

# OPTIMALISASI PEMBUATAN PETA KONTUR SKALA BESAR MENGUNAKAN KOMBINASI DATA PENGUKURAN TERESTRIS DAN FOTO UDARA FORMAT KECIL

Iqbal Yukha Nur Afani<sup>\*)</sup>, Bambang Darmo Yuwono, Nurhadi Bashit

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788  
Email : iqbalyna@gmail.com

## ABSTRAK

Peta topografi menampilkan gambaran permukaan bumi yang dapat diidentifikasi, berupa obyek alami maupun buatan. Peta topografi menyajikan obyek-obyek dipermukaan bumi dengan ketinggian yang dihitung dari permukaan air laut dan digambarkan dalam bentuk garis-garis kontur, dengan setiap satu garis kontur mewakili satu ketinggian. Pembentukan garis kontur menggunakan data dari pemetaan terestris memiliki akurasi yang tinggi tetapi pengukuran terestris memiliki beberapa kelemahan diantaranya membutuhkan biaya, waktu dan tenaga yang besar karena semakin luas area yang dipetakan semakin banyak pula titik yang harus diukur. Apabila titik yang diambil tidak terlalu rapat dan peta yang ingin dihasilkan merupakan peta skala besar, maka akan sangat memungkinkan terdapat kesalahan interpolasi pada pembuatan garis kontur. Salah satu solusi untuk memperoleh data ketinggian adalah dengan menggunakan data foto udara yang dihasilkan dari pemetaan menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. Data foto udara akan menghasilkan data *Digital Surface Model (DSM)* yang kemudian dilakukan filterisasi untuk membentuk *Digital Terrain Model (DTM)*. Data DTM tersebut digunakan untuk mengekstrak *spotheight* untuk mengoptimalkan kerapatan titik ukur yang kurang. Penelitian tugas akhir ini memanfaatkan data pemotretan UAV yang telah dilakukan di wilayah pertambangan kapur yang berlokasi di Desa Sidokelar, Kecamatan Paciran, Lamongan, Jawa Timur dan pemetaan dengan menggunakan Total Station serta pengukuran GPS terhadap titik – titik kontrol tanah dan titik *Benchmark* yang kemudian diikatkan dengan titik *CORS* milik BIG supaya menghasilkan ketelitian titik kontrol yang lebih tinggi. Peningkatan ketelitian peta topografi ditandai dengan menurunnya nilai *root mean square error (RMSE)*. Terjadi penurunan nilai RMSE pada ketiga kelas yang diuji, yaitu kelas *ground*, kelas vegetasi dan kelas area tambang. Penurunan nilai RMSE pada kelas *ground* sebesar 0,405 meter, pada kelas vegetasi sebesar 0,809 meter dan pada kelas area tambang sebesar 1,704 meter.

**Kata Kunci** : DTM, Ortofoto, Peta Topografi

## ABSTRACT

*Topographic maps show an identifiable picture of the earth's surface in the form of natural or artificial objects. Topographic maps present objects on the surface of the earth with altitudes calculated from sea level and are depicted in the form of contour lines, with each contour line representing one height. The formation of contour lines using data from terrestrial mapping has high accuracy but terrestrial measurements have several disadvantages including requiring large costs, time and energy because the wider the area mapped the more points must be measured. If the point taken is not too tight and the map you want to produce is a large-scale map, it is very possible that there is an interpolation error in making contour lines. One solution to obtain height data is to use aerial photo data generated from mapping using Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Aerial photo data will produce Digital Surface Model (DSM) data which is then filtered to form Digital Terrain Model (DTM). The DTM data is used to extract spotheight to optimize the density of the measuring point that is lacking. This thesis research utilizes UAV photographic data that has been carried out in limestone mining areas located in Sidokelar Village, Paciran Subdistrict, Lamongan, East Java and mapping using Total Station as well as GPS measurements of ground control points and Benchmark points which are then tied to BIG CORS points to produce higher accuracy of control points. The increase in accuracy of topographic maps is indicated by a decrease in the value of the root mean square error (RMSE). There was a decrease in RMSE values in the three classes tested, namely ground class, vegetation class and mining area class. The decrease in the RMSE value in the ground class is 0,405 meters, in the vegetation class is 0,809 meters and in the mining area class is 1,704 meters.*

**Keywords** : DTM, Orthophoto, Topographic Map

<sup>\*)</sup>Penulis Utama, Penanggung Jawab

## I. Pendahuluan

### I.1. Latar Belakang

Peta topografi menampilkan gambaran permukaan bumi yang dapat diidentifikasi, berupa obyek alami maupun buatan. Peta topografi menyajikan obyek-obyek dipermukaan bumi dengan ketinggian yang dihitung dari permukaan air laut dan digambarkan dalam bentuk garis-garis kontur, dengan setiap satu garis kontur mewakili satu ketinggian. Peta topografi memiliki dua unsur utama yaitu ukuran planimetrik (ukuran permukaan bidang datar) dan ukuran relief (berdasarkan variasi elevasi). Ukuran planimetrik pada peta topografi digambarkan dengan koordinat X dan Y, sedangkan ukuran relief digambarkan dalam koordinat Z. Elevasi pada peta topografi ditampilkan dalam bentuk garis-garis kontur yang menghubungkan titik-titik di permukaan bumi yang memiliki ketinggian yang sama.

Menurut Kusnadi (2013) peta kontur adalah peta yang menggambarkan sebagian bentuk-bentuk permukaan bumi yang bersifat alami dengan menggunakan garis-garis kontur. Garis kontur pada peta topografi diperoleh dengan melakukan pengolahan interpolasi linier antara titik-titik ketinggian yang berdekatan. Interpolasi linier adalah suatu metode atau fungsi matematika yang menduga nilai pada lokasi-lokasi yang datanya tidak tersedia atau tidak didapatkan. Interpolasi linier mengasumsikan bahwa atribut data bersifat kontinu di dalam ruang dan atribut ini saling berhubungan (*dependence*).

Pembentukan garis kontur menggunakan data dari pemetaan terestris memiliki akurasi yang tinggi tetapi pengukuran terestris memiliki beberapa kelemahan diantaranya membutuhkan biaya, waktu dan tenaga yang besar karena semakin luas area yang dipetakan semakin banyak pula titik yang harus diukur. Semakin rapat titik yang diambil, maka semakin akurat pula kontur yang dihasilkan, begitu pula sebaliknya. Titik ketinggian (*spotheight*) yang diambil dalam pengukuran terestris harus memiliki kerapatan dan persebaran yang baik untuk mengurangi kesalahan pada interpolasi kontur.

Salah satu solusi untuk memperoleh data ketinggian adalah dengan menggunakan data foto udara yang dihasilkan dari pemetaan menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. Data foto udara akan menghasilkan data *Digital Surface Model (DSM)* yang kemudian dilakukan filterisasi untuk membentuk *Digital Terrain Model (DTM)*. Data DTM tersebut digunakan untuk mengekstrak *spotheight* untuk mengoptimalkan kerapatan titik ukur yang kurang.

Pembuatan peta topografi menggunakan metode ini memiliki tingkat ketelitian yang dipengaruhi oleh berbagai aspek, salah satunya yaitu metode pengolahan, sehingga sering kali kajian mengenai akurasi berkaitan dengan optimalisasi pengolahan yang dilakukan. Kajian yang akan disajikan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu mengenai optimalisasi pembuatan peta topografi skala 1:1.000 menggunakan kombinasi data pengukuran terestris dan foto udara. Optimalisasi yang dimaksud adalah meningkatkan ketelitian vertikal pada

peta topografi menggunakan tambahan data foto udara format kecil.

Penelitian tugas akhir ini memanfaatkan data pemotretan UAV yang telah dilakukan di wilayah pertambangan kapur yang berlokasi di Desa Sidokelar, Kecamatan Paciran, Lamongan, Jawa Timur dan pemetaan dengan menggunakan Total Station serta pengukuran GPS terhadap titik – titik kontrol tanah dan titik *Benchmark* yang kemudian diikatkan dengan titik *CORS* milik BIG supaya menghasilkan ketelitian titik kontrol yang lebih tinggi.

Kajian yang akan disajikan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu mengenai optimalisasi pembuatan peta topografi skala 1:1.000 menggunakan kombinasi data pengukuran terestris dan foto udara format kecil dimaksudkan untuk mengurangi waktu dan biaya yang dikeluarkan dalam proses akuisisi data namun data yang dihasilkan tetap terkontrol.

### I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, adapun rumusan masalah yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil ketelitian DTM dari data foto udara format kecil berdasarkan Perka BIG No 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar?
2. Bagaimana hasil ketelitian topografi yang dihasilkan menggunakan kombinasi data pengukuran terestris dan foto udara format kecil dibandingkan dengan kemiringan lokasi?
3. Bagaimana optimalisasi waktu dan biaya yang didapatkan antara pembuatan peta topografi menggunakan metode pengukuran terestris dengan kombinasi pengukuran terestris dan pemotretan udara?

### I.3. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Aspek Keilmuan  
Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi bahwa pembuatan peta topografi dapat dikombinasikan dengan data foto udara untuk mendapatkan hasil kontur yang lebih baik.
2. Aspek Kerekayasaan  
Hasil dari penelitian pembuatan peta topografi dengan mengkombinasikan data pengukuran terestris dengan data pemotretan udara dapat dipertimbangkan untuk digunakan sebagai solusi dalam pembuatan peta topografi.

### I.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini dijabarkan sebagai berikut :

1. Penyusunan algoritma pada saat klasifikasi menggunakan algoritma macro secara otomatis pada perangkat lunak microstation.

2. Proses klasifikasi dibagi menjadi 3 kelas, yaitu kelas *ground*, kelas vegetasi dan kelas wilayah terbuka (area utama tambang).
3. Pengukuran GPS pada titik BM menggunakan metode *static* dan pada titik GCP menggunakan metode *rapid static*.
4. Orthofoto menggunakan 6 buah GCP dan 8 buah ICP.
5. Pengolahan data GPS menggunakan metode *radial* pada *software* Trimble Business Center 3.50.
6. Pengolahan data poligon utama menggunakan perataan *Bowditch*.
7. Interpolasi titik untuk pembentukan kontur menggunakan metode *kriging*.
8. Analisis kuantitatif yang dilakukan berupa perbandingan ketinggian antara peta topografi yang hanya menggunakan data pengukuran terestris dan menggunakan kombinasi data pengukuran terestris dan foto udara format kecil.
9. Analisis kualitatif berupa analisis ketelitian geometri berdasarkan Perka BIG No. 15 Tahun 2014 untuk menentukan skala yang mengakomodir ketelitian minimal dan optimal data.

#### I.5. Ruang Lingkup Penelitian

Lokasi penelitian ini dilaksanakan di pertambangan kapur yang terletak di Desa Sidokelar, Paciran, Lamongan, Jawa Timur pada koordinat  $112^{\circ}25'26,25''$  -  $112^{\circ}25'53,453''$  BT dan  $6^{\circ}53'20,536''$  -  $6^{\circ}53'40,381''$  LS. Desa Sidokelar memiliki luas sebesar 560 hektar yang terbagi menjadi tiga dusun, yaitu Dusun Klayar, Dusun Perdoto, dan Dusun Sentul.



Gambar 1 Area tambang kapur Desa Sidokelar, Lamongan

## II. Tinjauan Pustaka

### II.1. Kajian Geografis Wilayah Penelitian

Wilayah yang menjadi studi kasus dalam penelitian ini adalah wilayah pertambangan kapur yang terletak di Desa Sidokelar, Kecamatan Paciran, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur. Secara geografis wilayah pertambangan kapur tersebut terletak diantara  $6^{\circ}53'20,536''$  -  $6^{\circ}53'40,381''$  LS dan  $112^{\circ}25'26,25''$  -  $112^{\circ}25'53,453''$  BT.

Wilayah pertambangan kapur ini dikelola oleh PT Omya Indonesia yang merupakan anak perusahaan PT Omya yang berpusat di Negara Swiss, mempunyai luas area pertambangan secara keseluruhan sebesar  $\pm 30$  hektar.

### II.2. Global Positioning System (GPS)

Pada dasarnya, konsep dasar penentuan posisi dengan GPS adalah reseksi jarak, yaitu pengukuran jarak secara simultan ke beberapa satelit yang koordinatnya diketahui (Abidin, 2007). Apabila pada pemotongan data yang diukur adalah sudut, maka pada penentuan posisi dengan GPS data yang diukur adalah jarak dari receiver ke sekurang-kurangnya tiga satelit, maka posisi receiver GPS dapat ditentukan.

Penentuan posisi suatu titik pengamatan diperlukan data jarak dari stasiun tersebut ke beberapa satelit GPS yang diamati. Jarak stasiun ke GPS tidak dapat diukur secara langsung tetapi dengan jalan mengukur misalnya waktu rambat sinyal dari satelit ke stasiun pengamat atau jumlah fase gelombang sinyal yang merupakan fungsi waktu rambat sinyal.

### II.3. Foto Udara Format Kecil

Warner dkk (1996) menyatakan bahwa foto udara format kecil adalah foto yang dihasilkan dari pemotretan yang menggunakan kamera yang ukuran filmnya sekitar 24 mm x 36 mm dengan panjang fokus 35 mm. Kamera tersebut sistem lensanya tidak didesain untuk keperluan pemetaan (tidak dilengkapi fiducial mark dan harga orientasi dalam seperti koordinat fiducial mark, panjang fokus kalibrasi, lokasi titik utama tidak diketahui) dan dapat berupa kamera analog atau digital. Keunggulan FUFK adalah mudah dalam pengoperasian karena dapat memanfaatkan peralatan fotografi non metrik. Skala foto dapat dibuat sangat besar dan tinggi terbang yang cukup rendah, diperoleh informasi terbaru dari daerah yang dipotret, harga, kamera dan sewa pesawat yang cukup murah dan peralatan cukup mudah diperoleh di pasaran. Untuk dapat melihat daerah yang dipotret secara keseluruhan maka dibuat mosaik baik foto asli atau foto yang telah direktifikasi. Tetapi kelemahan utama dari teknologi FUFK adalah ketidaksempurnaan sistem lensa kamera untuk keperluan pemetaan dan tidak cocok dipergunakan untuk daerah dengan cakupan luas.

### II.4. Orthorektifikasi

Orthorektifikasi adalah proses koreksi geometrik citra satelit atau foto udara untuk memperbaiki kesalahan geometrik citra yang bersumber dari pengaruh topografi, sensor geometri dan kesalahan lainnya. Orthorektifikasi sangat penting untuk dilakukan apabila citra akan digunakan untuk memetakan dan mengekstrak informasi dimensi, seperti lokasi, jarak, Panjang, luasan dan volume. Hasil dari orthorektifikasi adalah citra tegak (orthofoto) yang mempunyai skala seragam di seluruh bagian citra dan disajikan menjadi sebuah peta foto (pixelcooker, 2014). Kegiatan orthorektifikasi harus dilakukan sesuai SOP (*Standard Operating Procedures*) orthorektifikasi dari BIG karena proses orthorektifikasi merupakan proses utama dalam pembuatan citra foto tegak yang selanjutnya dapat digunakan sebagai peta dasar.

**II.5 Klasifikasi Point Clouds**

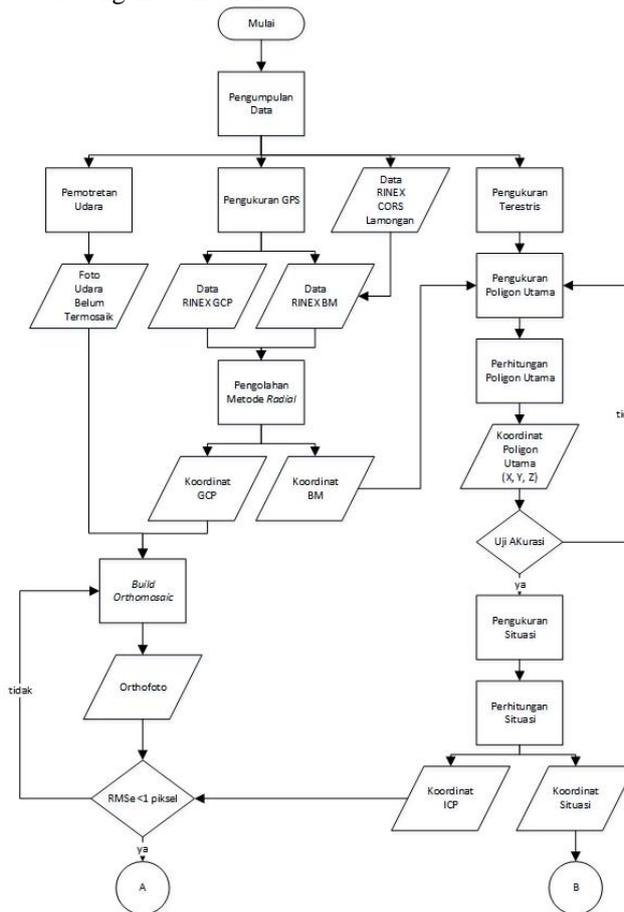
Data hasil foto udara diperoleh data ketinggian yang mencakup seluruh objek yang berada dibawah sensor kamera, termasuk bangunan dan vegetasi. Data ini yang kemudian perlu diolah untuk menghasilkan nilai DTM, sehingga perlu dilakukan klasifikasi untuk mengelompokkan obyek-obyek tersebut kedalam beberapa kelas. Pengolahan fitur yang dilakukan berupa pengklasifikasian terhadap data *ground* dan *non-ground point* (bangunan, area terbuka dan vegetasi), sehingga pada proses ini perlu menghilangkan fitur vegetasi, bangunan dan benda – benda *non-ground* lainnya.

Proses klasifikasi atau penyaringan dilakukan untuk memisahkan antara *point clouds* hasil pemantulan dari suatu jenis objek dengan jenis objek lainnya, maupun dengan hasil pemantulan dari permukaan tanah (Sithole, 2005). Tahap ini merupakan tahap penting karena mengolah data *point clouds* ke dalam kelas – kelas objek yang memiliki sifat, area, persebaran dan karakteristik yang berbeda – beda.

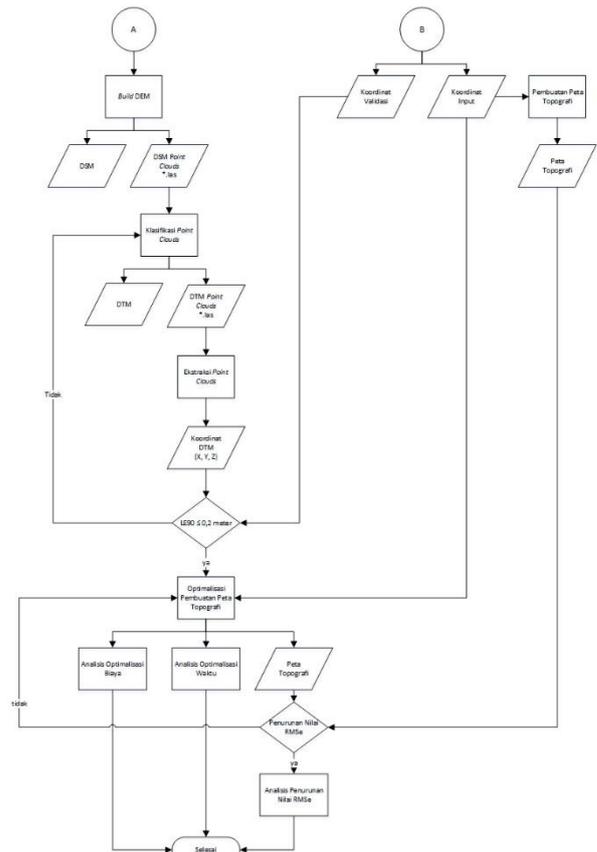
**III. Metodologi Penelitian**

**III.1. Diagram Alir Penelitian**

Secara garis besar tahapan penelitian dilakukan sesuai dengan Gambar 2.



**Gambar 2** Diagram Alir Penelitian



**Gambar 2** Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

**III.2. Peralatan dan Data Penelitian**

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Peralatan Pengolahan Data

A. Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras yang digunakan adalah laptop dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a. *System Manufacturer*: Toshiba dynabook R731
- b. *Operating Sytem*: Windows 10 pro 64-bit
- c. *Memory*: 4096MB RAM
- d. *Processor*: Intel Core i5-2520M CPU @ 2.50 GHz (4CPUs)

B. Perangkat Lunak (*software*)

Perangkat lunak yang digunakan adalah:

- a. Agisoft PhotoScan Professional 64bit
- b. Trimble Bussiness Center
- c. AutoCAD Land Dekstop 2009
- d. Microstation V8
- e. Global Mapper 12.0
- f. ArcGIS 10.4
- g. Microsoft Office 2016

2. Data penelitian

- a. Data foto daerah pertambangan kapur yang terletak di Desa Sidokelar, Kecamatan Paciran, Kabupaten Lamongan, Jawa

- Timur hasil pemotretan dengan wahana UAV tanggal 3 Juni 2017.
- b. Data lapangan daerah pertambangan kapur yang terletak di Desa Sidokelar, Kecamatan Paciran, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur hasil survei terestris dengan menggunakan Total Station bulan Juni 2017.
- c. Data RINEX GCP (*Ground Control Point*) area pemotretan foto udara tanggal 5 Juni 2017.
- d. Data Cors Lamongan tanggal 5 Juni 2017.
- e. Batas area pengolahan atau AOI dalam format .dwg (AutoCad 2004).

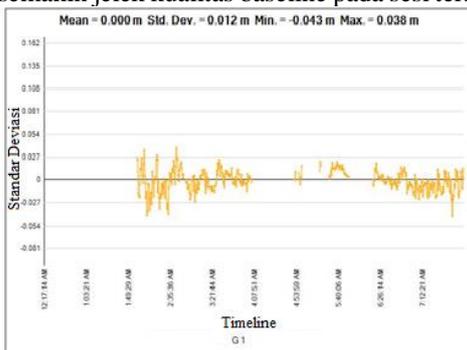
**III.3. Pengolahan Data**

**III.3.1. Pengolahan data GPS**

Tahapan awal dalam pengolahan data pengukuran terestris dan foto udara adalah mengolah data hasil survei GPS. Data tersebut digunakan sebagai referensi untuk data pengukuran terestris dan foto udara. Pengukuran terestris membutuhkan data koordinat *benchmark* (BM) sebagai referensi awal pengukuran, sedangkan pengukuran foto udara membutuhkan data koordinat *Ground Control Point* (GCP).

Pengolahan data GPS memerlukan beberapa parameter untuk dimasukkan yakni data tipe antena, tinggi antena dan jenis *receiver* sesuai dengan pengukuran di lapangan. Perlu dimasukkan juga data RINEX base yang telah diketahui sebelumnya yakni data CORS Lamongan (clmg).

Gambar 3 merupakan *Baseline processing report* yang digunakan untuk menampilkan kualitas baseline yang terbentuk sehingga terlihat pada sesi mana *baseline* tersebut yang memiliki standar deviasi yang tinggi. Standar deviasi berpengaruh pada kualitas baseline, dimana semakin tinggi nilai standar deviasi, maka semakin jelek kualitas baseline pada sesi tersebut.

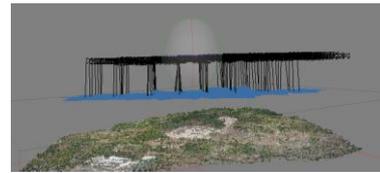


**Gambar 3** *Baseline processing report*

**III.3.2. Pengolahan data foto udara dan *Digital Surface Models***

Pembentukan orthofoto dilakukan pada *software* Agisoft Photoscan Professional. Foto udara dilakukan proses *align photos* yang bertujuan untuk menampilkan foto udara berdasarkan akuisisi dan tipe pertampalannya. Proses ini menggunakan Agisoft Photoscan secara otomatis akan mengidentifikasi posisi kamera dan orientasi pada tipa foto udara serta

membentuk model *point cloud* (Agisoft Photoscan, 2016).



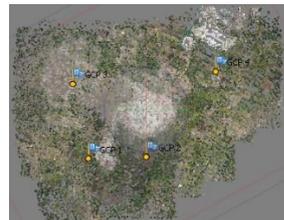
**Gambar 4** Hasil proses *alignment*

Proses selanjutnya adalah orthorektifikasi bertujuan untuk memperbaiki kesalahan geometrik pada foto udara yang diakibatkan oleh pengaruh topografi, sensor geometrik dan kesalahan lainnya. Proses ini dimulai dengan memasukkan data GCP dan ICP hasil pengolahan GPS Geodetik pada titik GCP dan ICP di lapangan. Penelitian ini menggunakan 6 titik GCP dan 2 titik ICP. Gambar 5 menunjukkan RMSE GCP yang diperoleh sebesar 0,2 piksel.

Markers	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
GCP 1	112.425191	-8.893489	86.913000	0.005000	0.063559	12	0.186
GCP 2	112.427629	-8.893482	82.148000	0.005000	0.089597	17	0.271
GCP 3	112.434413	-8.891950	63.891000	0.005000	0.016154	15	0.199
GCP 4	112.430877	-8.890649	50.113000	0.005000	0.032455	17	0.213
GCP 8	112.426216	-8.891289	63.197000	0.005000	0.033988	18	0.174
GCP 9	112.432582	-8.894978	55.802000	0.005000	1.056000	17	0.178
Total Error							
Control points					0.433961		0.207
Check points							

**Gambar 5** Hasil koordinat GCP setelah dioptimasi

Langkah selanjutnya adalah *build dense* yang merupakan proses perapatan titik. Proses *build dense* dapat dilakukan dengan cara memilih menu *workflow* kemudian klik sub menu *build dense*. Proses *build dense* ini terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan.



**Gambar 6** Hasil *build dense*

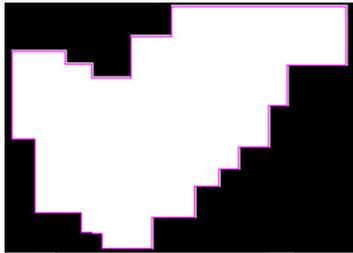
Hasil pengolahan *build dense* dijadikan dasar dalam proses *build mesh* yang nantinya digunakan untuk pembentukan model tiga dimensi sebagai dasar dalam pembentukan DSM. Proses *build mesh* dapat dilakukan dengan cara memilih sub menu *build mesh* pada menu *workflow* yang terdapat pada *taskbar*. Hasil pengolahan *build mesh* dilakukan proses *build orthomosaic*. Hasil proses *build orthomosaic* dilakukan proses *build DEM* yang menyajikan DEM berupa data raster yang dapat dibuat dari 3 data yaitu *dense clouds*, *sparse clouds* atau *mesh*.

Hasil pengolahan DEM menggunakan data *dense cloud* memiliki data paling akurat. Pemrosesan *build DEM* dapat dilakukan dengan cara mengklik sub menu *build DEM* pada menu *workflow*. Hasil pemrosesan berupa DSM dan ortofoto, diekspor kedalam format geoTIFF dan format \*.LAS.

**III.3.3 Pembentukan DTM Foto Udara dengan Algoritma *Macro***

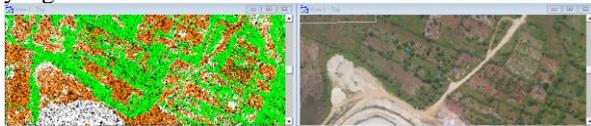
*Raw* data foto udara hasil proses awal pada komponen – komponennya berupa *point clouds* yang belum terklasifikasikan, sehingga perlu dilakukan pemisahan data *point clouds* atau biasa disebut *point*

classification, dimana pada penelitian ini *point clouds* dikelompokkan menjadi tiga kelas utama yaitu *ground*, penurunan vegetasi dan area tambang, karena tidak ada objek bangunan maka kelas *building* pada penelitian ini tidak dimasukkan. Tahap ini penting karena kualitas dari DTM yang dihasilkan akan dipengaruhi oleh *point clouds* kelas *ground* yang berhasil dikelompokkan. Pada proses klasifikasi ini digunakan rumus makro yang terdiri dari beberapa algoritma yang disesuaikan dengan kondisi topografi wilayah penelitian. Sebelum dilakukan klasifikasi, perlu dilakukan *input point clouds* dan AOI.



Gambar 7 Hasil import point clouds

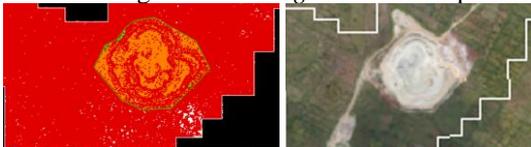
Data hasil pengklasifikasian menggunakan parameter yang telah ditetapkan, tidak menjamin bahwa *point cloud* telah terklasifikasi dengan benar. Oleh karena itu, dilakukan pengecekan dengan membandingkan data ketinggian hasil DTM dengan data ketinggian menggunakan pengukuran terestris untuk memastikan semua data sudah berada pada kelas yang sesuai.



Gambar 8 Pengecekan kelas vegetasi terhadap ortofoto



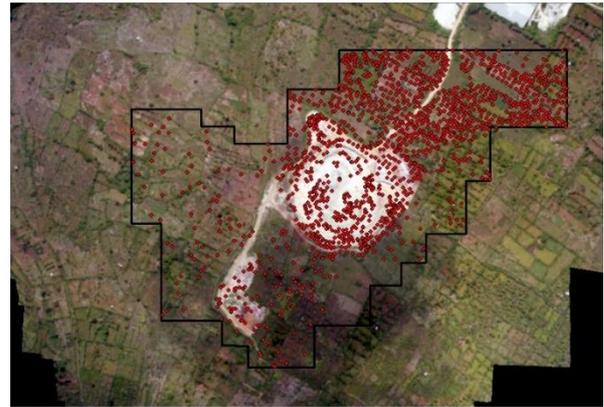
Gambar 9 Pengecekan kelas ground terhadap ortofoto



Gambar 10 Pengecekan kelas area tambang terhadap ortofoto

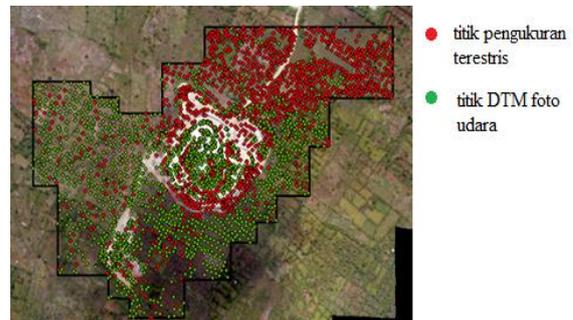
### III.3.4 Optimalisasi Pembuatan Peta Topografi

Pembuatan kontur dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ArcMap 10.4.1. Penggunaan perangkat lunak ini didasari dengan adanya beberapa pilihan untuk metode *raster interpolation* yang disediakan di dalam perangkat lunak tersebut. Terdapat 2 kontur yang akan dibuat dalam penelitian ini, yaitu kontur awal dengan data pengukuran terestris dan kontur akhir dengan kombinasi data pengukuran udara dan hasil dari ekstraksi *point clouds* DTM.



Gambar 11 Hasil input data koordinat pengukuran terestris

Berdasarkan Gambar 11, terlihat bahwa persebaran data pengukuran terestris kurang merata sehingga diperlukan tambahan data. Tambahan data tersebut diambil dari ekstraksi nilai ketinggian menggunakan data DTM yang sudah didapatkan melalui proses filterisasi DSM.



Gambar 12 Hasil kombinasi data pengukuran terestris dan ekstraksi ketinggian DTM

## IV. Hasil dan Pembahasan

### IV.1. Hasil dan Analisis Pengamatan Data GPS

Berdasarkan hasil pengolahan data GPS, didapatkan hasil berupa gambaran bentuk *baseline*, koordinat X, Y, Z, hasil standar deviasi dan RMS dari pengolahan. Pengolahan dilakukan dengan metode *radial*.

Hasil dari pengolahan data GPS adalah koordinat titik-titik GCP. Metode pengukuran GPS yang digunakan adalah metode *static* dengan model jaringan *radial*, dimana titik BM 1 digunakan sebagai *base*. Koordinat yang dihasilkan dalam bentuk *grid* (UTM) yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil koordinat grid

Point	Koordinat Grid		h (m)
	Lintang (m)	Bujur (m)	
BM 1	657.633,696	9.238.106,825	67,911
BM1A	657.581,261	9.238.034,531	63,755
GCP 1	657.455,169	9.237.790,494	86,915
GCP 2	657.735,690	9.237.799,264	82,148
GCP 3	657.380,219	9.238.155,499	63,891
GCP 4	658.072,655	9.238.213,250	50,113

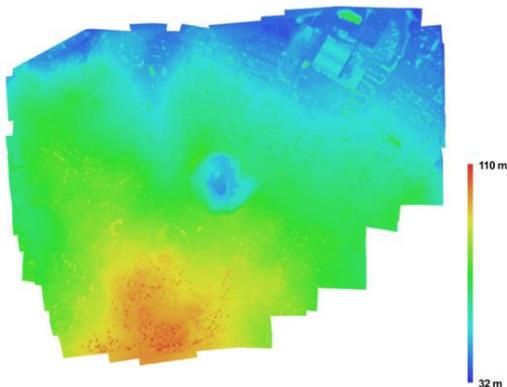
Tabel 2 Nilai RMS horizontal dan vertical

No.	Baseline		Nilai RMS (m)	
	Dari	Ke	Horizontal	Vertikal
1	CLMG	BM 1	0,004	0,014
2	BM 1	BM 1A	0,001	0,003
3	BM 1	GCP 1	0,001	0,002
4	BM 1	GCP 2	0,001	0,003
5	BM 1	GCP 3	0,001	0,003
6	BM 1	GCP 4	0,002	0,002

Berdasarkan hasil RMS horizontal yang didapat, RMS horizontal terendah terdapat pada *baseline* BM 1 – BM 1A, BM 1 – GCP 1, BM 1 – GCP 2 dan BM 1 – GCP 3 yakni sebesar 0,001 m dan RMS tertinggi terjadi pada *baseline* CLMG – BM 1 yakni sebesar 0,004 m. Berdasarkan hasil RMS vertikal yang didapat, RMS vertikal terendah terdapat pada *baseline* BM 1 – GCP 1 dan BM 1 – GCP 4 yakni sebesar 0,002 m dan RMS tertinggi terdapat pada *baseline* CLMG – BM 1 yakni sebesar 0,014 m. Secara keseluruhan RMS terbesar terjadi pada *baseline* CLMG – BM 1 dikarenakan jarak *baseline* yang sangat jauh yaitu sejauh 24.929,465 m.

**IV.2. Hasil dan Analisis DSM**

Hasil pembentukan DSM yang dibentuk dari ekstraksi foto udara dapat dilihat pada Gambar 13.

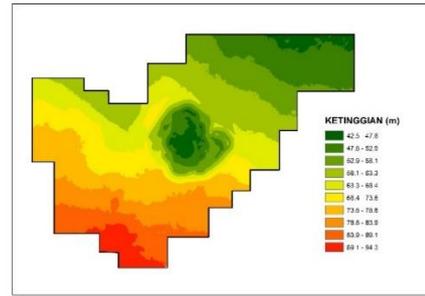


Gambar 13 Tampilan DSM foto udara

Berdasarkan DSM yang telah terbentuk, dapat diketahui bahwa tinggi maksimal wilayah pertambangan kapur di Desa Sidokelar yaitu 110 meter dan tinggi minimalnya berada pada ketinggian 32 meter, sehingga didapatkan tinggi rata-ratanya adalah 71 meter. Resolusi DSM yang didapatkan adalah 16,1 cm/piksel dan kerapatan titik interpolasi sebesar 38,7 titik/m<sup>2</sup>. Resolusi dari DSM ini berbeda dengan resolusi ortofoto, hal ini disebabkan karena ortofoto merupakan penggabungan foto udara hasil akuisisi, sedangkan DSM merupakan hasil dari proses interpolasi *point clouds* ekstraksi foto udara.

**IV.3. Hasil dan Analisis DTM**

Hasil pengolahan klasifikasi DTM menggunakan perangkat lunak Microstation tidak selalu mendapatkan hasil yang baik sehingga perlu dilakukan validasi data ketinggian. Hasil pembentukan DTM dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Hasil Pembentukan DTM

Proses validasi dilakukan dengan menghitung selisih nilai elevasi dari setiap titik yang dipilih sebagai titik validasi terhadap nilai elevasi dari hasil pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan Total Station. Validasi berfungsi untuk pengecekan kualitas data yang dihasilkan dari proses klasifikasi DTM.

Tabel 3 Perbedaan nilai elevasi titik sampel

Titik	Koordinat		Selisih Ketinggian (m)	Selisih <sup>2</sup>
	X (m)	Y (m)		
BM 1	657.633,696	9.238.106,825	-0.039	0.002
BM 1A	657.581,261	9.238.034,531	0.057	0.003
P1	657.720,447	9.238.128,740	0.148	0.022
P2	657.755,575	9.238.157,806	-0.091	0.008
P3	657.784,818	9.238.194,304	0.234	0.055
P4	657.805,771	9.238.232,938	0.181	0.033
P5	657.857,964	9.238.244,257	0.165	0.027
P6	657.937,122	9.238.186,227	-0.082	0.007
P7	658.012,091	9.238.186,999	-0.156	0.024
P8	657.948,196	9.238.145,980	0.139	0.019
P9	657.905,387	9.238.123,018	-0.097	0.009
P10	657.865,880	9.238.067,604	0.12	0.014
P11	657.866,609	9.238.011,911	0.025	0.001
P12	657.821,703	9.237.940,075	-0.006	0.000
P13	657.770,401	9.237.899,635	-0.175	0.031
P14	657.734,611	9.237.875,808	0.011	0.000
P15	657.702,908	9.237.854,751	0.122	0.015
P16	657.655,891	9.237.811,269	-0.219	0.048
P17	657.605,929	9.237.816,974	0.138	0.019
P18	657.564,383	9.237.745,519	0.087	0.008
P19	657.485,107	9.237.800,276	-0.078	0.006
P20	657.491,438	9.237.928,409	-0.073	0.005
P21	657.404,610	9.237.985,317	-0.101	0.010
P22	657.391,752	9.238.066,720	-0.014	0.000
P23	657.487,138	9.238.101,616	-0.153	0.023
Jumlah				0.390
RMSE				0.125

Beberapa titik sampel pada Tabel 3 menunjukkan bahwa selisih untuk masing-masing titik memiliki besaran yang bervariasi. Perhitungan perbandingan nilai elevasi didapatkan nilai selisih terbesar yaitu sebesar 0,234 meter atau sebesar 23,4 cm, sedangkan untuk nilai selisih terkecil yaitu sebesar 0,006 meter atau sebesar 6 mm, sedangkan untuk rata-rata selisih nilai elevasi data kontur UAV terhadap data topo sebesar 0,108 meter. Perhitungan selisih nilai elevasi data UAV terhadap data hasil pengukuran Total Station didapatkan nilai RMSE sebesar 0,1249 meter.

Berdasarkan Perka BIG Nomor 15 Tahun 2014, maka nilai toleransi dalam perhitungan ini sebesar 0,5 meter, yang diperoleh dari perhitungan  $0,5 \times$  interval kontur minor sebesar 1 meter. Sedangkan dapat diketahui bahwa ketelitian vertikal dari nilai elevasi yang didapatkan dari ekstraksi foto udara dibandingkan terhadap nilai elevasi sebenarnya dari pengukuran Total Station sebesar 0,1804 meter sehingga nilai elevasi hasil ekstraksi foto udara sudah baik karena nilainya lebih kecil dibanding nilai toleransi yang diberikan.

Tabel 4 Hasil perhitungan LE90 DTM hasil ekstraksi foto udara

RMSE (m)	LE 90 (m)	Skala Peta	Kelas
0,1249	0,205	1:1.000	2

Berdasarkan Perka BIG Nomor 15 Tahun 2014, nilai LE 90 sebesar 0,205 masuk kedalam ketelitian skala 1:1.000 pada kelas 2. Hal ini menunjukkan bahwa DTM hasil ekstraksi pengolahan foto udara memiliki ketelitian vertikal yang baik sehingga untuk selanjutnya DTM foto udara dapat digunakan untuk keperluan pemetaan dengan skala 1:1.000 atau yang lebih kecil. Tidak disarankan DTM hasil ekstraksi pengolahan foto udara digunakan pada skala lebih besar dari 1: 1.000. Hasil ketelitian DTM foto udara dipengaruhi oleh hasil klasifikasi yang dilakukan pada perangkat lunak Microstation.

**IV.4. Hasil dan Analisis Garis Kontur**

Data hasil pengukuran terestris memiliki kerapatan data yang kurang baik. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, contohnya waktu pengerjaan proyek terlalu cepat, efisiensi waktu yang kurang, anggaran dana terlalu kecil, dan lain-lain. Nilai ketinggian hasil ekstraksi *point clouds* harus memiliki ketelitian yang baik sehingga garis kontur yang dihasilkan memiliki kualitas data yang tidak jauh berbeda dari hasil pengukuran terestris. Nilai ketinggian hasil ekstraksi *point clouds* diuji ketelitiannya berdasarkan kemiringan pada lokasi titik tersebut. Kemiringan dibagi menjadi 3 kelas yaitu rentang 0-7 derajat, 7-22 derajat dan 22-59 derajat.

Tabel 5 Nilai selisih ketinggian terestris dan foto udara

No	Koordinat		Selisih (m)	Kemiringan (°)	RMSE
	X (m)	Y (m)			
1	657.384,321	9.237.995,585	-0,103	0-7	0,0782
2	657.435,375	9.237.812,076	-0,063		
3	657.691,913	9.237.850,643	-0,034		
4	657.752,217	9.237.799,297	0,009		
5	657.849,934	9.237.926,059	0,012		
6	657.541,733	9.238.068,427	-0,083		
7	657.506,015	9.237.959,143	0,152		
8	657.746,448	9.238.161,041	-0,003		
9	657.953,646	9.238.139,007	0,094		
10	657.856,617	9.238.200,622	0,026		
11	657.614,387	9.237.772,790	0,022	7-22	0,1942
12	657.781,983	9.238.066,816	-0,553		
13	657.582,169	9.237.826,397	-0,205		
14	657.445,330	9.238.097,432	0,035		
15	657.507,425	9.237.899,242	0,035		
16	657.498,336	9.238.071,063	0,131		
17	657.872,585	9.237.960,485	0,038		
18	657.646,297	9.238.091,309	-0,026		
19	657.714,242	9.238.144,716	-0,089		
20	657.841,586	9.238.218,705	-0,171		
21	657.687,242	9.238.012,984	-0,510	22-59	0,2399
22	657.658,491	9.237.945,833	0,140		
23	657.657,803	9.238.055,874	0,104		
24	657.744,152	9.237.977,108	0,156		
25	657.761,070	9.238.067,221	0,175		
26	657.730,473	9.238.097,371	0,181		
27	657.776,962	9.238.034,948	-0,241		
28	657.691,029	9.238.088,111	-0,284		
29	657.727,787	9.237.911,826	-0,043		
30	657.789,379	9.237.932,279	0,239		

Tabel 5 menunjukkan nilai hasil interpolasi pembentukan garis kontur dengan menggunakan metode kombinasi data pengukuran terestris dan ekstraksi ketinggian pada DTM yang dibandingkan dengan kemiringan pada lokasinya. Daerah dengan kemiringan 0-7 derajat mendapatkan RMSE sebesar 0,07825, daerah dengan kemiringan 7-22 derajat mendapatkan RMSE sebesar 0,194278 dan daerah dengan kemiringan 22-59 derajat mendapatkan RMSE sebesar 0,239964 .

**IV.5. Hasil dan Analisis Optimalisasi Waktu dan Biaya**

Pengambilan data topografi menggunakan metode pengukuran terestris memerlukan waktu yang lama dan biaya yang besar. Salah satu solusi pengambilan data topografi yaitu menggunakan data DTM yang didapat dari pemotretan udara. Perbandingan biaya yang dibutuhkan dalam pembuatan peta topografi dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Perbedaan nilai elevasi titik sampel

NO	URAIAN	HARGA (Rp)		
		TERESTRIS	FOTO UDARA	GABUNGAN
1	SURVEI PENDAHULUAN	2.350.000	2.350.000	2.350.000
2	PEMASANGAN BM	5.025.000	5.025.000	5.025.000
3	PENGUKURAN GPS	8.475.000	8.475.000	8.475.000
4	PENGUKURAN TERESTRIS	33.750.000	-	15.750.000
5	PEMOTRETAN UDARA	-	2.350.000	2.350.000
6	BIAYA OPERASIONAL	45.770.000	1.8240.000	32.730.000
7	PENGOLAHAN DATA	1.500.000	4.500.000	6.000.000
TOTAL		96.870.000	40.940.000	72.680.000

Berdasarkan Tabel 6, pembuatan peta kontur menggunakan metode pemotretan udara membutuhkan biaya paling kecil sebesar Rp 40.940.000, sedangkan metode pengukuran terestris membutuhkan biaya paling besar sebesar Rp 96.870.000,00. Pembuatan peta kontur menggunakan metode pemotretan udara memang membutuhkan biaya paling kecil, namun tidak disarankan menggunakan metode ini untuk pembuatan peta kontur skala 1:1000 karena data yang dihasilkan tidak memiliki kontrol ketelitian. Pembuatan peta kontur menggunakan metode pengukuran terestris memiliki ketelitian data yang baik, namun biaya yang dihasilkan sangat besar. Solusi untuk membuat peta kontur dengan data yang baik dan biaya yang tidak terlalu besar yaitu dengan menggunakan gabungan data pengukuran terestris dan pemotretan udara. Rancangan anggaran biaya pembuatan peta kontur menggunakan metode pengukuran terestris dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 RAB pembuatan peta kontur menggunakan metode pengukuran terestris

NO	URAIAN	VOLUME		JUMLAH (RP)
		JUMLAH	WAKTU	
1	<b>SURVEI PENDAHULUAN</b>			
	TEAM LEADER	1	2	700.000
	SURVEYOR	2	2	1.200.000
	UANG MAKAN HARIAN	3	2	450.000
SUB TOTAL				2.350.000

NO	URAIAN	VOLUME		JUMLAH (RP)
		JUMLAH	WAKTU	
2	<b>PEMASANGAN BM</b>			
	TEAM LEADER	1	3	1.050.000
	SURVEYOR	2	3	1.800.000
	TENAGA LOKAL	2	3	450.000
	UANG MAKAN HARIAN	5	3	1.125.000
	PEMBUATAN BM	6	1	600.000
SUB TOTAL				5.025.000
3	<b>PENGUKURAN GPS</b>			
	TEAM LEADER	1	3	1.050.000
	SURVEYOR	3	3	2.700.000
	ASISTEN SURVEYOR	3	3	1.800.000
	TENAGA LOKAL	3	3	675.000
	UANG MAKAN HARIAN	10	3	2.250.000
SUB TOTAL				8.475.000
4	<b>PENGUKURAN TERESTRIS</b>			
	TEAM LEADER	1	7	2.450.000
	SURVEYOR	2	7	2.800.000
	ASISTEN SURVEYOR	4	7	4.200.000
	TENAGA LOKAL	3	7	1.575.000
	UANG MAKAN HARIAN	9	7	4.725.000
SUB TOTAL				15.750.000
5	<b>PEMOTRETAN UDARA</b>			
	TEAM LEADER	1	2	700.000
	SURVEYOR	1	2	600.000
	PILOT UAV	1	2	500.000
	UANG MAKAN HARIAN	3	2	450.000
	PEMASANGAN GCP	10	1	100.000
SUB TOTAL				2.350.000
6	<b>BIAYA OPERASIONAL</b>			
	MOBILISASI PERSONIL PP	8	2	3.200.000
	SEWA MOBIL + BENSIN	2	17	17.000.000
	SEWA BASECAMP	1	1	1.000.000
	SEWA HT	3	17	1.530.000
	SEWA TS	2	7	3.500.000
	SEWA GPS GEODETIK	1	3	4.500.000
	SEWA DRONE	1	2	2.000.000
SUB TOTAL				32.730.000

NO	URAIAN	VOLUME		JUMLAH (RP)
		JUMLAH	WAKTU	
6	<b>PENGOLAHAN DATA</b>			
	PENGOLAHAN DATA GPS	1	2	600.000
	PENGOLAHAN DATA PENGUKURAN TERESTRIS	1	3	900.000
	PENGOLAHAN DATA FOTO UDARA	1	3	900.000
	PENGOLAHAN DATA DTM	1	12	3.600.000
SUB TOTAL				6.000.000
TOTAL				72.680.000

**V. Kesimpulan dan Saran**

**V.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan Perka BIG Nomor 15 Tahun 2014, nilai LE 90 yang didapat sebesar 0,205 masuk kedalam ketelitian skala 1:1000 pada kelas 2. Hal ini menunjukkan bahwa DTM hasil ekstraksi pengolahan foto udara memiliki ketelitian vertikal yang baik sehingga untuk selanjutnya DTM foto udara dapat digunakan untuk keperluan pemetaan dengan skala 1:1000 atau yang lebih kecil. Tidak disarankan DTM hasil ekstraksi pengolahan foto udara digunakan pada skala lebih besar dari 1: 1000.
- Nilai hasil interpolasi pembentukan garis kontur dengan menggunakan metode kombinasi data pengukuran terestris dan ekstraksi ketinggian pada DTM yang dibandingkan dengan kemiringan pada lokasinya. Daerah dengan kemiringan 0-7 derajat mendapatkan RMSE sebesar 0,074, daerah dengan kemiringan 7-22 derajat mendapatkan RMSE sebesar 0,112 dan daerah dengan kemiringan 22-59 derajat mendapatkan RMSE sebesar 0,268.
- Pembuatan peta kontur menggunakan metode pemotretan udara memang membutuhkan biaya paling kecil, namun tidak disarankan menggunakan metode ini untuk pembuatan peta kontur skala 1:1000 karena data yang dihasilkan tidak memiliki kontrol ketelitian. Pembuatan peta kontur menggunakan metode pengukuran terestris memiliki ketelitian data yang baik, namun biaya yang dihasilkan sangat besar. Solusi untuk membuat peta kontur dengan data yang baik dan biaya yang tidak terlalu besar yaitu dengan menggunakan gabungan data pengukuran terestris dan pemotretan udara.

**V.2 Saran**

Meninjau dari kesimpulan yang diperoleh, adapun saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya adalah:

- Disarankan untuk memperbanyak jumlah GCP dan ICP yang digunakan.
- Pemilihan lokasi penelitian sebaiknya memilih lokasi yang mudah dijangkau untuk mempermudah kelengkapan data penunjang, seperti persebaran titik kontrol serta validasi lapangan.
- Disarankan untuk melakukan pengkajian terhadap kekuatan jaring GCP (*Strength of Figure*) serta melakukan pre-analisis mengenai elips kesalahan yang dihasilkan tiap titik GCP untuk memastikan validitas data.
- Ketelitian serta kesabaran selama proses pengklasifikasian secara manual, sangat penting dilakukan guna mencegah terhapusnya titik – titik yang menyusun suatu topografi tertentu karena akan berpengaruh terhadap kualitas DTM yang dihasilkan.

**Daftar Pustaka**

Abidin, H.Z. 2007. Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya. Jakarta: PT Pradnya Paramita.

Agisoft. 2016. Agisoft PhotoScan *User Manual Professional Edition*, Version 1.2.0, Copyright Agisoft LLC

Badan Informasi Geospasial. 2014. Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No. 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.

Kusnadi, R. 2013. <http://rahmatkusnadi6.blogspot.com/2010/07/petakontur.html>.

Miswar, D. 2013. Buku Ajar Geografi Tematik. Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan. Universitas Lampung

Sithole, G., 2005, *Segmentation and classification of Airborne Laser Scanner Data*, Netherland Geodetic Commission, Delf, The Netherland

Warner, W. S., Graham, R. W., dan Read, R. E., 1996. *Small Format Aerial Photography*. ISBN 1-870325-56-7. Whitless Publishing: Scotland, UK