) :')

THE HISTORY OF THE



...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

...the ... of ...
...the ... of ...
...the ... of ...

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayahnya, penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pembuatan *Digital Surface Model (DSM)* Dari Citra Foto *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* Menggunakan *Software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9*”**.

Penulisan laporan ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam mencapai Gelar Sarjana Teknik (ST) Strata Satu (S-1) Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu sehingga penulisan skripsi ini selesai. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bp. Ir. Agus Darpono, M.T, selaku ketua Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang dan selaku Dosen Pembimbing Skripsi 2 yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam penulisan skripsi ini.
2. Bp. M. Edwin Tjahjadi, S.T, M.Geom, Sc. Ph.D, Selaku Dosen Pembimbing Skripsi 1 yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam penulisan skripsi ini.
3. Bp. Ir. Suryo Jatmiko, direktur PT. Jelajah Survey Konsultan yang telah berkenan memberikan ijin dan data dalam penelitian ini.
4. Mas Faiz beserta karyawan-karyawan PT. Jelajah Survey Konsultan yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini.

5. Bapak Sukoyo dan Alm. Ibu Sumpeni, serta adik-adikku Ahamdi Syaputra dan M. Taufik yang terus memberikan doa dan dukungan dengan tulus.
6. Keluarga besar di Jambi yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu atas doa dan dukungan yang diberikan.
7. Ketupat Kiddo : Arie, Nicco, Miani, Adit, Ilham, Mudja, Rahmat yang telah membantu dan mendoakan dalam penulisan skripsi ini.
8. Teman-teman seperjuangan Ibnu, Septian, Panca, Yaya, Rambu, Anjas, Ryan, Dita S, Dita F, Tutik, Wahyu, Aji, Arief, Widar, Ilham, Roy, Farizal, Afri, Rocky, Andy, Taufan, Beni, Leo, Klif, Tyo, Banu, Wiwik, Febri, dan seluruh teman-teman yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang selalu memberikan nasehat, bantuan, dan doa kepada penulis.
9. Semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam skripsi ini. Dengan senang hati penulis akan menerima saran dan kritik untuk perbaikan kerja penulis pada masa yang akan datang. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna khususnya bagi penulis sendiri dan umumnya bagi kepentingan akademik di Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.

Malang, Maret 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	<u>Halaman</u>
LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAKSI	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	2
I.3. Tujuan Penelitian	2
I.4. Manfaat Penelitian	3
I.5. Batasan Masalah	3
I.6. Tinjauan Pustaka	4
 BAB II LANDASAN TEORI	 6
II.1. Fotogrametri	6

II.2. Sistem Koordinat Dalam Fotogrametri Digital	7
11.2.1. Sistem koordinat piksel	7
11.2.2. Sistem koordinat foto	8
11.2.3. Sistem koordinat model	9
II.3. Foto Udara	10
II.4. Mosaik Foto	12
II.5. <i>Ground Control Point (GCP)</i>	16
II.6. <i>Bundle Adjustment</i>	19
II.7. Orientasi Absolut Dengan Transformasi Koordinat Konform 3D	21
II.8. Pemodelan Tiga Dimensi	22
II.9. <i>Unmanned Aerial Vehicle (UAV)</i>	23
II.3. <i>Software Agisoft PhotoScan Professional</i>	27
 BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN	 28
III.1. Persiapan	28
III.1.2. Lokasi dan Waktu Penelitian	28
III.1.3. Alat	29
III.1.4. Data Penelitian	29
III.2. Metode Penelitian	30
III.3. Pengolahan Data Foto Udara Menggunakan <i>Software Agisoft</i> <i>PhotoScan Professional Versi 0.9</i>	32
III.3.1. Eliminasi <i>Photo</i>	32
III.3.2. <i>Masking Photo</i>	33
III.3.3. <i>Align Photo</i>	34

III.3.4. <i>Build Geometry</i>	36
III.3.5. Transformasi Koordinat Konform 3D	37
III.3.6. <i>Build Texture</i>	41
III.3.7. <i>Export Orthophoto</i>	42
III.3.8. <i>Export DEM</i>	43
III.3.8. Analisa Hasil DSM Dengan Kontur Topografi Skala 1:1000	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
IV.1. Hasil	47
IV.1.1. Hasil Proses <i>Align Photo</i>	47
IV.1.2. Hasil Proses <i>Build Geometry</i>	48
IV.1.3. Hasil Proses Transformasi Koordinat Konform 3D	49
IV.1.4. Hasil Proses <i>Build Texture</i>	50
IV.1.5. Hasil Proses <i>Export Orthophoto</i>	51
IV.1.6. Hasil Proses <i>Export DEM</i>	52
IV.1.7. Analisa Hasil	53
IV.2. Pembahasan	56
IV.2.1. Pembahasan Proses <i>Align Photo</i>	56
IV.2.2. Pembahasan Proses <i>Build Geometry</i>	56
IV.2.3. Pembahasan Proses Transformasi koordinat konform 3D	57
IV.2.4. Pembahasan Proses <i>Build Texture</i>	58
IV.2.5. Pembahasan Proses <i>Export Orthophoto</i>	58
IV.2.6. Pembahasan Proses <i>Export DEM</i>	58
IV.3. Kendala Penelitian	59

BAB V PENUTUP	60
----------------------------	-----------

V.1. Kesimpulan	60
-----------------------	----

V.2. Saran	61
------------------	----

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 4.1 Hasil perhitungan nilai <i>X error</i> dan <i>Y error</i> yang dihitung otomatis pada <i>software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9</i>	54
Tabel 4.2 Hasil perhitungan nilai akurasi $\overline{RMSE}$ berdasarkan selisih nilai elevasi dilapangan dengan elevasi pada DSM.....	55

DAFTAR GAMBAR

	<u>Halaman</u>
Gambar 2.1. Sistem koordinat piksel	8
Gambar 2.2. Sistem koordinat foto	9
Gambar 2.3. Sistem koordinat model	9
Gambar 2.4. Persebaran titik-titik kontrol pemetaan metode poligon	17
Gambar 2.5. Hubungan antara sistem koordinat foto dan tanah	19
Gambar 2.6. Contoh <i>Fixed Wing Aircraft</i>	26
Gambar 2.7. Contoh <i>Rotary Wing Aircraft</i>	26
Gambar 3.1. Lokasi penelitian (<i>Google Earth</i>).....	28
Gambar 3.2. Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 3.3. Menambahkan foto yang akan diproses	32
Gambar 3.4. Tampilan eliminasi foto	32
Gambar 3.5. Tampilan <i>masking</i> foto	33
Gambar 3.6. Tampilan jendela <i>export mask</i>	34
Gambar 3.7. Tampilan jendela <i>import mask</i>	34
Gambar 3.8. Tampilan jendela <i>align photo</i>	35
Gambar 3.9. Tampilan proses <i>align photo</i>	35
Gambar 3.10. Tampilan <i>point cloud</i> hasil proses <i>align photo</i>	35
Gambar 3.11. Tampilan identifikasi parameter orientasi dalam kamera	36
Gambar 3.12. Tampilan jendela <i>build geometry</i>	37
Gambar 3.13. Tampilan <i>shaded geometry</i>	37
Gambar 3.14. Penentuan GCP	38
Gambar 3.15. Tampilan pemberian nilai koordinat GCP	38

Gambar 3.16. Tampilan kesalahan (RMSE) koordinat GCP	38
Gambar 3.17. Tampilan jendela <i>ground control setting</i>	39
Gambar 3.18. Posisi <i>point cloud</i> yang telah ter-georeferensi	39
Gambar 3.19. Tampilan jendela <i>build geometry</i>	40
Gambar 3.20. Tampilan <i>build geometry</i> ter-georeferensi	40
Gambar 3.21. Tampilan jendela <i>build texture</i>	41
Gambar 3.22. Tampilan tekstur 3D	41
Gambar 3.23. Tampilan jendela <i>export orthophoto</i>	42
Gambar 3.24. Tampilan jendela <i>save orthophoto</i>	43
Gambar 3.25. Tampilan jendela <i>export DEM</i>	43
Gambar 3.26. Tampilan jendela <i>save export DEM</i>	44
Gambar 3.27. <i>Open file DSM</i> format *.tif	45
Gambar 3.28. <i>Open file</i> kontur format *.shp	45
Gambar 3.29. <i>Overlap DSM</i> dengan kontur topografi skala 1:1000	46
Gambar 4.1. Tampilan parameter kalibrasi kamera	47
Gambar 4.2. Tampilan hasil proses <i>alignment</i> berupa <i>tie point</i>	48
Gambar 4.3. Tampilan hasil proses <i>build geometry</i> berdasarkan <i>point cloud</i> .	48
Gambar 4.4. Hasil <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE)	49
Gambar 4.5. Tampilan <i>shaded geometry</i>	49
Gambar 4.6. Tampilan <i>solid geometry</i>	50
Gambar 4.7. Tampilan jaring-jaring segitiga (TIN)	50
Gambar 4.8. Tampilan tekstur 3D	51
Gambar 4.9. Tampilan <i>orthophoto</i> format *.tif pada <i>windows photo viewer</i>	51
Gambar 4.10. Tampilan DEM format *.tif pada <i>windows photo viewer</i>	52

Gambar 4.11. Tampilan DEM format *.tif pada <i>global mapper</i>	52
Gambar 4.12. <i>Overlay</i> D $\bar{S}\bar{M}$ dengan kontur topografi skala 1:1000 pada <i>Global Mapper</i>	53

DAFTAR LAMPIRAN

	<u>Halaman</u>
Lampiran A. Spesifikasi kamera <i>Canon PowerShot S100</i>	67
Lampiran B. Koordinat <i>Ground Control Point</i>	74
Lampiran C. <i>Agisoft PhotoScan Processing Report</i>	76



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya permintaan akan pemetaan suatu wilayah dalam berbagai bidang, maka semakin berkembang pula berbagai macam metode pemetaan. Pemetaan fotogrametri merupakan pekerjaan pembuatan peta menggunakan media foto udara. Fungsi fotogrametri telah menggantikan sebagian besar pekerjaan teristris (Suharsana 1999).

Fotogrametri digital dapat diperoleh langsung melalui pemotretan dengan kamera digital atau secara tidak langsung melalui proses konversi data foto udara positif maupun negatif. Pada pemotretan dengan kamera digital dapat diperoleh hasilnya berupa data digital, sedangkan proses konversi dengan penyiaman menggunakan alat yaitu *scanner*. *Scanner* adalah alat yang berguna untuk mengubah foto udara menjadi foto digital yaitu mengubahnya menjadi piksel-piksel yang mempunyai nilai *spectral* (Soeta'at, 1994).

Teknologi pemetaan tanpa awak (*Unmanned Aerial Vehicle*) menjadi pilihan alternatif disamping teknologi pemetaan lainnya seperti pemotretan udara baik skala besar dan kecil berawak serta pemetaan berbasis satelit. *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) merupakan sistem tanpa awak (*Unmanned System*), yaitu sistem berbasis elektro-mekanik yang dapat melakukan misi-misi terprogram, dengan karakteristik: tanpa awak pesawat, beroperasi pada mode mandiri baik secara penuh atau sebagian, Sistem ini dirancang untuk dapat dipergunakan secara berulang (Wikantika, 2009). Dengan menggunakan UAV, data dapat diperoleh

dengan biaya relatif rendah, dalam waktu relatif cepat, dan aman dalam berbagai kondisi cuaca.

Pengolahan data fotogrametri digital juga terus mengalami perkembangan. Identifikasian *tie point* secara manual menjadi suatu hambatan bilamana foto udara yang akan diproses sangat banyak jumlahnya. Pembentukan *digital surface model* (DSM) menggunakan *Software Agisoft PhotoScan Versi 0.9* tidak membutuhkan waktu yang tidak terlalu lama, dikarenakan pengidentifikasian *tie point* dapat dilakukan secara otomatis oleh *software*.

Atas kondisi tersebut maka dilakukan penelitian pembuatan *digital surface model* (DSM) dari citra foto *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) menggunakan *Software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9*. Lokasi penelitian ini berada di Dusun Winong, Desa Tuksono, Kecamatan Sentolo, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan luas 34 Ha.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang muncul berdasarkan latar belakang penelitian yang telah dijabarkan sebelumnya adalah bagaimana membuat *Digital Surface Model* (DSM) dari foto *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dengan menggunakan *Software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9*?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat *Digital Surface Model* (DSM) dari foto udara *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dengan menggunakan *Software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9*.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Solusi alternatif pemetaan dalam bidang survei dan pemetaan secara efektif dan efisien dengan menggunakan foto udara *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*.
2. Menambah referensi perangkat lunak untuk pengolahan foto udara menggunakan *Software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9*.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Lokasi pengambilan data disekitar Kecamatan Temon, Kulon Progo, Yogyakarta.
2. Wahana pengambilan data adalah pesawat *aeromodeling* tipe *Fixed Wing Aircraft*, dengan tinggi terbang sekitar 300 meter. Menggunakan sistem *auto pilot*, yang dilengkapi dengan *on board GPS* dan *ground station*.
3. Kamera yang digunakan adalah kamera *digital Canon PowerShot S100* dengan spesifikasi 12.1 MP, 24-120mm *lens range*, *built-in GPS unit*, dengan berat 198 gram. Untuk spesifikasi kamera lebih lengkap terdapat pada lampiran A.
4. Data *ground control point* (GCP) yang digunakan merupakan titik kontrol yang diukur dengan metode poligon.
5. Pengolahan data foto menggunakan *Software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9*.

6. Sistem koordinat yang digunakan dalam pengolahan data adalah sistem koordinat geografis.
7. Hasil akhir adalah DEM (*Digital Elevation Model*) format *.tif.

I.6. Tinjauan Pustaka

Teknologi pemetaan tanpa awak (*Unmanned Aerial Vehicle*) menjadi pilihan alternatif disamping teknologi pemetaan lainnya seperti pemotretan udara baik skala besar dan kecil berawak serta pemetaan berbasis satelit. Pengolahan data fotogrametri digital juga terus mengalami perkembangan. Identifikasian *tie point* secara manual menjadi suatu hambatan bilamana foto udara yang akan diproses dalam jumlah yang banyak.

Shofiyanti (2011) dalam penelitiannya dengan judul “ *Teknologi Pesawat Tanpa Awak Untuk Pemetaan dan Pemantauan Tanaman dan Lahan Pertanian* “. UAV untuk aplikasi inderaja patut dikembangkan di Indonesia sebagai alternatif untuk memonitor lahan pertanian yang luas. Kemudahan pengoperasiannya, fleksibilitas waktu dan areal pemotretan yang diinginkan, biaya yang relatif lebih murah dibandingkan harga perekaman dengan satelit, merupakan kelebihan yang harus diperhitungkan. Sensor pada UAV yang dapat menyamai sensor pada satelit, dapat digunakan untuk aplikasi di bidang pertanian. Citra UAV yang beresolusi tinggi memiliki potensi besar untuk identifikasi dan pemantauan lahan pertanian dan pada skala besar.

Gularso (2013) dalam penelitiannya dengan judul “ *Tinjauan Pemotretan Udara Format Kecil Menggunakan Pesawat Model Sky Walker 1680* “. Proses pengolahan data menggunakan *software Agisoft PhotoScan*. Dalam penelitian ini

hasil pengukuran jarak di lapangan dan foto udara menghasilkan selisih jarak minimum pada daerah yang berada dekat dengan *ground control point* (<200m) sedangkan selisih jarak maksimum berada pada daerah yang jauh dari *ground control point* (>200m).

Harjanto (2012) dalam penelitiannya dengan judul “ *Pembuatan Peta Foto Menggunakan Wahana Udara Tanpa Awak Lokasi Minas Provinsi Riau PT. Chevron Pasific Indonesia* “. Proses pengolahan data menggunakan *software Agisoft PhotoScan Versi 8.4*. Mosaik yang dihasilkan pada tahap ini dalam format file (*.tif). Sambungan dari mosaik yang dihasilkan tidak terlalu terlihat. Ukuran piksel dari mosaik yang dihasilkan adalah bernilai 0.1 m. Jika dilakukan perbesaran gambar untuk beberapa kali terlihat gambar menjadi pecah, hal ini dikarenakan nilai piksel yang digunakan cukup besar. Pemilihan nilai piksel tergantung pada tujuan penggunaan mosaik. Semakin kecil nilai piksel maka semakin tinggi kualitas gambar yang dihasilkan. Dari analisis di atas dapat dikatakan bahwa kualitas visual mosaik melalui pengolahan menggunakan *software Agisoft PhotoScan Versi 8.4* yang dihasilkan cukup baik.

Pada penelitian ini, citra foto hasil pemotretan udara dengan pesawat tanpa awak (UAV) akan diolah untuk pembuatan *digital surface model* (DSM) menggunakan *software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9*.



BAB II

LANDASAN TEORI

II.1. Fotogrametri

Fotogrametri dapat didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan dan teknologi pengolahan citra fotografik dan non fotografik untuk mendapatkan informasi yang tepat dari keadaan topografi untuk berbagai kepentingan rekayasa (Priyono, 2002).

Istilah Fotogrametri berasal dari kata *photos* (= sinar), *gramma* (= sesuatu yang tergambar) dan *metron* (= mengukur). Secara sederhana maka fotogrametri dapat diartikan sebagai "pengukuran secara grafis dengan menggunakan sinar". Dari definisi tersebut dapat dimengerti bahwa fotogrametri meliputi (Wolf, 1983) : perekaman obyek (pemotretan), pengukuran gambar obyek pada foto udara, dan pemotretan hasil ukuran untuk dijadikan bentuk yang bermanfaat (peta).

Pemetaan fotogrametri merupakan pekerjaan pembuatan peta menggunakan media foto udara. Fungsi fotogrametri telah menggantikan sebagian besar pekerjaan teristris (Suharsana, 1999). Fotogrametri digital dapat diperoleh langsung melalui pemotretan dengan kamera digital atau secara tidak langsung melalui proses konversi data foto udara positif maupun negatif.

Pada pemotretan dengan kamera digital dapat diperoleh hasilnya berupa data digital, sedangkan proses konversi dengan penyiaman menggunakan alat yaitu *scanner*. *Scanner* adalah alat yang berguna untuk mengubah foto udara menjadi foto digital yaitu mengubahnya menjadi piksel-piksel yang mempunyai nilai *spectral* (Soeta'at, 1994).

Saat ini pada umumnya pernyataan “membaca pola radiasi elektro magnetik” mengarah kepada citra digital yang direkam menggunakan sistem penginderaan jauh. Dalam hal ini perekaman digital secara langsung masih merupakan alat utama dalam aplikasi penginderaan jauh. Namun dengan adanya kemajuan yang dicapai dalam teknologi penyiaman seperti makin canggihnya alat penyiam (scanner) maka konversi citra menjadi digital lebih dimungkinkan (Saleh, 1996).

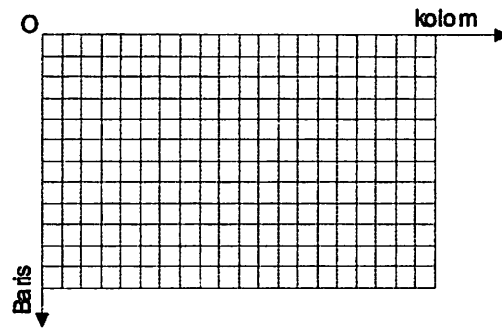
Dengan makin sempurnanya teknologi pembuatan kamera digital maka diprediksi kamera digital akan semakin banyak dipergunakan. Dengan demikian perkembangan penggunaan digital fotogrametri akan semakin penting.

II.2. Sistem Koordinat Dalam Fotogrametri Digital

Ada beberapa sistem koordinat yang dilalui oleh sepasang foto udara format kecil yang saling bertampalan sebelum menjadi sebuah foto.

II.2.1. Sistem koordinat piksel

Foto udara yang di *scan* akan menghasilkan suatu angka-angka yang menunjukkan nilai spektral dari piksel-piksel. Angka-angka tersebut tersusun dalam kolo dan baris, oleh karena itu pada sistem koordinat piksel, susunan atau urutan penyimpanan menunjukkan kolom dan baris suatu piksel, sedangkan angkanya sendiri menunjukkan nilai spektral.



Gambar 2.1. Sistem koordinat piksel

Origin pada sistem koordinat ini terletak pada sudut kiri atas, nilai kolom semakin kekanan akan semakin besar, sedangkan nilai baris akan semakin besar semakin ke bawah.

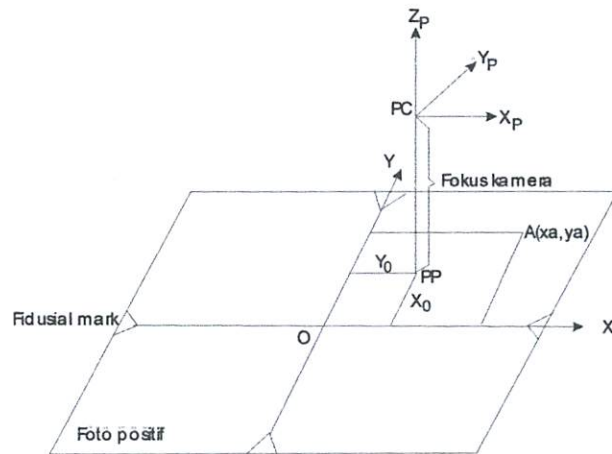
II.2.2. Sistem koordinat foto

Sistem koordinat foto merupakan sistem referensi internal, sehingga semua obyek diatas foto dapat ditentukan posisinya terhadap sistem koordinat foto. Bidang foto (positif) merupakan bidang (x,y) dan sumbu Z tegak lurus pada bidang (x,y). Sebagai origin sistem koordinat foto adalah perpotongan garis *fiducial*. *Principal Point* (PP) yang merupakan proyeksi dari PC (*Proyection Center* = pusat lensa + *Perspective Center*) pada bidang foto umumnya tidak berimpit dengan perpotongan garis fidusial, atau mempunyai *offset* sebesar x_0 dan y_0 seperti terlihat pada gambar I.2 (Soetaat, 2004). PC (titik pusat berkas sinar) mempunyai koordinat pada sistem foto sebesar.

$$\left. \begin{matrix} x_0 \\ y_0 \end{matrix} \right\} \dots\dots\dots \text{Offset kamera}$$

$$C = f \dots\dots\dots \text{Panjang fokus kamera}$$

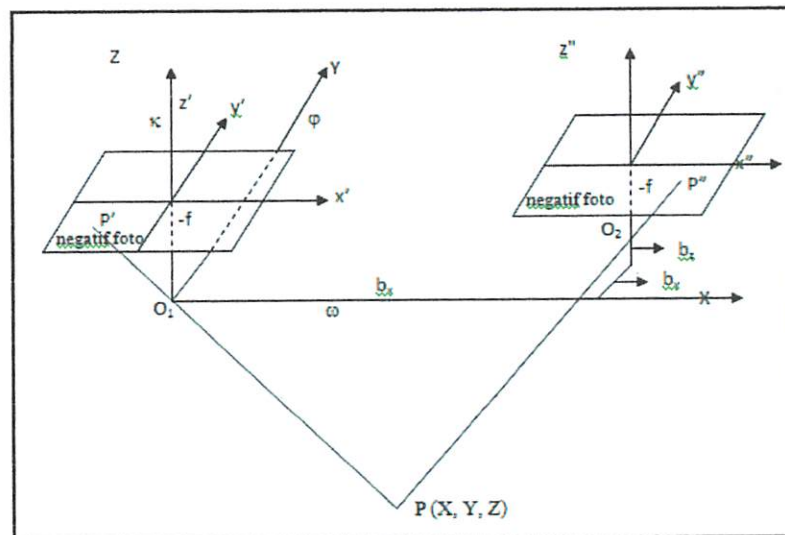
x_0, y_0 dan f merupakan elemen orientasi dalam kamera.



Gambar 2.2. Sistem koordinat foto

II.2.3. Sistem koordinat model

Merupakan sistem koordinat rectangular yang digunakan untuk menentukan posisi titik pada model stereo (Soeta'at,2004). Gambar II.3 menunjukkan bentuk geometri dari sistem koordinat model. Pada gambar ini panjang fokus kamera bernilai negatif karena berada antara *projection center* dengan negatif film.



Gambar 2.3. Sistem koordinat model

Keterangan gambar 2.3 :

- x^j, y^j, z^j : Sistem koordinat foto kiri
- x'', y'', z'' : Sistem koordinat foto kanan
- X, Y, Z : Sistem koordinat model
- ω, φ, κ : elemen rotasi
- b_x, b_y, b_z : komponen basis
- O_1 dan O_2 : pusat lensa foto kiri dan kanan
- f : panjang fokus kamera

II.3. Foto Udara

Secara sederhana peta foto (*photomap*) dapat diartikan sebagai foto udara yang digunakan secara langsung sebagai substitusi peta planimetrik. Pada umumnya dilakukan perubahan skala foto ke skala yang dikehendaki dengan jalan perbesaran atau pengecilan skala. Informasi tentang judul, nama tempat, dan data lain dapat ditumpangkan pada foto dengan cara serupa seperti yang dilakukan pada peta. Peta foto dapat dibuat dari satu foto udara, atau dari bagian-bagian dua foto atau lebih untuk membentuk paduan gambar yang bersambung. Paduan ini biasa disebut mosaik (Wolf, 1993). Dengan demikian peta foto dihasilkan dari data dasar berupa foto udara.

Foto udara adalah gambaran rekaman suatu objek (biasanya berupa gambaran pada foto) yang dihasilkan dengan cara optik, elektro optik, optik mekanik, atau elektronik (Sutanto, 1986). Foto udara format kecil adalah foto yang dihasilkan dari pemotretan menggunakan kamera dengan ukuran film

atau *frame* sekitar 24 mm x 36 mm dengan panjang fokus 35 mm (Warner, et. Al, 1996).

Foto udara format kecil menggunakan kamera *non* metrik yang biasanya dipergunakan untuk pemetaan yang tidak membutuhkan ketelitian tinggi, seperti untuk pemantauan kawasan lindung atau untuk monitoring perubahan kawasan. Foto udara format kecil mempunyai ciri yakni tidak adanya informasi tepi foto seperti jam terbang, panjang fokus dan *n40*. Pada foto ini tidak dilengkapi *fiducial mark*, panjang fokus terkalibrasi, lokasi titik utama tidak diketahui.

Keunggulan dari foto udara format kecil antara lain mudah dalam pengoperasian karena peralatan yang digunakan dalam pemotretan lebih sederhana, dan dapat diperoleh foto udara dengan skala yang lebih besar karena wahana yang digunakan adalah pesawat ultra ringan yang dapat terbang rendah dibawah awan, sehingga efek gangguan atmosfer dapat diminimalkan, biaya yang diperlukan lebih mudah diperoleh di pasaran.

Selain memiliki keunggulan, foto udara format kecil juga memiliki beberapa kekurangan, antara lain menghasilkan foto yang secara geometrik tidak stabil. Hal ini disebabkan karena menggunakan lensa yang lebar sehingga sistem lensanya tidak sempurna, panjang fokus dan *principle point* tidak diketahui, dan adanya pergeseran bayangan (*image motion*) (Warner, W.S, Graham R. W., Read R. E., 1996).

Istilah berikut digunakan untuk tipe-tipe foto udara yang berbeda menurut arah daripada sumbu utama dibedakan menjadi (Ligterink, G.H, 19787) :

1. Miring tinggi : horizon pada foto udara daerah yang diliput terlihat, daerahnya berbentuk trapezoid, skala menurun dari latar depan ke latar belakang.
2. Miring rendah : tidak ada horizon pada foto udara daerah yang diliput, ada daerah trapezoid, skala menurun dari latar depan ke latar belakang.
3. Foto tegak : kemiringan 4° , daerah yang diliput kecil, daerahnya berbentuk persegi empat, skala seragam untuk satu tingkatan (level).

II.4. Mosaik Foto

Mosaik foto udara merupakan gabungan dari dua buah atau lebih foto udara yang saling bertampalan, yang disusun sedemikian rupa agar terbentuk paduan gambar yang berkesinambungan. Pada foto udara digital pembuatan mosaik sepenuhnya dilakukan oleh komputer dengan bantuan perangkat lunak.

Mosaik foto udara dibedakan menjadi 3 kelas (Suharsana, 1999) yaitu :

1. Mosaik tak terkontrol.

Dalam mosaik tak terkontrol ini digunakan foto-foto cetak yang belum dikoreksi atau foto asli hasil pemotretan langsung. Tidak ada titik kontrol yang digunakan untuk mengikatkan foto yang satu dengan foto lain yang bertampalan. Yang digunakan untuk mengikat adalah detil-detil yang sesuai yang terletak di daerah pertampalan, baik pertampalan depan maupun samping.

2. Mosaik semi terkontrol.

Mosaik ini tersusun dari foto-foto udara yang sudah dan belum dikoreksi. Mosaik ini diorientasikan terhadap sistem tanah dengan jalan mengikatkan titik-titik kontrol yang ada di atas foto dengan titik-titik kontrol tanahnya. Pengikatan antara foto dengan foto dilakukan dengan menempatkan detail-detail yang sesuai.

3. Mosaik terkontrol.

Foto-foto yang dipergunakan untuk disusun menjadi mosaik adalah foto yang telah dikoreksi (*tilt* telah hilang dan skala untuk seluruh bloknya telah seragam) dengan cara rektifikasi. Pengikatan antar foto dilakukan menggunakan titik-titik kontrol, baik titik kontrol minor maupun titik kontrol tanah. Di sini mosaik yang terbentuk telah terikat atau terorientasi terhadap sistem tanah. Bila dilihat dari proses rektifikasi diferensial maka hasilnya adalah ortofoto, sehingga mosaiknya juga disebut mosaik ortofoto, dan skalanya seragam.

Pembuatan mosaik merupakan penggabungan dua atau lebih foto udara yang bertampalan sehingga diperoleh gambaran yang menyajikan suatu daerah yang lebih luas. Pertampalan kedepan antara dua foto yang berturutan adalah $60\% \pm 5\%$, sedangkan pertampalan ke samping pada jalur terbang yang berdampingan adalah $30\% \pm 5\%$ untuk tinggi terbang lebih dari 1.500 m dan $30\% \pm 10\%$ untuk tinggi terbang kurang dari 1.500 meter.

Setiap foto udara yang akan di mosaik harus berada dalam satu sistem proyeksi peta dan menggunakan datum yang sama. Metode pembuatan mosaik foto pada penelitian ini menggunakan metode digital murni yaitu metode yang semua proses penyambungan dilaksanakan sepenuhnya dengan bantuan komputer dan datanya berwujud data digital (Patmoko, 1999).

Berdasarkan jenis foto udara yang digunakan, mosaik foto udara dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

1. Mosaik foto terekтификаси.

Mosaik foto terekтификаси merupakan gabungan dua buah foto udara yang telah direktifikasi atau lebih, sehingga membentuk gambar utuh suatu medan. Pergeseran letak karena kesendengan sumbu kamera dapat terjadi pada setiap foto pada saat pemotretan. Rektifikasi untuk menghapus efek kesendengan sumbu akan menghasilkan ekivalen foto udara tegak, namun masih memiliki skala yang beragam karena adanya letak gambar yang disebabkan oleh perubahan relief. Untuk daerah yang relatif datar, variasi skala ini tidak terlalu besar, sehingga mosaik foto terekтификаси baik untuk pemetaan daerah ini.

2. Mosaik ortofoto.

Mosaik ortofoto merupakan gabungan dua ortofoto atau lebih untuk membentuk gambar utuh suatu medan. Ortofoto merupakan gambaran ortografis medan yang dibuat dari foto udara tegak menggunakan instrumen rektifikasi differensial, yang meniadakan pergeseran letak gambar oleh kesendengan fotografik dan relief.

Mosaik foto udara memiliki banyak keunggulan sehingga dapat digunakan secara luas dalam bidang perencanaan, baik untuk perencanaan penggunaan lahan maupun untuk proyek keteknikan. Dalam foto udara, semua perwujudan kritis yang dapat mempengaruhi proyek di daerah tertentu dapat segera diinterpretasikan dan diperhitungkan, sehingga memudahkan dalam proses pengambilan keputusan.

Kelebihan dari mosaik foto udara antara lain :

1. Jika dibandingkan dengan peta, mosaik foto udara dapat menunjukkan posisi relatif secara planimetris obyek-obyek di permukaan tanah sesuai dengan keadaan alami. Obyek-obyek ini dapat dikenali dengan mudah melalui citra fotografik, sedangkan pada peta garis diperlihatkan melalui simbol yang terbatas.
2. Untuk daerah yang luas, mosaik dapat dibuat dengan waktu yang lebih singkat dan biaya yang murah.
3. Mosaik foto udara dapat dengan mudah diketahui dan diinterpretasikan oleh setiap orang tanpa harus mempelajari bidang ilmu geodesi.

Selain kelebihan, mosaik foto udara juga mempunyai kekurangan, yaitu posisi yang benar-benar planimetris susah diperoleh. Hal ini disebabkan oleh adanya pergeseran bayangan atau variasi skala yang disebabkan oleh variasi ketinggian permukaan terbang. Pada mosaik adanya variasi skala yang disebabkan oleh variasi tinggi permukaan bumi atau topografi, kesalahan kemiringan sumbu kamera, dapat diatasi melalui rektifikasi.

Pembentukan mosaik foto dalam *software Agisoft PhotoScan* dilakukan setelah tahap *alignment*, *build geometry*. Proses pembentukan mosaik foto menggunakan aplikasi *SIFT invariant*. Algoritma *SIFT invariant* atau disebut *Scale Invariant Feature Transform*. *SIFT invariant* merupakan algoritma dalam *computer vision* yang digunakan untuk mendeteksi dan mendeskripsikan fitur dalam *image*. Algoritma ini akan mengekstraksi fitur dari satu atau beberapa *image* dan kemudian disimpan ke dalam *database* sebagai referensi. *Image*

matching dilakukan dengan mencocokkan fitur pada *database* referensi menggunakan teknik interpolasi *nearest neighbour*. Interpolasi *nearest neighbour* atau interpolasi tetangga terdekat merupakan penentuan nilai keabuan piksel yang baru berdasarkan nilai piksel tetangga yang paling dekat. *Nearest neighbour* merupakan prosedur yang efisien karena tidak terjadi perubahan nilai piksel selama proses *resampling*. *Resampling* adalah suatu proses melakukan ekstrapolasi nilai data untuk piksel-piksel pada sistem grid yang baru dari nilai piksel citra aslinya. Perubahan nilai piksel sering mengakibatkan hilangnya informasi *spectral* yang penting (Lowe, 1999).

II.5. Ground control point (GCP)

Ground control point atau titik kontrol tanah adalah titik yang terdapat di lapangan dan dapat diidentifikasi pada foto dan mempunyai koordinat di kedua sistem, yaitu sistem koordinat tanah dan sistem koordinat foto. GCP diperlukan untuk kegiatan transformasi koordinat dari sistem koordinat tertentu ke sistem koordinat tanah. Titik kontrol ini terdapat pada kedua sistem koordinat yang mempunyai posisi relatif pada obyek yang sama. Pada pengkoreksian suatu citra diperlukan GCP, sehingga ada keterkaitan antara sistem citra dengan sistem tanah.

Titik kontrol tanah ini dapat ditentukan dengan berbagai cara. Untuk penentuan koordinat planimetrisnya (X,Y) dapat digunakan metode triangulasi, trilaterasi, poligon dan GPS. Sedangkan untuk penentuan tinggi titiknya (Z) dapat digunakan metode sipat datar atau trigonometris. Data pengukuran disini adalah pengukuran titik kontrol horisontal dan tinggi. Hasil dari pengukuran titik kontrol

ini adalah daftar koordinat tanah X, Y, Z pada masing-masing titik kontrol tanah yang dilalui jalur pengukuran.

Persebaran titik kontrol pemetaan (GCP) metode poligon dapat dilihat pada Gambar 2.4 dengan tanda titik-titik berwarna merah pada foto lokasi penelitian.



Gambar 2.4. Persebaran titik-titik kontrol pemetaan metode poligon

Dalam pemotretan udara, titik kontrol tanah ini diperlukan untuk triangulasi udara. Triangulasi udara adalah cara penentuan koordinat titik kontrol minor secara fotogrametris. Titik kontrol minor adalah titik kontrol tanah perapatan yang mengacu pada titik kontrol tanah hasil *premarking*. Titik kontrol minor ini sering disebut dengan *postmark*, karena ditentukan setelah pemotretan.

Titik kontrol tanah berfungsi sebagai data masukan untuk proses hitungan titik bantu minor atau ikatan bantu secara fotogrametris. Hasil dari pekerjaan triangulasi udara ini adalah koordinat titik kontrol minor, baik titik kontrol penuh (X, Y, Z), titik kontrol planimetris (X,Y) dan tinggi (Z) yang telah diratakan.

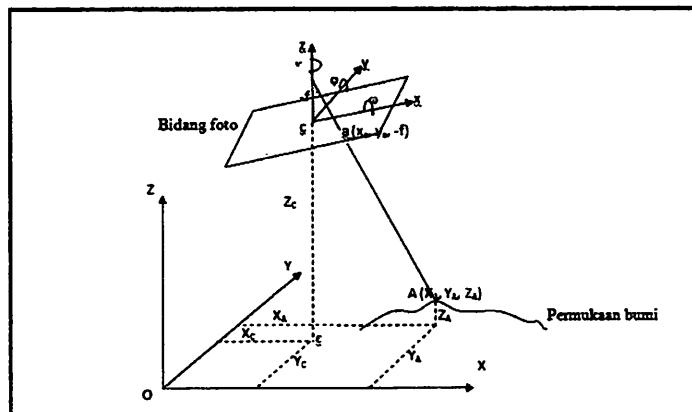
Tahapan triangulasi udara ini sangat penting karena titik-titik kontrol minor yang diperoleh dari proses ini akan memberikan kerapatan titik kontrol tanah. Titik-titik kontrol tanah inilah yang digunakan untuk rektifikasi. Rektifikasi adalah suatu proses pekerjaan untuk memproyeksikan citra ke bidang datar dan menjadikan bentuk *konform* (sebangun) dengan sistem proyeksi peta yang digunakan, juga digunakan mengorientasikan citra sehingga mempunyai arah yang benar. Yang perlu diperhatikan dalam penentuan atau pemilihan titik yang akan digunakan untuk rektifikasi ini adalah bahwa titik-titik kontrol tanah tersebut harus tersebar merata pada area pemotretan, mampu mewakili kondisi medan yang sesungguhnya, dan jumlahnya makin banyak makin baik. Hal ini berkaitan dengan ketelitian dari hasil rektifikasi.

Titik kontrol tanah yang terdistribusi merata pada area pemotretan akan memberikan hasil rektifikasi yang lebih presisi. Selain itu, perlu dilakukan pemasangan titik kontrol tanah pada daerah-daerah ekstrim, agar diperoleh titik-titik kontrol tanah yang mewakili kondisi medan yang sesungguhnya. Hal ini berkaitan dengan pergeseran relief. Semakin banyak titik kontrol tanah yang digunakan untuk rektifikasi, akan semakin banyak kontrol hitungan yang digunakan, sehingga semakin teliti hasil rektifikasi.

II.6. Bundle Adjustment

Bundle adjustment adalah suatu hitungan yang digunakan untuk mencari parameter *exterior orientation* (EO) dan juga koordinat *tie point* berdasarkan persamaan kolinear.

Orientasi luar merupakan posisi dan ketinggian ruang ($x_0, y_0, z_0, \omega, \phi$, dan κ) tiap berkas sinar tiap foto terhadap/pada sistem koordinat tanah. Setelah unsur-unsur orientasi luar dihitung, maka koordinat titik obyek pada foto terhadap sistem koordinat tanah dapat dihitung dengan memecahkan persoalan reseksi keruangan (*space resection problem*) seperti pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Hubungan antara sistem koordinat foto dan tanah
Keterangan gambar :

- (X, Y, Z) : sistem koordinat tanah (peta) dengan origin O
- (x, y, z) : sistem koordinat foto dengan origin c
- f : fokus kamera
- (X_A, Y_A, Z_A) : titik A pada permukaan bumi
- $(x_A, y_A, -f)$: titik A pada bidang foto
- (ω, ϕ, κ) : rotasi pada bidang foto

Pada kasus triangulasi udara dengan metode *bundle adjustment* digunakan persamaan kolinear untuk menghitung parameter-parameternya. Persamaan kolinear dapat dilihat pada persamaan (II.1) dan (II.2).

$$x_a = f \frac{r_{11}(X_A - X_0) + r_{21}(Y_A - Y_0) + r_{31}(Z_A - Z_0)}{r_{13}(X_A - X_0) + r_{23}(Y_A - Y_0) + r_{33}(Z_A - Z_0)} \dots\dots\dots (II.1)$$

$$y_a = f \frac{r_{12}(X_A - X_0) + r_{22}(Y_A - Y_0) + r_{32}(Z_A - Z_0)}{r_{13}(X_A - X_0) + r_{23}(Y_A - Y_0) + r_{33}(Z_A - Z_0)} \dots\dots\dots (II.2)$$

Dimana :

- x_0, y_0 : Koordinat foto titik a
- x_a, y_a : Koordinat foto yang diukur
- X_A, Y_A, Z_A : Koordinat *Object Space* untuk titik A
- X_L, Y_L, Z_L : Koordinat stasiun pemotretan
- f : Panjang fokus kamera
- r : 3 sudut matrik rotasi ortogonal (ω, ϕ, κ)

Persamaan (II.1) dan (II.2) merupakan persamaan tidak linier dengan parameter orientasi dalam dan koordinat *tie point* yang tidak diketahui. Untuk melinearkan persamaan kolinear, persamaan (II.1) dan (II.2) dituliskan lagi sebagai berikut :

$$F = 0 = qx_a + rf \dots\dots\dots (II.3)$$

$$G = 0 = qy_a + sf \dots\dots\dots (II.4)$$

Dimana :

$$q = m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)$$

$$r = m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L)$$

$$s = m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L)$$

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix}$$

Dimana :

$$m_{11} = \cos \varphi \cos \kappa$$

$$m_{12} = \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa$$

$$m_{13} = -\cos \omega \sin \varphi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa$$

$$m_{21} = -\cos \varphi \sin \kappa$$

$$m_{22} = -\sin \omega \sin \varphi \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa$$

$$m_{23} = \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa + \sin \omega \cos \kappa$$

$$m_{31} = \sin \varphi$$

$$m_{32} = -\sin \omega \cos \varphi$$

$$m_{33} = \cos \omega \cos \varphi$$

II.7. Orientasi Absolut Dengan Transformasi Koordinat Konform 3D

Pekerjaan orientasi absolut adalah proses pengikatan sistem koordinat model ke sistem pemetaan atau sistem tanah. Secara analitis, orientasi absolut tersebut adalah melakukan transformasi sebangun 3D dari sistem koordinat model ke sistem koordinat tanah (Soeta'at, 1994). Untuk dapat melakukan orientasi absolut dibutuhkan minimal tiga titik pada model yang diketahui koordinat tanahnya. Titik-titik tersebut biasanya disebut titik kontrol yang koordinatnya diperoleh dari proses triangulasi udara pada sistem tanah.

Transformasi koordinat konform tiga dimensi meliputi perubahan dari suatu sistem tiga dimensional ke sistem lainnya. Di dalam transformasi konform, bentuk yang benar tetap dipertahankan. Jenis transformasi koordinat ini penting di dalam fotogrametri analitik dan fotogrametri komputasional sehubungan dengan dua masalah pokok, yaitu: untuk mengubah koordinat titik-titik dari sistem koordinat foto yang mengalami kecondongan (*tilt*) ke sistem foto tegak ekivalennya yang sejajar dengan sistem ruang medan atau sembarang, dan untuk membentuk model jalur tiga dimensional dari model stereo mandiri (Wolf,1993). Dalam transformasi ini melibatkan tujuh faktor transformasi, yaitu: tiga sudut rotasi ω , ϕ , dan κ , satu faktor skala s , dan tiga faktor translasi T_x , T_y , T_z .

II.8. Pemodelan Tiga Dimensi

Pembentukan model tiga dimensi atau proses pembentukan *digital elevation model* (DEM) adalah sebuah penyajian digital dan matematis dari sebuah obyek nyata atau obyek *virtual*, beserta keadaan sekitarnya. Misal undulasi *terrain* terhadap suatu area tertentu. DEM merupakan sebuah konsep umum yang menunjukkan ketinggian permukaan tanah, beserta beberapa *layer* di atasnya, seperti bangunan, pepohonan, segala yang ada di atasnya disebut *digital surface model* (DSM).

Pada *Software Agisoft PhotoScan*, *digital surface model* (DSM) dibentuk berdasarkan data *point cloud* sebelumnya pada proses *align photo*. *Point cloud* yang dihasilkan masih terlihat kasar dan masih terdapat celah antar titik, serta obyek-obyek yang mempunyai ketinggian seperti pohon, bangunan belum terekonstruksi secara sempurna, hal ini dikarenakan pada saat pembentukan *point*

cloud hanya mengidentifikasi titik-titik yang mempunyai nilai piksel yang sama disebut sebagai *tie point*. Oleh karena itu, dilakukanlah pemodelan geometri.

Pada *software Agisoft PhotoScan* hasil dari pemodelan geometri adalah penggabungan antar titik berdasarkan nilai tingginya. Pada tahap *build geometry* akan merekonstruksi ketinggian atau kedalaman dari obyek. Proses ortorektifikasi dilakukan secara otomatis oleh program. Objek yang awalnya belum terdeteksi pada tahap *align photo*, akan terbentuk pada tahap ini. Secara otomatis titik-titik yang memiliki kesalahan ketinggian besar akan dihapus. Geometri terbentuk oleh jaringan segitiga (TIN) dari *tie point*.

II.9. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) merupakan sistem tanpa awak (*Unmanned System*), yaitu sistem berbasis elektro-mekanik yang dapat melakukan misi-misi terprogram, dengan karakteristik: tanpa awak pesawat, beroperasi pada mode mandiri baik secara penuh atau sebagian, Sistem ini dirancang untuk dapat dipergunakan secara berulang (Wikantika, 2009).

Sistem pemotretan udara terdiri dari dua bagian, yaitu sistem pada pesawat RC dan sistem pada *ground station*. Sistem pemotretan udara pada pesawat RC. Sistem pada pesawat RC antara lain berupa perangkat bantu navigasi dan perangkat pemotretan udara. Berikut ini instalasi perangkat yang digunakan dalam pemotretan udara pada pesawat RC (Widhi, 2011):

1. Antena GPS eksternal, diletakkan di sisi atas pesawat sehingga sinyal satelit GPS tidak terhalang bagian pesawat ataupun komponen elektronik lainnya.
2. Mikro kamera. Membidik ke arah depan - bawah dari pesawat RC untuk mengetahui obyek yang akan dilewati di bawah pesawat pada saat melakukan pemotretan udara.
3. *E-logger*. Penerima input dan perekam data GPS dari antena GPS, dihubungkan dengan perangkat *On Screen Display* (OSD).
4. *On Screen Display* (OSD). Penerima sinyal video dari mikro kamera dan sinyal dari *eLogger* (berisi data GPS). OSD dihubungkan dengan video transmitter. Hasil output OSD adalah tampilan video dari bidikan mikro kamera dengan parameter posisi, kecepatan, azimuth dan ketinggian GPS navigasi dari *eLogger*.
5. Video transmitter (video Tx) 2,4 GHz. Penerima sinyal video-audio dari OSD dan dikirimkan secara *wireless* ke video receiver (video Rx) di *ground station*.

Berikut ini instalasi perangkat pengendali terbang pesawat RC yang berada di *ground station*:

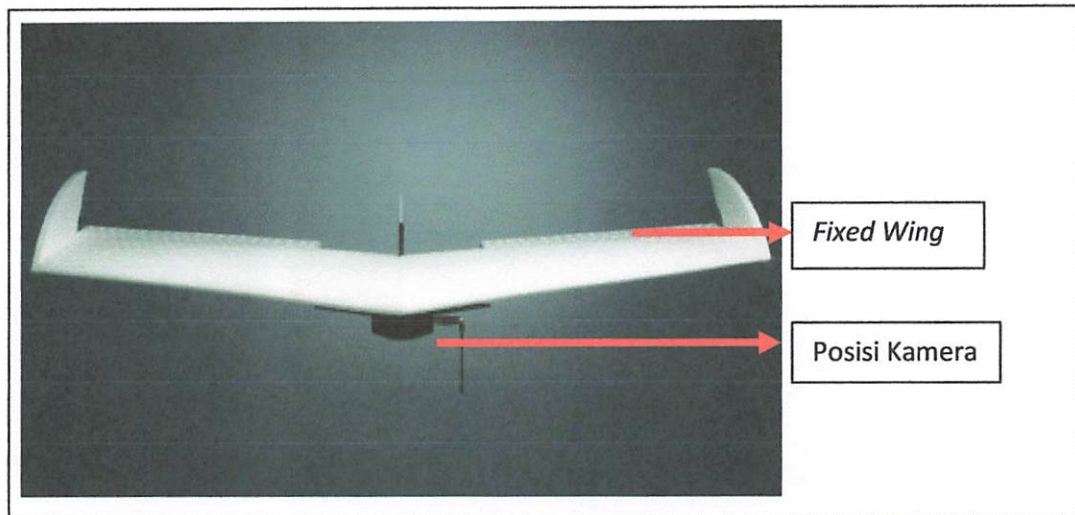
1. *Flat patch* antena 2,4 GHz 8 dBi dan video receiver. Antena dan video receiver adalah perangkat penerima sinyal yang dipancarkan oleh video transmitter di atas pesawat. Untuk menghindari sinyal yang diterima

lemah atau hilang, antena diletakkan di area terbuka yang dapat di arahkan secara langsung ke pesawat penerbangan

2. *Eagleeyes FPV Station*. Perangkat yang mengubah sinyal video dan telemetri GPS dari video *receiver* hingga dapat dibaca di layar monitor TV *portable* dalam bentuk *live view* video dan *real time tracking* GPS navigasi di layar komputer. dan panel – panel yang digunakan untuk dapat menampilkan *live view* video di layar TV *portable* dan *real time tracking* GPS di layar monitor komputer.
3. TV *portable*, dihubungkan dengan *Eagleeyes FPV Station* untuk menampilkan *live view* video yang terekam mikro kamera di atas pesawat RC dengan menampilkan parameter kecepatan, ketinggian, azimuth dan posisi GPS.
4. Seperangkat laptop. Laptop yang terinstal *software Google Earth* dihubungkan dengan perangkat *Eagleeyes FPV Station* menggunakan kabel data.
5. Aki kering. Aki dengan voltase 12 volt dihubungkan dengan TV *portable*, video *receiver* dan *Eagleeyes FPV Station* sebagai sumber *power*.
6. Radio *transmitter*. Lima dari 9 *channel* radio *transmitter* digunakan untuk mengontrol secara *wireless* gerakan tiap servo sesuai instalasi servo pada radio *receiver*.

Jenis-jenis pesawat model ditinjau dari konstruksi sayapnya antara lain (Prahita, 1999);

1. Pesawat terbang bersayap tetap (*Fixed Wing Aircraft*). Sayap dipasang pada *airframe* secara tetap (*fixed*) pada posisi di bawah badan pesawat (*low wing*), di tengah badan pesawat (*middle wing*) atau di atas badan pesawat (*high wing*). Pesawat jenis *Fixed Wing* dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Contoh *Fixed Wing Aircraft*

2. Pesawat terbang bersayap putar (*Rotary Wing Aircraft*). Pada jenis ini sayap tidak dipasang secara tetap (*fixed*), tetapi diputar oleh satu mesin.. Pesawat jenis *Rotary Wing* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Contoh *Rotary Wing Aircraft*

II.10. *Software Agisoft PhotoScan Professional*

Agisoft PhotoScan Professional merupakan software pengolahan foto udara yang dikembangkan oleh *AgiSoft LLC Suport* dari Rusia. *Software Agisoft PhotoScan Professional* dapat digunakan untuk proses pembentukan mosaik dengan pengidentifikasian *tie point* secara otomatis, pembentukan *point cloud* beserta hasil residual hitungan *bundle adjustment*, pembentukan DEM dan DSM dari mosaik yang dibentuk. *Point cloud* dalam *software* ini adalah *tie point* yang secara otomatis dibentuk menjadi model tiga dimensi.

Secara umum *point cloud* merupakan titik-titik hasil perekaman data DTM ataupun DSM permukaan bumi yang tersusun dengan menggunakan sistem koordinat tiga dimensi. Titik-titik ini biasanya terdefinisikan dengan koordinat X,Y,Z dan biasanya dimaksudkan untuk memberi gambaran suatu permukaan pada suatu objek. *Point cloud* biasanya dihasilkan dari *scanner* tiga dimensional. *Scanner* ini secara otomatis mengukur serta merekam banyak titik yang terdapat pada suatu objek dan dikeluarkan dalam bentuk data.

Kelebihan dari *software* ini adalah dapat melakukan pengolahan mosaik dalam waktu singkat dengan mosaik yang dihasilkan mempunyai *color balancing* yang baik, dan sambungan antar foto yang tidak terlihat. Proses ortorektifikasi dilakukan secara otomatis oleh program. Ortorektifikasi ini digunakan untuk menghapus efek kemiringan sumbu dan hasilnya berupa ekuivalen foto tegak. Karena pergeseran letak gambar sehubungan dengan perubahan relief, ekuivalen foto tegak masih mengandung skala yang tidak seragam. Di dalam proses peniadaan pergeseran letak oleh relief pada sembarang foto, variasi skala juga dihapus sehingga skala menjadi sama bagi seluruh foto.

BAB III

PELAKSANAAN PENELITIAN

III.1. Persiapan

Dalam tahap persiapan, beberapa hal yang perlu dilakukan adalah persiapan peralatan (*hardware, software*), dan persiapan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian.

III.1.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini di Dusun Winong, Desa Tuksono, Kecamatan Sentolo, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan luas 34 Ha. Pengambilan data penelitian dilakukan pada bulan Mei 2013. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Lokasi penelitian (*Google Earth*)

III.1.3. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat keras, perangkat lunak, antara lain :

A. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. *Laptop Sony Vaio* dengan spesifikasi *Intel Core i3-380M Processor 2.53 GHz*, *RAM 4GB*, *hard disk 320 GB* untuk pengolahan data dan penulisan laporan.
2. *Printer Cannon iP 1880* untuk mencetak hasil laporan.

B. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan terdiri atas:

1. *Windows 7 Home Premium (64-bit)*, digunakan sebagai sistem operasi.
2. *Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9*, digunakan sebagai pengolahan data foto.
3. *Ms. Office Word 2007*, digunakan sebagai penulisan laporan.
4. *Ms. Excel 2007*, digunakan untuk perhitungan data.
5. *Transformasi Koordinat Versi 1.01*, digunakan untuk menstranformasi dari satu sistem koordinat, ke sistem koordinat yang lain.

III.1.4. Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan antara lain :

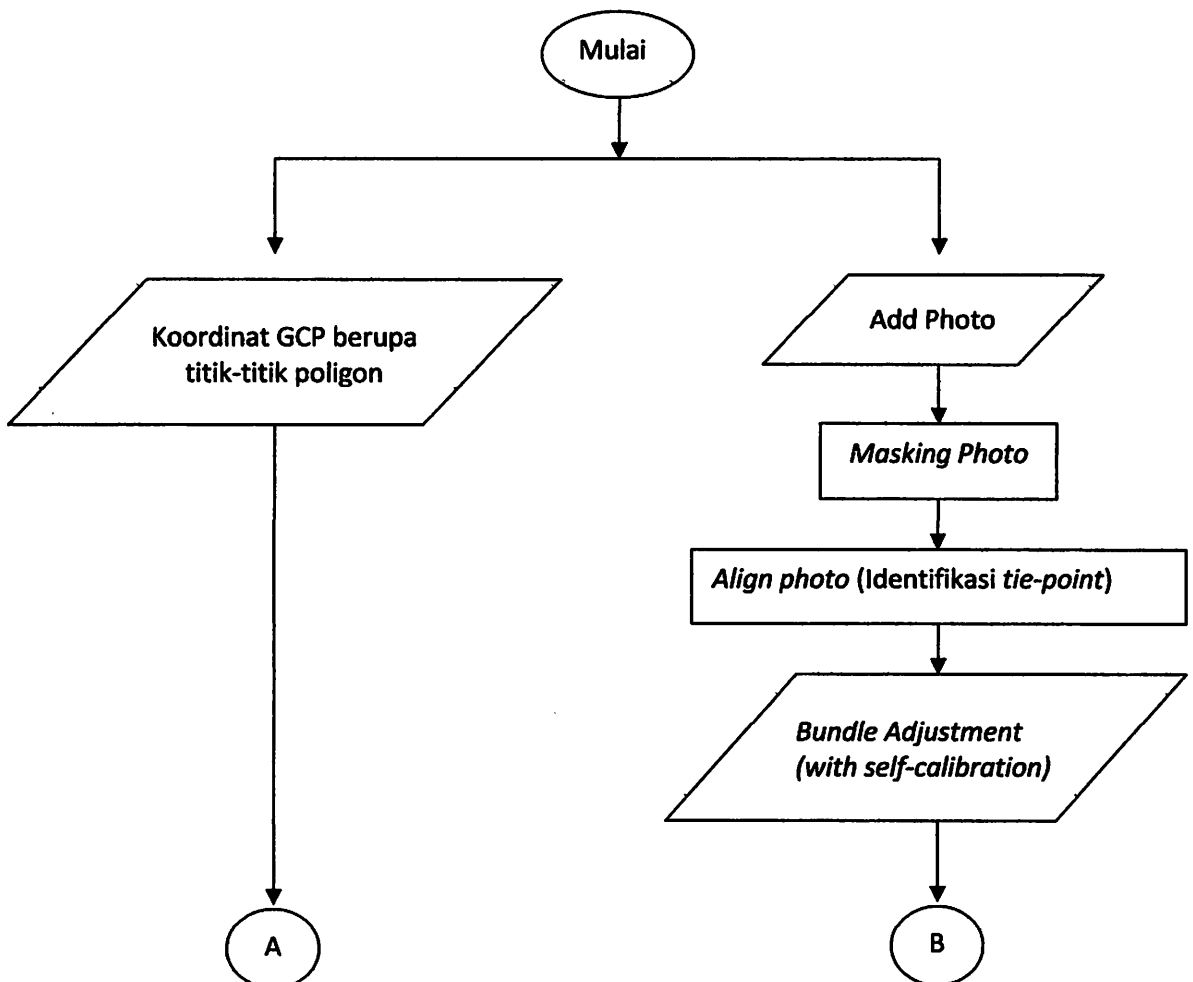
1. Hasil foto udara dengan kamera *canon powershot S100* menggunakan wahana pesawat *UAV* dalam format *JPEG Image* (.JPG). Data diperoleh dari kantor PT. Jelajah Survey Konsultan.

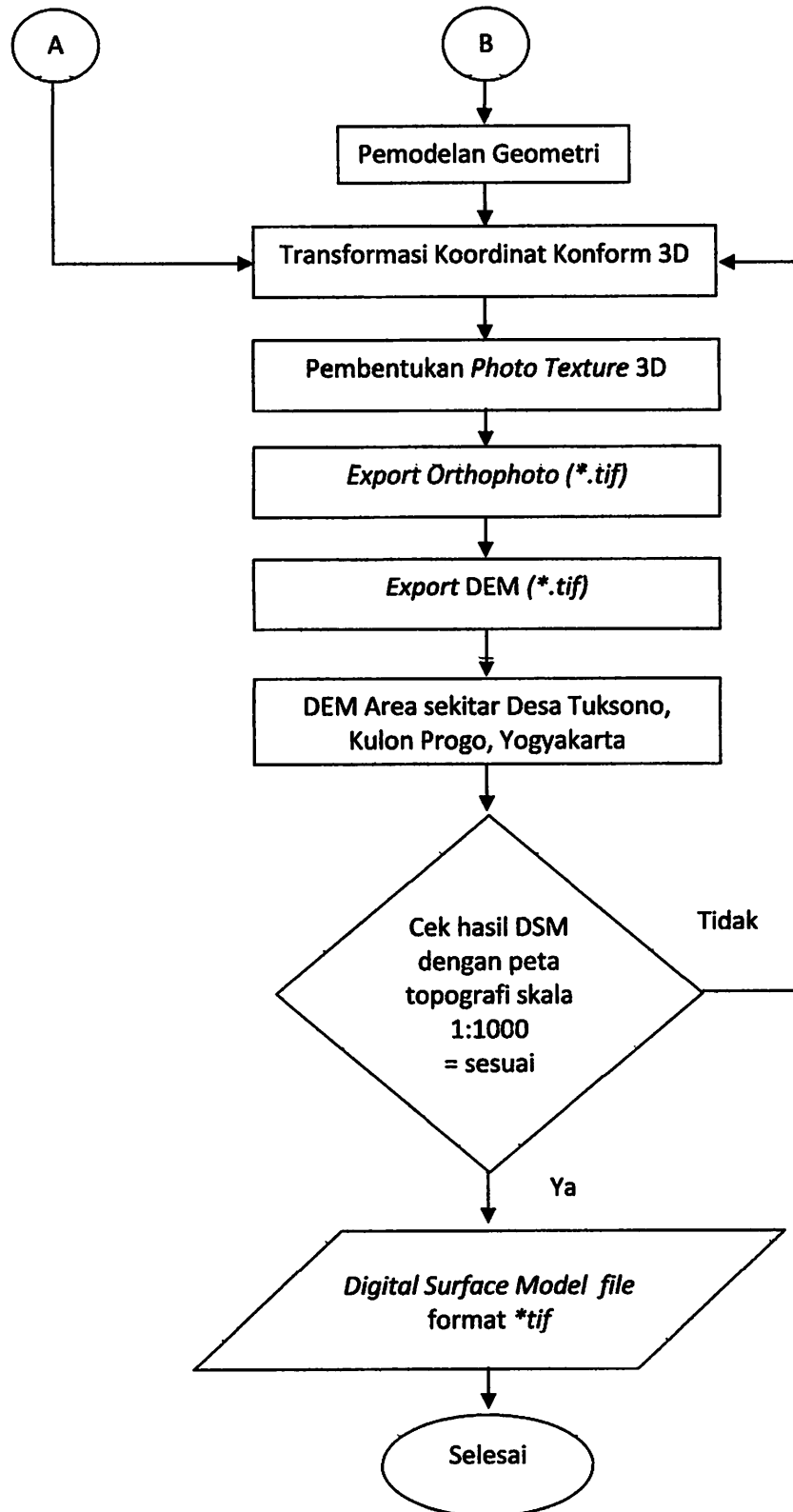
2. Data *ground control point*. Data diperoleh dari kantor PT. Jelajah Survey Konsultan.

Penelitian yang dilakukan oleh penulis hanyalah sebatas pekerjaan studio. Sedangkan pengambilan data foto udara dan pengukuran *ground control point* dengan metode poligon dilakukan oleh tim survei dari PT. Jelajah Survey Konsultan.

III.2. Metode Penelitian

Tahapan pekerjaan dalam penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir berikut ini :





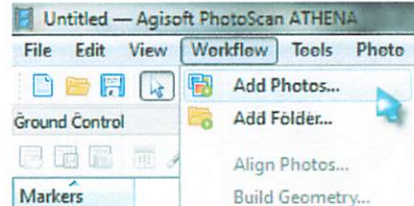
Gambar 3.2. Diagram alir penelitian

III.3. Pengolahan Data Foto Udara Menggunakan *Software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9*

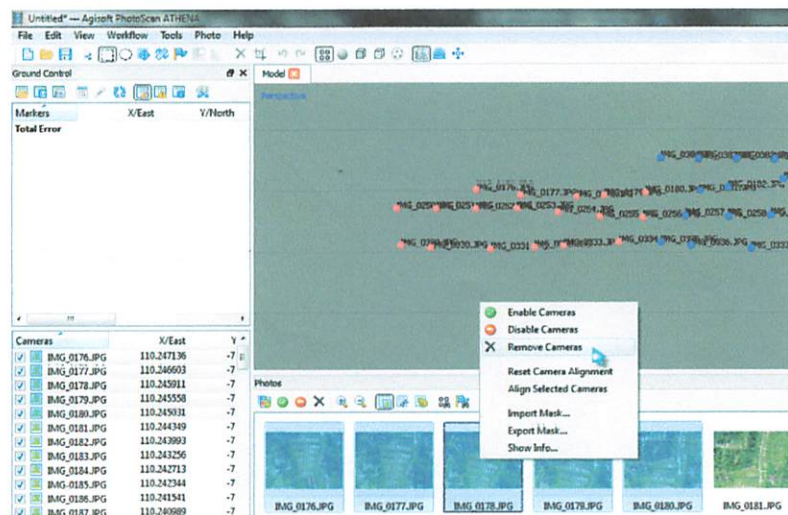
Secara garis besar, pengolahan data foto udara dengan menggunakan *Software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9* meliputi langkah-langkah :

III.3.1. Eliminasi *Photo*

Setelah melakukan **Add Photo** pada menu **Workflow** seperti pada Gambar 3.3, selanjutnya melakukan proses eliminasi foto seperti Gambar 3.4 dengan cara klik kanan *thumbnail* foto yang terseleksi dengan klik kanan lalu pilih **remove camera**. Melakukan proses eliminasi juga pada tampilan foto yang kurang baik misal blur, terlalu terang/gelap, atau area yang tidak diinginkan.



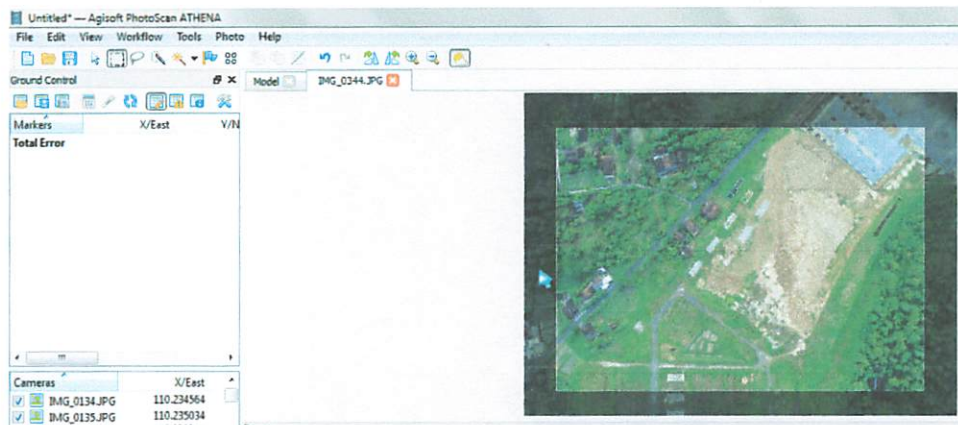
Gambar 3.3. Menambahkan foto yang akan di proses



Gambar 3.4. Tampilan eliminasi foto

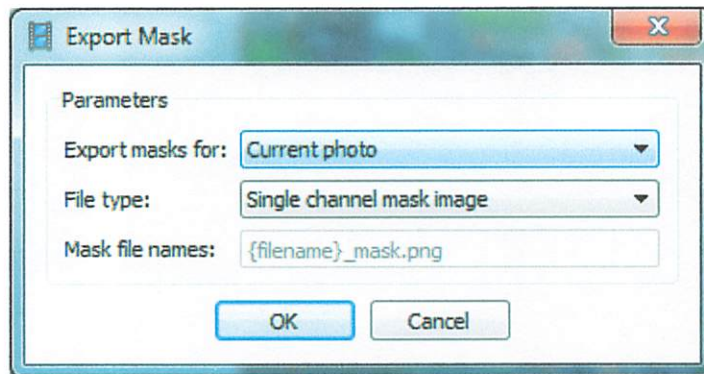
III.3.2. Masking Photo

Masking foto digunakan untuk memilih bagian foto yang tidak diikuti proses pengolahan karena terdapat obyek penghalang atau karena terletak pada bagian tepi foto (reduksinya besar). Pilih icon  *rectangle selection* untuk melakukan proses masking foto. Tarik dari ujung kiri atas ke ujung kanan bawah sehingga terbentuk kotak area masking. Buat kotak tersebut kira-kira 5 % sampai 10 % dari area tepi foto.



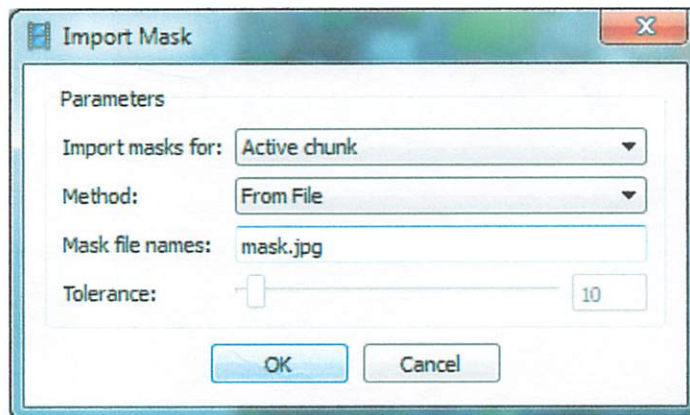
Gambar 3.5. Tampilan *masking* foto

Eksport masking untuk menyimpan pada direktori tertentu agar bisa digunakan pada foto yang lain dengan cara klik kanan pada foto yang telah dilakukan proses *masking* lalu pilih *export mask*. Pilih *Current Photo* pada pilihan *Export mask for*. Pilih *Single channel mask image* pada pilihan *File type*. Kemudian tentukan nama *mask* dan letakan pada direktori yang sama dengan data foto UAV, lalu klik **OK**.



Gambar 3.6. Tampilan jendela *export mask*

Melakukan proses *import mask* untuk semua foto dengan data hasil *masking* sebelumnya. Klik kanan salah satu sembarang *thumbnail* foto dan pilih **Import Mask**. Pilih *Active Chunk* atau *Entire workspace* (sesuai keperluan) pada pilihan *Import masks for*. Pilih *From file* pada pilihan *Method*. Pastikan nama *file* pada kolom *mask files name* telah sesuai dengan nama *mask* yang dibuat sebelumnya. Klik **OK**.

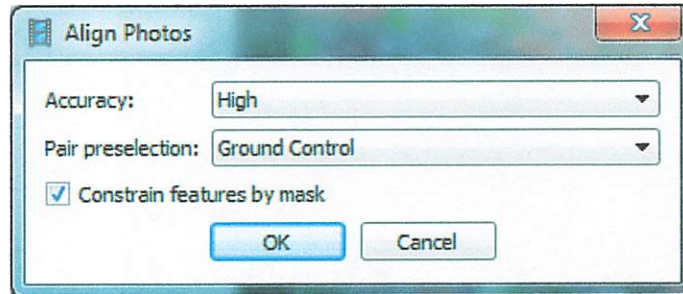


Gambar 3.7. Tampilan *import mask*

III.3.3. Align Photo

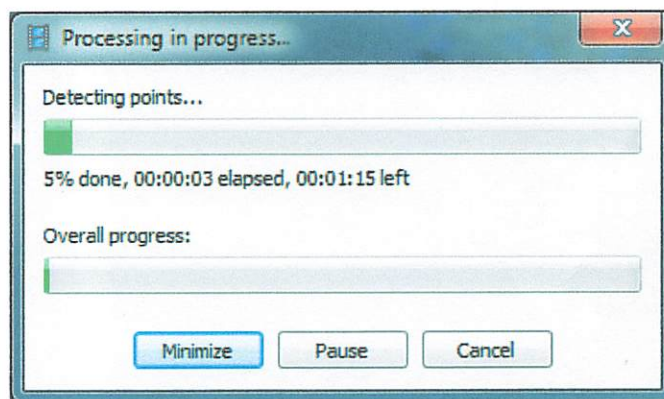
Proses ini bertujuan untuk mencari pasangan *tie point* dan penyusunan *orthofoto*. Pada *Workflow*, klik **Align Photos**. Pada *Set Accuracy* pilih sesuai

keperluan. Pilih **Ground control** pada pilihan **Pair preselection**. Memberi tanda centang pada **Constrain features by mask**. Kemudian klik **OK**.



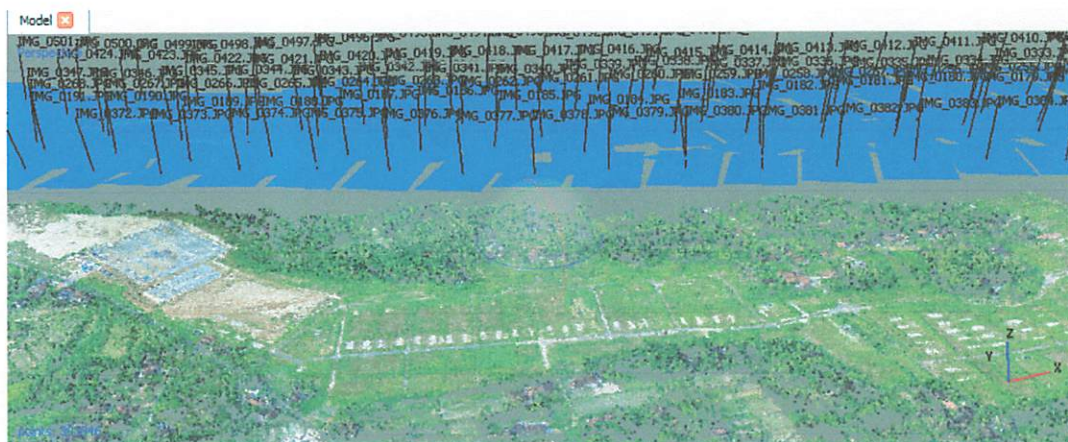
Gambar 3.8. Tampilan jendela *align photo*

Tunggu proses *mosaic* foto selesai. Lama waktu tergantung kondisi data dan jumlah data.



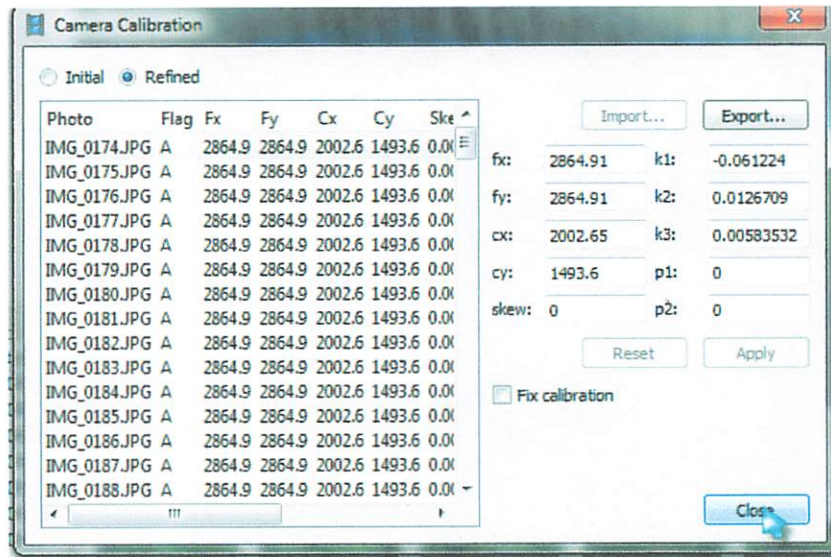
Gambar 3.9. Tampilan proses *align photo*

Tampilan *point cloud* hasil proses *align photo* dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Tampilan *point cloud* hasil proses *align photo*

Proses *align photo* juga melakukan koreksi *geometric*, koreksi *radiometric* atau penyesuaian nilai *spectral* serta proses identifikasi parameter orientasi dalam kamera. Pada **Tools**, klik **Camera Calibration**.

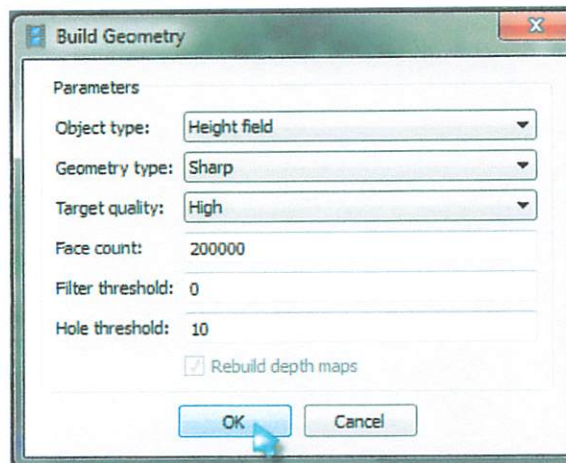


Gambar 3.11. Tampilan identifikasi parameter orientasi dalam kamera

III.3.4. Build Geometry

Setelah proses pembentukan *point cloud*, tahap selanjutnya adalah pembuatan model geometri. Pemodelan geometri pada langkah ini hanya berdasarkan data *point cloud* saja.

Melakukan proses penyusunan geometri 3D hanya berdasar *point cloud* sebelum menempatkan titik GCP. Klik **Build Geometry** pada menu **Workflow**. Pilih **Height field** pada pilihan **Object type**. Pilih **Sharp** pada pilihan **Geometry Type**. Pada **target quality** pilih sesuai keperluan.



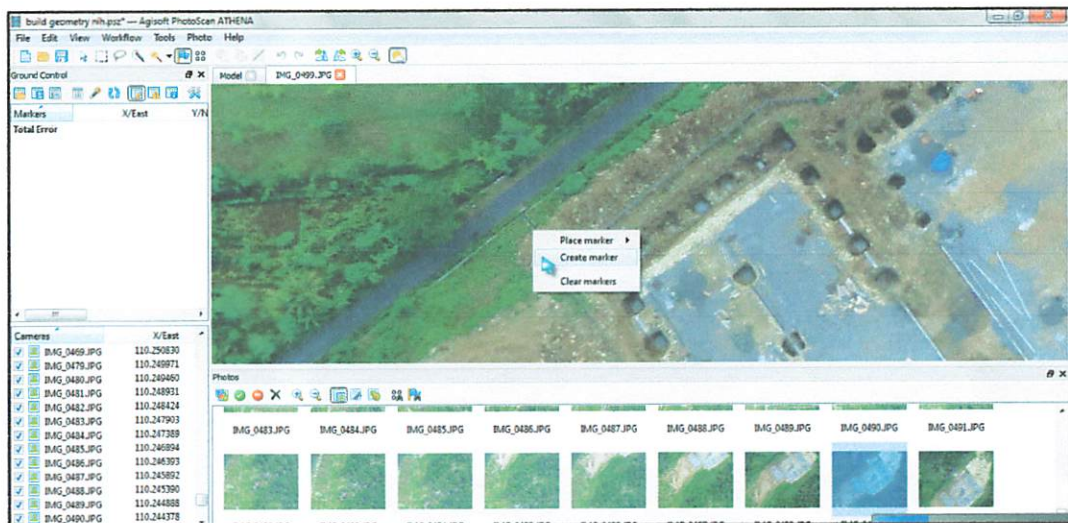
Gambar 3.12. Tampilan jendela *build geometry*



Gambar 3.13. Tampilan *shaded geometry*

III.3.5. Transformasi Koordinat Konform 3D

Pada tahap ini terlebih dahulu dilakukan identifikasi posisi GCP secara tepat dengan memberikan tanda (*marker*) pada tekstur 3D *project*, dapat dilihat pada Gambar 3.14. Klik icon  **Create Marker** untuk memulai menentukan letak titik kontrol pada foto. Letakan kursor pada lokasi dimana titik kontrol berada, kemudian klik kanan dan pilih **create marker**. Koordinat-koordinat yang digunakan sebagai *premark* dapat dilihat pada Lampiran B.



Gambar 3.14. Penentuan GCP

Pada *Ground Control pane*, mengisikan nilai koordinat x y dan tinggi (z). Melakukan hal serupa untuk semua titik kontrol (GCP) yang digunakan.

Markers	X/East	Y/North	Z/Altitude
B18	110.247350	-7.865455	94.650544
B20	110.248691	-7.867254	98.504682
B21	110.248736	-7.867431	99.135871
B24	110.250560	-7.867890	96.957348
B29	110.252601	-7.869173	88.450461
B32	110.254876	-7.869859	90.815447
B35	110.255640	-7.869460	91.237198
B47	110.255522	-7.870444	87.544124
B58	110.252470	-7.870408	87.041751
B64	110.250293	-7.868948	98.006425
B67	110.247639	-7.868059	96.546163
B69	110.246431	-7.866502	93.414509
BPN	110.244383	-7.863984	96.858000

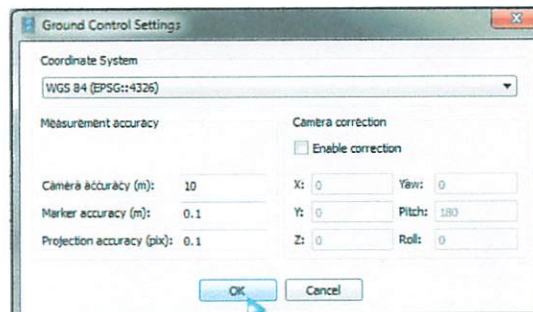
Gambar 3.15. Tampilan pemberian nilai koordinat GCP

Kesalahan (RMSE) dapat dilihat pada halaman tampilan *list* GCP dengan menggeser ke sisi kanan nilai koordinat.

Markers	X/East	Y/North	Z/Altitude	Error (m)	Projections	Error (pix)
☒ B18	110.247350	-7.865455	94.650544	2.212907	13	0.016
☒ B20	110.248691	-7.867254	98.504682	0.441832	22	0.025
☒ B21	110.248736	-7.867431	99.135871	2.101686	23	0.023
☒ B24	110.250560	-7.867890	96.957348	1.623438	26	0.024
☒ B29	110.252601	-7.869173	88.450461	0.567771	30	0.022
☒ B32	110.254876	-7.869859	90.815447	0.811978	17	0.017
☒ B35	110.255640	-7.869460	91.237198	1.977481	7	0.006
☒ B47	110.255522	-7.870444	87.544124	2.108520	13	0.012
☒ B58	110.252470	-7.870408	87.041751	2.586404	23	0.013
☒ B64	110.250293	-7.868948	98.006425	2.032061	24	0.022
☒ B67	110.247639	-7.868059	96.546163	1.278254	22	0.023
☒ B69	110.246431	-7.866502	93.414509	1.652086	27	0.021
☒ BPN	110.244383	-7.863984	96.858000	1.229155	10	0.026
Total Error				1.713648		0.021

Gambar 3.16. Tampilan kesalahan (RMSE) koordinat GCP

Apabila ada titik GCP yang tidak terletak pada posisi seharusnya lakukan *editing* dengan mengklik icon  **Edit marker** lalu lakukan pergeseran manual GCP menuju posisi yang semestinya. Setelah semua GCP dicek dan diedit pada semua foto, maka proses selanjutnya adalah optimasi koordinat dengan memanfaatkan GCP yang ada. Klik icon  **setting** pada *ground control pane*.



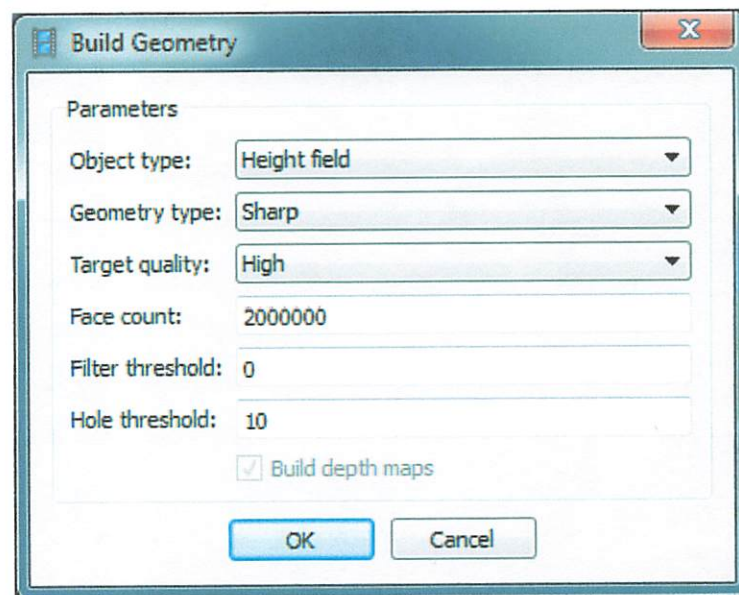
Gambar 3.17. Tampilan jendela *ground control setting*

Penelitian ini menggunakan koordinat GCP bergeoreferensi pada sistem koordinat *WGS 84*, dapat dilihat pada Gambar 3.17. Kemudian isikan ketelitian dari GCP yang ada, pastikan ketelitian GCP lebih tinggi dibanding ketelitian posisi GPS kamera. Kemudian klik **OK**. Hasil *point cloud* yang telah ter-georeferensi dapat dilihat pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18. Posisi *point cloud* yang telah ter-georeferensi

Melakukan proses **Build geometry** untuk pembentukan DSM. Pilih menu **Build geometry** pada **Workflow**. Menentukan pengaturan pada jendela **Build geometry** seperti dibawah ini: **Object type : Height field** , **Geometry Type : Sharp**, **Target Quality : High**, **fase count : 2000000**, **filter threshold : 0**, **hole threshold : 10**.



Gambar 3.19. Tampilan jendela *build geometry*

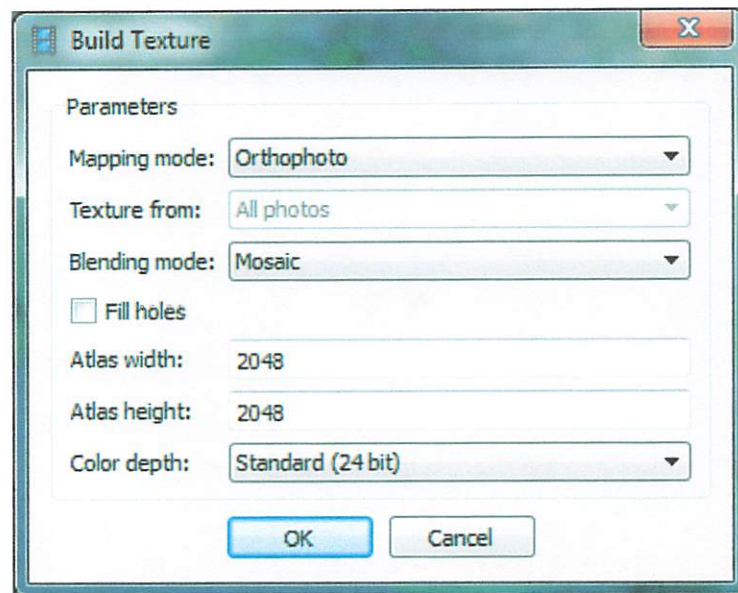
Tunggu proses hingga selesai. Lama waktu tergantung kondisi data dan jumlah data. Hasil *build geometry* dapat dilihat pada Gambar 3.20.



Gambar 3.20. Tampilan *build geometry* ter-georeferensi

III.3.6. Build Texture

Melakukan proses **Build Texture** pada menu **Workflow**. Pada **Mapping mode** pada pilihan **Orthofoto**. Pilih **Mosaic** pada kolom **Blending mode**. Pada **Atlas width** dan **Atlas height** diisikan sesuai keperluan. Kemudian klik **OK**.



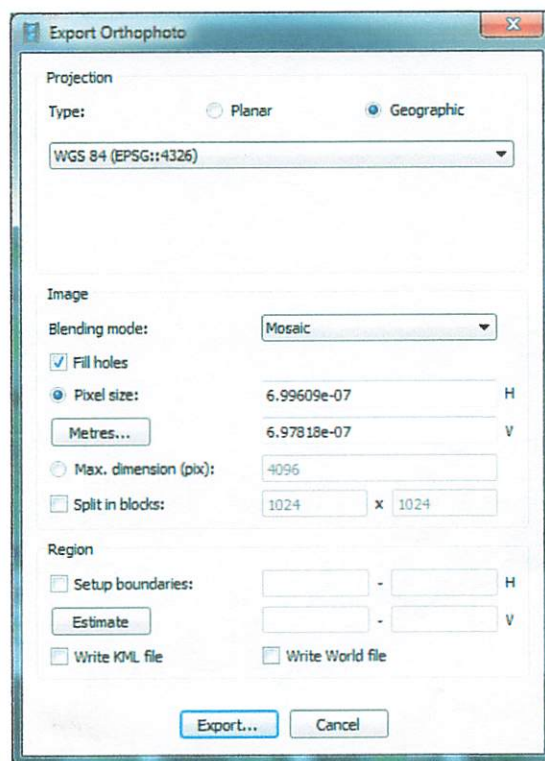
Gambar 3.21. Tampilan jendela *build texture*



Gambar 3.22. Tampilan tekstur 3D

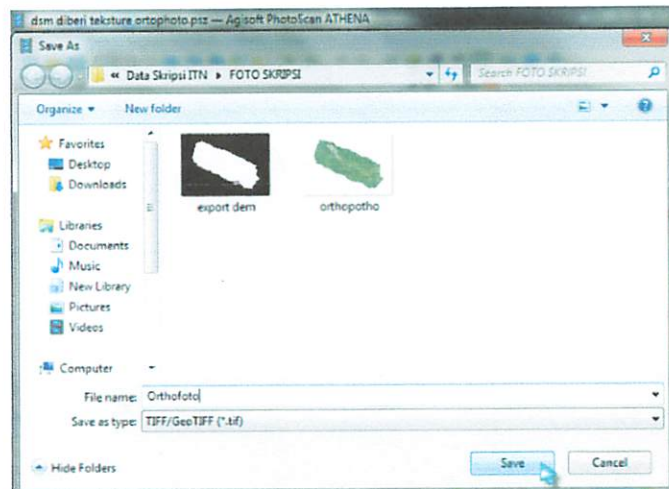
III.3.7. Export Orthophoto

Output orthofoto dapat disimpan dengan memilih menu **File→Export Orthophoto→Export jpeg/tiff/png**. Pada **Type** pilih **Geographic**. Pada **Blending mode** pilih **mosaic**. Tentukan resolusi output yang diinginkan dengan klik pada **Metres**, jika tidak diganti maka resolusi akan disesuaikan kondisi foto hasil perekaman UAV. Klik **Export**.



Gambar 3.23. Tampilan jendela *export orthophoto*

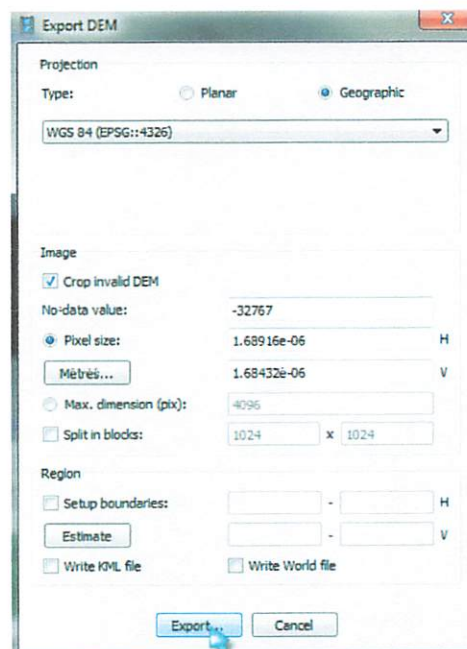
Menentukan nama dan direktori untuk menyimpan *orthofoto*. Pada **Save as type** pilih format *orthopoto* yang disimpan sesuai keperluan (*.tif, *.jpg, *.png). Lalu klik **Save**.



Gambar 3.24. Tampilan jendela *save orthophoto*

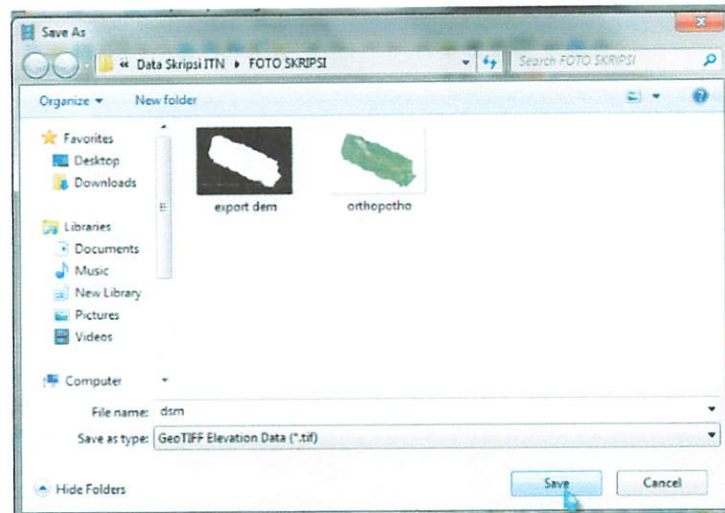
III.3.8. Export DEM

Export output berupa DEM hampir serupa seperti menyimpan *orthofoto* hanya saja menu yang dipilih adalah menu **file → Export DEM**. Pada **Projection Type** pilih **Geographic** dengan sistem koordinat **WGS 84**. Menentukan resolusi DSM atau biarkan sesuai resolusi hasil pengolahan.



Gambar 3.25. Tampilan jendela *export DEM*

Menentukan nama dan direktori untuk menyimpan DEM. Pada **Save as type** pilih format DEM yang disimpan sesuai keperluan (*.tif, *.asc, *.bil, *.xyz).
Lalu klik **Save**.



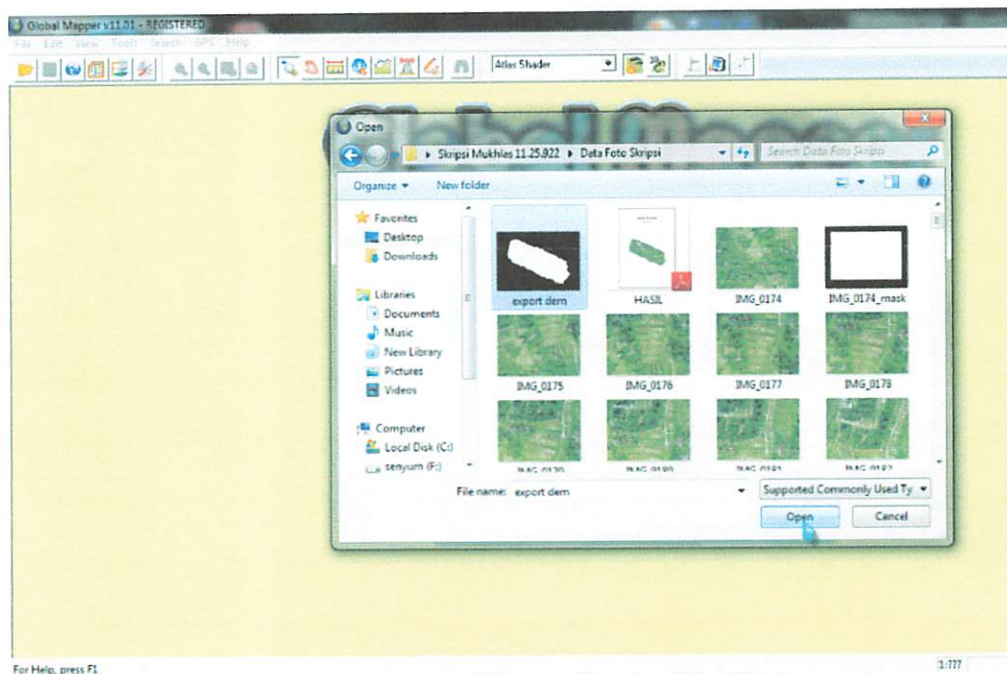
Gambar 3.26. Tampilan jendela *save export DEM*

III.3.9. Analisa Hasil DSM Dengan Kontur Topografi Skala 1:1000

Analisa yang dilakukan adalah dengan mengoverlay hasil dari DSM yang telah diolah pada *software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9* dengan kontur topografi skala 1:1000. *Overlay* dilakukan pada *software Global Mapper*.

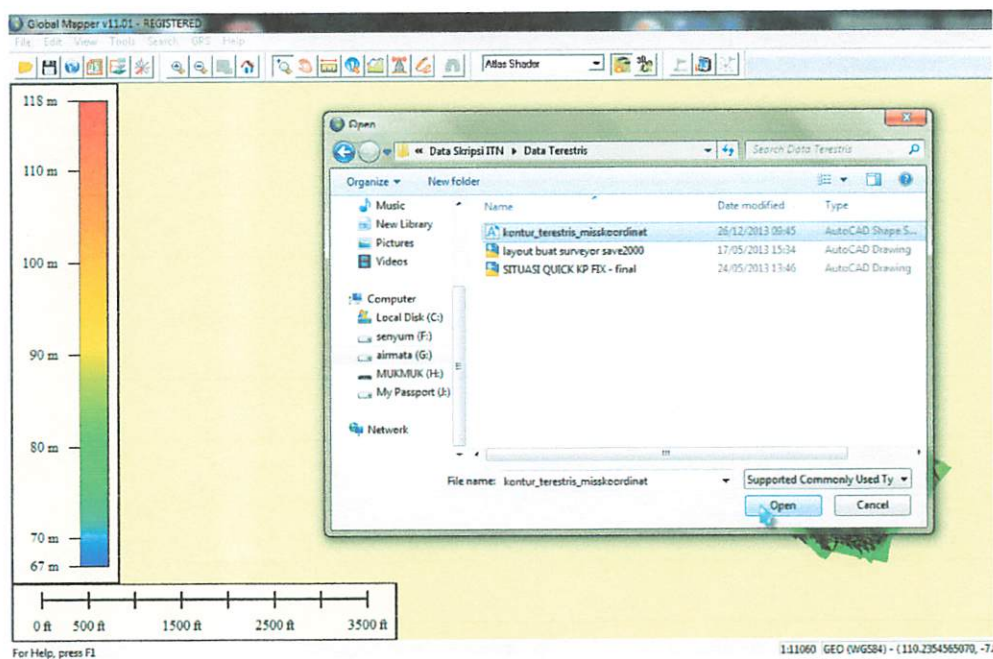
Langkah-langkah dalam menganalisa hasil DSM dengan kontur topografi skala 1:1000 adalah sebagai berikut :

1. Membuka file DSM pada program *Global Mapper*. Klik **File – Open Data File**. Lalu pilih file DSM format *.tif yang telah diolah sebelumnya menggunakan *software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9*. Kemudian klik **Open**.



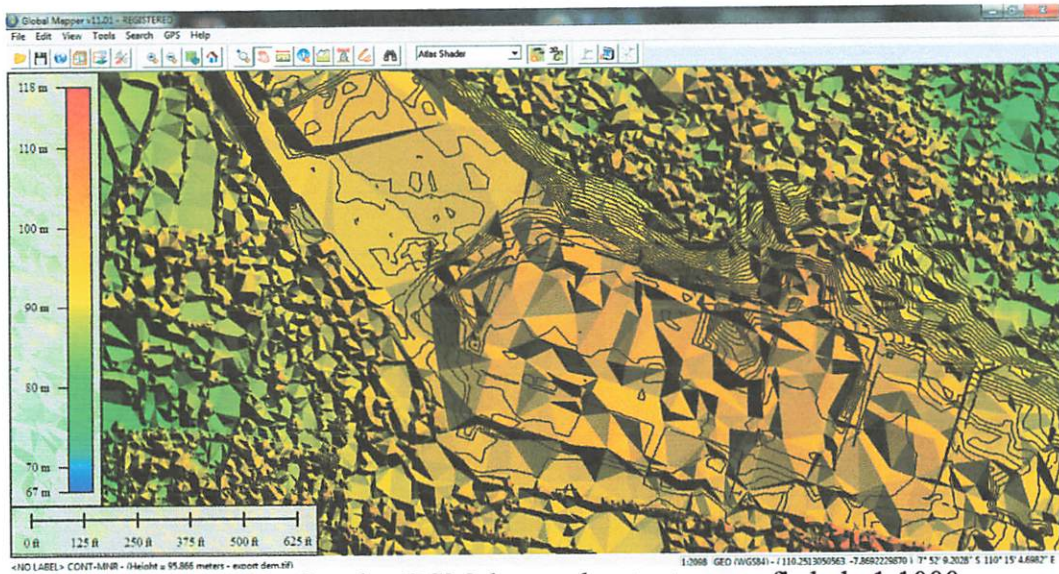
Gambar 3.27. *Open file DSM format *.tif*

2. Membuka file kontur topografi format *.shp*. **File – Open Data File.** Lalu pilih file yang akan dibuka, kemudian klik **Open**.



Gambar 3.28. *Open file kontur format .shp*

3. Analisa *Digital Surface Model* dengan kontur topografi Desa Tuksono, Kulon Progo, Yogyakarta.



Gambar 3.29. *Overlap DSM dengan kontur topografi skala 1:1000*



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

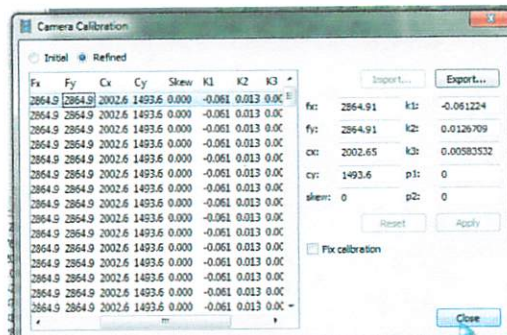
Bab ini menyajikan tentang hasil dan pembahasan dari proses pengolahan pembuatan *digital surface model* dari citra foto UAV menggunakan *Software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9*.

IV.1. Hasil

Hasil dari proses pengolahan data foto UAV menggunakan software *agisoft photoscan professional versi 0.9* antara lain sebagai berikut :

IV.1.1. Hasil Proses *Align Photo*

Hasil dari proses *alignment* diantaranya adalah parameter kalibrasi kamera atau *internal orientation* (IO), bentuk kumpulan *tie point* terdeteksi dalam model 3D, dan posisi kamera saat pemotretan atau *external orientation* (EO) yang melibatkan hitungan *bundle adjustment*, dapat dilihat pada Gambar 4.1. Hasil dari proses *alignment* berupa *tie point* dapat dilihat pada Gambar 4.2. Koordinat hasil *alignment* masih dalam sistem koordinat model, karena antar *point cloud* masih terorientasi secara relatif antar titik.



Gambar 4.1. Tampilan parameter kalibrasi kamera



Gambar 4.2. Tampilan hasil proses *alignment* berupa *tie point*

IV.1.2. Hasil Proses *Build Geometry*

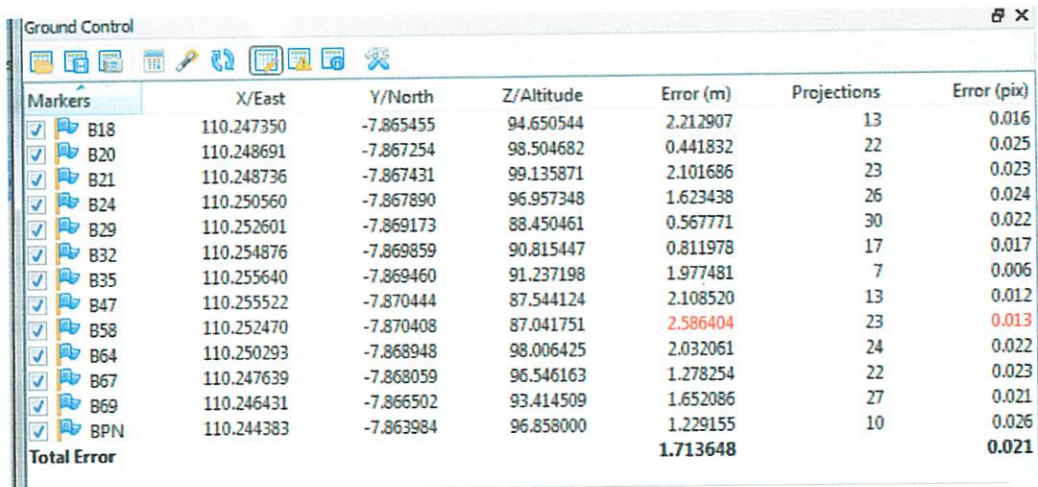
Pada *software Agisoft PhotoScan* hasil dari pembentukan geometri adalah penggabungan antar titik berdasarkan nilai tingginya dapat dilihat dengan jelas pada lihat Gambar 4.3. Bentuk geometri yang dihasilkan masih dalam sistem koordinat model.



Gambar 4.3. Tampilan hasil proses *build geometry* berdasarkan *point cloud*

IV.1.3. Hasil Proses Transformasi Koordinat Konform 3D

Hasil dari transformasi koordinat konform 3D memiliki nilai RMSE terkecil sebesar 0,441832 m, dan nilai RMSE terbesar yaitu 2,586404 m. Nilai RMSE rata-rata sebesar 1,713648 m dapat dilihat pada Gambar 4.4.



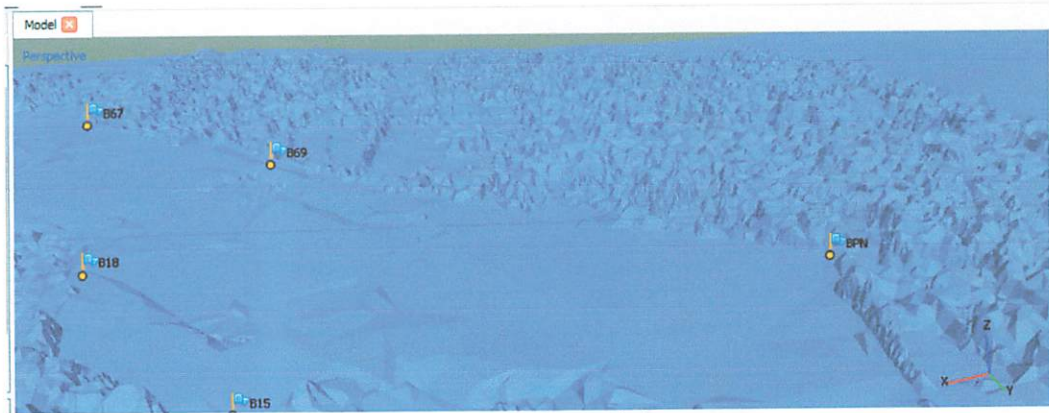
Markers	X/East	Y/North	Z/Altitude	Error (m)	Projections	Error (pix)
☒ B18	110.247350	-7.865455	94.650544	2.212907	13	0.016
☒ B20	110.248691	-7.867254	98.504682	0.441832	22	0.025
☒ B21	110.248736	-7.867431	99.135871	2.101686	23	0.023
☒ B24	110.250560	-7.867890	96.957348	1.623438	26	0.024
☒ B29	110.252601	-7.869173	88.450461	0.567771	30	0.022
☒ B32	110.254876	-7.869859	90.815447	0.811978	17	0.017
☒ B35	110.255640	-7.869460	91.237198	1.977481	7	0.006
☒ B47	110.255522	-7.870444	87.544124	2.108520	13	0.012
☒ B58	110.252470	-7.870408	87.041751	2.586404	23	0.013
☒ B64	110.250293	-7.868948	98.006425	2.032061	24	0.022
☒ B67	110.247639	-7.868059	96.546163	1.278254	22	0.023
☒ B69	110.246431	-7.866502	93.414509	1.652086	27	0.021
☒ BPN	110.244383	-7.863984	96.858000	1.229155	10	0.026
Total Error				1.713648		0.021

Gambar 4.4. Hasil *Root Mean Square Error* (RMSE)

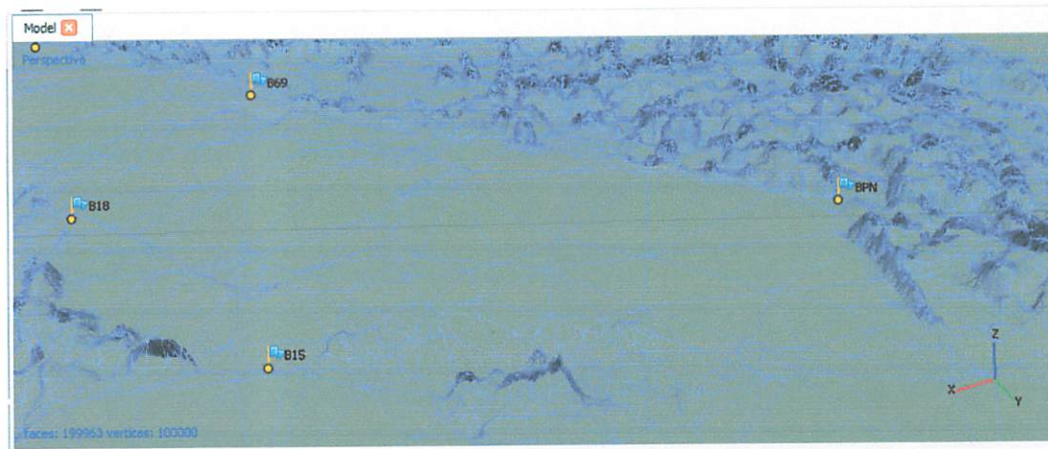
Hasil dari *build geometry* yang telah ter-georefrensi dalam sistem koordinat tanah dapat dilihat pada Gambar 4.5, Gambar 4.6, dan Gambar 4.7.



Gambar 4.5. Tampilan *shaded geometry*



Gambar 4.6. Tampilan *solid geometry*



Gambar 4.7. Tampilan jaring-jaring segitiga (TIN)

IV.1.4. Hasil Proses *Build Texture*

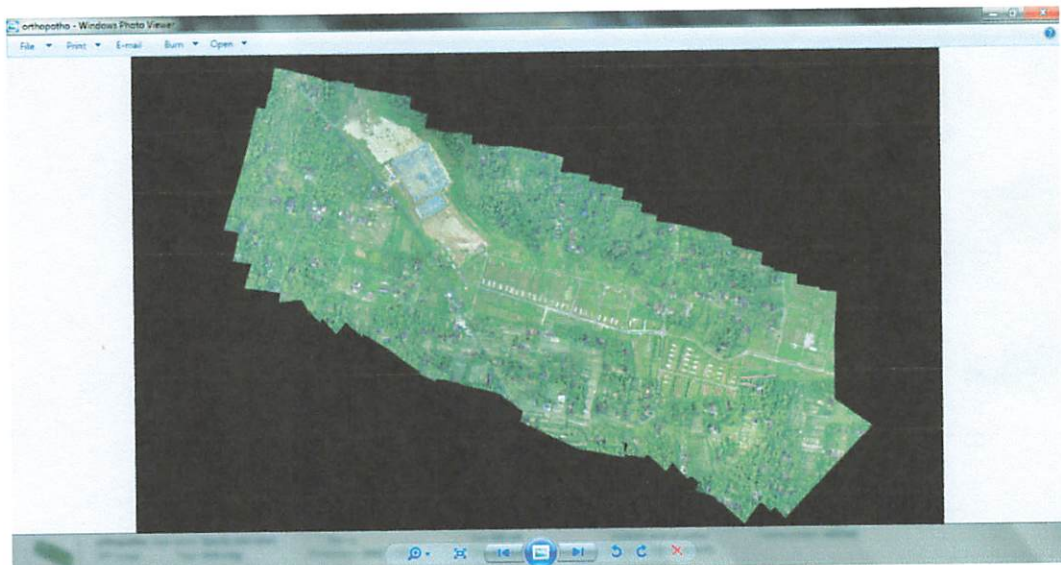
Build texture merupakan tahapan dalam memberikan tekstur foto pada *surface element*, yaitu hasil pemodelan geometri yang telah dibentuk pada proses sebelumnya. Hasil *build texture* dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Tampilan tekstur 3D

IV.1.5. Hasil Proses *Export Orthophoto*

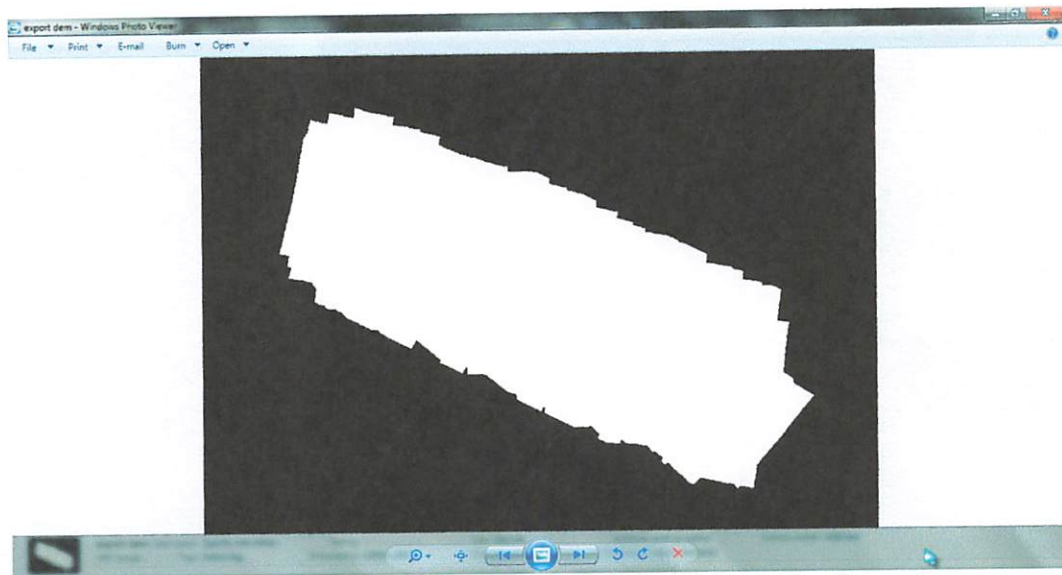
Pembentukan mosaik foto dilakukan setelah tahap *alignment*, *build geometry*. Setelah proses secara keseluruhan selesai kemudian dilakukan *export orthophoto* ke dalam format (*tif),(*jpg),(*png), supaya dapat dibuka pada *software* lain. Karena pada *software Agisoft photoscan* tidak ada menu untuk pembuatan *layout* peta foto.



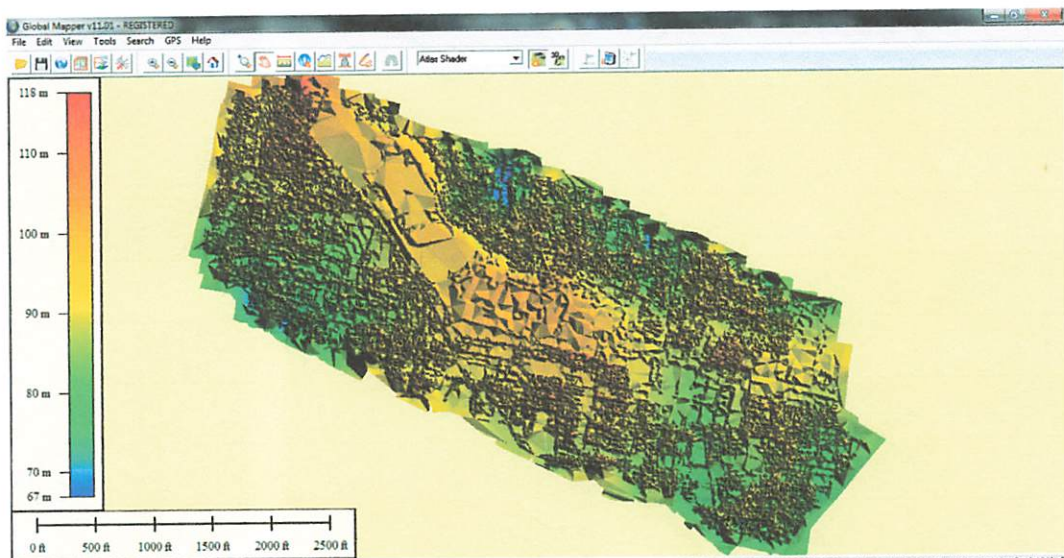
Gambar 4.9. Tampilan *orthophoto* format *.tif pada *windows photo viewer*

IV.1.6. Hasil Proses *Export DEM*

Hasil akhir dari penelitian ini adalah membuat tampilan tiga dimensi dari data citra foto UAV. Hasil dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.10. Tampilan DEM format *.tif pada *windows photo viewer*



Gambar 4.11. Tampilan DEM format *.tif pada *global mapper*

10. The following is a list of the

names of the persons who have been

admitted to the office of the

Commissioner of the General Land Office

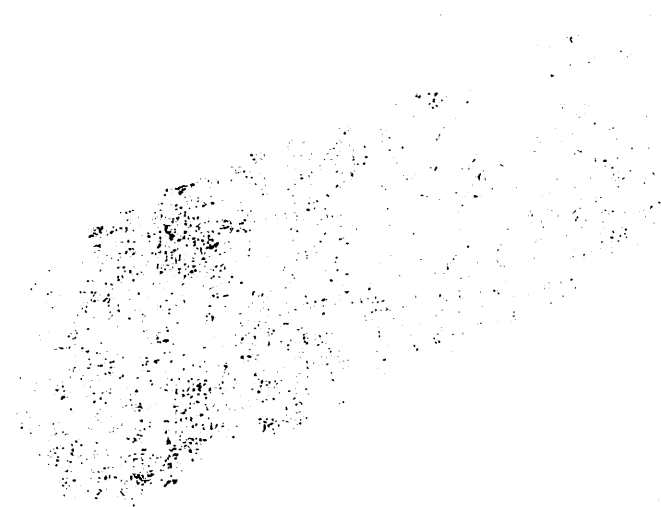


and the names of the persons who

have been

admitted to the office of the

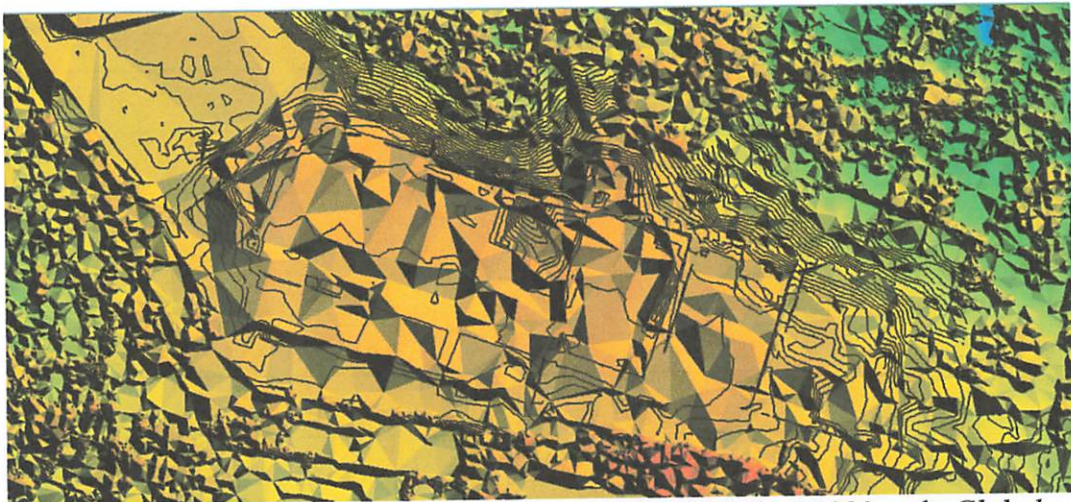
Commissioner of the General Land Office



and the names of the persons who

IV.1.7. Analisa Hasil

Setelah DSM di *export*, lalu ditampilkan pada *software Global Mapper* dilakukan *overlay* DSM dengan kontur topografi skala 1:1000 untuk menganalisa apakah hasil DSM yang dibuat sesuai dengan topografi dilapangan. Lebih jelas dapat melihat gambar 4.12.

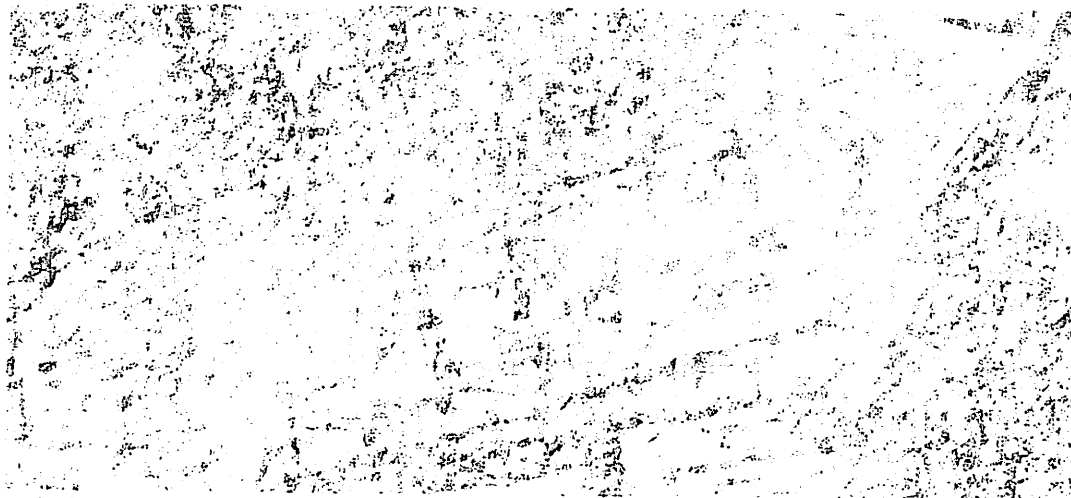


Gambar 4.12. *Overlay* DSM dengan kontur topografi skala 1:1000 pada *Global Mapper*

Berdasarkan hasil *overlay* antara DSM dengan kontur topografi skala 1:1000 ternyata bentuk DSM yang dihasilkan berbeda dengan kontur topografi hasil pengukuran lapangan. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu data DSM yang di konversi memiliki *surface* yang kurang baik atau tidak sesuai dengan kondisi permukaan tanah sebenarnya yang diakibatkan oleh sumber data foto yang belum terorthorektifikasi dengan baik atau proses pengolahan foto menjadi DSM yang kurang baik, asumsi ini didukung dengan tidak adanya *Premark* untuk penentuan GCP pada saat pengolahan foto menjadi DSM.

RMSE (Root Mean Square Error) adalah suatu nilai yang digunakan untuk menunjukkan ketelitian dengan melibatkan semua faktor kesalahan yang terjadi

Sebelum 1954, di kawasan ini berkembang beberapa desa. Desa ini berkembang karena letaknya yang strategis, yaitu di persimpangan jalan raya yang menghubungkan kota-kota besar. Desa ini berkembang karena letaknya yang strategis, yaitu di persimpangan jalan raya yang menghubungkan kota-kota besar.



Gambar 17.1.1.1. Desa ini berkembang karena letaknya yang strategis, yaitu di persimpangan jalan raya yang menghubungkan kota-kota besar.

Desa ini berkembang karena letaknya yang strategis, yaitu di persimpangan jalan raya yang menghubungkan kota-kota besar. Desa ini berkembang karena letaknya yang strategis, yaitu di persimpangan jalan raya yang menghubungkan kota-kota besar. Desa ini berkembang karena letaknya yang strategis, yaitu di persimpangan jalan raya yang menghubungkan kota-kota besar.

17.1.1.1

Desa ini berkembang karena letaknya yang strategis, yaitu di persimpangan jalan raya yang menghubungkan kota-kota besar. Desa ini berkembang karena letaknya yang strategis, yaitu di persimpangan jalan raya yang menghubungkan kota-kota besar.

selama proses pengukuran atau produksi data (Lang, 1999). *Software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9* dapat menghitung nilai RMSE dari titik-titik GCP secara otomatis. Dapat dilihat pada tabel hasil *processing report* dari pengolahan seperti yg ditunjukkan pada tabel 4.1. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran C.

Tabel 4.1. Hasil perhitungan nilai *X error* dan *Y error* yang dihitung otomatis pada *software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9*

Titik	Koordinat GCP		X error (m)	Y error (m)
	E	N		
B18	110.247350	-7.8654547	-1.930047	1.067593
B20	110.248691	-7.8672538	0.031548	0.229724
B21	110.248736	-7.8674311	1.807655	0.775805
B24	110.250560	-7.8678899	-0.097674	1.531674
B29	110.252601	-7.8691726	-0.549241	0.143074
B32	110.254876	-7.8698592	-0.781534	-0.178087
B35	110.255640	-7.8694600	-0.210416	1.909434
B47	110.255522	-7.8704444	1.694174	-1.171189
B58	110.252470	-7.8704075	-2.468139	-0.702463
B64	110.250293	-7.8689480	1.461954	-1.350631
B67	110.247639	-7.8680595	-0.479393	-1.158556
B69	110.246431	-7.8665021	0.383348	-1.528787
BPN	110.244383	-7.8639838	1.13855	0.438378
Nilai selisih rata-rata (m) =			0.000060385	0.000459154
Nilai Standar Deviasi (m)=			1.314416348	1.132824868
Nilai RMSE (m) =			1.26285038	1.088383025
Nilai Akurasi RMSE tingkat kepercayaan 90% (m) =			2.07726259	1.790281238

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4.1, diperoleh nilai akurasi RMSE untuk X sebesar 2.07726259 m pada tingkat kepercayaan 90%. Nilai akurasi RMSE untuk Y sebesar 1.790281238 m pada tingkat kepercayaan 90%. Hasil tersebut tidak memenuhi syarat ketelitian horizontal menurut *United States National Map Accuracy Standards* untuk peta skala 1:1000, yaitu sebesar 0.508 mm dikalikan

skala peta untuk tingkat kepercayaan 90%. Sehingga diperoleh toleransi sebesar 0.508 m.

Tabel 4.2. Hasil perhitungan nilai akurasi *RMSE* berdasarkan selisih nilai elevasi dilapangan dengan elevasi pada DSM

Koordinat Ground Control Point				nilai Z pada DSM	Selisih Elevasi GCP dan DSM
Titik	E	N	Z		
B18	110.247350	-7.8654547	94.651	94.832	-0.181
B20	110.248691	-7.8672538	98.505	98.679	-0.174
B21	110.248736	-7.8674311	99.136	99.105	0.031
B24	110.250560	-7.8678899	96.957	97.004	-0.047
B29	110.252601	-7.8691726	88.450	88.87	-0.420
B32	110.254876	-7.8698592	90.815	90.962	-0.147
B35	110.255640	-7.8694600	91.237	91.31	-0.073
B47	110.255522	-7.8704444	87.544	89.079	-1.535
B58	110.252470	-7.8704075	87.042	86.842	0.200
B64	110.250293	-7.8689480	98.006	97.583	0.423
B67	110.247639	-7.8680595	96.546	96.409	0.137
B69	110.246431	-7.8665021	93.415	92.665	0.750
BPN	110.244383	-7.8639838	96.858	97.322	-0.464
Nilai selisih rata-rata elevasi (m) =					-0.115344
Nilai Standar Deviasi (m)=					0.538
Nilai RMSEz (m) =					0.529161
Nilai Akurasi RMSEz tingkat kepercayaan 90% (m) =					0.8704162

Hasil perhitungan nilai akurasi *RMSE* berdasarkan selisih nilai elevasi dilapangan dengan elevasi pada DSM pada tabel 4.2, didapatkan nilai akurasi vertikal sebesar 0.8704162 m pada tingkat kepercayaan 90%. Hasil tersebut tidak memenuhi syarat ketelitian vertikal menurut *United States National Map Accuracy Standards* untuk peta skala 1:1000, yaitu 0.5 dikalikan dengan interval kontur, sehingga diperoleh toleransi sebesar 0.25 m.

IV.2. Pembahasan

IV.2.1. Pembahasan proses *align photo*

Pada tahap *alignment* dilakukan identifikasi *tie point* secara otomatis dengan menggunakan algoritma *SIFT invariant*. Algoritma ini akan mengenali titik-titik yang mempunyai kesamaan nilai *pixel* dan akan membentuknya menjadi model tiga dimensi.

IV.2.2. Pembahasan proses *build geometry*

Build geometry adalah tahapan dimana dilakukan proses *orthophoto*. *Orthophoto* adalah pembuatan foto yang telah melalui proses ortorektifikasi, dimana foto telah menyajikan gambaran obyek pada posisi ortografik yang benar. Ortorektifikasi ini digunakan untuk menghapus efek kemiringan sumbu dan hasilnya berupa ekuivalen foto tegak. Karena pergeseran letak gambar sehubungan dengan perubahan relief, ekuivalen foto tegak masih mengandung skala yang tidak seragam. Di dalam proses peniadaan pergeseran letak oleh relief pada sembarang foto, variasi skala juga dihapus sehingga skala menjadi sama bagi seluruh foto.

Pada tahap *build geometry* akan merekonstruksi ketinggian atau kedalaman dari obyek. Proses ortorektifikasi dilakukan secara otomatis oleh program. Objek yang awalnya belum terdeteksi pada tahap *align photo*, akan terbentuk pada tahap ini. Secara otomatis titik-titik yang memiliki kesalahan ketinggian besar akan dihapus. Geometri terbentuk oleh jaringan segitiga (TIN). Pembentukan geometri dari proses ini masih dalam sistem koordinat model.

IV.2.3. Pembahasan proses transformasi koordinat konform 3D

Transformasi koordinat konform 3D merupakan proses membawa sistem kordinat model ke dalam sistem koordinat tanah dengan mempertahankan bentuk yang sebenarnya, disebut juga orientasi absolut. Untuk membawa sistem koordinat model ke sistem koordinat tanah dibutuhkan titik *fix* atau *ground control point* (GCP) pada area survei. Proses transformasi koordinat 3D akan membuat obyek ter- *georeference* secara benar.

Pembentukan geometri yang dihasilkan dari proses ini merupakan pembentukan geometri yang sudah tergeorefreensi dengan ground control point (GCP). Geometri yang dibentuk sudah dalam sistem koordinat tanah. Pemodelan geometri belum menampilkan kondisi *image* yang sebenarnya dan masih terlihat kasar serta *texture* foto yang belum terbentuk.

Pada saat penentuan GCP pada proses transformasi koordinat konform 3D memiliki kendala dalam menempatkan GCP pada posisi yang sebenarnya, ini dikarenakan posisi GCP atau titik premark yang ada di lapangan tidak terlihat pada hasil foto. Sehingga penentuan posisi GCP dilakukan dengan bantuan melihat persebaran posisi GCP di lapangan yang ada pada foto hasil rektifikasi yang telah diberikan tanda bulatan merah pada foto. Terlihat pada Gambar 2.4 berupa bulatan-bulatan merah kecil pada foto yang merupakan persebaran posisi titik-titik GCP yang digunakan sebagai premark. Dengan penentuan GCP yang dilakukan seperti ini, maka proses transformasi koordinat konform 3D mengandung kesalahan karena penentuan posisi GCP tidak berada tepat di titik sebenarnya.

IV.2.4. Pembahasan proses *build texture*

Pada tahap ini jaring-jaring segitiga (TIN) yang telah terbentuk pada proses *build geometry* akan diperhalus otomatis oleh *Software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9*, sehingga *terain* dan *surface* terlihat lebih halus.

IV.2.5. Pembahasan proses *export orthophoto*

Mosaik yang dihasilkan pada tahap ini dalam format file (*.tif). Sambungan dari mosaik yang dihasilkan tidak terlalu terlihat. Ukuran piksel dari mosaik yang dihasilkan adalah bernilai 0.1 m.. Jika dilakukan perbesaran gambar untuk beberapa kali terlihat gambar menjadi pecah, hal ini dikarenakan nilai piksel yang digunakan cukup besar. Pemilihan nilai piksel tergantung pada tujuan penggunaan mosaik. Semakin kecil nilai piksel maka semakin tinggi kualitas gambar yang dihasilkan. Dari analisis di atas dapat dikatakan bahwa kualitas visual mosaik melalui pengolahan menggunakan *Software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9* yang dihasilkan cukup baik.

IV.2.6. Pembahasan Proses *Export DEM*

Tampilan hasil dari export DEM yang terbentuk masih terlihat kasar. Pembentukan model tiga dimensi atau proses pembentukan *digital elevation model* (DEM) menunjukkan ketinggian permukaan tanah, beserta beberapa *layer* di atasnya, seperti bangunan, pepohonan, segala yang ada di atasnya disebut *digital surface model* (DSM).



IV.3. Kendala Penelitian

Kendala yang dihadapi dalam penelitian ini adalah *ground control point* (GCP) yang ada di lapangan tidak terlihat di foto hasil pemotretan. Sehingga pada saat penentuan GCP dalam proses transformasi koordinat 3D masih kurang teliti.

BAB V

PENUTUP

V.1. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. *Software Agisoft PhotoScan Professional Versi 0.9* dapat digunakan untuk pembuatan *digital surface model* (DSM) dari data citra foto *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV).
2. Berdasarkan hasil *overlay* antara DSM dengan kontur topografi skala 1:1000 ternyata bentuk DSM yang dihasilkan berbeda dengan kontur topografi hasil pengukuran lapangan. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu data DSM yang di konversi memiliki *surface* yang kurang baik atau tidak sesuai dengan kondisi permukaan tanah sebenarnya yang diakibatkan oleh sumber data foto yang belum terorthorektifikasi dengan baik atau proses pengolahan foto menjadi DSM yang kurang baik, asumsi ini didukung dengan tidak adanya *Premark* untuk penentuan GCP pada saat pengolahan foto menjadi DSM
3. Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4.1, diperoleh nilai akurasi RMSE untuk X sebesar 2.07726259 m pada tingkat kepercayaan 90%. Nilai akurasi RMSE untuk Y sebesar 1.790281238 m pada tingkat kepercayaan 90%. Hasil tersebut tidak memenuhi syarat ketelitian horizontal menurut *United States National Map Accuracy Standards* untuk peta skala 1:1000, yaitu sebesar 0.508 mm dikalikan skala peta untuk tingkat kepercayaan 90%. Sehingga diperoleh toleransi sebesar 0.508 m.

4. Hasil perhitungan nilai akurasi *RMSE* berdasarkan selisih nilai elevasi dilapangan dengan elevasi pada DSM pada tabel 4.2, didapatkan nilai akurasi vertikal sebesar 0.8704162 m pada tingkat kepercayaan 90%. Hasil tersebut tidak memenuhi syarat ketelitian vertikal menurut *United States National Map Accuracy Standards* untuk peta skala 1:1000, yaitu 0.5 dikalikan dengan interval kontur, sehingga diperoleh toleransi sebesar 0.25 m.

V.2. Saran

Dalam penelitian yang telah dilakukan ini, saran yang dapat diberikan antara lain :

1. Proses pengolahan dengan banyak foto menggunakan *software Agisoft Professional Versi 0.9* sebaiknya menggunakan perangkat komputer dengan spesifikasi yang bagus. Minimal *processor* yang digunakan Intel Core I-5, RAM diatas 8 GB, *harddisk* diatas 500 GB, VGA ATI Radeon HD 5470 atau lebih agar proses pengolahan datanya tidak membutuhkan waktu yang sangat lama.
2. Penggunaan *software Agisoft Professional Versi 0.9* perlu diperhatikan untuk proses mosaik pada area yang terdapat bangunan tinggi, hutan heterogen, pohon tinggi, karena bentuk maupun tekstur dapat berubah tidak sesuai dengan keadaan sebenarnya. Hal ini dapat dihilangkan dengan melakukan proses yang cermat dan berulang.

3. Penempatan *ground control point* (GCP) saat proses menentukan letak GCP pada foto sebaiknya dilakukan dengan teliti, agar data yang dihasilkan lebih teliti.
4. Persebaran *ground control point* (GCP) sebaiknya merata pada kawasan yang akan diolah, agar data yang dihasilkan lebih teliti.



DAFTAR PUSTAKA

- Kiefer dan Lillesland. 1979. *Pengantar penginderaan Jauh*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Lang, H.R., dan Welch, R., 1999, *Algorithm Theoretical Basis Document for ASTER Digital Elevation Models*, NASA Jet Propulsion Laboratory, Pasadena.
- Ligterink, G. H. 1987. *Dasar-dasar fotogrametri*. Penerjemah : Boesriati Boerman. Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press).
- Lowe, D.G. 1999. *Object recognition from local scale-invariant features*. In *International Conference on Computer Vision*, Corfu, Greece, pp.1150-1157.
- Matthews, N. A. 2008. *Aerial and Close-Range Photogrammetric Technology: Providing Resource Documentation, Interpretation, and Preservation. Technical Note 428*. U.S. Department of the Interior, Bureau of Land Management, National Operations Center, Denver, Colorado. 42 pp.
- Prijono, 2002, *Pengantar Pemetaan Fotogrametri Digital*, Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Saleh, R. A. 1996. *Special issue on Softcopy Photogrammetry. Photogrammetry and The Quest for Digitalization. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*.
- Soeta'at, 1994, *Fotogrametri Analitik*, Jurusan teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Soeta'at, 2004, *Fotogrametri Digital*, Jurusan teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Suharsana, 1999, *Pemetaan Fotogrametri*, Jurusan teknik Geodesi, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sutanto. 1979. *Pengetahuan Dasar Interpretasi Citra*. Yogyakarta : Gajah Mada University Press.
- Warner, W.S, Graham R. W., Read R. E., 1996. *Small Format Aerial Photography*, Scotland : Whittles Publishing.
- Wikantika. K. 2009. *Unmanned Mapping Technology: Development and Applications. Workshop Sehari "Unmanned Mapping Technology: Development and Applications" (UnMapTech2008)*. Bandung, Indonesia. 9 Juni 2008.

Wolf Paul R.. 1983. *Elemen fotogrametri dengan interpretasi foto udara dan penginderaan jauh, edisi kedua; diterjemahkan oleh Gunadi, Toto Gunawan dan Zuharnen*. 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.

Yudaasmara, M. 1987. *Ketelitian Deleniasi Pada Penggunaan Foto Udara Tidak Direktifikasi Di Daerah Lembang dan Sekitarnya, Jawa Barat*. Skripsi, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.



LAMPIRAN

LAMPIRAN A

Spesifikasi Kamera Canon PowerShot S100

Camera Canon PowerShot S100 Specifications



Price	• \$429
	• £439
	• €449
Sensor	• 1/1.7" Type Canon high-sensitivity CMOS
	• 12.1 million effective pixels
	• Primary Color Filter
Image processor	• DIGIC 5 with iSAPS technology *
	4:3
	• 4000 x 3000 (L, 12M) *
Image sizes	• 2816 x 2112 (M1)
	• 1600 x 1200 (M2)
	• 620 x 480 (S)
	16:9
	• 4000 x 2448 (L, 9.8M)
	• 2816 x 1584 (M1)
	• 1920 x 1080 (M2)
	• 640 x 360 (S)
	3:2
	• 4000 x 2664 (L)
	• 2816 x 1880 (M1)
	• 1600 x 1064 (M2)
	• 640 x 424 (S)
	1:1
	• 2992 x 2992 (L)
	• 2112 x 2112 (M1)

	• 1200 x 1200 (M2) • 480 x 480 (S)
	4:5 • 2400 x 3000 (L) • 1696 x 2112 (M1) • 960 x 1200 (M2) • 384 x 480 (S) • 1920 x 1080 @ 24 fps (Full HD) * • 1280 x 720 @ 30fps • 640 x 480 @ 30fps • iFrame Movie (HD)
Movie clips	Super Slow Motion Movie: • 640 x 480, 120fps (L) • 320 x 240, 240fps (M)
	Miniature Effect: • 6fps, 3fps, 1.5 fps (HD, L) • Full HD & HD: Up to 4 GB or 29 min. 59 sec.
Movie Length	• L and M: Up to 4 GB or 1 hour • Super Slow Motion Movie: 30 sec.
	Still: • RAW • JPEG (Exif v2.3)
File formats	Movie: • MOV [H.264 + Linear PCM (Stereo)] • iFrame
	GPS log: • LOG [NMEA 0183 message format compliant]
Lens	• 5x optical zoom * • 5.2-26.0 mm • 24-120mm (35mm equiv) • F2.0-5.9 • 7 elements in 6 groups • 1 double-sided aspherical lens, 1 double-sided aspherical UA lens, • 1 single-sided aspherical lens
Image stabilization	• Lens-shift type • 4 stops • Intelligent IS
Digital zoom	up to 4x
Focus	• Autofocus (Single, Continuous, Servo AF/AE, Tracking AF)

	• Macro focus • Manual focus • Focus Bracketing • AiAF (Face Detection / 9-point) • 1-point AF (Any position is available, fixed centre or Face Select and Track)
AF system/points	
AF assist lamp	Yes
Minimum Focus	• Macro mode: 3cm from front of lens @ 5.2mm (W) • Evaluative (linked to Face Detection AF frame)
Metering	• Centre-weighted average • Spot (centre or linked to Face Detection AF or FlexiZone AF frame)
ISO sensitivity	• Auto, ISO 80 - ISO 6400 * * Standard Output Sensitivity / Recommended Exposure Index (ISO 12232:2006)
Exposure compensation	• +/- 3 EV, 1/3 stop increments • Enhanced i-Contrast for automatic dynamic range correction
Exposure bracketing	1/3 - 2 EV, 1/3 stop increments
Shutter speed	• 15-1/2000 sec (varies by shooting mode) • Smart Auto (32 scenes detected) • Program AE • Shutter priority AE • Aperture priority AE
Modes	• Manual • Custom • Scene • Photo Effects • Movie • Movie Digest • Portrait • Landscape • Kids & Pets • Smart Shutter (Smile, Wink Self-Timer, Face Self-Timer) • High-speed Burst HQ • Handheld Night Scene
Scene modes	• Beach • Underwater • Foliage • Snow • Fireworks • Stitch Assist • High Dynamic Range

- Nostalgic
 - Fish-eye Effect
 - Miniature Effect
 - Toy Camera Effect
 - Monochrome
 - Super Vivid
 - Poster Effect
 - Color Accent
 - Color Swap
 - Smart Auto (21 scenes detected)
 - Standard
 - Program AE
 - Portrait
 - Landscape
 - Miniature Effect
 - Monochrome
 - Super Vivid
 - Poster Effect
 - Color Accent
 - Color Swap
 - Beach
 - Underwater
 - Foliage
 - Snow
 - Fireworks
 - iFrame Movie
 - Super Slow Motion Movie
 - My Colors Off
 - Vivid
 - Neutral
 - Sepia
 - Black & White
 - Positive Film
 - Lighter Skin Tone
 - Darker Skin Tone
 - Vivid Blue
 - Vivid Green
 - Vivid Red
 - Custom Color
 - Auto (including Face Detection WB)
 - Daylight
 - Cloudy
 - Tungsten
 - Fluorescent
 - Fluorescent H
 - Flash
- Modes in Movie**
- Photo Effects**
- White balance**

	• Underwater • Custom • Multi-area WB correction available in Smart Auto
Drive Modes	• Single • Continuous • Continuous with AF • Self-Timer (Approx. 2 or 10 sec., Custom)
Continuous shooting	• Approx. 2.3 fps * • Approx. 0.8 fps with Autofocus • Approx. 0.8 fps with Live View • High-speed Burst HQ: Approx. 9.6 fps up to 8 frames *
Flash	• Auto, Manual Flash On / Off, Slow Synchro • Fastest sync speed 1/2000 sec. • Red-eye Reduction • Flash Exposure Compensation +/- 2 EV in 1/3 stop increments • Face Detection FE, Safety FE • Flash Exposure Lock • Manual power adjustment in 3 levels (internal flash) • 2nd curtain sync • Range 50 cm - 7.0 m (W) / 2.3 m (T)
External Flash	Canon High Power Flash HF-DC2 (optional)
Viewfinder	No
LCD monitor	• 3.0" Pure Color II G TFT • 461,000 dots • 100% coverage • Brightness adjustable to one of five levels. Quick-bright LCD
GPS	• GPS tagging * • GPS logger *
Menu Languages	• English • German • French • Dutch • Danish • Finnish • Italian • Norwegian • Swedish • Spanish • Chinese (simplified) • Chinese (traditional) • Japanese • Russian • Portuguese • Korean • Greek

	• Polish • Czech • Hungarian • Turkish • Thai • Arabic • Ukrainian • Romanian • Farsi • Hindi
Connectivity	• USB 2.0 Hi-Speed (MTP, PTP), Mini-B connector • HDMI mini connector (HDMI-CEC compatible) • AV out (PAL / NTSC switchable)
Storage	SD, SDHC, SDXC
Power	• Rechargeable Li-ion Battery NB-5L • CB-2L Charger included • Approx 200 shots • Approx 240 min playback
Weight (inc batt/card)	Approx 198 g (7.0 oz)
Dimensions	98.9 x 59.9 x 26.7 mm (3.9 x 2.4 x 1.1 in)
Optional Accessories	• Soft Case DCC-1450 • Waterproof Case (40m) WP-DC43, Waterproof Case Weight WW-DC1 • Canon High Power Flash HF-DC2 • AC Adapter Kit ACK-DC30 • Battery Charger CB-2LXE

LAMPIRAN B

Koordinat Ground Control Point (GCP)

List Ground Control Point (GCP) Yang Digunakan Sebagai Premark Dalam Sistem Koordinat Geografis

No.	Titik	Bujur	Lintang	Elevasi
1	BPN	110.2444	-7.8640	96.858
3	B18	110.2474	-7.8655	94.651
4	B20	110.2487	-7.8673	98.505
5	B21	110.2487	-7.8674	99.136
6	B24	110.2506	-7.8679	96.957
7	B29	110.2526	-7.8692	88.450
8	B32	110.2549	-7.8699	90.815
9	B35	110.2556	-7.8695	91.237
10	B47	110.2555	-7.8704	87.544
12	B58	110.2525	-7.8704	87.042
13	B59	110.2522	-7.8703	89.981
14	B64	110.2503	-7.8689	98.006
15	B67	110.2476	-7.8681	96.546
16	B69	110.2464	-7.8665	93.415



LAMPIRAN C

Agisoft PhotoScan Processing Report

Agisoft PhotoScan

Processing Report

12 February 2014



Survey Data

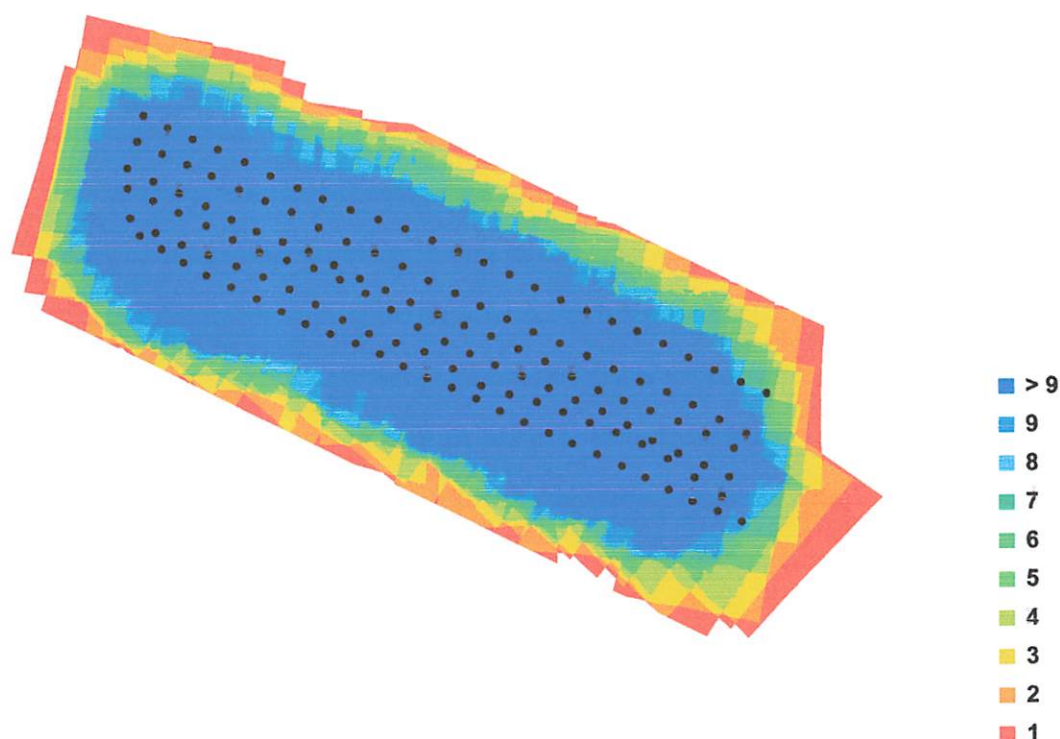


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	146	Camera stations:	146
Flying altitude:	289.157 m	Tie-points:	393846
Ground resolution:	0.084535 m/pix	Projections:	1290879
Coverage area:	1.29831 sq km	Error:	0.707269 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Precalibrated
Canon PowerShot S100	4000 x 3000	5.2 mm	EXIF

Table. 1. Cameras.

Ground Control Points

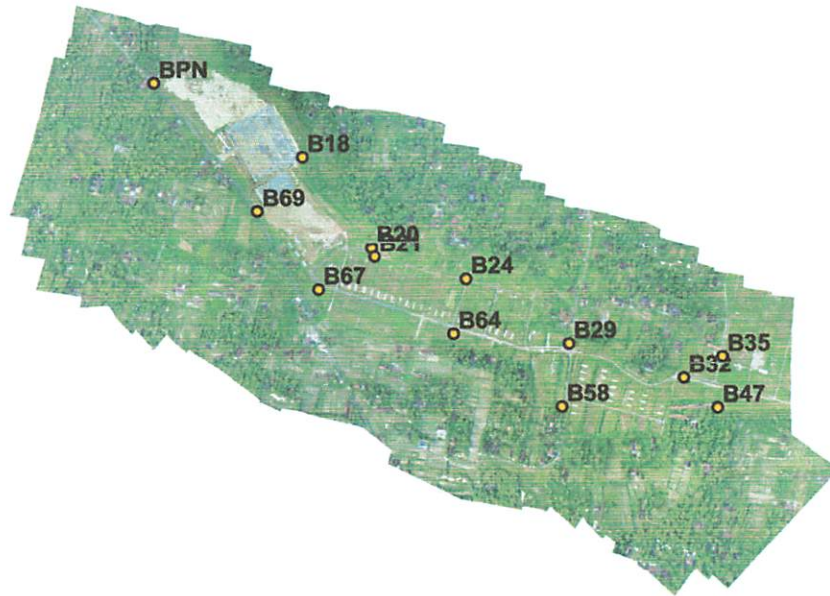


Fig. 2. GCP locations.

Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
B18	-1.930047	1.067593	-0.179225	2.212907	13	0.015562
B20	0.031548	0.229724	-0.376095	0.441832	22	0.024863
B21	1.807655	0.775805	0.739995	2.101686	23	0.023188
B24	-0.097674	1.531674	0.529136	1.623438	26	0.024084
B29	-0.549241	0.143074	-0.015090	0.567771	30	0.021787
B32	-0.781534	-0.178087	0.129604	0.811978	17	0.016603
B35	-0.210416	1.909434	-0.469274	1.977481	7	0.005774
B47	1.694174	-1.171189	0.451604	2.108520	13	0.012139
B58	-2.468139	-0.702463	-0.322991	2.586404	23	0.013251
B64	1.461954	-1.350631	-0.409584	2.032061	24	0.022206
B67	-0.479393	-1.158556	0.248721	1.278254	22	0.023192

Digital Elevation Model

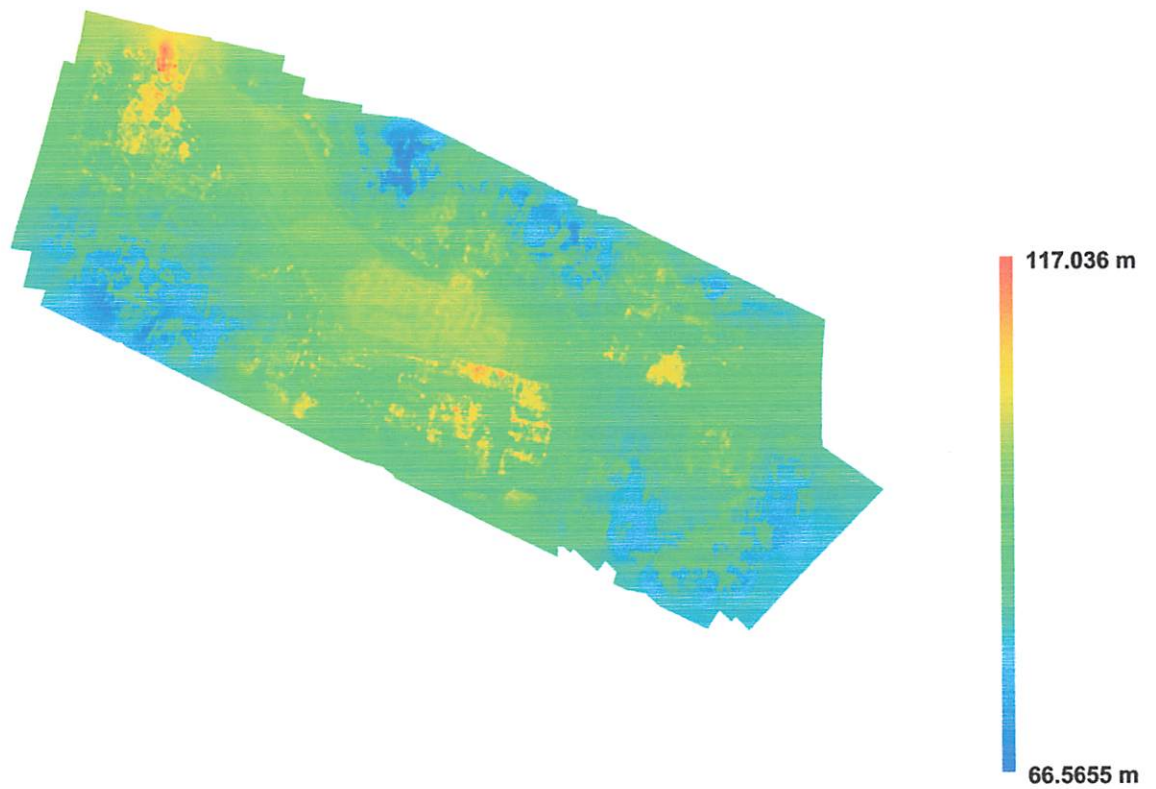


Fig. 3. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 0.186502 m/pix
Point density: 10.3829 points per sq m