

**ANALISIS PERBANDINGAN METODE  
FOTOGRAMETRI TERHADAP METODE TERISTRIS  
DI PT TELEN ORBIT PRIMA DESA BUHUT JAYA  
KECAMATAN KAPUAS TENGAH KABUPATEN KAPUAS  
PROVINSI KALIMANTAN TENGAH**

**SKRIPSI**

**Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Strata I  
Pada Jurusan/Program Studi Teknik Pertambangan**



**OLEH :**

**NURUL AINA SYAZWANI  
DBD 118 027**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,  
RISET, DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN/PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN  
2022**

**ANALISIS PERBANDINGAN METODE  
FOTOGAMETRI TERHADAP METODE TERISTRIS  
DI PT TELEN ORBIT PRIMA DESA BUHUT JAYA  
KECAMATAN KAPUAS TENGAH KABUPATEN KAPUAS  
PROVINSI KALIMANTAN TENGAH**

**SKRIPSI**

**Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Memperoleh Gelar Sarjana Strata I  
Pada Jurusan/Program Studi Teknik Pertambangan**



**OLEH :**

**NURUL AINA SYAZWANI  
DBD 118 027**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,  
RISET, DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN/PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN  
2022**

## RIWAYAT PENYUSUN

### Data Diri

Nama : Nurul Aina Syazwani  
NIM : DBD 118 027  
Fakultas : Teknik  
Jurusan/Prodi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : Strata 1  
Jenis Kelamin : Perempuan  
TTL : Medan, 25 April 1999  
Agama : Islam  
Status Dalam  
Keluarga : Anak Kandung  
Anak Ke – : 1 (Satu)  
Alamat : Jl. Kantil No. 2C  
No Telepon/HP : 0857-5263-8257  
E-mail : azzsals@gmail.com



### Data Orang Tua

Nama Ayah : Roseli  
Pekerjaan Ayah : Swasta  
Nama Ibu : Nariawati  
Pekerjaan Ibu : Swasta  
Alamat Orang Tua : Jl. Kantil No. 2C  
No Telepon/HP : +6014-9231-347

### Riwayat Pendidikan

SD : SDN 068083 (Tahun Lulus 2012)  
SMP : SMPN 1 MEDAN (Tahun Lulus 2015)  
SMA : SMAN 4 MEDAN (Tahun Lulus 2018)

Palangka Raya, 27 Oktober 2022

**NURUL AINA SYAZWANI**  
**NIM. DBD 118 027**

## SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nurul Aina Syazwani

NIM : DBD 118 027

Jurusan/Prodi : Teknik Pertambangan

Menyatakan bahwa penyusunan Skripsi ini adalah hasil penelitian saya sendiri, terkecuali kutipan-kutipan yang telah saya jelaskan sumbernya di daftar pustaka. Apabila terdapat pelanggaran dalam penulisan dan penyusunan Skripsi ini, saya bersedia untuk menerima sanksi sesuai aturan dan ketentuan yang berlaku.

Palangka Raya, Oktober 2022



**NURUL AINA SYAZWANI**  
**DBD 118 027**

## HALAMAN PENGESAHAN

### SKRIPSI

**ANALISIS PERBANDINGAN METODE FOTOGRAMETRI TERHADAP  
METODE TERISTRIS DI PT TELEN ORBIT PRIMA DESA BUHUT  
JAYA KECAMATAN KAPUAS TENGAH KABUPATEN KAPUAS  
PROVINSI KALIMANTAN TENGAH**

Oleh :

**NURUL AINA SYAZWANI**

**DBD 118 027**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal 27 Oktober 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

**Tim Dosen Penguji,**

1. **Hepryandi Luwyk Djanas Usup, S.T., M.T.**

**NIP. 19810211 200604 1 001**

2. **Ferdinandus, S.T., M.T.**

**NIP. 19891116 201903 1 009**

3. **Noveriady, S.T., M.T.**

**NIP. 19861125 201903 1 007**

4. **Lisa Virgiyanti, S.T., M.T.**

**NIP. 19770904 200801 2 011**

Ketua.....

Sekretaris.....

Anggota.....

Anggota.....

Mengetahui,

**Dehan Ekahultas Teknik**



**I. WATUYO NUSWANTORO, M.T.**

**NIP. 19651119 199302 1 001**

Menyetujui,

**Ketua Jurusan/Program  
Studi Teknik Pertambangan**

**FAHRUL INDRAJAYA, S.T., M.T.**

**NIP. 19791215 200812 1 001**

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Segala puji bagi Allah SWT atas berkat rahmat serta hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan lancar. Dalam penulisan skripsi ini tidak terlepas dukungan dari beberapa pihak. Atas tersusunnya skripsi ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Orang tua saya yang selalu mendoakan dan membantu serta selalu mendengarkan keluh kesah anaknya selama mengerjakan skripsi ini. Tanpa doa dan dukungan dari mereka skripsi ini tidak akan terselesaikan dengan baik.
2. Kepada keluarga besar Nenek Surtik terima kasih untuk doa dan dukungannya.
3. Untuk saudari beda darah saya Tesa Megasara yang selalu ada disaat saya nangis, bahagia, dan selalu bersama saling mendukung disaat dua-duanya tengah sibuk mengejar kelulusannya. Terima kasih karena selalu ada dan memotivasi saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Terima kasih untuk Nurul Aina Syazwani yang telah berjuang menyelesaikan skripsi ini walaupun banyak tangis di dalamnya.

## SARI

PT Telen Orbit Prima adalah salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang pertambangan batubara yang berlokasi di Desa Buhut Jaya, Kecamatan Kapuas Tengah, Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah. Sistem penambangan batubara yang diterapkan oleh PT Telen Orbit Prima adalah tambang terbuka. Dalam kegiatan penambangan terdapat beberapa kegiatan yang dilakukan salah satunya merupakan kegiatan pemetaan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode fotogrametri terhadap metode teristris. Sehingga hasil dari penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan untuk menggunakan metode fotogrametri. Dimulai dengan tahapan pra dan pasca penerbangan *drone* yang terdiri dari beberapa tahapan seperti pemeriksaan peralatan *drone*, kemudian menyiapkan kelengkapan teristris yang diperlukan untuk pendukung hasil foto udara. Pengolahan data foto udara dan pengikatan GCP pada foto udara kemudian hasil dari pengolahan diubah menjadi DEM (*Digital Elevation Model*). Selanjutnya dilakukan uji tingkat akurasi geometri didapat hasil perhitungan ketelitian horisontal tidak melebihi kesalahan sebesar 0,3 m. Hasil perhitungan ketelitian vertikal dengan kesalahan maksimum tidak melebihi kesalahan sebesar 0,2 m. Hasil dari foto udara yang di dapat dari pengolahan data yang dilakukan dapat digunakan sebagai peta dasar, dikarenakan memenuhi standar ketelitian geometri peta RBI skala 1:1000 kelas 1 sesuai dengan Peraturan Badan Informasi Geospasial (BIG) No. 6 Tahun 2018. Selanjutnya hasil pengolahan foto udara yang berupa DEM akan diekstrak menjadi kontur. Hasil kontur selanjutnya akan diolah untuk keperluan menghitung besar nilai volume. Kemudian hasil volume yang di dapat dibandingkan dengan hasil volume pengukuran menggunakan *total station*. Hasil pengukuran volume menggunakan *drone* dan RTK menghasilkan selisih sebesar 39,19 m<sup>3</sup>.

Kata Kunci : fotogrametri, DEM, akurasi, volume

## **ABSTRACT**

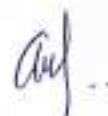
*PT Telen Orbit Prima is a company engaged in coal mining which is located in Buhut Jaya Village, Central Kapuas District, Kapuas Regency, Central Kalimantan Province. The coal mining system implemented by PT Telen Orbit Prima is an open pit. In mining activities there are several activities carried out, one of which is mapping activities. This study aims to compare the results obtained using the photogrammetric method against the terrestrial method. So that the results of this study can be taken into consideration for using the photogrammetric method. Starting with the pre and post-flight drone stages, which consist of several stages such as checking drone equipment, then preparing the necessary equipment for supporting aerial photos. Aerial photo data processing and GCP binding to aerial photos are then converted into DEM (Digital Elevation Model). Furthermore, the geometric accuracy level test was carried out, the results of the calculation of horizontal accuracy did not exceed an error of 0.3 m. The results of the calculation of vertical accuracy with a maximum error not exceeding an error of 0.2 m. The results of aerial photos obtained from data processing carried out can be used as base maps, because they fulfilled the standard geometric accuracy of RBI maps on a scale of 1:1000 class 1 in accordance with Geospatial Information Agency (BIG) Regulation No. 6 of 2018. Furthermore, the results of aerial photo processing in the form of DEM will be extracted into contours. The contour results will then be processed for the purposes of calculating the volume value. Then the volume results can be compared with the measurement volume results using a total station. The results of volume measurements using drones and RTK produce a difference of 39.19 m<sup>3</sup>.  
Keywords: photogrammetry, DEM, accuracy, volume*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas Berkat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini dengan baik. Penulisan Skripsi ini dilakukan berdasarkan literatur dari berbagai sumber dengan judul **“Analisis Perbandingan Metode Fotogrametri terhadap Metode Teristris di PT Telen Orbit Prima Desa Buhut Jaya Kecamatan Kapuas Tengah Kabupaten Kapuas Provinsi Kalimantan Tengah”**. Skripsi ini merupakan syarat dan kewajiban mahasiswa yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan Pendidikan pada Jurusan / Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya. Skripsi ini dilaksanakan selama kurang lebih 8 bulan, terhitung dari pengajuan judul, pengambilan data, serta konsultasi hingga pemaparan hasil skripsi.

Skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan kedepannya. Sehingga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi Jurusan / Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya, PT Telen Orbit Prima, pembaca dan dapat digunakan sebagai sarana pembelajaran.

Palangka Raya, Oktober 2022



Nurul Aina Syazwani  
NIM. DBD 118 027

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>SARI.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Maksud dan Tujuan.....	3
1.4. Manfaat .....	3
1.5. Batasan Masalah .....	4
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1. Penelitian Terdahulu .....	5
2.2. Pemetaan Topografi .....	6
2.3. Foto Udara.....	9
2.4. <i>Ground Center Point</i> (GCP) .....	9
2.5. Uji Ketelitian Geometri.....	10
2.6. Metode Perhitungan.....	12
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>15</b>
3.1. Gambaran Umum Wilayah Penelitian .....	15
3.2. Kondisi Geologi Daerah Penelitian .....	17
3.3. Alat dan Bahan.....	18
3.4. Tata Laksana Penelitian .....	18
3.5. Bagan Alir .....	25
3.6. Waktu Penelitian .....	26

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>27</b>
4.1. Hasil .....	27
4.2. Pembahasan.....	34
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>48</b>
5.1. Kesimpulan .....	48
5.2. Saran .....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 3. 1.</b> IUP PT Telen Orbit Prima .....	15
<b>Gambar 3. 2.</b> Bagan Alir Penelitian.....	25
<b>Gambar 4. 1.</b> Flow Chart Pra dan Pasca Penerbangan Drone .....	27
<b>Gambar 4. 2.</b> Hasil Orthofoto <i>Low, Medium, High Quality</i> .....	28
<b>Gambar 4. 3.</b> Hasil DEM <i>Low, Medium, High Quality</i> .....	29
<b>Gambar 4. 4.</b> Grafik Nilai Akurasi Horisontal .....	31
<b>Gambar 4. 5.</b> Grafik Nilai Akurasi Vertikal .....	31
<b>Gambar 4. 6.</b> Grafik Nilai Akurasi Vertikal Kualitas Medium .....	32
<b>Gambar 4. 7.</b> Form P2H.....	35
<b>Gambar 4. 8.</b> <i>Travel Case Drone</i> .....	35
<b>Gambar 4. 9.</b> Wahana <i>Drone</i> .....	35
<b>Gambar 4. 10.</b> Baterai Wahana.....	36
<b>Gambar 4. 11.</b> <i>Remote Control</i> .....	36
<b>Gambar 4. 12.</b> Gimbal .....	37
<b>Gambar 4. 13.</b> Kartu Memori <i>Drone</i> .....	37
<b>Gambar 4. 14.</b> Kabel USB.....	37
<b>Gambar 4. 15.</b> <i>Flight Controller Tablet</i> .....	38
<b>Gambar 4. 16.</b> Kelengkapan <i>Drone</i> .....	38
<b>Gambar 4. 17.</b> GCP ( <i>Ground Control Point</i> ) .....	39
<b>Gambar 4. 18.</b> Tampilan Misi Penerbangan .....	40
<b>Gambar 4. 19.</b> Pengambilan Gambar Foto Udara.....	42
<b>Gambar 4. 20.</b> Pendaratan <i>Drone</i> .....	42

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1.</b> Ketelitian Peta RBI.....	11
<b>Tabel 2. 2.</b> Ketelitian Geometri Peta RBI Berdasarkan Kelas.....	11
<b>Tabel 3. 1.</b> Waktu Penelitian .....	26
<b>Tabel 4. 1.</b> Ketelitian Horizontal .....	29
<b>Tabel 4. 2.</b> Ketelitian Vertikal .....	30
<b>Tabel 4. 3.</b> Ketelitian Vertikal Kualitas Medium .....	32
<b>Tabel 4. 4.</b> Hasil Pengukuran Volume Menggunakan <i>Drone</i> .....	33
<b>Tabel 4. 5.</b> Hasil Pengukuran Volume menggunakan RTK .....	33
<b>Tabel 4. 6.</b> Hasil Perbandingan Volume Drone dan RTK.....	33
<b>Tabel 4. 7.</b> Koordinat GCP .....	39
<b>Tabel 4. 8.</b> Hasil Perbandingan Fotogrametri dan Teristris.....	46

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A.** Peta Kesampaian Daerah
- Lampiran B.** Peta Geologi Regional
- Lampiran C.** Peta Situasi Daerah Penelitian
- Lampiran D.** Peta Sayatan
- Lampiran E.** Spesifikasi *Drone Mavic 2 PRO*
- Lampiran F.** Spesifikasi GPS RTK
- Lampiran G.** *Check List* Penerbangan *Drone*
- Lampiran H.** *Generate Report*
- Lampiran I.** Perhitungan Nilai Akurasi Geometri
- Lampiran J.** Perhitungan Volume *Cross Section*
- Lampiran K.** Penampang

# BABI

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

PT Telen Orbit Prima adalah salah satu perusahaan yang bergerak dalam bidang pertambangan batubara yang berlokasi di Desa Buhut Jaya, Kecamatan Kapuas Tengah, Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah. Sistem penambangan batubara yang diterapkan oleh PT Telen Orbit Prima adalah tambang terbuka.

Dalam kegiatan penambangan terdapat beberapa kegiatan yang dilakukan salah satunya merupakan kegiatan pemetaan yang bertujuan untuk mendapatkan topografi suatu wilayah sebelum dan sesudah dilakukan kegiatan penambangan seperti, menghitung semua volume bahan galian baik yang telah diambil ataupun yang belum.

Pemetaan suatu wilayah dapat dilakukan dengan metode teristris dan metode fotogrametri. Pengukuran pada metode teristris umumnya menggunakan *theodolite*, *total station* atau GPS RTK sedangkan pengumpulan data pada metode fotogrametri dilakukan dengan pengambilan data foto udara dengan wahana pesawat udara, balon udara, atau citra satelit.

Pemetaan dengan metode fotogrametri cenderung menggunakan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan metode teristris, juga dari

segi SDM yang dibutuhkan tidak sebanyak jika melakukan pengukuran teristris. Pengukuran teristris hanya mengukur menggunakan *individual points*. Sementara jika menggunakan metode fotogrametri dalam satu kali penerbangan akan menghasilkan ratusan atau ribuan data pengukuran. Pada pengukuran teristris terkadang dijumpai beberapa area yang sulit untuk dijangkau, seperti lereng yang curam atau tebing yang tinggi. Dengan menggunakan metode fotogrametri pengukuran seperti itu dapat dengan mudah dijangkau.

Maka dari itu penulis akan melakukan penelitian dengan judul **“Analisis Perbandingan Metode Fotogrametri terhadap Metode Teristris di PT Telen Orbit Prima Desa Buhut Jaya Kecamatan Kapuas Tengah Kabupaten Kapuas Provinsi Kalimantan Tengah”**. Didalam penelitian ini dilakukan pemetaan menggunakan metode fotogrametri. Hal ini bertujuan agar dapat membantu memberikan informasi secara lebih cepat.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana tahapan pra penerbangan dan pasca penerbangan *drone* di lokasi penelitian ?
2. Bagaimana ketelitian geometri yang didapatkan dari hasil pemetaan menggunakan metode fotogrametri ?

3. Bagaimana perbandingan pengukuran volume hasil pengukuran metode fotogrametri terhadap hasil metode teristris ?

### **1.3. Maksud dan Tujuan**

#### **1.3.1. Maksud**

Adapun maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisis perbandingan metode fotogrametri terhadap metode teristris sehingga metode ini dapat digunakan kedepannya untuk meningkatkan efesiensi.

#### **1.3.2. Tujuan**

Adapun tujuan dalam penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Menjelaskan tahapan pra penerbangan dan pasca penerbangan *drone* di lokasi penelitian.
2. Menghitung ketelitian geometri yang didapatkan dari hasil pemetaan menggunakan metode fotogrametri.
3. Menganalisis perbandingan pengukuran volume hasil pengukuran metode fotogrametri terhadap hasil metode teristris.

### **1.4. Manfaat**

Adapun manfaat dalam penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi Peneliti

Peneliti mendapat gambaran dan pengalaman serta mengetahui suasana kerja yang sebenarnya di perusahaan serta peneliti menjadi disiplin dalam belajar dan menambah ilmu pengetahuan. Sebagai syarat untuk mendapatkan gelar Strata-1.

## 2. Bagi Universitas

Universitas mendapat tambahan referensi serta dapat mengembangkan literatur pembelajaran serta dapat menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya.

## 3. Bagi Perusahaan

Dapat menjadi masukan untuk perusahaan serta dapat dipakai sebagai pembandingan atau bahan pertimbangan dalam evaluasi.

### 1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Alat yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah *drone* tipe DJI *Mavic 2 Pro*.
2. Metode yang digunakan adalah metode fotogrametri dengan wahana UAV (*unmanned aerial vehicle*) atau *drone*.
3. Perbandingan dilakukan menggunakan GPS RTK.
4. Pengambilan data dilakukan di area ROM CPP.
5. Pengambilan data dilakukan pada *shift* siang.
6. Aspek ekonomi tidak diperhitungkan pada penelitian ini.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Terdahulu

Sri Wulan Nur Auningsih, dkk (2021) dalam jurnal penelitiannya yang berjudul “Pemodelan *Stockpile* menggunakan Metode Fotogrametri dengan Wahana UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) di PT Triaryani” mengatakan bahwa dalam pemanfaatan fotogrametri memiliki beberapa keunggulan dan kelemahan. Dimana keunggulan dari metode fotogrametri antara lain pekerjaan menjadi lebih praktis dan efisien, data tersimpan dalam bentuk yang ringkas, data digital dari data citra dapat lebih informatif, kualitas citra dapat diatur dan prospektif karena perkembangan fotogrametri berkorelasi positif dengan perkembangan teknologi perangkat keras dan perangkat lunak komputer. Sedangkan kelemahan dari metode fotogrametri ini antara lain dalam masalah ukuran citra digital yang sering kali sangat besar dan pada beberapa perangkat lunak kemampuan membaca *file* yang telah diolah dengan perangkat lunak lain tidak dapat dilakukan secara langsung sehingga harus melalui proses konversi terlebih dahulu.

Edy Nursanto, dkk (2019) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Produksi pada Kemajuan Penambangan menggunakan Metode Fotogrametri UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) di Kuari Batu Gamping PT Semen Indonesia (Persero) Pabrik Tuban Jawa Timur” mengatakan bahwa

seluruh orthofoto hasil dari pengolahan foto udara dilakukan uji ketelitian geometri untuk mendapatkan ketelitian geometri dengan skala 1:500 dan parameter nilai *Circular Error* (CE90) dan *Linier Error* (LE90) sesuai Perka BIG Nomor 15 Tahun 2014. Seluruh ketelitian vertikal berada pada kelas 1, sedangkan untuk ketelitian horisontal terdapat 2 pengukuran berada pada kelas 2. Seluruh *Digital Terrain Model* (DTM) dari hasil fotogrametri UAV yang telah dihitung volumenya dengan *output* tonase dibandingkan terhadap laporan operasi harian dari timbangan *crusher* dengan *output* tonase juga.

## 2.2. Pemetaan Topografi

Peta topografi ialah peta yang menggambarkan keadaan topografi permukaan bumi, baik itu mengenai unsur alami maupun unsur buatan manusia. Penyajian data tersebut sangat tergantung pada skala peta, semakin besar skala peta tersebut akan semakin rinci data yang dapat di sajikan, dan sebaliknya semakin kecil skala peta yang dibuat maka semakin kurang rinci pula data yang disajikannya.

Secara garis besar metode pemetaan topografi dapat dikelompokkan menjadi beberapa metode yaitu :

### 1. Metode Teristris

Pemetaan topografi pada dasarnya terbagi atas tiga macam pekerjaan, yaitu pengukuran topografi, pengolahan data ukuran dan pencetakan peta.

Dalam metode teritris ini, semua pekerjaan pengukuran topografi dilakukan dilapangan dengan menggunakan peralatan ukur seperti *theodolite*; *waterpass*; alat ukur jarak; serta peralatan modern lainnya (GPS, *total station* dan lainnya). Pengukuran topografi adalah pengukuran posisi dan ketinggian titik-titik kerangka pemetaan serta pengukuran detail topografi, sehingga dapat digambarkan diatas bidang datar dalam skala tertentu. Yang dimaksud dengan kerangka pemetaan adalah jaringan titik kontrol (X, Y) dan (Z) yang akan digunakan sebagai referensi pengukuran dan titik kontrol pengukuran.

Pada metode teritris ini terdapat dua jenis pengukuran yaitu :

- a. Pengukuran sifat datar yakni pengukuran untuk menentukan beda tinggi antara dua titik atau lebih secara langsung atau tidak langsung yang dilaksanakan serentak atau dibagi dalam beberapa seksi.
- b. Pengukuran *polygon* yakni pengukuran jumlah sudut yang diukur di lapangan dimana sudut tersebut dihubungkan menjadi beberapa garis lurus dari suatu titik ke titik yang lain untuk menentukan titik koordinat.

## 2. Metode Fotogrametri

Fotogrametri didefinisikan sebagai proses pemerolehan informasi *metric* mengenai suatu objek melalui pengukuran pada foto (Tao,2002). Terdapat dua aspek yaitu ukuran objek (kuantitatif) dan jenis objek (kualitatif). Kedua aspek tersebut yang kemudian berkembang menjadi

cabang fotogrametri, yaitu fotogrametri metrik dan fotogrametri interpretatif.

a. Fotogrametri Metrik

Fotogrametri metrik mempelajari pengukuran cermat berdasarkan foto dan sumber informasi lain yang pada umumnya digunakan untuk menentukan lokasi relatif titik-titik (sehingga dapat diperoleh ukuran jarak, sudut, luas, volume, elevasi, ukuran, dan bentuk objek). Pemanfaatan fotogrametri metrik yang paling banyak digunakan adalah untuk menyusun peta planimetrik dan peta topografi, disamping untuk pemetaan geologi, kehutanan, pertanian, keteknikan, pertanahan, dan lain-lain.

b. Fotogrametri Interpretatif

Fotogrametri interpretatif terutama mempelajari pengenalan dan identifikasi objek serta menilai arti pentingnya objek tersebut melalui suatu analisa sistematis dan cermat. Fotogrametri interpretatif meliputi cabang ilmu interpretasi foto udara dan penginderaan jauh.

Dalam perkembangannya seiring dengan perkembangan teknologi pencitraan (*imaging*) dan komputer, fotogrametri juga dibedakan menjadi dua, yaitu fotogrametri analitik dan fotogrametri digital. Perbedaan keduanya terletak pada jenis data foto yang digunakan. Fotogrametri analitik menggunakan foto udara analog dengan analisis manual, sementara fotogrametri digital memanfaatkan

foto digital sebagai sumber datanya dan pengukuran-pengukuran objek pada foto dilakukan secara digital dengan bantuan komputer.

### 2.3. Foto Udara

Foto udara adalah hasil pemotretan suatu daerah dari ketinggian tertentu, dalam ruang lingkup atmosfer menggunakan kamera. Misalnya pemotretan menggunakan pesawat terbang, helikopter, balon udara, *drone/UAV*, dan wahana lainnya. Keuntungannya, penggunaan foto udara menghasilkan gambar/citra yang lebih detail (resolusi sekitar 15cm), tidak terkendala awan, karena pengoperasiannya pada ketinggian di bawah awan. Kelemahannya, foto udara terdiri dari kumpulan *scene* kecil yang banyak, terlebih lagi untuk pemotretan dengan area yang sangat luas.

Pengoperasian foto udara juga sangat tergantung dari cuaca, seperti faktor angin. Misalnya untuk penggunaan UAV, hasil foto udara kurang bagus jika tiupan angin terlalu kencang, karena hasil pemotretan kurang stabil. Kelemahan yang lain, foto udara harus disertai dengan pengambilan GCP (*Ground Control Point*) di lapangan untuk melakukan koreksi geometrik (*orthorectification*), karena kalau tidak, bisa dipastikan keakuratan geometrik akan sangat rendah.

### 2.4. *Ground Center Point* (GCP)

*Ground Center Point* (GCP) adalah objek di permukaan bumi yang dapat diidentifikasi dan memiliki informasi spasial sesuai dengan sistem referensi pemetaan, informasi spasial dalam bentuk koordinat X, Y, dan Z

atau Lintang Bujur dan ketinggian dari setiap GCP diukur dengan menggunakan GPS geodetik berketelitian sub-meter. Keperluan GCP yang paling utama adalah proses georeferensi hasil pengolahan foto sehingga memiliki sistem referensi sesuai dengan yang dibutuhkan pada hasil pemetaan.

## 2.5. Uji Ketelitian Geometri

Pada uji ketelitian geometri dilakukan perhitungan skala foto udara untuk kemudian dibandingkan dengan nilai ketelitian yang dihasilkan. Skala foto udara berkaitan erat dengan jenis kamera pada foto udara, yang dimana dalam perhitungan skala jenis kamera diklasifikasikan berdasarkan sudut liputan lensa.

$$S = \frac{f}{H} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

f : panjang fokus

H : tinggi terbang pesawat

Dalam usaha mengetahui hasil analisis pemetaan menggunakan wahana UAV pada area luas tergolong dalam skala peta tertentu dan pada kelas tertentu, maka digunakan acuan ketelitian peta Rupa Bumi Indonesia (RBI).

**Tabel 2. 1. Ketelitian Peta RBI**

No	Skala	Interval Kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horisontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horisontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horisontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)
1	1:1.000.000	400	300	200	600	300	900	400
2	1:500.000	200	150	100	300	150	450	200
3	1:250.000	100	75	50	150	75	225	100
4	1:100.000	40	30	20	60	30	90	40
5	1:50.000	20	15	10	30	15	45	20
6	1:25.000	10	7,5	5	15	7,5	22,5	10
7	1:10.000	4	3	2	6	3	9	4
8	1:5.000	2	1,5	1	3	1,5	4,5	2
9	1:2.500	1	0,75	0,5	1,5	0,75	2,3	1
10	1:1.000	0,4	0,3	0,2	0,6	0,3	0,9	0,4

(Sumber : Peraturan BIG No. 6 Thn 2018)

Nilai Ketelitian disetiap kelas mengikuti tabel dibawah mengacu pada ketelitian horisontal dan vertikal maka dapat ditentukan kelas ketelitian peta rupa bumi.

**Tabel 2. 2. Ketelitian Geometri Peta RBI Berdasarkan Kelas**

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

(Sumber : Peraturan BIG No. 6 Thn 2018)

Nilai ketelitian pada tabel diatas adalah nilai *Circular Error* (CE) 90 untuk ketelitian horisontal dan *Linear Error* (LE) 90 untuk ketelitian vertikal. Berdasarkan USNMAS (*United States National Map Accuracy Standards*) nilai CE90 dan LE90 dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$CE90 = 1,5175 \times RMSEr \dots\dots\dots(2.2)$$

$$LE90 = 1,6499 \times RMSEz \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

RMSE<sub>r</sub> : *Root Mean Square Error* pada posisi x dan y (horisontal)

RMSE<sub>z</sub> : *Root Mean Square Error* pada posisi z (vertikal)

RMSE digunakan untuk menggambarkan kualitas posisi meliputi kesalahan *random* dan sistematis. Nilai RMSE dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum((\Delta_r)^2)}{n}} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$(\Delta_r)^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum((z_{data} - z_{cek})^2)}{n}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

n : Jumlah total pengecekan pada data

$\Delta_r$  : Nilai selisih jarak antara koordinat lapangan dengan koordinat peta

Orthofoto

$\Delta_x$  : Nilai selisih koordinat pada sumbu X

$\Delta_y$  : Nilai selisih koordinat pada sumbu Y

z : Nilai koordinat pada sumbu Z

## 2.6. Metode Perhitungan

Terdapat beberapa metode dalam perhitungan volume antara lain sebagai berikut :

### 1. Metode *Cross Section*

Metode *cross section* yang berpedoman pada *Rule of Gradual Change* dapat dilakukan dengan cara membagi endapan mineral menjadi blok-blok dengan interval tertentu. Blok penambangan dibatasi oleh dua buah penampang atau sayatan.

### 2. Metode *Contour*

Garis kontur merupakan garis yang menghubungkan titik-titik yang memiliki ketinggian yang sama, sehingga bidang yang dibentuk oleh sebuah garis kontur adalah bidang datar.

Perhitungan volume untuk metode *cross section* dan metode *contour* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus *mean area* dan rumus *frustum*.

#### a. Rumus *Mean Area*

Adapun persamaan untuk mengestimasi volume batubara dengan menggunakan persamaan *mean area* adalah sebagai berikut :

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} \times t \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

$S_1$  : Luas penampang 1 ( $m^2$ )

$S_2$  : Luas penampang 2 ( $m^2$ )

$t$  : Jarak antar penampang (m)

$V$  : Volume ( $m^3$ )

b. Rumus *Frustum*

Adapun persamaan untuk mengestimasi volume batubara dengan menggunakan persamaan *frustum* adalah sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{3} \times t \times (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \times S_2}) \dots\dots\dots(2.7)$$

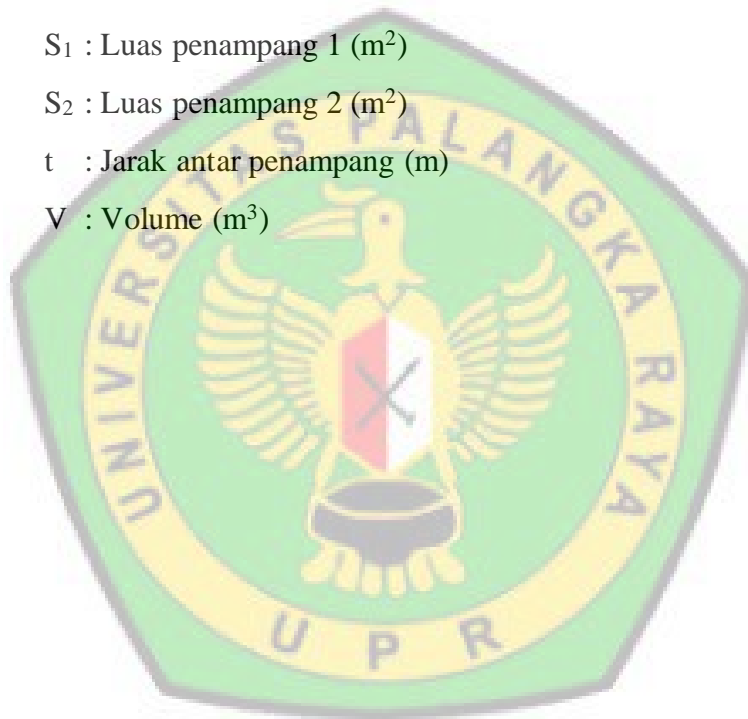
Keterangan :

$S_1$  : Luas penampang 1 ( $m^2$ )

$S_2$  : Luas penampang 2 ( $m^2$ )

$t$  : Jarak antar penampang (m)

$V$  : Volume ( $m^3$ )



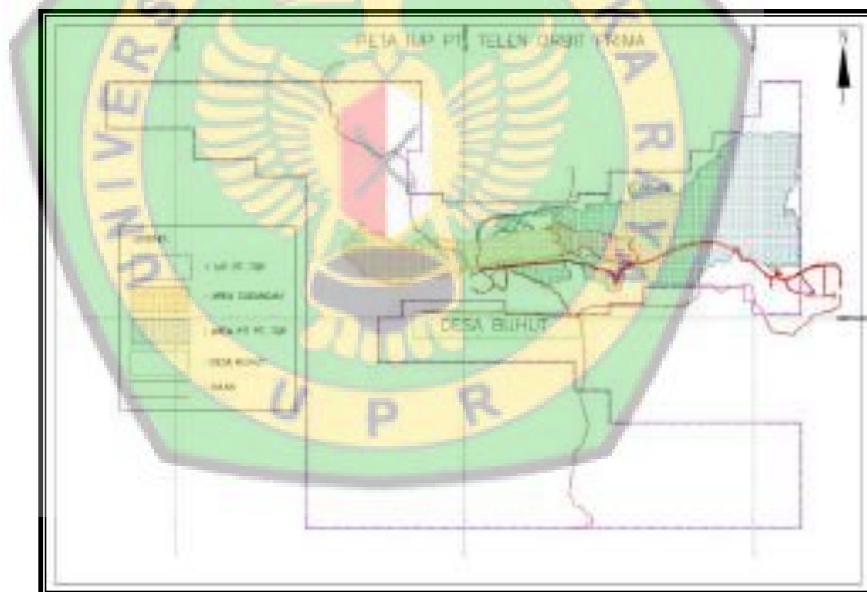
## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Gambaran Umum Wilayah Penelitian

##### 3.1.1. Sejarah Perusahaan

PT Telen Orbit Prima *Jobsite* Desa Buhut Jaya mulai berdiri pada 11 Februari 2008, memiliki izin eksploitasi seluas 4.897 ha yang berlaku selama 30 tahun (sampai tahun 2037).



(Sumber : PT Telen Orbit Prima)

**Gambar 3. 1.** IUP PT Telen Orbit Prima

PT Telen Orbit Prima memperoleh Izin Pinjam Pakai Kawasan Hutan dari Menteri Kehutanan dalam 2 tahap, Tahap 1 (pertama) seluas 259 Ha dengan izin No. SK.117/Menhut-II/2009, tanggal 17 April yaitu Izin IPPKH untuk Eksploitasi Tambang Batubara dan Sarana Penunjangnya pada

Kawasan Hutan Produksi (HP) tetap di Kecamatan Kapuas Tengah, Kabupaten Kapuas, Provinsi Kalimantan Tengah. Dan tahap 2 (kedua) seluas 710.6 Ha dengan izin No. SK.537/Menhut-II/2011, tanggal 21 September 2011 yaitu Izin IPPKH untuk Jalan Angkut Batubara dan Sarana Penunjang Eksploitasi Batubara Atas Nama PT Telen Orbit Prima pada Kawasan Hutan Produksi Tetap dan Hutan Produksi yang Dapat Dikonversi di Kabupaten Kapuas dan Kabupaten Barito Utara Propinsi Kalimantan Tengah. Tahap 3 (ketiga) seluas 1.196,60 Ha dengan izin No.SK.675/Menhut-II/2014.

### **3.1.2. Lokasi Kesempaiian Daerah**

PT Telen Orbit Prima *Jobsite* Buhut Jaya berlokasi di Desa Buhut Jaya, Kecamatan Kapuas Tengah, Kabupaten Kapuas Propinsi Kalimantan Tengah. Untuk mencapai lokasi dapat ditempuh dengan dua alternatif yaitu :

- A. Dari Palangka Raya menuju Muara Teweh menggunakan kendaraan roda empat (mobil) ditempuh dengan jarak 312 km dan waktu tempuh  $\pm 7$  jam 12 menit. Selanjutnya dari Muara Teweh menuju Office PT Telen Orbit Prima ditempuh dengan jarak 109 km dan waktu tempuh  $\pm 3$  jam.
- B. Dari Palangka Raya menuju desa Buhut Jaya menggunakan kendaraan roda empat (mobil) ditempuh dengan waktu tempuh  $\pm 6$  jam. Selanjutnya dari desa Buhut Jaya menuju Office PT Telen Orbit Prima ditempuh dengan jarak 3,6 km dan waktu tempuh  $\pm 13$  menit.

## **3.2. Kondisi Geologi Daerah Penelitian**

### **3.2.1. Morfologi**

Dominasi morfologi di Kabupaten Kapuas memperlihatkan bentuk morfologi dataran berelief rendah dengan ketinggian 1-4 Mdpl. Kecamatan Mantangai berada pada wilayah dengan ketinggian 50-100 Mdpl, Kecamatan Timpah 100-500 Mdpl, sedangkan Kecamatan Kapuas Tengah dan Kapuas Hulu merupakan wilayah kecamatan yang berada di kisaran lebih dari 500 Mdpl.

### **3.2.2. Litologi**

Litologi daerah penelitian yang dilakukan pada *Pit* Buhut adalah formasi Berai dan Pamalukan yang merupakan formasi pembawa batubara. Penyebarannya memanjang timur – barat, seperti yang tersingkap pada bagian hilir Sungai Menghantai dan Sungai Tiwaidiwung. Formasi Berai terdiri dari batu gamping abu – abu terang, sangat kompak dan keras, mengandung fosil foram besar dan fosil koral, sebagian terkristalisasi, dan sebagian lainnya memperlihatkan kesan berlapis.

### **3.2.3. Struktur Geologi**

Struktur geologi pada daerah penelitian yang dilakukan tidak terlihat. Untuk daerah Regional terdapat beberapa seperti adanya antiklin dan juga sinklin.

### 3.3. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan selama penelitian skripsi di PT Telen Orbit Prima yaitu :

1. Alat pelindung diri (APD)
2. Buku tulis dan alat tulis
3. Kamera
4. Alat hitung atau kalkulator
5. Laptop
6. *Drone DJI Mavic 2 Pro*
7. GPS RTK
8. Drum penanda GCP

### 3.4. Tata Laksana Penelitian

#### 3.4.1. Langkah Kerja

Langkah kerja yang dilakukan dalam penelitian skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Mengumpulkan informasi-informasi yang berkaitan dengan perhitungan volume serta metode fotogrametri dari buku diktat perkuliahan, jurnal penelitian, artikel, dan sumber-sumber lain yang dapat mendukung penelitian.

## 2. Pengamatan Lapangan

Melakukan pengamatan secara langsung ke lokasi penambangan dan mengidentifikasi keadaan aktual di lapangan.

## 3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer dan sekunder diperlukan untuk penelitian ini. Pengambilan data primer dilakukan secara langsung di lapangan. Untuk pengambilan data sekunder diperoleh dari perusahaan.

Adapun data primer yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu:

- a. Data foto udara
- b. Data pengukuran GCP (*Ground Control Point*)
- c. Foto keadaan lapangan

Adapun data sekunder yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu:

- a. Data topografi RTK
- b. Data curah hujan daerah penelitian
- c. Peta topografi daerah penelitian
- d. Peta geologi daerah penelitian
- e. Peta lokasi perusahaan
- f. Data penunjang lainnya

## 4. Pengolahan Data

Pada pengolahan foto udara dilakukan proses orthorektifikasi yaitu pengikatan GCP terhadap foto udara. Kemudian hasil dari

pengolahan diubah menjadi DEM (*Digital Elevation Model*) dan juga Orthofoto. Setelah dilakukan proses orthorektifikasi dapat dilakukan uji ketelitian geometri untuk melihat ketelitian yang dihasilkan sesuai dengan peta RBI. Selanjutnya hasil pengolahan foto udara yang berupa DEM akan diekstrak menjadi kontur. Hasil kontur selanjutnya akan diolah untuk keperluan menghitung besar nilai volume. Kemudian hasil volume yang didapat dibandingkan dengan hasil volume pengukuran menggunakan GPS RTK untuk melihat bagaimana selisih hasil pengukuran volume yang dihasilkan.

#### 5. Analisis Data

Dari hasil pengolahan data, selanjutnya dilakukan ketelitian geometri pemetaan berdasarkan Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No. 15 Tahun 2014. Metode untuk menganalisis ketelitian geometri pemetaan dilakukan dengan cara menghitung nilai *error* yang dihasilkan pada saat proses orthorektifikasi yang kemudian dimasukkan kedalam tabel ketelitian peta RBI.

Kemudian dilakukan juga analisis perbandingan pengukuran volume hasil *drone* dan RTK. Untuk menganalisis perbandingan pengukuran volume hasil *drone* dilakukan dengan cara menghitung volume dari data yang telah dihasilkan dari hasil pengukuran di lapangan menggunakan perangkat lunak, kemudian dilihat selisih perhitungan dari *drone* yang paling mendekati RTK. Setelah didapat hasil analisis, akan terlihat kelayakan data foto udara berdasarkan peta

RBI dan perbandingan perhitungan volume. Dan apabila hasil memperlihatkan ketidaklayakan ataupun hasil perbandingan yang tidak memenuhi standar, peneliti akan memikirkan serta memberikan saran bagi perusahaan. Apabila hasil dari penelitian ini berhasil maka dapat menjadi masukan untuk perusahaan.

#### 6. Penyusunan Laporan Penelitian Skripsi

Hasil dari pengolahan dan analisis data keseluruhan kemudian ditulis ke dalam laporan untuk dipertanggungjawabkan dalam bentuk laporan hasil penelitian skripsi.

### **3.4.2. Metode Penelitian**

#### **3.4.2.1. Metode Observasi**

Metode pengambilan data yang digunakan dalam penelitian skripsi ini yaitu Metode Observasi. Metode ini dilakukan dengan mengadakan pengamatan langsung terhadap suatu objek dalam suatu periode tertentu dan mengadakan pencatatan secara sistematis tentang hal-hal tertentu yang diamati.

#### **3.4.2.2. Metode Kuantitatif**

Metode ini biasanya disajikan dalam bentuk angka atau numerik, sehingga biasanya data kuantitatif ini tidak jauh dari analisis matematika dan statistika.

### 3.4.2.2.1. Metode Pengambilan Data

Adapun tahapan dari pengambilan data sebagai berikut :

#### 1. Pemasangan GCP

Pemasangan GCP dilakukan sebagai tempat pengambilan data koordinat pada tanda yang akan diukur menggunakan GPS geodetik. Umumnya pemasangan GCP dibuat dengan warna yang mencolok serta pemasangan GCP dilakukan di tempat terbuka dan tersebar merata pada wilayah pengambilan data.

#### 2. Pengukuran GCP

Pengukuran GCP dilakukan dengan mengambil data koordinat menggunakan GPS geodetik. Nilai koordinat menggunakan sistem koordinat UTM Zona 50S.

#### 3. Perencanaan Jalur Penerbangan *Drone*

Perencanaan jalur penerbangan dilakukan menggunakan aplikasi PIX4D *ctrl+* dan PIX4D *capture*. Adapun tahap perencanaannya meliputi desain area, penentuan ketinggian, *overlap*, serta rencana sesi misi terbang.

#### 4. Penerbangan *Drone*

Penerbangan *drone* dilakukan secara otomatis sesuai dengan rencana terbang yang telah dilakukan pada perencanaan jalur penerbangan. Penerbangan *drone* dilakukan berlandaskan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. PM 37 Tahun 2020 tentang

Pengoperasian Pesawat Udara Tanpa Awak di Ruang Udara yang dilayani Indonesia.

#### 5. Pengambilan Foto Udara

Pengambilan foto udara dilakukan menggunakan *drone* DJI *Mavic 2 Pro* untuk mendapatkan data foto udara daerah penelitian.

#### 6. Pendaratan *Drone*

Pendaratan *drone* dapat dilakukan dengan cara manual atau otomatis sesuai dengan penerbangan *drone* mengikuti misi penerbangan. Dapat dilakukan pendaratan secara manual apabila terjadi *error* atau kesalahan pada penerbangan *drone*.

#### 3.4.2.2.2. Metode Pengolahan Data

Adapun tahapan dari pengolahan data sebagai berikut :

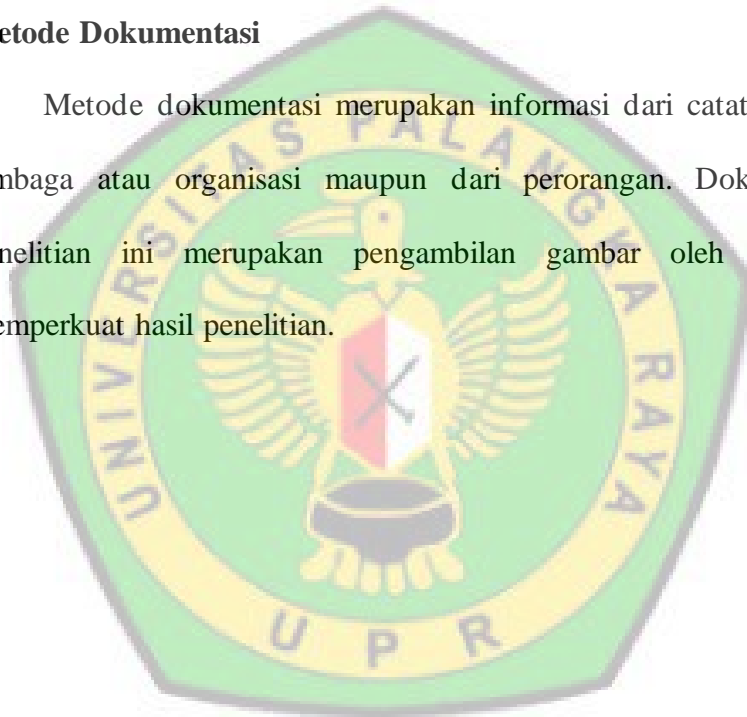
1. Pembuatan Orthofoto
  - a. Melakukan *input* foto yang telah diambil
  - b. Melakukan proses *align photo*
  - c. *Input* koordinat GCP dan melakukan proses orthorektifikasi
  - d. Melakukan proses pembentukan titik tinggi atau *Build Dense Cloud*
  - e. Melakukan proses pembentukan model 3D
  - f. Melakukan proses pembentukan model *Texture*
  - g. Melakukan proses pembentukan DEM
  - h. Melakukan proses pembentukan Orthofoto
  - i. Melakukan proses pembentukan kontur.

## 2. Perhitungan Volume

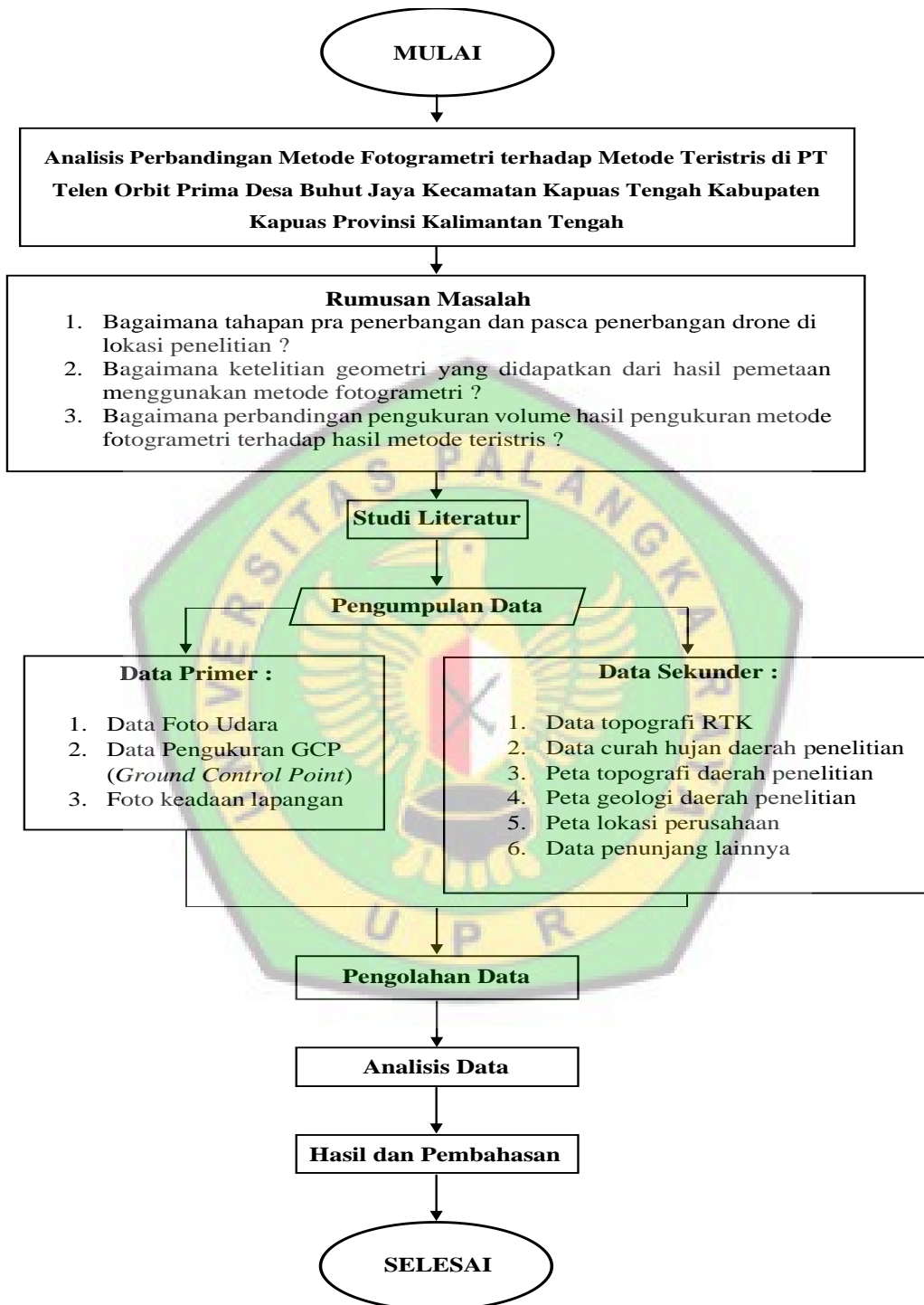
- a. Melakukan input kontur yang telah terbentuk pada saat proses pembuatan orthofoto
- b. Melakukan proses *boundary* pada wilayah yang akan dihitung serta *line section*.
- c. Melakukan perhitungan dengan metode *cross section*.

### 3.4.2.3. Metode Dokumentasi

Metode dokumentasi merupakan informasi dari catatan penting dari lembaga atau organisasi maupun dari perorangan. Dokumentasi pada penelitian ini merupakan pengambilan gambar oleh peneliti untuk memperkuat hasil penelitian.



### 3.5. Bagan Alir



Gambar 3. 2. Bagan Alir Penelitian



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil

##### 4.1.1. Tahapan Pra Penerbangan dan Pasca Penerbangan *Drone*

Pada penerbangan *drone* dilakukan dengan beberapa tahapan. Berikut merupakan bagan alir sebelum penerbangan, pelaksanaan serta pasca penerbangan *drone* :



**Gambar 4. 1.** *Flow Chart* Pra dan Pasca Penerbangan *Drone*

## 4.1.2. Tingkat Akurasi Geometri Hasil Pemetaan Menggunakan Metode Fotogrametri

### 4.1.2.1. Hasil Pengolahan Foto Udara

Hasil foto udara yang diperoleh dari hasil pengambilan foto di lapangan diolah dengan menggunakan bantuan perangkat lunak dengan kualitas *low*, *medium* dan *high*. Hasil pengolahan dari foto udara menghasilkan orthofoto dan DEM (*Digital Elevation Model*).

#### 1. Orthofoto

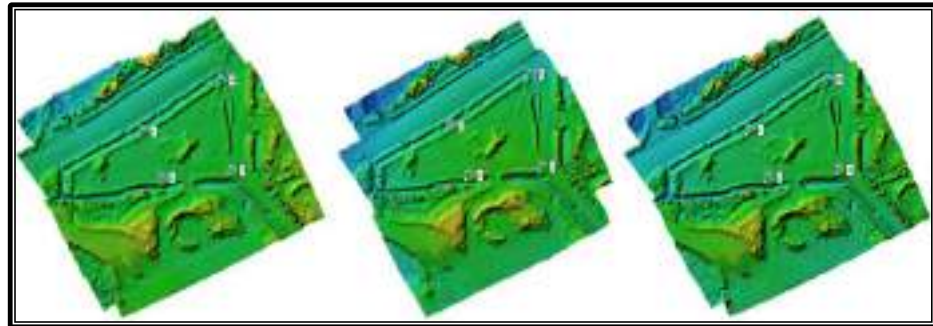
Hasil pengolahan foto udara menggunakan perangkat lunak kemudian diubah menjadi orthofoto yang secara visual terlihat sama seperti kondisi aktual di lapangan.



**Gambar 4. 2.** Hasil Orthofoto *Low, Medium, High Quality*

#### 2. DEM (*Digital Elevation Model*)

Hasil pengolahan foto udara menggunakan perangkat lunak kemudian diubah menjadi data DEM yang memperlihatkan elevasi dari objek-objek yang ada di permukaan tanah.



**Gambar 4. 3.** Hasil DEM *Low, Medium, High Quality*

#### 4.1.2.2. Hasil Perhitungan Akurasi Geometri

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui nilai *Circular Error (CE) 90* dan *Linier Error (LE) 90*. Kemudian nilai tersebut akan menjadi acuan akurasi geometri yang akan diuji dengan tabel klasifikasi ketelitian geometris pada tabel 2.1.

##### 1. Ketelitian Horizontal

Hasil perhitungan selisih koordinat horizontal atau nilai *error* horizontal diperoleh nilai sebagai berikut.

**Tabel 4. 1.** Ketelitian Horizontal

Kualitas	Tinggi Wahana UAV	Overlap	RMSE	CE90	Skala Peta	Kelas
LOW	60	70%	0,2063	0,3131	1 : 1000	2
	90	70%	0,2036	0,3089		2
	120	70%	0,1953	0,2964		1
	60	80%	0,1793	0,2721		1
	90	80%	0,1797	0,2727		1
	120	80%	0,1809	0,2746		1
MEDIUM	60	70%	0,0143	0,0217		1
	90	70%	0,0164	0,0250		1
	120	70%	0,0134	0,0203		1
	60	80%	0,0185	0,0281		1
	90	80%	0,0220	0,0334		1
	120	80%	0,0131	0,0198		1

HIGH	60	70%	0,0124	0,0188	1
	90	70%	0,0108	0,0164	1
	120	70%	0,0059	0,0089	1
	60	80%	0,0201	0,0306	1
	90	80%	0,0207	0,0314	1
	120	80%	0,0112	0,0169	1

Berdasarkan nilai RMSEr serta nilai CE90 yang diperoleh untuk ketelitian horisontal kemudian diuji dengan tabel klasifikasi ketelitian geometris. Hal ini berarti bahwa kesalahan posisi tidak melebihi dari ketelitian yang sudah ditentukan sesuai skala foto yang dihasilkan atau mendapatkan tingkat kepercayaan 90%.

## 2. Ketelitian Vertikal

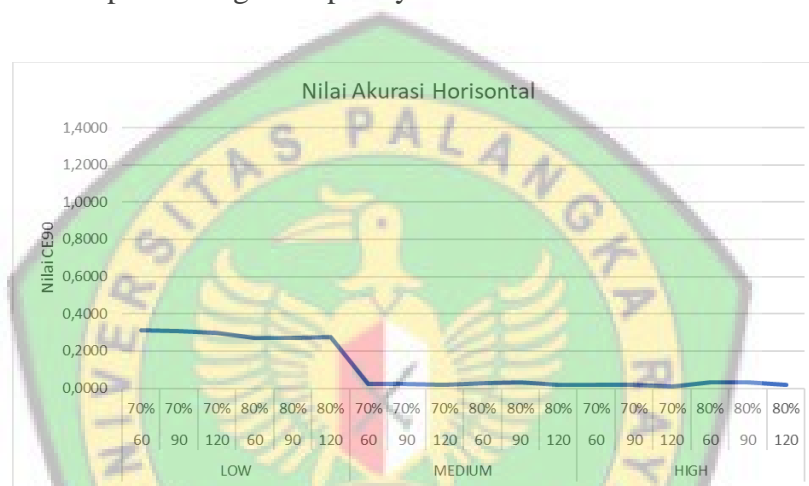
Hasil perhitungan selisih koordinat vertikal atau nilai *error* vertikal diperoleh nilai sebagai berikut.

**Tabel 4. 2.** Ketelitian Vertikal

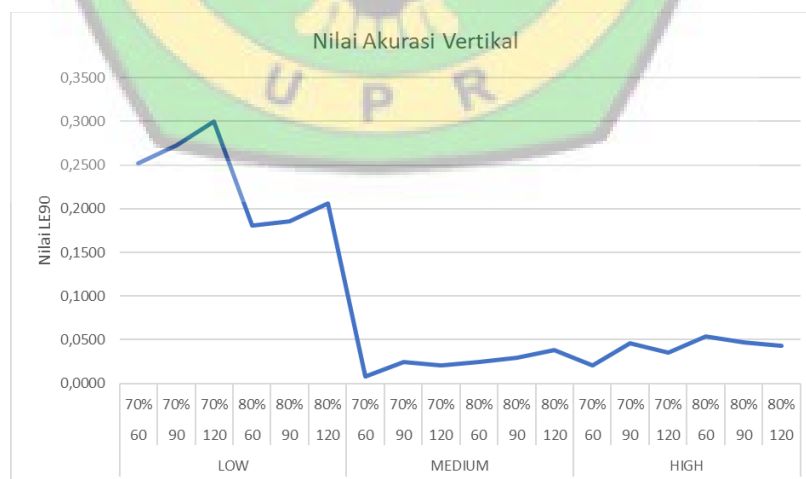
Kualitas	Tinggi Wahana UAV	Overlap	RMSE	LE90	Skala Peta	Kelas
LOW	60	70%	0,1529	0,2522	1 : 1000	2
	90	70%	0,0924	0,2724		2
	120	70%	0,1818	0,2999		2
	60	80%	0,1095	0,1807		1
	90	80%	0,1123	0,1854		1
	120	80%	0,1858	0,2065		1
MEDIUM	60	70%	0,0049	0,0081		1
	90	70%	0,0149	0,0246		1
	120	70%	0,0128	0,0211		1
	60	80%	0,0148	0,0243		1
	90	80%	0,0178	0,0294		1
	120	80%	0,0230	0,0379		1
HIGH	60	70%	0,0124	0,0204	1	
	90	70%	0,0278	0,0459	1	
	120	70%	0,0214	0,0353	1	
	60	80%	0,0327	0,0539	1	

	90	80%	0,0283	0,0467		1
	120	80%	0,0260	0,0429		1

Berdasarkan nilai RMSEz serta nilai LE90 yang diperoleh untuk ketelitian vertikal kemudian diuji dengan tabel klasifikasi ketelitian geometris. Hal ini berarti bahwa kesalahan posisi tidak melebihi dari ketelitian yang sudah ditentukan sesuai skala foto yang dihasilkan atau mendapatkan tingkat kepercayaan 90%.



**Gambar 4. 4.** Grafik Nilai Akurasi Horizontal

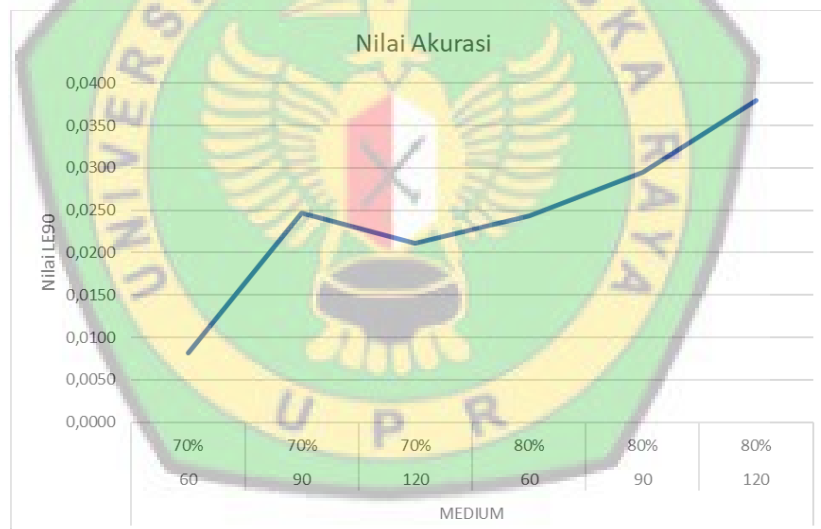


**Gambar 4. 5.** Grafik Nilai Akurasi Vertikal

Berdasarkan tabel 4.2 pada kualitas *medium* memiliki kesalahan atau nilai *error* dengan ketelitian yang paling teliti menurut Peraturan Badan Informasi Geospasial (BIG) No. 6 Tahun 2018.

**Tabel 4. 3.** Ketelitian Vertikal Kualitas *Medium*

Kualitas	Tinggi Wahana UAV	Overlap	RMSE	LE90	Skala Peta	Kelas
MEDIUM	60	70%	0,0049	0,0081	1 : 1000	1
	90	70%	0,0149	0,0246		1
	120	70%	0,0128	0,0211		1
	60	80%	0,0148	0,0243		1
	90	80%	0,0178	0,0294		1
	120	80%	0,0230	0,0379		1



**Gambar 4. 6.** Grafik Nilai Akurasi Vertikal Kualitas *Medium*

#### 4.1.3. Perbandingan Hasil Pengukuran Metode Fotogrametri Terhadap Hasil

##### Pengukuran Menggunakan Teristris

##### 4.1.3.1. Hasil Pengukuran Volume *Drone* dan RTK

1. Hasil pengukuran volume menggunakan *drone*

Berdasarkan data foto udara yang telah diolah maka dilakukan perhitungan volume. Berikut adalah perhitungan volume hasil pengukuran menggunakan *drone* :

**Tabel 4. 4.** Hasil Pengukuran Volume Menggunakan *Drone*

Base	Surface	Vol (m <sup>3</sup> )	Luas (m <sup>2</sup> )
BASE_LM_CPP	6070_med	263,63	231,75

## 2. Hasil pengukuran volume menggunakan RTK

Berdasarkan perhitungan volume hasil pengukuran menggunakan RTK didapatkan hasil sebagai berikut :

**Tabel 4. 5.** Hasil Pengukuran Volume menggunakan RTK

Base	Surface	Vol (m <sup>3</sup> )	Luas (m <sup>2</sup> )
BASE_LM_CPP	RTK	224,44	231,75

### 4.1.3.2. Hasil Perbandingan Volume *Drone* dan RTK

Perbandingan dilakukan untuk mengetahui selisih dari perhitungan volume menggunakan *drone* dan RTK. Hal ini dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi pengukuran menggunakan *drone* agar dapat dijadikan opsi lain dalam perhitungan volume. Berikut adalah perbandingan yang dihasilkan dari perhitungan volume menggunakan *drone* dan RTK :

**Tabel 4. 6.** Hasil Perbandingan Volume Drone dan RTK

Metode	Vol (m <sup>3</sup> )	Selisih	Persentase
Teristris	224,44	39,19	1,17
Fotogrametri	263,63		

Perhitungan volume dari hasil pengukuran menggunakan *drone* memiliki hasil yang berbeda dengan hasil pengukuran menggunakan RTK. Perhitungan volume yang dihasilkan dengan pengambilan data

menggunakan metode fotogrametri memiliki hasil yang lebih besar dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan metode teristris.

## 4.2. Pembahasan

### 4.2.1. Tahapan Pra Penerbangan dan Pasca Penerbangan *Drone*

Tahapan pra penerbangan dan pasca penerbangan *drone* dilakukan dalam beberapa tahapan seperti pemeriksaan peralatan *drone* yang dilakukan sebelum dan sesudah melakukan penerbangan, kemudian menyiapkan kelengkapan teristris yang diperlukan untuk pendukung hasil foto udara. Selanjutnya perencanaan jalur penerbangan yang akan dilakukan serta merakit *drone* sesuai dengan prosedur sebelum melakukan penerbangan. Setelah dilakukan penerbangan *drone* dilakukan pendaratan serta pembongkaran *drone*.

#### 4.2.1.1. Pra Penerbangan *Drone*

Pada penerbangan *drone* ada beberapa hal yang harus diperhatikan diantaranya sebagai berikut :

##### 1. Pemeriksaan Peralatan *Drone*

Adapun tahapan yang dilakukan pada saat melakukan pemeriksaan peralatan *drone* sebagai berikut :

- a. Menyiapkan form P2H *Drone Mavic 2 Pro*.

**Gambar 4. 7.** *Form P2H*

- b. Memeriksa kondisi *travel case drone*, pastikan tidak terdapat kerusakan pada penutup *travel case* dan pastikan pegangan *travel case* tidak terlepas atau berpotensi rusak.



**Gambar 4. 8.** *Travel Case Drone*

- c. Memeriksa *body drone*, pastikan *body* termasuk rangka dan kerangka gimbal tidak mengalami kerusakan.



**Gambar 4. 9.** *Wahana Drone*

- d. Memeriksa kondisi baterai, pastikan secara fisik kondisi baterai tidak mengalami kebocoran serta indikator baterai menyala.



**Gambar 4. 10.** Baterai Wahana

- e. Memeriksa kondisi *remote control*, pastikan tombol-tombol yang terdapat pada *remote control* tidak rusak dan tuas control tidak *loss* dan rusak serta antena tidak patah.



**Gambar 4. 11.** *Remote Control*

- f. Memeriksa kondisi gimbal, pastikan kondisi fisik lensa gimbal tidak ada goresan serta kondisi penghubung gimbal tidak berpotensi rusak. Pastikan kartu memori dapat masuk dan keluar dengan sempurna.



**Gambar 4. 12.** Gimbal

- g. Memeriksa kapasitas kartu memori yang terpasang, pastikan kapasitas kartu memori cukup.



**Gambar 4. 13.** Kartu Memori *Drone*

- h. Memeriksa kabel USB, pastikan dapat menghubungkan data dengan baik antara *remote control* dan *flight controller tablet*.



**Gambar 4. 14.** Kabel USB

- i. Memeriksa kondisi *flight controller tablet* pastikan tidak ada kerusakan, pastikan aplikasi pilot *drone* dapat berfungsi dan seluruh *firmware part drone* tidak membutuhkan *update* yang dapat menyebabkan kegagalan sistem.



**Gambar 4. 15.** *Flight Controller Tablet*

- j. Memeriksa kondisi dan kelengkapan *drone*.



**Gambar 4. 16.** Kelengkapan *Drone*

2. Kelengkapan Teristris

- a. Pembuatan GCP (*Ground Control Point*)

GCP merupakan tempat titik pengambilan data koordinat yang diukur menggunakan GPS Geodetik. Umumnya GCP dibuat dengan bentuk silang dan diwarnai dengan warna yang mencolok agar dapat mempermudah untuk diidentifikasi pada foto udara. Pembuatan GCP pada penelitian ini menggunakan drum yang diwarnai cat merah dan putih membentuk tanda silang.



**Gambar 4. 17.** GCP (*Ground Control Point*)

b. Pengukuran GCP (*Ground Control Point*)

Pengukuran GCP (*Ground Control Point*) berguna untuk mendapatkan nilai koordinat sebelum dilakukan pengolahan foto udara dan pembentukan orthofoto. Dalam kajian ini sistem koordinat yang digunakan pada pengukuran GCP adalah WGS 84 / UTM *zone* 50S. Berikut adalah nilai koordinat yang didapat dari hasil pengukuran :

**Tabel 4. 7.** Koordinat GCP

Titik GCP	X	Y	Z
1	9875730,7	220759,29	66,58
2	9875695,94	220772,81	65,95
3	9875701,40	220825,32	67,87
4	9875768,21	220817,38	67,09

3. Perencanaan Jalur Penerbangan

Perencanaan jalur penerbangan *drone* dilakukan menggunakan aplikasi PIX4D *ctrl+* dan PIX4D *capture* yang dikendalikan melalui *smartphone*. Dalam merencanakan jalur terbang harus memperhatikan beberapa aspek seperti kondisi lapangan, kondisi cuaca, ketinggian, sudut kamera, besar *overlap*, waktu serta jarak yang akan ditempuh.



**Gambar 4. 18.** Tampilan Misi Penerbangan

#### 4. Perakitan *Drone*

Perakitan *drone* untuk *take off* dan *landing* dilakukan pada area yang datar dan kering. Adapun tahapan yang dilakukan pada proses perakitan *drone* sebagai berikut :

- a. Membuka *travel case drone*, keluarkan *remote control* terlebih dahulu kemudian keluarkan wahana dengan memegang bagian rangka penghubung *landing skid*, kemudian letakkan di area datar dan kering.
- b. Membuka pengunci gimbal kemudian simpan pengunci gimbal ke dalam *travel case drone*.
- c. Pasang baling-baling pada *mounting propeller* sesuai klasifikasi kemudian kunci *mounting propeller* setelah baling-baling menempel sempurna.
- d. Sambungkan *flight control tablet* dengan *remote control* menggunakan kabel USB yang sesuai.
- e. Hidupkan wahana serta *remote control*, biarkan wahana melakukan kalibrasi otomatis.

Memeriksa koneksi data dari wahana ke *flight control tablet* serta pastikan transfer data tidak bermasalah. Setelah dipastikan tidak ada yang bermasalah maka *drone* siap melakukan misi terbang.

#### 4.2.1.2. Pelaksanaan Penerbangan *Drone*

##### 1. Penerbangan *Drone*

Setelah dilakukan beberapa tahapan seperti yang tertera pada pra penerbangan *drone* dan dipastikan wahana siap untuk terbang. Penerbangan *drone* dilakukan secara otomatis sesuai dengan rencana terbang yang telah dilakukan pada perencanaan jalur penerbangan. Penerbangan *drone* dilakukan berlandaskan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. PM 37 Tahun 2020 tentang Pengoperasian Pesawat Udara Tanpa Awak di Ruang Udara yang dilayani Indonesia.

##### 2. Melakukan Foto Udara menggunakan *Drone*

Proses pengambilan foto udara dilakukan ketika *drone* telah terbang dan menuju lokasi sesuai dengan jalur penerbangan yang telah dibuat. Proses pengambilan foto udara dilakukan apabila penyebaran dan pengukuran GCP telah selesai dilakukan. Hal ini bertujuan untuk menghindari agar koordinat yang didapat sesuai serta menghindari berubahnya posisi GCP.

Pengambilan foto udara dilakukan sebanyak 6 kali sesuai dengan rencana misi penerbangan yang telah dibuat pada penelitian ini.



**Gambar 4. 19.** Pengambilan Gambar Foto Udara

#### 4.2.1.3. Pasca Penerbangan *Drone*

##### 1. Pendaratan *Drone*

Pendaratan *drone* dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu, manual dan otomatis sesuai dengan penerbangan *drone* mengikuti misi penerbangan. Demi keamanan direkomendasikan melakukan pendaratan dengan cara otomatis. Pada saat pendaratan perhatikan kecepatan angin, apabila kecepatan angin melebihi 10 m/s atau wahana terlihat tidak stabil segera ambil alih kendali wahana untuk melakukan pendaratan secara manual.



**Gambar 4. 20.** Pendaratan *Drone*

##### 2. Pembongkaran *Drone*

Pembongkaran *drone* dilakukan setelah *drone* mendarat sempurna dan *propeller* telah berhenti berputar. Adapun tahapan yang dilakukan pada proses pembongkaran *drone* sebagai berikut :

- a. Melakukan proses transfer foto *drone* ke *flight control tablet*.

- b. setelah transfer data foto selesai dilakukan matikan wahana dan *remote control*.
- c. Setelah wahana dan *remote control* dalam kondisi mati, kunci gimbal terlebih dahulu dengan hati-hati.
- d. Lepaskan baling-baling dari pengunci *mounting propeller*, kemudian simpan baling-baling pada slot yang ada pada *travel case*.
- e. Lepaskan baterai dari wahana kemudian letakkan baterai pada slot yang ada pada *travel case*.
- f. Masukkan wahana ke dalam slot yang ada pada *travel case* dengan hati-hati
- g. Lepaskan USB yang tersambung pada *flight control tablet* dan *remote control*. Kemudian masukkan *flight control tablet* dan *remote control* pada slot yang ada pada *travel case*.
- h. Pastikan seluruh perangkat tidak ada yang tertinggal, kemudian tutup *travel case drone* dengan sempurna.

Penerbangan *drone* dilakukan dengan memperhatikan beberapa aspek yaitu sebagai berikut :

1. Jalur terbang sebisa mungkin disesuaikan dengan arah angin.
2. Tutupan awan pada saat penerbangan  $< 10\%$ .
3. Lama waktu penerbangan mengikuti kapasitas baterai dengan mempertimbangkan lokasi *take off* dan *landing*.

4. Waktu penerbangan drone sebaiknya dilakukan pada jam 08.00-11.00 dan 13.00-16.00. Untuk menghindari *sunspot* atau pantulan sinar matahari pada hasil foto udara akibat posisi matahari yang terlalu tinggi.
5. Pada saat penerbangan harus mempertimbangkan kondisi cuaca seperti kecepatan angin, kondisi hujan, dan awan rendah.

#### **4.2.2. Tingkat Akurasi Geometri Hasil Pemetaan Menggunakan Metode Fotogrametri**

Perhitungan ketelitian pada hasil yang telah didapatkan akan disesuaikan dengan standar ketelitian peta RBI seperti pada tabel 2.1. Hasil perhitungan ketelitian horisontal menghasilkan nilai CE90 dengan nilai ketelitian tidak melebihi 0,3 m. Berdasarkan nilai CE90 jika dilihat pada tabel klasifikasi ketelitian peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) yang dikeluarkan melalui Peraturan Badan Informasi Geospasial (BIG) No. 6 Tahun 2018, maka orthofoto yang dihasilkan memenuhi standar ketelitian peta RBI dan masuk kelas 1.

Hasil perhitungan ketelitian vertikal menghasilkan nilai LE90 dengan nilai ketelitian tidak melebihi 0,2 m. Berdasarkan nilai LE90 jika dilihat pada tabel klasifikasi ketelitian peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) yang dikeluarkan melalui Peraturan Badan Informasi Geospasial (BIG) No. 6 Tahun 2018, maka orthofoto memenuhi standar ketelitian peta RBI dan masuk kelas 1.

Berdasarkan hasil pengujian diatas, semua orthofoto yang dihasilkan dari pengolahan data yang dilakukan di dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai peta dasar, dikarenakan memenuhi standar ketelitian geometri peta RBI skala 1:1000 kelas 1 sesuai dengan Peraturan Badan Informasi Geospasial (BIG) No. 6 Tahun 2018.

#### **4.2.3. Perbandingan Hasil Pengukuran Metode Fotogrametri Terhadap Hasil Pengukuran Menggunakan Teristris**

##### **4.2.3.1. Pengukuran Volume *Drone* dan RTK**

Berdasarkan tingkat akurasi geometri vertikal hasil pemetaan didapatkan nilai ketelitian yang paling baik yaitu pada kualitas medium. Perhitungan volume pada pengukuran menggunakan *drone* dan RTK dengan metode perhitungan *cross section*, didapatkan hasil total volume pada pengukuran menggunakan *drone* adalah 263,63 m<sup>3</sup>.

Perhitungan volume dilakukan dengan metode perhitungan *cross section*, didapatkan hasil total volume pada pengukuran menggunakan RTK adalah 224,44 m<sup>3</sup>.

##### **4.2.3.2. Analisis Perbandingan Pengukuran Metode Fotogrametri Terhadap Hasil Pengukuran Menggunakan Teristris**

Hasil perhitungan volume menggunakan *drone* dibandingkan dengan hasil pengukuran volume menggunakan RTK didapatkan selisih yaitu sebagai berikut :

**Tabel 4. 8.** Hasil Perbandingan Fotogrametri dan Teristris

Kualitas	Selisih	Persentase
<i>Medium</i>	39,19	1,17

Dapat dilihat pada tabel 4.8. bahwa hasil pengukuran *drone* memiliki hasil selisih volume yang dihasilkan yaitu sebesar 39,19 m<sup>3</sup>. Perbandingan ini dilakukan dengan melihat hasil nilai akurasi geometri vertikal yang paling baik sesuai dengan Peraturan Badan Informasi Geospasial (BIG) No. 6 Tahun 2018.

#### 4.2.3.3. Kelebihan dan Kekurangan Metode Fotogrametri

Metode fotogrametri memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan dalam pemanfaatannya. Adapun untuk kelebihan dari metode fotogrametri ini adalah sebagai berikut :

1. Dalam tahap pengambilan data menjadikan pekerjaan lebih praktis dan efisien.
2. Memiliki tingkat *safety* yang lebih aman.
3. Data tersimpan dalam bentuk yang ringkas.
4. Data citra yang dihasilkan lebih informatif.
5. Kualitas data dapat diatur dan merupakan metode yang menjanjikan karena perkembangan metode fotogrametri berkorelasi baik dengan perkembangan teknologi.

Adapun untuk kekurangan dari metode fotogrametri ini adalah sebagai berikut :

1. Daerah pengambilan data harus kering atau bebas dari genangan air untuk menghindari terjadinya *sunspot*.
2. Masalah pada beberapa perangkat lunak yang tidak dapat membaca *file* yang telah diolah dikarenakan ukuran citra digital yang besar.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Tahapan pra dan pasca penerbangan *drone* terdiri dari beberapa tahapan seperti pemeriksaan peralatan *drone*, kemudian menyiapkan kelengkapan teristris yang diperlukan untuk pendukung hasil foto udara. Selanjutnya perencanaan jalur penerbangan yang akan dilakukan serta merakit *drone* sesuai dengan prosedur sebelum melakukan penerbangan. Setelah dilakukan penerbangan *drone* dilakukan pendaratan serta pembongkaran *drone*. Serta memperhatikan beberapa faktor dalam pelaksanaan penerbangan *drone*.
2. Berdasarkan tingkat akurasi geometri didapat hasil perhitungan ketelitian horisontal jika dilihat pada tabel klasifikasi ketelitian peta Rupa Bumi Indonesia (RBI), maka orthofoto dengan skala 1:1000 memenuhi standar ketelitian peta RBI dan masuk kelas 1 dengan kesalahan maksimum tidak melebihi kesalahan sebesar 0,3 m. Hasil perhitungan ketelitian vertikal jika dilihat pada tabel klasifikasi ketelitian peta Rupa Bumi Indonesia (RBI), maka orthofoto dengan skala 1:1000 memenuhi standar ketelitian peta RBI dan masuk kelas 1

dengan kesalahan maksimum tidak melebihi kesalahan sebesar 0,2 m. Hasil dari foto udara yang didapat dari pengolahan data yang dilakukan dapat digunakan sebagai peta dasar, dikarenakan memenuhi standar ketelitian geometri peta RBI skala 1:1000 kelas 1 sesuai dengan Peraturan Badan Informasi Geospasial (BIG) No. 6 Tahun 2018.

3. Perbandingan hasil pengukuran volume menggunakan *drone* dan RTK menghasilkan selisih sebesar 39,19 m<sup>3</sup>. Perbandingan ini dilakukan dengan melihat nilai akurasi geometri vertikal yang paling teliti menurut Peraturan Badan Informasi Geospasial (BIG) No. 6 Tahun 2018. Didapatkan nilai akurasi geometri paling teliti yaitu pada kualitas *medium*, maka dari itu dilakukan perbandingan volume untuk data foto udara menggunakan kualitas *medium* pada ketinggian 60 m dengan overlap 70%.

## 5.2. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil pengamatan dan penelitian yang telah diberikan adalah sebagai berikut.

1. Penempatan GCP yang lebih bervariasi untuk mendapatkan hasil foto udara yang lebih baik dengan tingkat ketelitian yang tinggi dan untuk mendapatkan nilai akurasi yang maksimal.'
2. Dapat menggunakan ICP pada daerah penelitian untuk hasil uji geometri pada peta.
3. Menggunakan data timbangan sebagai validasi untuk perhitungan volume yang dilakukan dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Auningsih, S. W. N., Rohmaeni, D., Megasukma, Y., & Zahar, W. (2021). *Pemodelan Stockpile Menggunakan Metode Fotogrametri Dengan Wahana Uav (Unmanned Aerial Vehicle) Di PT Triaryani*. Jurnal Geomine, 9(2), 141-149.
- Barnes, A. 2012. *Pengunaan Metode Fotogrametri Rentang Dekat dan Laser Scanning dalam Pembuatan Dense Point Cloud (Studi Kasus: Candi Cangkuang)*. Undergraduate Thesis, Bandung: Departement of Geodetic Engineering, Institut Teknologi Bandung.
- BIG. (2018). Peraturan Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2018 Tentang Perubahan atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.
- BIG. (2020). Peraturan Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2020 Tentang Standar Pengumpulan Data Geospasial Dasar untuk Pembuatan Peta Dasar Skala Besar.
- Eisenbeiß, H. (2009). UAV photogrammetry.
- Gerke, M., & Przybilla, H. J. (2016). *Accuracy analysis of photogrammetric UAV image blocks: Influence of onboard RTK-GNSS and cross flight patterns*. Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation (PFG), (1), 17-30.
- Hadi, B. S. (2007). *Dasar-dasar Fotogrametri*. Yogyakarta: Jurusan Pendidikan Geografi, Fakultas Ilmu Sosial dan Ekonomi, UNY.
- Jeong, E., Park, J. Y., & Hwang, C. S. (2018). *Assessment of UAV photogrammetric mapping accuracy in the beach environment*. Journal of Coastal Research, (85 (10085)), 176-180. Jeong, E., Park, J. Y., & Hwang, C. S. (2018). Assessment of UAV photogrammetric mapping accuracy in the beach environment. Journal of Coastal Research, (85 (10085)), 176-180.
- Kemenhub. (2020). Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 37 tahun 2020 tentang Pengoperasian Pesawat Udara Tanpa Awak di Ruang Udara yang Dilayani Indonesia.
- Khomsin, K., Pratomo, D. G., & Akbar, A. F. (2018). *Analisa Perbandingan Volume 3'S (TS, GNSS, & TLS)*. Geoid, 14(1), 113-123.
- Nursanto, E., Jamal, F. I., & Amri, N. A. (2019). *Analisis Produksi Pada Kemajuan Tambang Menggunakan Metode Fotogrametri UAV (Unmanned Aerial Vehicle) di Kuari Batu Gamping PT Semen Indonesia (Persero) Pabrik Tuban Jawa Timur*. Jurnal Teknologi Pertambangan, Vol. 4 No. 2.

- Rachma, Y. S. (2018). *Analisis Akurasi Ketelitian Vertikal Menggunakan Foto Udara Hasil Pemotretan Pesawat Tanpa Awak Untuk Pembentukan Digital Terrain Model (DTM)*. Jurnal Geodesi Undip, Volume 7, Nomor 4.
- Suyudi, B., Subroto, T., 2014, *Fotogrametri dan Penginderaan Jauh*, Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional, Yogyakarta.
- Tarmizi, A. F. (2019). *Uji Akurasi Ketelitian Peta Orthofoto Menggunakan Pesawat Uav Untuk Tata Guna Lahan (Studi Kasus: Kecamatan Purworejo, Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah)*. Eprints ITN Malang.

