

**UJI KELAYAKAN DATA PERHITUNGAN VOLUME *STOCKPILE*
BATUBARA HASIL AKUISISI DATA *UNMANNED AERIAL VEHICLE*
(UAV) TERHADAP DATA *TERRESTRIAL LASER SCANNER* (TLS)
(Studi kasus: *Stockpile* BWE203 PT.Bukit Asam, Tbk.)**

(Tugas Akhir)

Oleh

**JASEN YUNANDI
NPM 2205061008**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

**UJI KELAYAKAN DATA PERHITUNGAN VOLUME *STOCKPILE*
BATUBARA HASIL AKUISISI DATA *UNMANNED AERIAL VEHICLE*
(UAV) TERHADAP DATA *TERRESTRIAL LASER SCANNER* (TLS)
(Studi kasus: *Stockpile* BWE203 PT.Bukit Asam, Tbk.)**

Oleh

**Jasen Yunandi
Tugas Akhir**

**Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai
Gelar AHLI MADYA TEKNIK**

**Pada
Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika
Fakultas Teknik**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

UJI KELAYAKAN DATA PERHITUNGAN VOLUME *STOCKPILE* BATUBARA HASIL AKUISISI DATA *UNMANNED AERIAL VEHICLE* (UAV) TERHADAP DATA *TERRESTRIAL LASER SCANNER* (TLS)

Oleh
Jasen Yunandi

Kegiatan survei sangat bermanfaat dalam membuat topografi tambang guna mengetahui luasan dan kuantitas dari bahan galian, perhitungan kuantitas batubara dapat dilakukan dengan berbagai alat ukur salah satunya TLS dan UAV. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kelayakan data perhitungan volume *stockpile* batubara hasil akuisisi UAV *fixed-wings Wingtra One Gen II* berbasis *Post Processing Kinematic* (PPK) terhadap data TLS RIEGL VZ-2000i, serta menilai apakah akurasi geometri UAV memenuhi standar PERKABIG Nomor. 18 Tahun 2021 dan toleransi *Industry Accepted Error* ASTM D6172-98.

Data yang digunakan terdiri dari data foto udara, data TLS, data *Ground Control Point* (GCP), data *Independent Check Point* (ICP), data *boundary* dan data *original*. Metode registrasi TLS menggunakan *direct-georeference* serta perhitungan volume menggunakan metode *end area* dengan konsep perhitungan *prismoidal*. Uji akurasi geometrik menggunakan metode RMSE dan Persentase selisih volume dihitung dan dievaluasi berdasarkan batas toleransi *industry accepted error* sebesar 2%. Perhitungan volume terbagi menjadi 2 bagian yaitu *stockpile* selatan-timur dan selatan-barat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai selisih volume antara UAV dan TLS pada *stockpile* bagian selatan–timur sebesar 413,176 m³ (0,41%), sedangkan pada bagian selatan– barat sebesar 309,408 m³ (0,43 %). Nilai selisih tersebut masih dalam batas toleransi yaitu 2% menurut ASTM. Selain itu, hasil uji CE90 (0,046 m) dan LE90 (0,11 m) juga menunjukkan bahwa akurasi geometri UAV memenuhi standar PERKABIG Nomor.18 Tahun 2021 skala 1 : 1.000.

Kata kunci : UAV, TLS, *fixed-wings*, *Post-processing* dan ASTM

ABSTRACT

FEASIBILITY TEST OF COAL STOCKPILE VOLUME CALCULATION DATA FROM UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV) DATA ACQUISITION AGAINST TERRESTRIAL LASER SCANNER (TLS) DATA

**By
Jasen Yunandi**

Survey activities are highly beneficial for creating mine topography maps to determine the extent and quantity of mineral resources. Coal stockpile volume calculations can be performed using various surveying tools, including Terrestrial Laser Scanner (TLS) and Unmanned Aerial Vehicle (UAV). This study aims to evaluate the feasibility of coal stockpile volume data acquired by the fixed-wing UAV Wingtra One Gen II using Post-Processing Kinematic (PPK) against TLS RIEGL VZ-2000i reference data, and to assess whether the UAV's geometric accuracy meets the standards of PERKABIG No. 18 of 2021 and the Industry Accepted Error tolerance of ASTM D6172-98. Data utilized include aerial photographs, TLS data, Ground Control Points (GCP), Independent Check Points (ICP), boundary data, and original data. TLS registration employed direct georeferencing, with volume calculations using the end-area method based on the prismatic concept. Geometric accuracy was tested via RMSE, while volume difference percentages were evaluated against the 2% industry tolerance threshold. Volume calculations were divided into two sections: southeast and southwest stockpiles. Results indicate volume differences between UAV and TLS of 413,176 m³ (0.41%) for the southeast stockpile and 309,408 m³ (0.43%) for the southwest stockpile. These differences fall within the 2% ASTM tolerance. Additionally, CE90 (0.046 m) and LE90 (0.11 m) values confirm that UAV geometric accuracy complies with PERKABIG No. 18 of 2021 standards at a 1:1.000 scale.

Keywords: UAV, TLS, fixed-wings, Post-processing and ASTM

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir : UJI KELAYAKAN DATA PERHITUNGAN
VOLUME *STOCKPILE* BATUBARA HASIL
AKUISISI DATA *UNMANNED AERIAL VEHICLE*
(UAV) TERHADAP DATA *TERRESTRIAL LASER*
SCANNER (TLS)

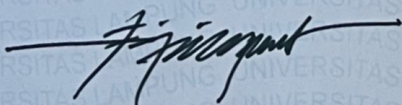
Nama Mahasiswa : Jasen Yunandi
NPM : 2205061008
Program Studi : D3 Teknik Survey dan Pemetaan
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

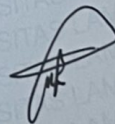
1. Komisi Pembimbing

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

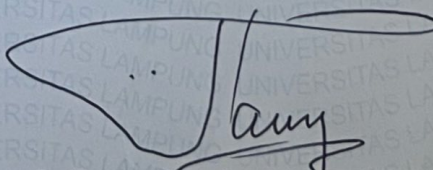


Dr. Fajriyanto, S. T., M. T.
NIP. 197203022006041002



Tika Christy Novianti, S. T., M. Eng
NIP. 199211042022032008

2. Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika



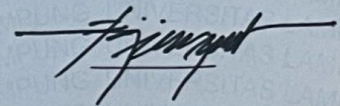
Ir. Fauzan Murdapa, M. T., IPM
NIP. 19641012199203100

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

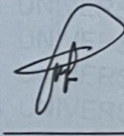
Ketua

: Dr. Fajriyanto, S. T., M. T.

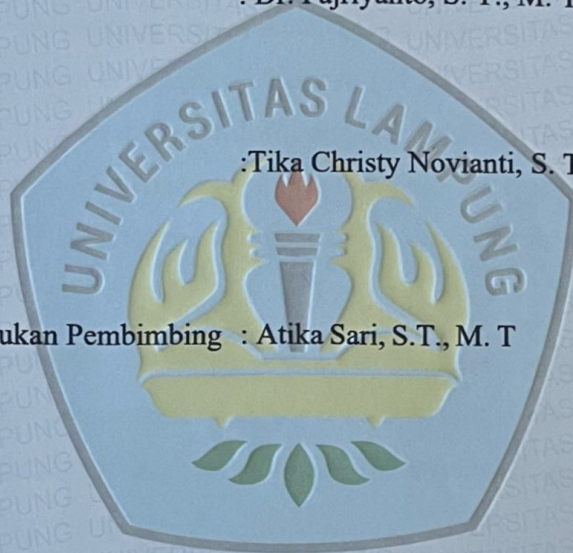
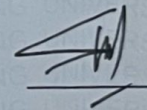


Sekretaris

: Tika Christy Novianti, S. T., M. Eng



Penguji Utama Bukan Pembimbing : Atika Sari, S.T., M. T



2. Dekan Fakultas Teknik

mis Dr. Ahmad Herison, S. T., M. T.

NIP. 196910302000031001



Tanggal Lulus Ujian Tugas Akhir : 12 Maret 2026

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA

Saya Jasen Yunandi, NPM 2205061008, dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam Tugas Akhir yang berjudul “Uji Kelayakan Data Perhitungan Volume *Stockpile* Batubara Hasil Akuisisi Data *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) Terhadap Data *Terrestrial Laser Scanner* (TLS)” merupakan hasil karya saya berdasarkan pengetahuan dan informasi yang telah di dapat. Karya ilmiah ini disusun secara mandiri dengan hasil merujuk pada beberapa sumber seperti buku, jurnal, dan publikasi lainnya, sehingga bukan merupakan hasil plagiarisme dari karya orang lain.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan keadaan sadar dan tidak dalam keterpaksaan serta, dapat dipertanggung jawabkan apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka penulis siap mempertanggung jawabkannya.

Bandar Lampung, Maret 2026

Yang membuat pernyataan



Jasen Yunandi

NPM 2205061008

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Ogan Lima, Kecamatan Abung Barat, Kabupaten Lampung Utara, Lampung. Pada tanggal 10 Januari 2005, penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara, penulis merupakan putra dari Bapak Yusnidar (alm) dan Ibu Nur Asni.

Penulis menempuh Pendidikan pertama di Pendidikan Anak Usia Dini (PAUD) Ceria Ogan lima pada tahun 2007-2008.

Kemudian melanjutkan pendidikan di Taman Kanak-Kanak (TK) Dharma Wanita pada tahun 2009-2010. Dilanjutkan Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 1 Ogan Lima Kecamatan Abung Barat, Lampung Utara pada tahun 2010-2016. Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Negeri 1 Abung Barat, Lampung Utara pada tahun 2016-2019. Dan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) di SMK Negeri 1 Kotabumi jurusan Teknik Komputer dan Jaringan (TKJ) pada tahun 2019-2022.

Pada tahun 2022, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika, Program Studi D3 Teknik Survei dan Pemetaan, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada tahun 2025 tepatnya pada bulan Februari sampai dengan bulan Mei, penulis melakukan Magang atau Kerja Praktik (KP) di PT.Bukit Asam, Tbk Unit Penambangan Tanjung Enim (UPTE)

MOTTO

“If you can't be intelligent, be a good person”

“Jika kamu tidak kuat menanggung lelahnya belajar, maka kamu akan
menanggung perihnya kebodohan”

(Imam syafi'i)

PERSEMBAHAN

“Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih, Maha Penyayang.”

Persembahan kecil ini untuk Allah Tuhan ku Yang Maha Esa.

Untuk diriku, Orang tuaku serta kakak, abang, ayuk dan keponakanku yang selalu mencintai dan tidak berhenti mendoakan dalam langkah keberhasilan dunia dan juga akhirat.

Untuk Keluarga Besarku terima kasih atas *support* dan dukungan kalian yang selalu memberikan motivasi.

Untuk teman-teman Pemetaan'22 atas perjuangan dan kebersamaannya selama masa perkuliahan yang tidak akan terlupakan, terimakasih untuk beberapa tahun yang sangat luar biasa sehingga dapat kita lewati bersama

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan segala nikmatnya yang telah diberikan-Nya.

Tugas Akhir ini berjudul “(UJI KELAYAKAN DATA PERHITUNGAN VOLUME *STOCKPILE* BATUBARA HASIL AKUISISI DATA *UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)* TERHADAP DATA *TERRESTRIAL LASER SCANNER (TLS)*)”. Laporan ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan tingkat Ahli Madya (A.Md), Program Studi Teknik Survei dan Pemetaan, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Tugas Akhir ini dapat diselesaikan berkat bimbingan, saran, dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ahmad Herison, S. T., M. T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
2. Bapak Ir. Fauzan Murdapa, M.T.,IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi dan Geomatika yang selalu memberikan pengarahan ketika Tugas Akhir,
3. Ibu Citra Dewi, S. T., M. T., selaku Dosen Koordinator Tugas Akhir D3 Teknik Survey dan Pemetaan
4. Bapak Dr. Fajriyanto, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing 1 yang memberikan banyak masukan dan memandu penulisan terkait Tugas Akhir,
5. Ibu Tika Christy Novianti, S. T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing 2 yang memberikan banyak masukan dan memandu penulisan terkait Tugas Akhir,
6. Ibu Atika Sari, S.T., M. T., selaku Dosen Penguji Tugas Akhir,
7. Bapak Eko Rahmadi, S. T., M. T., selaku Dosen Pembimbing Akademik,
8. Bapak Suherman selaku *Mine Survey Departement Head , Mine Survey Department,*
9. Bapak Bayu Tri Wibowo selaku TAL dan MTB *Mine Survey Section Head,*

10. Bapak Heri Purwanto selaku Banko 1 *Mine Survey Section Head*, Bapak Diki Solihin selaku Banko 2 *Mine Survey Section Head*,
11. Pak Mamat Rachmat selaku *Supporting Mine Survey Section Head*,
12. Ibu Aninda Rizki Dhani selaku *Geospatial Information System Section Head*,
13. Bapak Joddy Franata selaku pembimbing Kerja Praktik dari *Mine Survey Department* PT. Bukit Asam, Tbk. yang telah memberikan bimbingan, ilmu, pengalaman, dan masukan yang sangat berharga selama pelaksanaan Kerja Praktik,
14. Seluruh Bapak dan Ibu *Mine Survey Department* PT. Bukit Asam, Tbk. yang telah memberikan ilmu, saran, bimbingan, nasehat serta waktu yang telah diberikan,
15. Kepada Ayahanda (alm), Ibunda, Kakak, Ayuk, Abang beserta keluarga yang telah mendukung seluruh kegiatan penulis selama kuliah sampai dengan penyusunan Tugas Akhir,
16. Muhammad Imron Aswadi selaku teman seperjuangan yang selalu membersamai, mulai dari perkuliahan hingga Tugas Akhir,
17. Teman-teman Teknik Survei dan Pemetaan angkatan 2022 yang selalu membersamai selama perkuliahan, beserta teman teman kosan nomor 100 (Reno, Gusty, dan Rifky)

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membimbing serta membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir dari awal hingga akhir. Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, besar harapan penulis untuk menerima tanggapan, saran dan kritik yang sifatnya membangun dan memotivasi. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca khususnya bagi masyarakat, mahasiswa dan universitas.

Bandar Lampung, Maret 2026

Penulis

Jasen Yunandi

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
I . PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
II . TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 <i>Stockpile</i> Batubara	11
2.3 Fotogrametri.....	11
2.4 <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV).....	12
2.4.1 UAV <i>Fixed-wings Wingtra One Gen II</i>	13
2.4.2 <i>Post Processing Kinematic</i> (PPK)	13
2.5 <i>Terrestrial Laser Scanner</i> (TLS)	14
2.6 Metode Prismoidal.....	16
2.7 <i>Global Positioning System</i> (GPS).....	16
2.8 <i>Digital Terrain Model</i> (DTM)	17
2.9 Uji Volumetrik.....	18
2.10 Uji Geometrik	19
III . METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Lokasi Pelaksanaan	20
3.2 Alat dan Data	20
3.2.1 Alat.....	21
3.2.2 Data Penelitian.....	23
3.3 Diagram Alir	25
3.4 Tahapan Persiapan	26
3.4.1 Studi Literatur	26

3.4.2	Perencanaan Jalur Terbang	27
3.4.3	Perencanaan <i>Independent Check Point</i> (ICP)	27
3.5	Tahap Pengumpulan Data	28
3.5.1	Pengambilan data <i>Independent check point</i> (ICP)	28
3.5.2	Akuisisi Data Foto Udara	30
3.6	Tahapan Pengolahan Data	32
3.6.1	Pengolahan Data <i>Base CORS</i>	32
3.6.2	Pengolahan Data UAV	33
3.6.3	Pengolahan Data <i>Terrestrial Laser Scanner</i> (TLS)	41
3.6.4	Perhitungan Volume	46
3.7	Tahapan Analisis	47
IV	. HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1	<i>Point Clouds</i>	49
4.1.1	Pengolahan <i>Point Clouds</i> TLS	49
4.1.2	Pengolahan <i>Point Clouds</i> UAV	50
4.2	Uji Geometrik <i>Circular Error</i> (CE90)	56
4.3	Uji Geometrik <i>Linear Error</i> (LE90)	56
4.4	Perhitungan Volume	57
4.4.1	Perhitungan Volume <i>Stockpile</i> Bagian Selatan-Barat	57
4.4.2	Perhitungan Volume <i>Stockpile</i> Bagian Selatan-Timur	58
4.5	Perbandingan perhitungan Volume	59
4.6	Analisis Perbandingan Perhitungan Volume	60
V	. KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1	Simpulan	61
5.2	Saran	62
	DAFTAR PUSTAKA	63
	LAMPIRAN A	66
	(<i>PROFIL</i> MEMANJANG, MELINTANG, DAN <i>BOUNDARY</i>)	66
	LAMPIRAN B	74
	(DATA HASIL PENGUKURAN)	74
	LAMPIRAN C	76
	(HASIL PENGOLAHAN DATA)	76
	LAMPIRAN D	80
	(DOKUMENTASI KEGIATAN)	80
	LAMPIRAN E	82
	(<i>REPORT GEOTAGGING</i>)	82
	LAMPIRAN F	84
	(<i>REPORT</i> PENGOLAHAN FOTO UDARA)	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1 Ilustrasi Fotogrametri	12
2 Metode TLS	15
3 Alat Ukur GPS <i>Geodetic Leica GS18</i>	17
4 <i>Digital Terrain Model (DTM)</i>	18
5 Lokasi Penelitian.....	20
6 Diagram Alir Kegiatan.....	25
7 Lanjutan Diagram Alir	26
8 Jalur terbang	27
9 Perencanaan Titik ICP.....	28
10 Posisi ICP.....	29
11 <i>Pre-mark</i>	29
12 Pengambilan data Foto Udara	30
13 Hasil Foto Udara	31
14 Hasil Foto Udara	31
15 Proses Pengolahan data <i>base CORS</i>	33
16 Proses <i>Geotagging</i>	34
17 Proses <i>Alignphoto</i>	35
18 <i>Alignphoto</i>	35
19 Hasil <i>Report Alignphoto</i>	35
20 Proses <i>Orthorektifikasi</i>	36
21 Hasil <i>Orthophoto</i>	36
22 Posisi GCP	37
23 Proses <i>Build Point Clouds</i>	38
24 Proses <i>Filtering Point Clouds</i>	40
25 Proses <i>Import data</i>	42
26 Proses <i>Direct Georeference</i>	42
27 Hasil <i>Direct Georeference</i>	43
28 Proses <i>Multistation Adjustment</i>	43
29 <i>Menu Result Multistation Adjustment</i>	44
30 Proses <i>Create Plane</i>	45
31 Proses <i>Cropping data TLS</i>	46
32 Proses <i>Filtering data TLS</i>	46
33 Ilustrasi perhitungan metode <i>Prismoidal</i>	47
34 Hasil <i>Point Clouds TLS</i>	49

35 Representasi DTM	50
36 Hasil <i>Point Clouds</i> UAV.....	50
37 Representasi DTM	51
38 <i>Area</i> pengecekan 1	51
39 Hasil <i>profil</i> melintang <i>area</i> 1	52
40 <i>Area</i> pengecekan 2	52
41 Hasil <i>profil</i> melintang <i>area</i> 2	53
42 <i>Area</i> pengecekan 3	53
43 Hasil <i>profil</i> melintang <i>area</i> 3	53
44 <i>Area</i> pengecekan 4	54
45 Hasil <i>profil</i> melintang <i>area</i> 4	54
46 <i>Area</i> Pengecekan.....	55
47 <i>Sample</i> hasil <i>profil</i> memanjang.....	55
48 <i>Area</i> pengecekan melintang 1	67
49 <i>Profil</i> Melintang	67
50 <i>Area</i> pengecekan melintang 2	68
51 <i>Profil</i> Melintang	68
52 <i>Area</i> pengecekan melintang 3	69
53 <i>Profil</i> Melintang	69
54 <i>Area</i> pengecekan melintang 4	70
55 <i>Profil</i> Melintang	70
56 <i>Area</i> pengecekan memanjang 1	71
57 <i>Profil</i> Memanjang	71
58 <i>Area</i> pengecekan memanjang 2	72
59 <i>Profil</i> Memanjang	72
60 <i>Boundary</i> Pengukuran.....	73
61 <i>Sample</i> Foto udara.....	75
62 Hasil <i>Orthophoto</i>	77
63 Hasil <i>PointClouds</i> UAV.....	77
64 Hasil <i>PointClouds</i> TLS	77
65 Gambar <i>Pre-mark</i>	81
66 Akuisisi data GCP	81
67 Pengolahan Data.....	81
68 Akuisisi data foto udara	81

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1 Penelitian Terdahulu	6
2 Ketelitian Geometri peta RBI.....	19
3 Perangkat keras	21
4 Spesifikasi <i>WingtraOne</i>	22
5 Perangkat Lunak.....	22
6 Data Penelitian	23
7 Data <i>Independent Check Point</i>	29
8 Parameter Foto Udara	30
9 Parameter <i>Geotagging</i>	34
10 Data GCP	37
11 Hasil <i>Report Orthorektifikasi</i>	37
12 Perhitungan RMSE	39
13 Hasil uji akurasi CE90	56
14 Hasil uji akurasi LE90.....	57
15 Hasil perhitungan volume TLS	58
16 Hasil Perhitungan volume UAV	58
17 Hasil perhitungan volume TLS	58
18 Hasil perhitungan volume UAV	59
19 Hasil Analisis perbandingan perhitungan volume	59
20 Hasil Akuisisi data ICP	75
21 Hasil Uji Akurasi Geometri Horizontal CE90	78
22 Hasil Uji Akurasi Vertikal LE90.....	79

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Survei atau pemetaan dilakukan dengan tujuan mendapatkan gambaran tentang bentuk dari permukaan bumi dan dari data survei ini dapat digunakan untuk membuat peta geologi dan peta topografi. Kegiatan survei sangat bermanfaat dalam membuat topografi daerah tambang yang digunakan untuk mengetahui luasan dan kuantitas dari bahan galian serta bentuk permukaan bumi. Perhitungan kuantitas batubara dapat dilakukan dengan berbagai metode pengukuran salah satunya dengan pengukuran situasi detail menggunakan alat survei seperti *Total Station*, dan GNSS, dapat pula menggunakan *Terrestrial Laser Scanner* dan teknologi populer yang saat ini digunakan untuk kegiatan survei volumetrik adalah pesawat tanpa awak atau *drone* (Hardianti dkk., 2025).

Secara tradisional, pengukuran penghitungan volume *stockpile* batubara masih dilakukan secara manual dengan menggunakan metode *terrestris*. Metode *terrestris* ini memiliki akurasi yang sangat tinggi, namun menurut survei yang telah dilakukan oleh penulis di lapangan pada tanggal 30 april 2025 metode ini tidak efisien terhadap waktu karena membutuhkan waktu yang cukup lama (3 sampai 4 jam), membutuhkan tenaga kerja dalam jumlah yang banyak (6 sampai 8 orang), dan memiliki resiko tinggi terhadap kesalahan dalam pengambilan data dikarenakan pengambilan data dilakukan di *area* tambang yang sedang produksi (bergerak). Seiring dengan perkembangan teknologi, kini tersedia berbagai alat dan metode baru yang dapat meningkatkan efisiensi

dalam perhitungan volume *stockpile* batubara Beberapa diantaranya adalah *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). UAV dengan kamera atau pemindai LIDAR (*Light Detection and Ranging*) menjadi semakin populer untuk pemetaan topografi. UAV memiliki keunggulan penginderaan jarak jauh, sehingga memungkinkan untuk mensurvei *area* yang jauh lebih luas dalam waktu yang lebih singkat dan dengan biaya yang lebih rendah daripada pemetaan tradisional (Ramadhan dkk, 2020)

Penelitian mengenai perbandingan data UAV dan TLS sudah pernah dilakukan, oleh Hardianti dkk.,(2025) dengan judul “Analisis Perbandingan Kuantitas Batubara Antara *Drone* Dji Phantom 4 RTK Dengan *Terrestrial Laser Scanner* Pada *Stockpile* LS DH5”. Hasil penelitian ini memberi informasi selisih kedua metode sebesar 0,21% membuktikan hasil pengukuran *drone* berada dalam standar ASTM. Perbedaan dengan penelitian saat ini yang dilakukan adalah wahana yang digunakan untuk pengambilan data, penelitian terdahulu menggunakan wahana *Drone* Dji Phantom 4 RTK sedangkan penelitian ini menggunakan UAV *fixed-wings* *Wingtra One Gen II* berbasis PPK

Penelitian serupa juga dilakukan oleh Ramadhan dkk, (2020) yang membandingkan hasil perhitungan volume *stockpile* dari pengukuran menggunakan wahana UAV yang dibandingkan terhadap hasil pengukuran menggunakan alat ETS. Hasil perhitungan volume *stockpile* pada *area* yang sama dengan ETS dan UAV menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda. Perbandingan hasil volume memperoleh selisih sebesar 83,71 m³ atau 74,50 Ton. Persentase selisih hasil perhitungan volume pengukuran UAV dibandingkan dengan hasil volume dari pengukuran menggunakan ETS adalah sebesar 0,2%. Penelitian ini membandingkan UAV dan ETS, sedangkan penelitian yang saat ini dilakukan membandingkan UAV dan TLS. Hal ini yang menjadi pembeda antara penelitian terdahulu dan penelitian saat ini

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kelayakan data UAV *fixed-wings* *Wingtra* terhadap TLS RIEGL-VZ2000i, dari segi akurasi dengan standar pengukuran yang telah diatur dalam (Peraturan BIG Nomor 18 Tahun 2021),

dan menguji hasil perhitungan volume UAV *fixed-wings Wingtra* untuk memastikan bahwa hasil perhitungan volume berada dalam batas toleransi *Industry Accepted Error* sebesar 2% yang telah diatur dalam ASTM. Dengan adanya perbandingan ini, diharapkan dapat diperoleh informasi yang lebih mendalam mengenai kelayakan data UAV *fixed-wings Wingtra* untuk digunakan di dunia industri khususnya pertambangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat disimpulkan bahwa rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat akurasi yang dihasilkan UAV *fixed-wings Wingtra* berdasarkan standar ketelitian geometri yang telah diatur didalam Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial (PERKABIG) Nomor 18 Tahun 2021?.
2. Bagaimana persentase selisih hasil perhitungan volume menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) berdasarkan *Industry Accepted Error* (2%)?.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini tentunya memiliki tujuan dalam pengerjaannya. Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah dijabarkan dalam penjelasan berikut ini:

1. Menganalisis tingkat akurasi geometri pengukuran sesuai dengan PERKABIG Nomor 18 Tahun 2021.
2. Menganalisis hasil perhitungan volume *stockpile* batubara hasil *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dengan mengacu pada *American Standart For Testing And Materials* (ASTM).

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai hasil perbandingan perhitungan volume *stockpile* hasil akuisisi data menggunakan wahana *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS).
2. Memberikan informasi mengenai uji kelayakan data perhitungan volume hasil akuisisi data menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV).

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini berfokus pada uji kelayakan data perhitungan volume *stockpile* batubara hasil akuisisi data *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) terhadap data *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) sebagai acuan. Untuk memastikan penelitian ini terarah dan sistematis, ruang lingkup penelitian dibatasi dalam beberapa aspek berikut:

1. Pengambilan data dan perhitungan volume dilakukan pada *stockpile* Batubara BWE 203 lokasi Muara Tiga Besar (MTB) PT. Bukit Asam Tbk.
2. Akuisisi data dilakukan menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) *fixed-wings Wingtra One Gen II* berbasis *Post Processing Kinematic* (PPK).
3. Pengambilan data dilaksanakan pada bulan April 2025.
4. Standar ketelitian akurasi pengukuran yang digunakan adalah PERKABIG Nomor 18 Tahun 2021.
5. Batas toleransi *error* perhitungan volume yang digunakan sebagai acuan adalah *American standart for testing and materials* (ASTM).
6. Pengukuran dilakukan pada saat *stockpile* BWE203 sedang memuat penambahan batu bara sehingga, diasumsikan bahwa volume batu bara yang benar adalah hasil pengukuran menggunakan alat *Terrestrial Laser Scanner* (TLS).

7. Teknis akuisisi data dan pengolahan foto udara merujuk pada *Term of Reference* (TOR) atau Tata Cara Kerja (TCK) dari Instansi PT Bukit Asam, Tbk dan *USGS Photoscan Workflow Agisoft*.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini terdiri dari:

Bab I Pendahuluan

Membahas tentang latar belakang, tujuan, batasan masalah, dan Lokasi Tugas Akhir.

Bab II Tinjauan Pustaka

Menjelaskan teori dasar yang berhubungan dengan penyusunan laporan Tugas Akhir.

Bab III Pelaksanaan Tugas Akhir

Menjelaskan kegiatan yang dilakukan dalam Tugas Akhir.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Menjelaskan tentang hasil dan pembahasan.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Berisikan penutup dan Kesimpulan dari penyusunan laporan Tugas Akhir.

II . TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas mengenai uji kelayakan data hasil akuisisi menggunakan UAV untuk menghitung volume. Berikut ini adalah studi terdahulu yang dijadikan sebagai referensi penelitian ini:

Tabel 1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul Penelitian	Metode	Data	Hasil
1	Siti Hardianti, Maryana, Dilariya (2025)	Analisis Perbandingan Kuantitas Batubara Antara <i>Drone</i> Dji Phantom 4 RTK Dengan <i>Terrestrial Laser Scanner</i> Pada <i>Stockpile</i> LS DH5	fotogrametri, <i>satellit</i> dan <i>terrestris</i>	Data Foto Udara, data GCP, data volume hasil TLS	Kedua metode menghasilkan data yang sangat mendekati. Selisih hanya 0,21% membuktikan hasil pengukuran <i>drone</i> berada dalam standar industri.

Lanjutan Tabel 1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul Penelitian	Metode	Data	Hasil
2	Muh Gilang Ramadhan, Sumarno, Nurul Yuhanafia (2020)	Perbandingan Perhitungan Volume <i>Stockpile</i> Hasil Pengukuran <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV) dan Pengukuran <i>Electronic Total Station</i> (ETS)	<i>Fotogrametri, satellit dan terrestri.</i>	Data hasil pengukuran <i>stockpile</i> menggunakan wahana <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV) berupa foto udara, Data koordinat <i>Ground Control Point</i> (GCP), dan Data hasil pengukuran <i>stockpile</i> menggunakan alat ukur <i>Electronic Total Station</i> (ETS) berupa koordinat	Hasil perhitungan volume <i>stockpile</i> pada area yang sama dengan ETS dan UAV menunjukkan hasil yang tidak jauh berbeda. Perbandingan hasil volume memperoleh selisih sebesar 83,71 m ³ atau 74,50 Ton. Persentase selisih hasil perhitungan volume pengukuran UAV dibandingkan dengan hasil volume dari pengukuran menggunakan ETS adalah sebesar 0,2%.

Lanjutan Tabel 1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul Penelitian	Metode	Data	Hasil
3	Luchas Jacky Nestle Barus, Irvani, Guskarnali (2023)	Pemanfaatan Data <i>Drone</i> Dan <i>Terestris</i> Untuk Menghitung Volume Cadangan Batu Granit <i>In Situ</i> Dalam Rangka Menentukan Arah Kemajuan Tambang Pt Aditya Buana Inter Kabupaten Bangka	Metode fotogrametri, <i>satellit</i> dan <i>terrestris</i>	Data foto udara dan data X,Y, Z yang diperoleh dari <i>Total Station</i>	Hasil perhitungan volume cadangan dengan metode <i>Cut and Fill</i> dan metode <i>Cross Section</i> menunjukkan volume sebesar 145.983 m ³ atau 379.556 ton untuk metode <i>cut and fill</i> sedangkan menggunakan metode <i>Cross section</i> dengan interval 10 m didapatkan volume cadangan sebesar 142.012m ³ atau 369.204ton.
4	Reza Fajar Maulidin (2016)	Studi Penentuan Volume Dengan <i>Total Station</i> Dan <i>Terrestrial Laser Scanner</i> Obyek Beraturan dan Tidak Beraturan	Metode <i>terrestris</i>	Data koordinat <i>Bench Mark</i> (BM), Data Kerangka kontrol, Data koordinat GCP, ICP Data koordinat permukaan objek, dan data <i>point cloud</i>	Berdasarkan uji <i>statistik-student</i> yang telah dilakukan pada volume, semua nilai volume diterima. Dari hasil analisa terlihat bahwa tidak ada perbedaan yang cukup signifikan antara kedua alat ukur dalam hal ketelitian koordinat ICP maupun volume.

Lanjutan Tabel 1 Penelitian Terdahulu

No	Penulis	Judul Penelitian	Metode	Data	Hasil
5	Khomsin, D. G., dan Achmad, F. A. (2018)	Analisa Perbandingan Volume dan Ketelitian ICP dari 3's (TS, GNSS, dan TLS)	Metode <i>terrestris</i>	Data koordinat (x, y, z) yang dihasilkan TLS, TS, dan GPS RTK. Data ICP, dan Data kerangka kontrol	Antara TLS dan TS: $\pm 0,24-0,44\%$ Antara TLS dan GPS RTK: $\pm 0,31-0,63\%$ Artinya, ketiga metode menghasilkan volume yang sangat mendekati, dengan selisih $< 1\%$. Dan <i>Total Station</i> memiliki RMSE lebih kecil, sehingga hasil koordinatnya lebih mendekati TLS dibanding GPS RTK. Uji-t ICP menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan antar hasil (Sig. (2-tailed) $> 0,05$).

Dalam penelitian ini, data yang dihasilkan TLS dijadikan data acuan sebagai pembandingan data yang dihasilkan UAV. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menguji kelayakan perhitungan volume *stockpile* hasil akuisisi data foto udara menggunakan UAV *fixed-wings Wingtra One gen II* berbasis *Post processing Kinematic* (PPK) terhadap data *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). Perbandingan dengan penelitian sebelumnya yang relevan:

1. Analisis Perbandingan Kuantitas Batubara Antara Drone Dji Phantom 4 RTK Dengan *Terrestrial Laser Scanner* Pada *Stockpile* LS DH5 oleh Hardianti dkk., (2024). Dalam penelitian ini sama-sama melakukan perbandingan perhitungan volume menggunakan metode *terrestris* dan fotogrametri. Sedangkan, perbedaannya penelitian terdahulu melakukan perbandingan

menggunakan data *drone* DJI *phantom* 4 RTK dan penelitian ini menggunakan UAV *wingtra one gen II*.

2. Perbandingan Perhitungan Volume *Stockpile* Hasil Pengukuran *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan Pengukuran *Electronic Total Station* (ETS) oleh Ramadhan dkk., (2020). Melakukan perbandingan perhitungan volume menjadi tujuan utama dalam penelitian ini dan kedua nya menggunakan data foto udara. Perbedaannya adalah penelitian sebelumnya menggunakan metode kontur untuk menghitung volume dan alat yang digunakan berbeda.
3. Pemanfaatan Data *Drone* Dan *Terestris* Untuk Menghitung Volume Cadangan Batu Granit *In Situ* Dalam Rangka Menentukan Arah Kemajuan Tambang Pt Aditya Buana Inter Kabupaten Bangka. Penelitian yang dilakukan oleh Barus dkk.,(2023) ini sama sama melakukan perbandingan perhitungan volume menggunakan metode fotogrametri. Perbedaannya penelitian sebelumnya mengkaji tentang menghitung *estimate* cadangan mineral yang belum ditambang guna melihat kemajuan arah tambang, sedangkan penelitian ini melakukan perhitungan volume cadangan mineral yang telah ditambang (*stockpile*)
4. Studi Penentuan Volume Dengan *Total Station* Dan *Terrestrial Laser Scanner* oleh Maulidin (2016). Dalam penelitian ini sama-sama berfokus pada perbandingan perhitungan volume menggunakan alat ukur yang sama yaitu *Terrestrial Laser Scanner* (TLS). Perbedaannya adalah penelitian sebelumnya fokus kepada perbandingan menggunakan TS dan TLS sedangkan penelitian ini menggunakan UAV dan TLS
5. Analisa Perbandingan Volume dan Ketelitian ICP dari 3's (TS, GNSS, dan TLS) oleh Khomsin dkk.,(2018). Persamaan penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan adalah melakukan perhitungan volume menggunakan alat ukur TLS, akan tetapi penelitian ini berfokus pada perbandingan data yang dihasilkan TS, GNSS, dan TLS.

Oleh karena itu, penelitian ini lebih terfokus pada uji kelayakan data yang dihasilkan UAV terhadap TLS untuk menghitung volume *stock* batubara dibandingkan penelitian sebelumnya. Penelitian ini menawarkan pengetahuan

yang lebih mendalam tentang kelayakan data UAV *fixed-wings wingtra one gen II* berbasis PPK, dari segi akurasi dan hasil volume sedangkan penelitian lain lebih berkonsentrasi pada perbandingan menggunakan *drone* dan TLS, perbandingan UAV dan ETS, perhitungan *estimate* cadangan mineral, perbandingan TS dan TLS, dan perbandingan TS, GNSS, dan TLS.

2.2 *Stockpile* Batubara

Menurut Putrawiyanta (2024) *Stockpile* merupakan elemen yang sangat penting dalam proses penambangan batubara. Fungsinya adalah sebagai tempat penyimpanan sementara untuk hasil produksi sebelum pengiriman dimulai. Batubara yang telah diproduksi akan dikumpulkan di lokasi yang telah ditentukan (*room stock*) sebelum dikirim ke tujuan akhir. Langkah ini diambil untuk menghindari gangguan yang dapat memengaruhi kualitas batubara, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Gangguan tersebut dapat berupa oksidasi, pemanasan, dan degradasi material batubara itu sendiri.

Pemantauan secara berkala menjadi bagian penting dari manajemen *stockpile*. Salah satu indikator utama dalam manajemen ini adalah pemantauan volume. Diperlukan tingkat akurasi yang tinggi dalam menghitung volume batubara agar target nilai ekonomis dari cadangan dan produksi tidak menyimpang dari rencana yang telah ditetapkan. Sayangnya, sebagian besar pengukuran dan pengambilan data mengenai volume tumpukan batubara *stockpile* masih menggunakan metode konvensional, yang sering kali berpotensi menimbulkan ketidakakuratan.

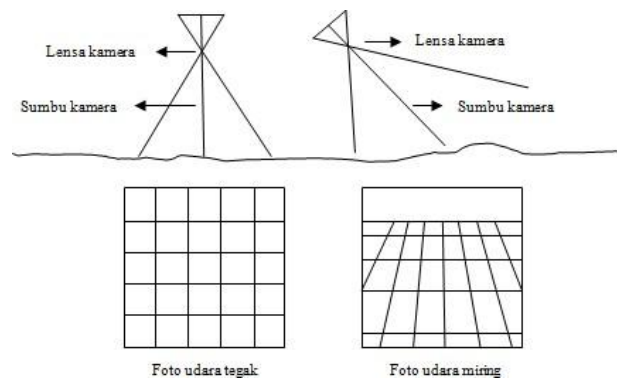
2.3 Fotogrametri

Istilah "fotogrametri" berasal dari penggabungan tiga kata, yaitu "*photos*" yang berarti sinar, "*gramma*" yang berarti sesuatu yang ter, dan "*metron*" yang berarti mengukur. Secara sederhana, fotogrametri dapat diartikan sebagai "pengukuran grafis menggunakan sinar." Dari pengertian ini, dapat dipahami

bahwa fotogrametri mencakup beberapa aspek, antara lain:

1. Perekaman objek melalui pemotretan.
2. Pengukuran objek pada foto udara.
3. Pemotretan hasil pengukuran yang dapat digunakan dalam bentuk praktis, seperti peta.

Fotogrametri adalah ilmu yang bertujuan untuk memperoleh informasi dari suatu objek melalui proses pencatatan, pengukuran, dan interpretasi fotografis. Dalam fotogrametri, aspek-aspek geometrik yang terdapat pada foto udara, seperti sudut, jarak, serta koordinat, memiliki peranan yang sangat penting (Wolf, 1983).



Gambar 1 Ilustrasi Fotogrametri
(Sumber: Putri dkk., 2017)

2.4 *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*

Pesawat Tanpa Awak (*Unmanned Aerial Vehicle/UAV*), yang lebih akrab dengan sebutan *drone*, adalah jenis pesawat yang beroperasi tanpa menghadirkan awak di dalamnya dan dikendalikan dari jarak jauh. UAV dirancang untuk dapat terbang secara mandiri atau dengan bantuan pilot yang mengontrolnya dari lokasi yang jauh, menggunakan sistem kontrol yang terpasang di darat atau pada kendaraan pengendali lainnya. Umumnya, UAV dilengkapi dengan berbagai perangkat, seperti kamera dan sensor, untuk mengumpulkan data dari udara.

Pemanfaatan UAV telah berkembang pesat di berbagai sektor, termasuk dalam pertambangan. Dengan kemampuannya untuk mengambil atau

merekam video dari ketinggian yang sulit dijangkau oleh manusia, UAV memberikan keunggulan signifikan dalam pengumpulan data. Berkat teknologi kamera dan sensor yang canggih, UAV mampu menghasilkan data spasial berkualitas tinggi, seperti pemetaan visual, pemetaan termal, dan pemetaan 3D, serta lain-lain (Sugandhi dkk., 2023).

2.4.1 UAV *Fixed-wings Wingtra One Gen II*

Wingtra One Gen II merupakan pesawat tanpa awak tipe *vertical take-off and landing* (VTOL) *fixed-wing* yang dirancang khusus untuk survei udara dengan cakupan luas dan akurasi tinggi. *Drone* ini mampu terbang hingga 59 menit dengan kecepatan 16 m/s dan mencakup *area* pemetaan hingga 315 hektar dalam sekali terbang. Dukungan sistem PPK GNSS memungkinkan akurasi *absolute* mencapai 1 cm *horizontal* dan 3 cm *vertical*, bahkan tanpa *Ground Control Points* (GCP). Dengan *payload* modul, *Wingtra One Gen II* dapat dipasang kamera RGB, *oblique*, multispektral, maupun sensor LIDAR untuk berbagai kebutuhan pemetaan. Kombinasi kemampuan lepas landas/ mendarat vertikal, efisiensi cakupan, serta keandalan akurasi menjadikannya *platform* UAV profesional yang efektif untuk pemetaan dan survei di berbagai kondisi lapangan (*Technical Specifications WingtraOne*, 2024).

2.4.2 *Post Processing Kinematic* (PPK)

Post-Processed Kinematic (PPK) merupakan salah satu metode penentuan posisi berbasis *Global Navigation Satellite System* (GNSS) yang dilakukan dengan cara merekam data satelit baik pada *rover* (misalnya UAV atau alat survei) maupun pada *base station* secara simultan, kemudian hasil rekaman tersebut diproses ulang setelah akuisisi data selesai. Berbeda dengan metode *Real Time Kinematic* (RTK) yang memerlukan transmisi koreksi secara langsung di lapangan, PPK tidak bergantung pada koneksi data *real-time* sehingga lebih fleksibel, terutama pada daerah dengan keterbatasan sinyal

komunikasi.

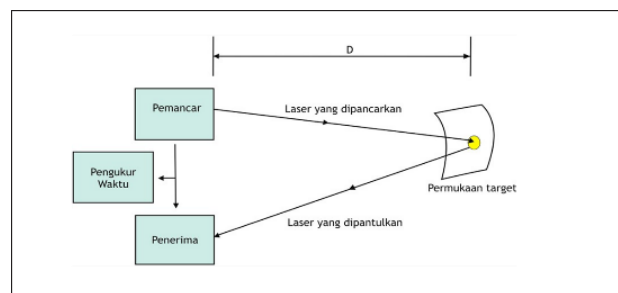
Dalam konteks fotogrametri UAV, PPK digunakan untuk memperbaiki posisi pusat proyeksi kamera pada saat pemotretan. Proses ini menghasilkan *geotagging* foto udara yang lebih akurat tanpa harus menggunakan banyak *Ground Control Points* (GCP) di lapangan. Meskipun demikian, beberapa penelitian menyarankan penggunaan minimal satu atau dua GCP sebagai *checkpoint* untuk memvalidasi hasil dan mengoreksi bias vertikal yang mungkin muncul. Keunggulan utama metode PPK antara lain:

1. Mengurangi ketergantungan pada GCP, sehingga mempercepat proses akuisisi data di lapangan.
2. Dibanding RTK, PPK tidak memerlukan komunikasi *real-time*, sehingga tidak rentan kehilangan sinyal koreksi.
3. Mampu meningkatkan akurasi planimetris dan altimetris dalam pemetaan, yang relevan untuk berbagai aplikasi seperti pemetaan kadaster, survei tambang, hingga *monitoring* lingkungan (Zhang et al., 2019).

2.5 Terrestrial Laser Scanner (TLS)

Menurut Reshetyuk (2009) Dalam sepuluh tahun terakhir, industri survei teknik telah mengalami perkembangan pesat dalam hal akuisisi data spasial. Salah satu inovasi terpenting di bidang ini adalah teknologi pemindaian *Terrestrial Laser Scanner* (TLS), yang memungkinkan pengguna untuk menangkap data 3D secara otomatis dan langsung. Teknologi TLS bekerja berdasarkan prinsip pengukuran jarak tidak langsung, dimana jarak antara sensor yaitu pemindai *laser terrestrial* dan titik tertentu pada permukaan objek diukur dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Proses ini dilakukan dengan menghitung waktu yang diperlukan untuk mengirimkan sinyal laser dan menerima kembali sinyal yang dipantulkan dari permukaan objek, yang dikenal sebagai waktu tempuh (*Time of Flight, TOF*). Pemindai laser TOF memanfaatkan beragam teknik untuk mengukur waktu tempuh sinyal dengan menggunakan berbagai fenomena fisika.

Teknik pengukuran TLS dibagi menjadi dua metode yaitu metode statik dan dinamik. Prinsip dari metode statik adalah menempatkan alat TLS di lokasi yang tetap (tidak bergerak). Keuntungan metode ini adalah ketelitian yang tinggi dan jumlah titik yang lebih banyak. Prinsip metode dinamik adalah menempatkan alat TLS pada wahana bergerak seperti pesawat terbang, pesawat tanpa awak dan sebagainya. Metode ini membutuhkan komponen tambahan seperti GPS atau INS (*Inertial Navigation System*) yang menyebabkan metode ini lebih kompleks dan mahal (Vidyan dkk., 2013)



Gambar 2 Metode TLS
(Sumber : Vidyan dkk., 2013)

RIEGL VZ-2000i merupakan salah satu sistem *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) berbasis teknologi LiDAR gelombang penuh (*waveform LiDAR*) yang dirancang untuk akuisisi data spasial tiga dimensi dengan akurasi tinggi pada jarak menengah hingga jauh. Instrumen ini bekerja menggunakan prinsip *time of flight*, yaitu mengukur waktu tempuh laser yang dipancarkan menuju objek dan kembali ke sensor untuk menentukan jarak serta posisi spasial titik pantul dalam koordinat tiga dimensi (X, Y, Z). RIEGL VZ-2000i memiliki karakteristik jangkauan pengukuran yang jauh, resolusi tinggi, serta kecepatan akuisisi titik yang besar sehingga cocok digunakan untuk pemetaan topografi, pemantauan deformasi, survei tambang, dan dokumentasi infrastruktur. Sistem ini juga dilengkapi dengan sensor GNSS, unit pengukuran inersial (IMU), serta kamera internal, yang mendukung proses *georeference* langsung di lapangan. Integrasi sensor ini memungkinkan data hasil pemindaian langsung berada dalam sistem koordinat global tanpa ketergantungan penuh pada target kontrol eksternal, sehingga meningkatkan efisiensi kerja lapangan (Bohn et al., 2025)

2.6 Metode Prismoidal

Metode Prismoidal digunakan untuk menghitung volume tanah, khususnya untuk keperluan pertambangan. Metode ini memerlukan pembagian interval dan perbedaan metode dan interval dalam penentuan volume tersebut dapat menghasilkan nilai volume yang berbeda. Prisma adalah suatu benda padat yang dibatasi dua bidang sejajar pada bagian atas dan bawahnya serta dibatasi beberapa bidang datar di sekelilingnya (Anastasia., 2025)

Perhitungan volume prisma:

$$V = \frac{h}{6} (A_1 + A + A_2) \dots\dots\dots (1)$$

Sumber : (Anastasia, 2025)

Keterangan:

H = Tinggi Prisma

A₁ = Luas Bidang atas Prisma

A₂ = Luas Bidang bawah Prisma

A = Luas Bidang tengah yang melalui tengah – tengah tinggi h

2.7 Global Positioning System (GPS)

Menurut Winardi,(2006) Sistem Penentuan Posisi Global, atau yang lebih dikenal sebagai GPS (*Global Positioning System*), adalah teknologi yang memungkinkan pengguna untuk mengetahui lokasinya di permukaan bumi dengan memanfaatkan sinyal dari satelit. Terdiri dari 24 satelit yang memancarkan sinyal gelombang mikro ke Bumi, sistem ini dapat diakses oleh perangkat GPS yang ada di permukaan. Dengan demikian, pengguna dapat memperoleh informasi tentang posisi, kecepatan, arah, dan waktu secara akurat.

Selain GPS, terdapat juga sistem navigasi lainnya yang serupa, seperti GLONASS dari Rusia, Galileo dari Uni Eropa, dan IRNSS dari India. Secara resmi, GPS dikenal dengan nama NAVSTAR GPS (*Navigation Satellite Timing*

and Ranging Global Positioning System) dan memiliki tiga segmen utama: satelit, pengontrol, serta penerima/pengguna. Dari *total* 24 satelit yang mengorbit Bumi, 21 di antaranya aktif beroperasi, sedangkan 3 satelit lainnya dipersiapkan sebagai cadangan. Untuk menentukan posisi seseorang, diperlukan perangkat yang disebut *GPS receiver*, yang berfungsi untuk menangkap sinyal yang dipancarkan oleh satelit GPS. Hasil dari pemrosesan sinyal ini kemudian dikonversi menjadi titik lokasi yang dikenal sebagai *waypoint*, yang ditampilkan dalam bentuk koordinat lintang dan bujur di peta elektronik.

Sejak diluncurkan pada tahun 1980, layanan GPS yang pada awalnya dirancang untuk keperluan militer kini telah tersedia untuk masyarakat umum. Menariknya, meskipun biaya pembangunan satelit-satelit ini mencapai ratusan juta dolar, siapa pun dapat menikmati layanan ini secara gratis (Akbar, 2018).



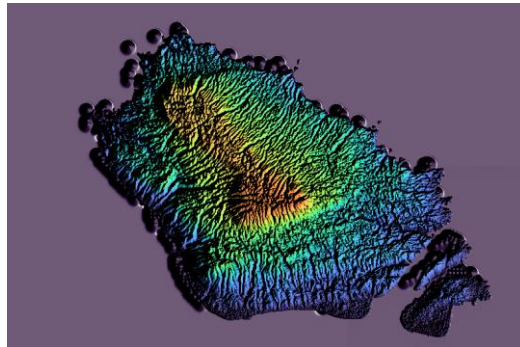
Gambar 3 Alat Ukur GPS *Geodetic Leica GS18*
(Sumber: *Leica Geosystem*, 2017)

2.8 Digital Terrain Model (DTM)

Menurut Sari(2016) *Digital Terrain Model (DTM)* adalah representasi digital dari permukaan tanah yang tidak mencakup objek-objek di atasnya. *Model* ini mengkan medan dalam bentuk tiga dimensi, dengan koordinat X, Y, dan Z, serta menyimpan informasi mengenai ketinggian dan elevasi elemen geografis lainnya, seperti sungai dan jalur pegunungan. Dalam istilah yang lebih sederhana, DTM bisa dipahami sebagai DEM (*Digital Elevation Model*) yang telah dilengkapi dengan berbagai elemen tambahan, seperti garis pemisah (*breaklines*) dan pengamatan yang diambil di luar data asli.

Digital Terrain Model (DTM) mengkan permukaan medan dalam format

digital menggunakan titik-titik tiga dimensi. DTM memberikan representasi yang mendekati keseluruhan atau sebagian dari permukaan terrain melalui kumpulan titik diskrit. *Model* ini dibangun berdasarkan DSM (*Digital Surface Model*), yang menampilkan nilai elevasi pada permukaan tanah yang telah dibersihkan, setelah semua fitur yang ada di permukaan *area* tersebut dihapus untuk menghasilkan DTM secara digital (Novita, 2017).



Gambar 4 *Digital Terrain Model (DTM)*
(Sumber: Geosains.id, 2025)

2.9 Uji Volumetrik

Uji volumetrik dilakukan menggunakan standar *American Standar for Testing and Materials* (ASTM). ASTM D6172-98 adalah standar teknis pengukuran volume tumpukan material (*bulk material*). Batas toleransi maksimal yang diambil adalah dibawah 2% yang merupakan nilai *industry accepted error* (ASTM, 1998). Uji perbandingan volume UAV dengan volume dari survey topografi mengacu pada ASTM D6172-98. Volume yang diukur adalah *bulk volume* atau volume tumpukan keseluruhan, kemudian menghitung persentase selisih volume antar metode

$$\text{Selisih Volume} = \frac{\text{VOLUME UAV} - \text{VOLUME DATA PEMBANDING}}{\text{VOLUME DATA PEMBANDING}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Sumber : (Anastasia, 2025)

Keterangan:

Selisih hitungan antar volume pengukuran dapat dilakukan menggunakan metode pengukuran yang berbeda yaitu antara metode *terestris* dan foto udara.

2.10 Uji Geometrik

Menurut Peraturan Kepala BIG Nomor 15 Tahun 2014 Standar ketelitian peta berfungsi untuk memastikan bahwa data spasial yang dihasilkan memiliki tingkat keakuratan geometrik sesuai dengan skala peta dan tujuan penggunaannya. Ketelitian ini mencakup dua aspek utama, yaitu ketelitian horizontal (CE90) dan ketelitian vertikal (LE90). Nilai CE90 dan LE90 dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$RMSEr = \sqrt{RMSx^2 + RMSy^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$RMSEz = \sqrt{\frac{\sum(z_1 - z_2)^2}{n}} \dots\dots\dots (4)$$

Rumus perhitungan akurasi geometrik:

$$CE90 = 1,5175 \times RMSEr \dots\dots\dots (5)$$

$$LE90 = 1,6499 \times RMSEz \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

RMSx : Pergeseran titik koordinat arah X

RMSy : Pergeseran titik koordinat arah Y

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

RMSEz : *Root Mean Square Error* pada posisi z (vertikal)

Tabel 2 Ketelitian Geometri peta RBI

No.	Skala	Interval kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)
1.	1:1.000.000	400	200	200	300	300,00	500	500,00
2.	1:500.000	200	100	100	150	150,00	250	250,00
3.	1:250.000	100	50	50	75	75,00	125	125,00
4.	1:100.000	40	20	20	30	30,00	50	50,00
5.	1:50.000	20	10	10	15	15,00	25	25,00
6.	1:25.000	10	5	5	7,5	7,50	12,5	12,50
7.	1:10.000	4	2	2	3	3,00	5	5,00
8.	1:5.000	2	1	1	1,5	1,50	2,5	2,50
9.	1:2.500	1	0,5	0,5	0,75	0,75	1,25	1,25
10.	1:1.000	0,4	0,2	0,2	0,3	0,30	0,5	0,50

(Sumber : Peraturan BIG Nomor 18 Tahun 2021)

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan memiliki perannya masing – masing baik pada saat melakukan tahap perencanaan sampai dengan tahap akhir. Semua alat dan bahan yang digunakan adalah alat yang dimiliki oleh instansi PT Bukit Asam, Tbk Satuan Kerja Pemetaan. Alat dan Bahan yang diperlukan sebagai penunjang kegiatan penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Perangkat keras

No	Perangkat Keras	Jumlah	Fungsi
1	UAV <i>fixed-wings Wingtra one gen II</i>	1	Sebagai Wahana akuisisi data
2	<i>Tab Controller</i> UAV	1	Sebagai pengendali wahana UAV
3	Baterai UAV	3	Sebagai daya untuk menghidupkan UAV.
4	GPS <i>Geodetic type Leica GS18</i>	2	Sebagai alat ukur koordinat ICP
5	Statif	1	Sebagai penyangga <i>receiver</i> GPS
6	<i>Pole</i> atau stik	1	Sebagai penyangga <i>receiver</i> GPS
7	Meteran atau pita ukur	1	Sebagai pengukur ketinggian alat ukur.
8	Landasan atau <i>Hellipad</i>	1	Sebagai tempat <i>take-off</i> dan <i>landing</i> UAV

UAV yang digunakan adalah UAV dengan *type* sayap *Fixed Wing Vertical Take-off Landing* dari perusahaan *Wingtra AG* yang berasal dari Swiss. Spesifikasi dari UAV *WingtraOne* yang digunakan dalam penelitian ini sebagai

berikut :

Tabel 4 Spesifikasi *WingtraOne*

Spesifikasi	
Jenis Drone	<i>Tailsitter Fixed Wing vertical take-off and landing (VTOL)</i>
GPS	<i>Redudant, GPS (L1, L2), GLONASS (L1, L2), Galileo (L1) dan Beidou (L1)</i>
Kecepatan Terbang	Kecepatan 16 m/s (35.8 mph) Kecepatan naik/turun 6 / 3 m/s Melayang naik/turun 6 / 2.5 m/s
Durasi Terbang	< 45 menit
Ketinggian Maksimum	2500 m
Kamera	Sony RGB 61, dengan resolusi 61 MP, <i>full-frame</i> sensor, 24 mm <i>lens nadir configuration</i>
Jenis Kamera	Kamera non metrik

(Sumber: Wingtra AG,2024)

Pada penelitian ini, menggunakan beberapa perangkat lunak yang digunakan mulai dari tahap persiapan hingga tahap akhir. Adapun perangkat lunak yang digunakan dan peran dari masing – masing perangkat lunak dalam penelitian ini, dijelaskan pada Tabel 5. Perangkat Lunak yang digunakan. Berikut adalah perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

Tabel 5 Perangkat Lunak

No	Perangkat Lunak	Kegunaan
1	<i>Wingtrahub</i>	Memproses <i>Geotagging</i> data foto udara.
2	<i>Leica Geo Office (LGO)</i>	Memproses data GPS <i>Geodetic</i> .
3	<i>Agisoft Metashape Pro</i>	Memproses data foto udara.
4	<i>Riscan pro</i>	Memproses data TLS dan untuk mem- <i>filter</i> data <i>Pointclouds</i>
5	<i>12d Model</i>	Menghitung volume
6	<i>Microsoft Excel</i>	Melakukan perhitungan persentase selisih dan uji akurasi.

3.2.2 Data Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan sebanyak 9 data yang terbagi menjadi dua jenis data, yaitu data sekunder dan data primer, informasi data yang digunakan secara spesifik dapat dilihat pada Tabel 6. Adapun bahan pendukung dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 6 Data Penelitian

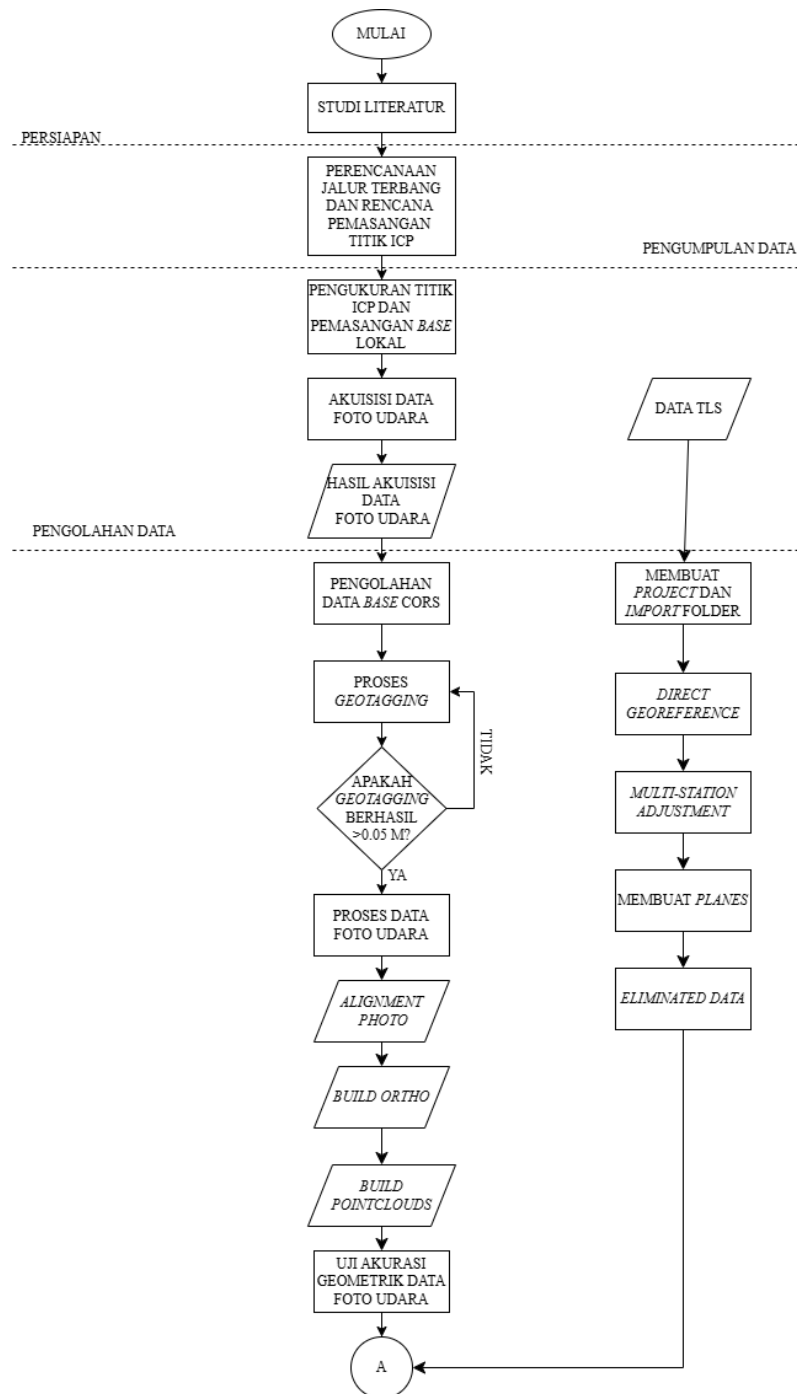
No	Data	Tahun	Sumber	Kegunaan	Format
1	Data <i>Original</i>	2025	Satuan Kerja <i>Mine Survey Department</i> PT. Bukit Asam, Tbk.	Sebagai data dasar untuk dilakukanya perhitungan volume <i>stockpile</i>	Data Vektor
2	Data Foto Udara	2025	Pengukuran langsung	Sebagai data yang akan diteliti	Data Raster
3	Data GCP	2024	Satuan Kerja <i>Mine Survey Department</i> PT. Bukit Asam, Tbk.	Sebagai titik kontrol foto udara	Data Vektor
4	Data ICP	2025	Pengukuran langsung	Sebagai titik kontrol kualitas hasil foto udara	Data Vektor
5	Data Pengukuran TLS	2025	Satuan Kerja <i>Mine Survey Department</i> PT. Bukit Asam, Tbk.	Sebagai data pembanding	Data Vektor

Lanjutan Tabel 6 Data Penelitian

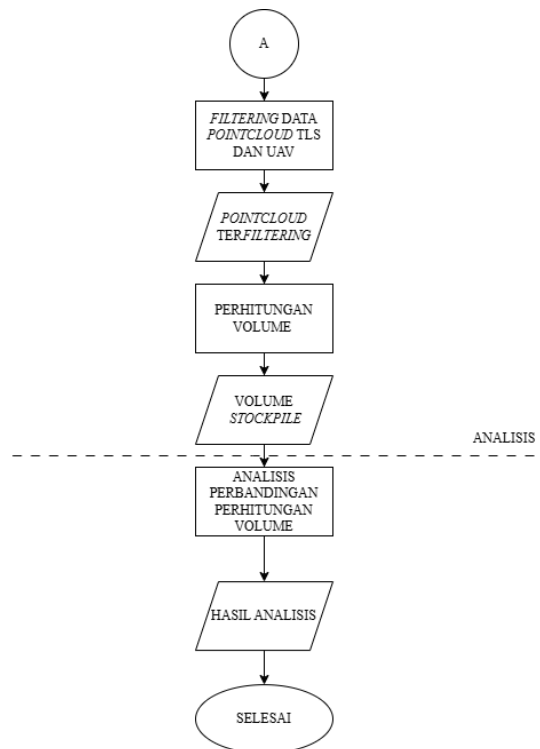
No	Data	Tahun	Sumber	Kegunaan	Format
6	Data RTK	2025	Satuan Kerja <i>Mine Survey Department</i> PT. Bukit Asam, Tbk.	Sebagai koordinat referensi TLS	Data Vektor
7	Data <i>Base Local</i>	2025	Satuan Kerja <i>Mine Survey Department</i> PT. Bukit Asam, Tbk.	Sebagai referensi pengukuran RTK	Data Vektor
8	Data <i>Boundary</i>	2025	Satuan Kerja <i>Mine Survey Department</i> PT. Bukit Asam, Tbk.	Sebagai data batas area pengukuran	Data Vektor

3.3 Diagram Alir

Dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini memiliki tahapan yang sistematis untuk mencapai hasil yang baik. Untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai tahapan penelitian, digunakan diagram alir yang menggambarkan alur proses penelitian dari awal hingga akhir.



Gambar 6 Diagram Alir Kegiatan



Gambar 7 Lanjutan Diagram Alir

3.4 Tahapan Persiapan

Tahapan persiapan ini sangat krusial terhadap penelitian ini, penentuan jalur terbang serta parameter-parameter lainnya dan pemilihan tempat untuk GCP sangat berpengaruh terhadap data dan hasil akhir.

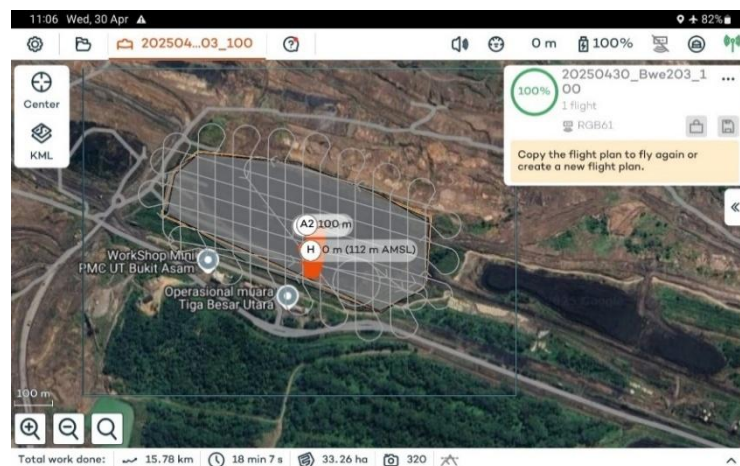
3.4.1 Studi Literatur

Pada tahap ini penulis melakukan studi literatur untuk mempermudah dan memahami alat dan materi yang berkaitan dengan penelitian. Tahapan ini dilakukan agar peneliti memiliki wawasan tambahan terkait alat dan cara kerja alat yang digunakan. Pencarian literatur ini sebagai penunjang untuk penelitian ini.

3.4.2 Perencanaan Jalur Terbang

Pembuatan jalur terbang yang sesuai dengan AOI (*Area of Interest*), pembuatan jalur terbang menggunakan data foto udara *Stockpile* (.kml) dan melakukan *setting parameters*. Pembuatan jalur terbang dapat dilakukan secara manual dengan melakukan *import* data di *tablet controller* UAV *Wingtra* dan juga dapat dilakukan menggunakan *software WingtraHub* namun, pada penelitian ini dilakukan secara manual karena pada *software WingtraHub – WingtraPilot* belum memiliki *basemap* yang terbaru.

Rencana tinggi terbang yang digunakan pada penelitian ini adalah 100 m, GSD yang digunakan sebesar 1,6 cm/px, *overlap-sidelap* 70%, dengan kecepatan pesawat 16 m/s, serta pengambilan data foto udara ini dilakukan secara *Crosshatch 3D* atau *double grid* untuk mendapatkan hasil 3D yang lebih optimal sehingga dapat dimodelkan dan dilakukan perhitungan volume yang optimal. UAV *Fixed-wings wingtra* ini menggunakan kamera sony RGB61 yang memiliki spesifikasi kamera 61 MP yang termasuk kedalam kamera non metrik.



Gambar 8 Jalur terbang

3.4.3 Perencanaan *Independent Check Point* (ICP)

Rencana penggunaan ICP sebanyak 4 titik dan menggunakan metode pengukuran GNSS RTK (*Real Time Kinematic*), yaitu pengukuran

penentuan posisi yang didapat langsung pada saat pengamatan, koordinat diperoleh secara *real – time* dengan kondisi *rover* yang dinamis atau bergerak (*kinematic*). Persebaran ICP dilakukan dengan mempertimbangkan lokasi yang aman dari obstruksi seperti, *Bucket Wheel Excavator* (BWE), alat berat. Rencana persebaran GCP dan ICP yang akan digunakan adalah seperti pada gambar 9.



Gambar 9 Perencanaan Titik ICP

3.5 Tahap Pengumpulan Data

Setelah tahap perencanaan selesai, dilakukan pengumpulan data. Tahap ini terdiri dari pengambilan data ICP serta akuisisi data foto udara.

3.5.1 Pengambilan data *Independent check point* (ICP)

Pada tahap ini, *Premark* dipasang berdasarkan rencana ICP yang telah dibuat sebelumnya, dengan mengamati kondisi di lokasi yang aman. *Independent check point* (ICP) digunakan untuk memastikan bahwa *model* pemetaan yang dihasilkan dari foto udara memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Pengukuran ICP dilakukan menggunakan GNSS dengan metode RTK (*Real Time Kinematic*). Metode RTK digunakan karena membutuhkan waktu pengukuran yang cepat dan akurasi yang tinggi. Pengukuran *premark* hanya dilakukan dengan mengikat ke *base* lokal dikarenakan, jarak yang cukup jauh maka *base* CORS tidak dapat digunakan sebagai *base* pemancar saat pengukuran

GNSS RTK.

Tabel 7 Data *Independent Check Point*

<i>Point Id</i>	<i>Easting [m]</i>	<i>Northing [m]</i>	<i>Height [m]</i>
ICP0001	357.549,8829	9.587.539,7064	92,2178
ICP0002	357.594,2892	9.587.529,9811	92,7668
ICP0003	357.611,2813	9.587.485,7856	93,9639
ICP0004	357.865,0139	9.587.407,1191	89,5965



Gambar 10 Posisi ICP

Premark yang digunakan dalam penelitian ini berukuran 81x81 cm, terbuat dari bahan tahan air, tahan sobek, dan tahan pudar, serta berwarna cerah, yaitu oranye dan putih. Warna-warna ini sangat kontras dengan warna gelap batubara, sehingga memudahkan dalam pengolahan foto udara



Gambar 11 *Premark*
(Sumber : Survey lapangan,2025).

3.5.2 Akuisisi Data Foto Udara

Tahap selanjutnya, pengukuran menggunakan UAV *Wingtra* dengan menggunakan *flight plan* yang telah dibuat sebelumnya, kemudian melakukan *setting* parameter sesuai dengan kondisi lapangan seperti adanya pohon, menara, tiang dan obstruksi lainnya yang membahayakan UAV *Wingtra* pada saat *take off*, *flight* dan *landing*.

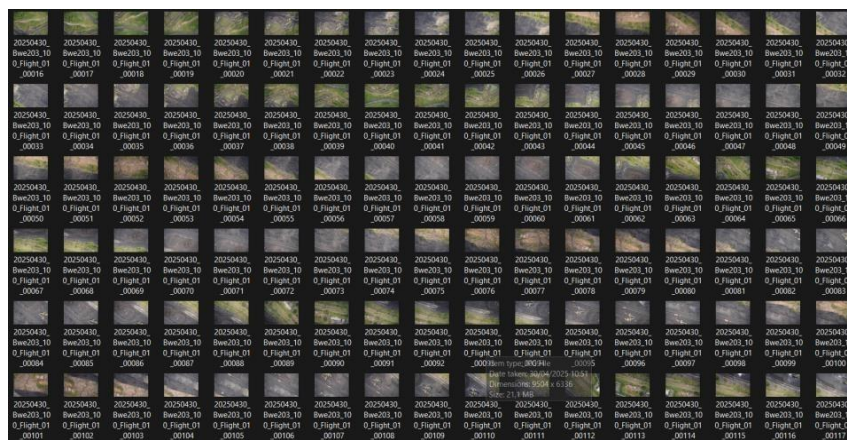


Gambar 12 Pengambilan data Foto Udara

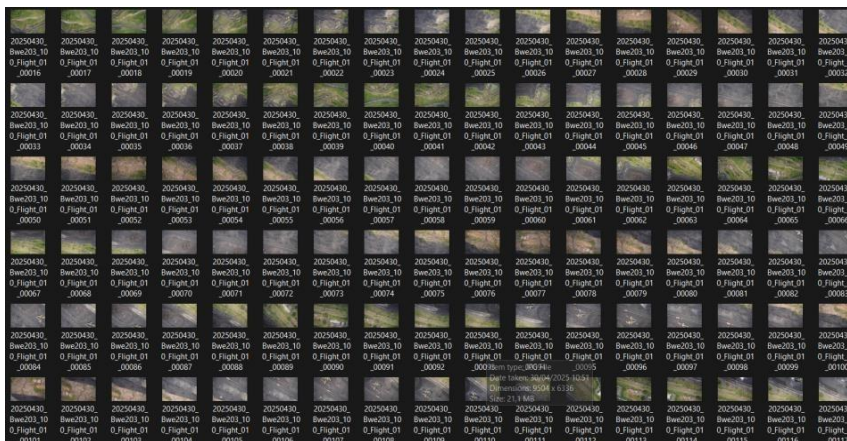
Tabel 8 Parameter Foto Udara

Total Work	
<i>Total Panjang Jalur Terbang</i>	15,78 km
<i>Waktu Akuisisi Data</i>	18 menit 7 detik
<i>Luas Area Akuisisi Data</i>	33,26 ha
<i>Jumlah Data Foto Udara</i>	313 <i>images</i>
Parameter Akuisisi Data	
<i>Tinggi Terbang</i>	100 m
<i>Ground Sampling Distance</i>	1,6 cm/px
<i>Side Overlap</i>	70%
<i>Front Overlap</i>	70%

Berikut merupakan hasil akuisisi data menggunakan UAV *fixed-wings Wingtra* yang didapatkan dari pengukuran langsung pada bulan April 2025: Foto yang dihasilkan dari akuisisi data menggunakan UAV ini berjumlah 313 Foto, dengan ketinggian terbang yang digunakan adalah 100 m. *Overlap* dan *sidelap* sebesar 70%, nilai *Ground Sampling Distance (GSD)* sebesar 1,6 cm/px. Pengambilan data foto udara ini dilakukan secara *Crosshatch 3D* untuk mendapatkan hasil 3D yang lebih optimal sehingga dapat dimodelkan dan dilakukan perhitungan volume yang akurat.



Gambar 13 Hasil Foto Udara



Gambar 14 Hasil Foto Udara

1. Total Work

Total work adalah informasi yang menunjukkan hasil *mission flight* yang meliputi, panjang jalur terbang yang ditempuh UAV, durasi waktu yang dibutuhkan UAV untuk terbang, luas *area* yang ditempuh UAV, dan jumlah

total foto yang akan didapatkan.

2. Parameter Akuisisi Data

Parameter Akuisisi data meliputi tinggi terbang yang memengaruhi GSD (*Ground Sampling Distance*) yaitu, ukuran resolusi piksel dari hasil foto udara. Besarnya GSD berdasarkan tinggi terbang Semakin kecil nilai GSD, maka semakin tinggi resolusi gambar yang dihasilkan dan semakin *detail* objek yang dapat dianalisis. Nilai GSD berperan penting dalam pengukuran foto udara karena memengaruhi tingkat ketelitian dan hasil akurasi yang didapatkan.

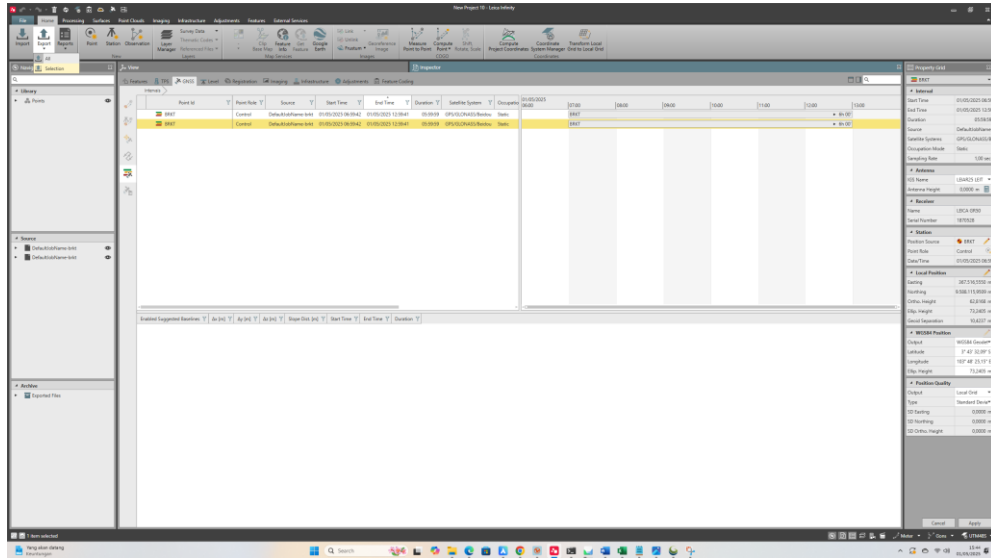
Pada penelitian ini, menggunakan tinggi terbang 100 m agar menghasilkan GSD yang kecil yaitu, 1,6 cm/*pix*. Jalur pemotretan dapat diatur sedemikian rupa, disarankan untuk mengatur jalur terjauh terlebih dahulu dari *home* untuk mengantisipasi terjadinya hilang sinyal dan *low battery* agar jarak UAV untuk *return to home* lebih dekat.

3.6 Tahapan Pengolahan Data

Pada tahap ini, data hasil pengukuran yang telah diperoleh akan diolah dan dianalisis untuk mendapatkan informasi yang sesuai dengan tujuan penelitian.

3.6.1 Pengolahan Data *Base* CORS

Tahap pertama dalam pengolahan data adalah mengolah data *base* CORS dan *base local* menggunakan *software Leica Infinity*, *base* dilakukan pengolahan data sesuai dengan waktu pengukuran. Setelah itu, data *base* diekspor dalam format RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*).



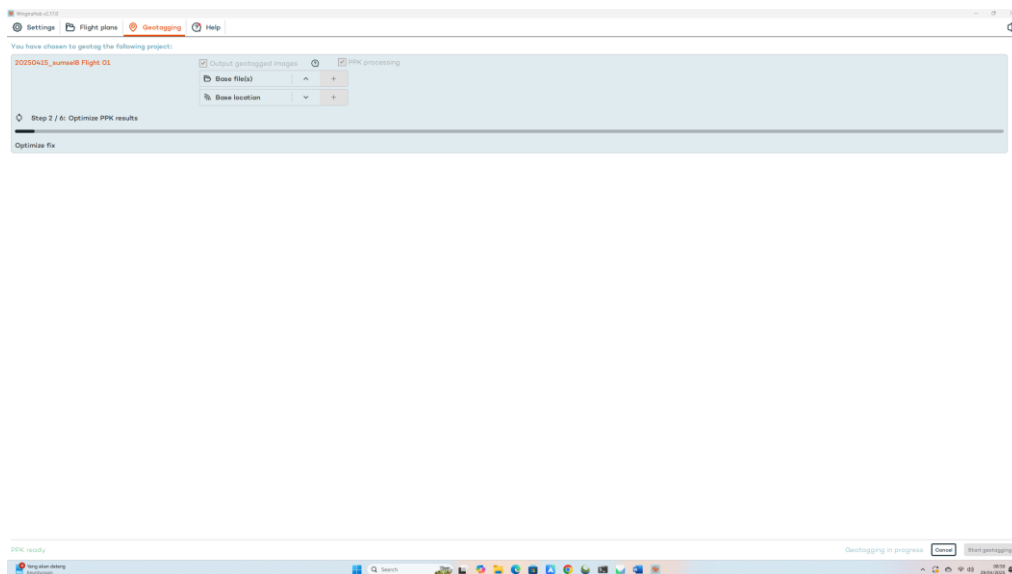
Gambar 15 Proses Pengolahan data *base* CORS

3.6.2 Pengolahan Data UAV

Setelah didapat data foto udara, langkah selanjutnya dilakukan pengolahan data guna mendapatkan informasi yang sesuai dengan tujuan penelitian. Berikut pengolahan data foto udara:

1) *Geotagging*

Geotagging merupakan proses penyematan (koordinat X, Y, dan Z) ke dalam setiap foto udara UAV. Pada *Wingtra*, *geotagging* dilakukan menggunakan PPK GNSS, sehingga posisi kamera tidak hanya bergantung pada GNSS *onboard real-time*, tetapi dikoreksi menggunakan data *base station*.

Gambar 16 Proses *Geotagging*Tabel 9 Parameter *Geotagging*

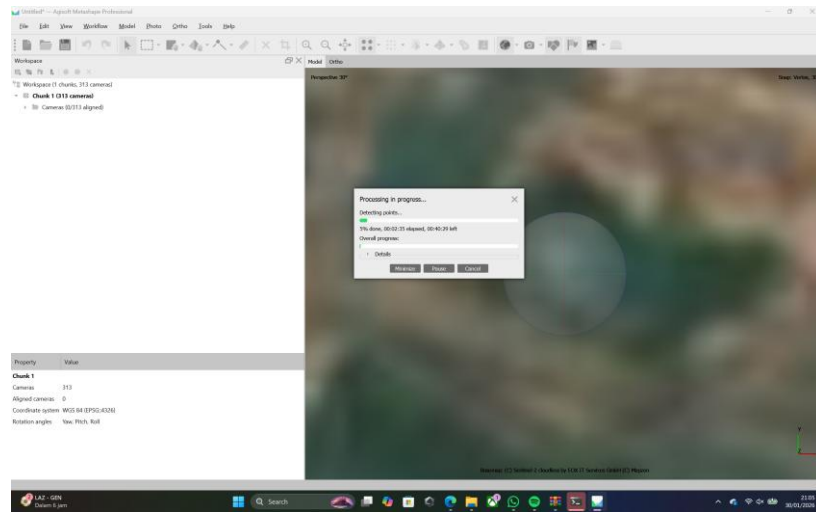
Parameter	Nilai Parameter
PPK fix	100%
<i>Mean horizontal accuracy</i>	0,03 m
<i>Mean vertical accuracy</i>	0,07 m
<i>Geotagging summary</i>	313 images tagged

Pada hasil *geotagging* pada tabel 9 dapat diinformasikan bahwa *geotagging* telah berhasil dilakukan. Nilai PPK *fix* 100% yang berarti seluruh foto berhasil dikoreksi posisinya dengan metode PPK, *Mean horizontal accuracy* dan *Mean vertical accuracy* sebesar 0,03 m dan 0,07 m menunjukkan bahwa ketelitian horizontal dan ketelitian vertikal sebesar 3 cm dan 7 cm. Pada bagian *Geotagging summary* tercatat bahwa 313 foto yang telah berhasil di *geotagging*.

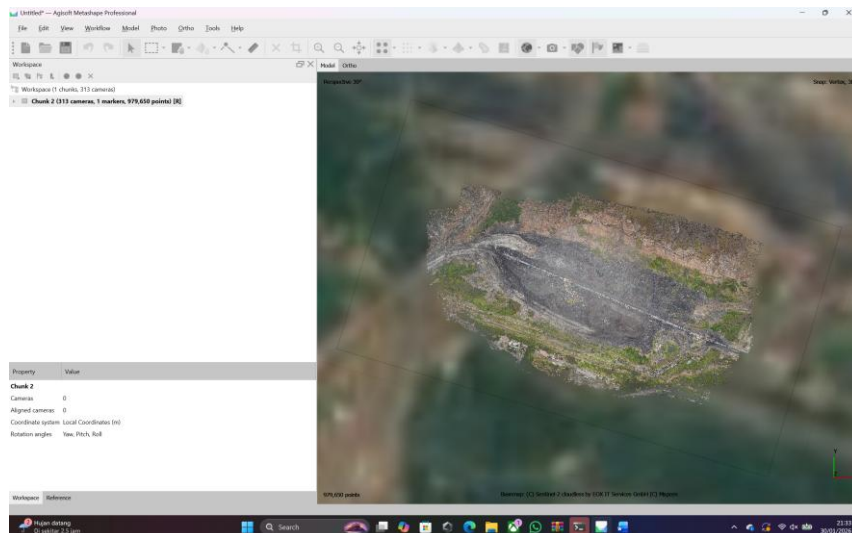
2) *Align Photo*

Merupakan proses yang digunakan untuk identifikasi titik - titik yang ada di foto. Proses ini akan membuat titik-titik yang ada menyebar mengikuti pola objek pada foto (*matching point*) dari 2 atau lebih foto agar membuat foto-foto

yang digabungkan menjadi foto yang berkesinambungan. Proses ini menghasilkan 3D *model* awal.



Gambar 17 Proses *Alignphoto*



Gambar 18 *Alignphoto*

Point Cloud	
Points	979,650 of 1,069,888
RMS reprojection error	0.365836 (0.717754 pix)
Max reprojection error	3.11597 (38.7211 pix)
Mean key point size	2.04942 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.00891
Alignment parameters	
Accuracy	Highest
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Source
Key point limit	50,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	50,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	5 minutes 35 seconds
Matching memory usage	2.86 GB
Alignment time	1 minutes 52 seconds
Alignment memory usage	598.44 MB

Gambar 19 Hasil *Report Alignphoto*

Dalam pengolahan *alignphoto* menggunakan *software Agisoft*, dengan mempertimbangkan kualitas maka *accuracy* yang digunakan adalah *highest*, *Tie point* yang dihasilkan sebanyak 979,650 *point*. Proses ini memakan waktu 7 menit 27 detik.

3) *Orthorektifikasi*

Foto udara yang sudah didapatkan dalam tahap pengumpulan data selanjutnya diolah dengan *Agisoft Metashape* untuk dilakukan *orthorektifikasi*, proses ini cukup memakan waktu. Dikarenakan pada saat pengolahan menjadi *orthophoto*, peneliti mengatur tingkat resolusi yang tinggi. Hasil dari pengolahan *ortorektifikasi* adalah *orthophoto*. Sistem referensi koordinat WGS 1984 dengan sistem proyeksi UTM zona 48S. sistem koordinat foto juga masih berupa sistem koordinat geografis sehingga harus diubah menjadi sistem koordinat UTM 48S. Proses pembuatan *orthophoto* dilakukan dengan memanfaatkan *Digital Elevation Model (DEM)* yang telah dihasilkan pada tahap sebelumnya

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Err
✓ GCP 2C	357728.000000	9587619.000000	82.000000	0.001000	0.04
✓ GCP 4C	357863.000000	9587344.000000	82.000000	0.001000	0.02
✓ GCP 6C	357455.000000	9587553.000000	86.000000	0.001000	0.03
Total Error					
Control points					0.03
Check points					

Gambar 20 Proses *Orthorektifikasi*



Gambar 21 Hasil *Orthophoto*

Berikut merupakan data *Ground Control Point* (GCP):

Tabel 10 Data GCP

<i>Point Id</i>	<i>Easting [m]</i>	<i>Northing [m]</i>	<i>Height [m]</i>
GCP001	357.728,6210	9.587.619,6670	82,6565
GCP002	357.863,1053	9.587.344,8970	82,5721
GCP003	357.455,1801	9.587.553,8990	86,0544

Metode yang digunakan untuk pengukuran GCP adalah *Rapid-static* dilakukan oleh *Mine Survey Department* PT. Bukit Asam, Tbk yang bertujuan sebagai GCP permanen. Data GCP ini diperoleh dari arsip perusahaan (data sekunder)



Gambar 22 Posisi GCP

Tabel 11 Hasil *Report Orthorektifikasi*

<i>Label</i>	<i>X error (cm)</i>	<i>Y error (cm)</i>	<i>Z error (cm)</i>	<i>Total (cm)</i>	<i>Image (pix)</i>
GCP 001	4,34134	-1,19768	-0,0491934	4,50378	7.984 (25)
GCP 002	-1,53849	2,29176	0,00539557	2,76028	4.823 (27)
GCP 003	-2,80285	-1,09408	0,0437969	3,00913	5.492 (24)
<i>Total</i>	3,11288	1,62107	0,0381544	3,5099	6.226

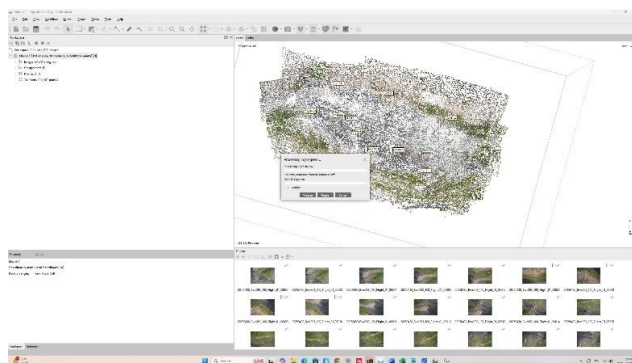
Berdasarkan *report* hasil pengolahan *orthorektifikasi*, dapat diinformasikan bahwa *total X error* sebesar 3,1 cm, *Y error* sebesar 1,6 cm, dan *Z error* sebesar 0,038 cm. Berdasarkan hasil tersebut, proses *orthorektifikasi* telah

menghasilkan ketelitian horizontal dan vertikal yang tinggi, sehingga data layak digunakan untuk perhitungan volume.

Sistem koordinat yang digunakan adalah WGS 84 / UTM Zona 48S, Proses pembuatan *orthomosaic* dilakukan menggunakan mode *Blending Mosaic*, yaitu metode penggabungan gambar dengan menggabungkan foto-foto yang saling bertampalan dengan menyesuaikan perbedaan warna dan pencahayaan sehingga batas antar gambar tidak terlihat. Proses ini menghabiskan waktu 15 menit 26 detik

4) *Build Dense Clouds*

Pembuatan *dense cloud* dipengaruhi oleh dua parameter, yaitu *quality* dan *depth filtering mode*. Parameter dalam *Depth filtering* adalah salah satu metode dalam pembuatan *point clouds* dengan menginterpolasikan titik tinggi, dan parameter ini memengaruhi cara kerja dalam penyisihan *tie points* karena tekstur yang jelek, adanya *noise (outliers)* dan foto yang tidak fokus karena gerakan pada saat pemotretan.



Gambar 23 Proses *Build Point Clouds*

Pada penelitian ini, menggunakan *Aggressive* karena, *area* yang ingin diteliti adalah *area* yang terbuka dari vegetasi. *Dense point cloud* dibentuk dari interpolasi *tie points* sehingga menjadi lebih padat bentuknya menyerupai kondisi *real* lapangan. Kemudian *dense cloud* digunakan untuk proses pengolahan selanjutnya.

5) Pengujian RMSE (*Root Mean Square Error*)

Setelah didapatkan *orthophoto* dan juga telah didapatkan ICP, kemudian dilakukan pengujian dengan metode RMSE (*Root Mean Square Error*) untuk mencari seberapa besar kesalahan pada nilai tersebut dengan rumus:

$$RMSE = \sqrt{RMSx^2 + RMSy^2} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

RMSx : Pergeseran titik koordinat arah X

RMSy : Pergeseran titik koordinat arah Y

Tabel 12 Perhitungan RMSE

Koordinat ICP (x)	Koordinat <i>Ortho</i> (x)	Koordinat ICP(y)	Koordinat <i>Ortho</i> (y)	(D X) ²	(D Y) ²	(DX) ² +(D Y) ²
357.549,882	357.549,91	9.587.539,706	9.587.539,727	0,001	0,000	0,002
	9					
357.594,289	357.594,30	9.587.529,981	9.587.529,979	0,000	0,000	0,000
	9					
357.611,281	357.611,27	9.587.485,785	9.587.485,750	0,000	0,001	0,001
	6					
357.865,013	357.865,02	9.587.407,119	9.587.407,118	0,000	0,000	0,000
	9					
Jumlah						0,004
Rata-rata						0,001

$$RMSE = \sqrt{0,001}$$

$$RMSE = 0,030 \text{ m}$$

Maka nilai RMSE yang diperoleh adalah 0,030 m atau 3 cm

6) Pengujian Ketelitian Geometrik Horizontal (CE90)

Nilai RMSe yang telah didapatkan selanjutnya dihitung menggunakan rumus yang telah ditetapkan oleh Badan Informasi Geospasial dalam perka BIG nomor 18 Tahun 2021 skala 1:1.000 kelas 1 tentang menentukan nilai CE90 atau ketelitian geometrik horizontal. Untuk melakukan perhitungan CE90 dibutuhkan nilai RMSE, sebagai contoh nilai RMSEr = 0,030 m, maka :

$$CE90 = 1,5175 \times RMSEr$$

$$CE90 = 1,5175 \times 0,030 \text{ m}$$

$$CE90 = 0,046 \text{ m}$$

Maka nilai CE90 adalah 0,046 m atau 4,6 cm

7) Pengujian Ketelitian Geometrik Vertikal (LE90)

Nilai RMSE yang telah didapatkan selanjutnya dihitung menggunakan rumus yang telah ditetapkan oleh Badan Informasi Geospasial dalam perka BIG Nomor 18 Tahun 2021 untuk menentukan nilai LE90 atau ketelitian geometrik vertikal. Untuk melakukan perhitungan CE90 dibutuhkan nilai RMSEz, sebagai contoh nilai RMSEz = 0,007 m, maka :

$$LE90 = 1,6499 \times RMSEz$$

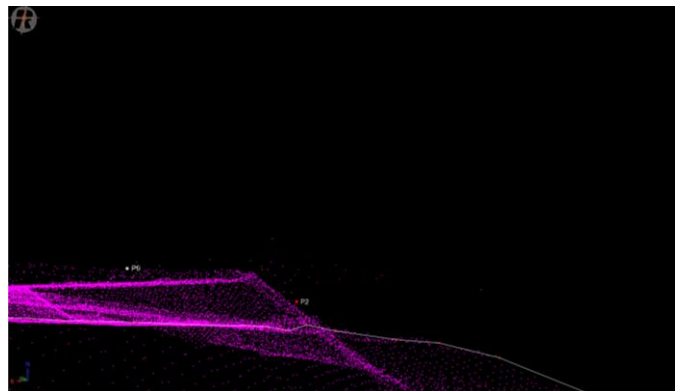
$$LE90 = 1,6499 \times 0,007 \text{ m}$$

$$LE90 = 0,011 \text{ m}$$

Maka nilai LE90 adalah 0,011 m atau 1,1 cm

8) *Eliminated Point Clouds*

Dense cloud dari hasil pengukuran selanjutnya, dilakukan pengolahan menggunakan *software Riscan pro* yaitu *software* khusus dari Riegl. Pada pengolahan ini dilakukan *filtering* untuk menghapus obstruksi yang tidak mewakili *stockpile* batubara seperti alat berat, vegetasi dan anomali lainnya yang tidak mewakili.



Gambar 24 Proses *Filtering Point Clouds*

Tahap *eliminate data* dilakukan untuk membersihkan *point cloud* dari titik-titik yang tidak diperlukan. Biasanya terdapat titik yang berada di luar batas *area* pengukuran (*boundary*), misalnya pantulan dari objek di luar *area* studi atau hasil pantulan yang terlalu jauh.

Selain itu, ada juga titik-titik yang posisinya tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya akibat *noise*, gangguan pantulan, atau pergerakan objek saat pemindaian. Jika dibiarkan, titik-titik tersebut dapat memengaruhi ketelitian hasil registrasi maupun perhitungan lanjutan.

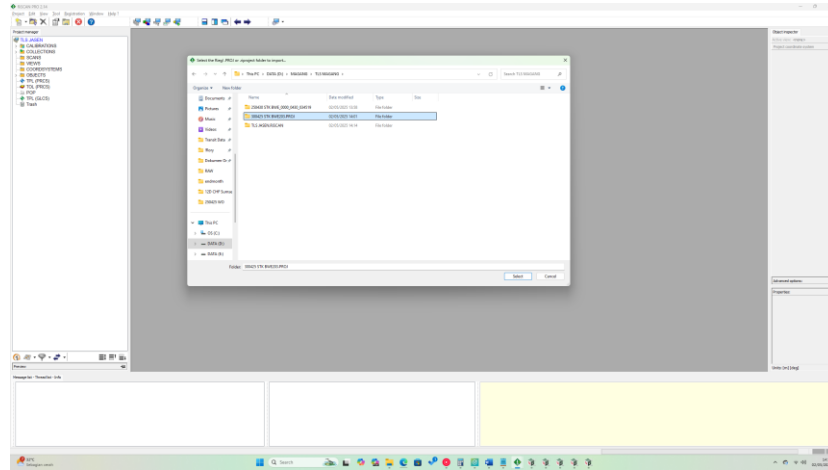
Oleh karena itu, dilakukan proses seleksi dan penghapusan data yang tidak relevan agar *point cloud* menjadi lebih bersih, fokus pada *area* yang dianalisis, dan lebih akurat dalam merepresentasikan kondisi lapangan sebenarnya.

3.6.3 Pengolahan Data *Terrestrial Laser Scanner* (TLS)

Setelah didapatkan data pengukuran TLS yang berasal dari *Mine Survey Department* PT. Bukit Asam, Tbk (data sekunder), tahap selanjutnya melakukan pengolahan data. Berikut tahapan pengolahan data TLS:

1) Membuat *Project* dan *Import* data pengukuran

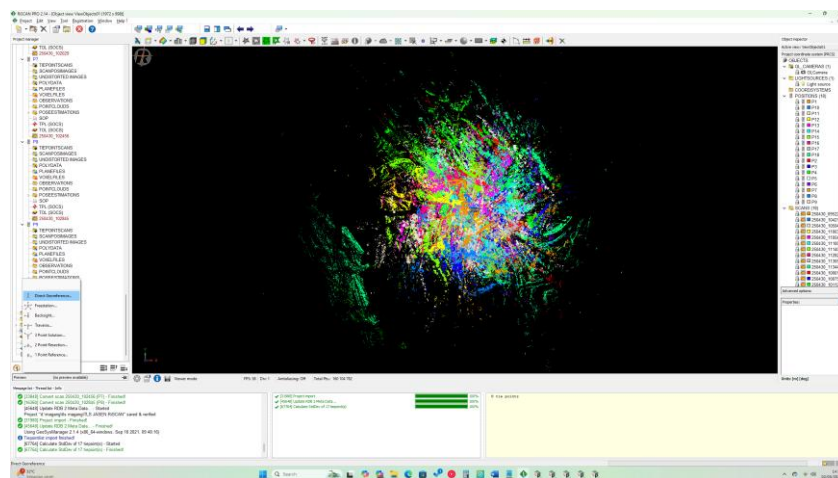
Pengolahan data hasil pemindaian *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) menggunakan alat RIEGL VZ-2000i dilakukan melalui perangkat lunak RiSCAN PRO yang diawali dengan pembuatan *project* dan *import* data. Pembuatan *project* bertujuan untuk menyiapkan ruang kerja yang terorganisir sehingga seluruh data hasil pemindaian dapat tersimpan dan dikelola dalam satu sistem. Setelah itu, data hasil *scanning* dimasukkan ke dalam *project* sehingga setiap posisi pemindaian terbaca sebagai *scan station*.



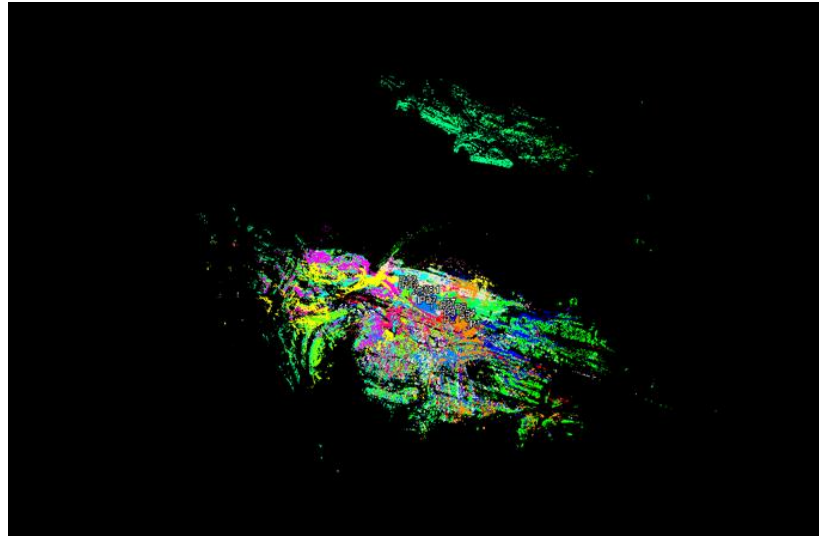
Gambar 25 Proses *Import* data

2) *Direct Georeference*

Direct georeference pada pengolahan *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) adalah metode penempatan hasil pemindaian langsung ke sistem koordinat global dengan memanfaatkan data GNSS dan IMU yang terpasang pada alat, diproses menggunakan RiSCAN PRO. Dengan metode ini, setiap posisi pemindaian sudah memiliki koordinat global sejak awal sehingga tidak perlu dilakukan registrasi manual berdasarkan titik kontrol atau *target*. Guna memastikan hasil yang lebih stabil dan teliti, data yang telah melalui *direct georeference* biasanya tetap disempurnakan kembali melalui proses registrasi lanjutan seperti *multi-station adjustment*.



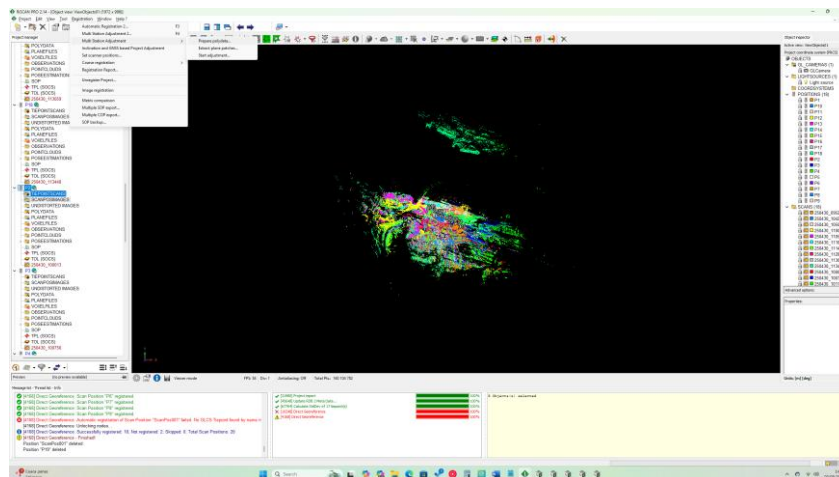
Gambar 26 Proses *Direct Georeference*



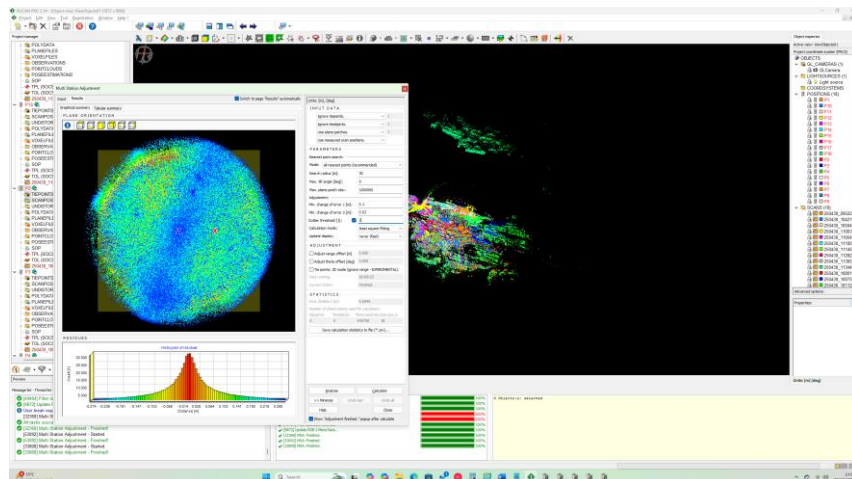
Gambar 27 Hasil *Direct Georeference*

3) *Multi-station Adjustment*

Hasil *direct georeference* memungkinkan terdapat ketidaksesuaian, oleh karena itu, dilakukan proses *multi-station adjustment* sebagai tahap registrasi lanjutan. Pada tahap ini, seluruh *scan station* disesuaikan secara bersama-sama menggunakan pendekatan kuadrat terkecil (*least squares*) untuk mendistribusikan kesalahan secara merata dan meningkatkan konsistensi geometrik model.



Gambar 28 Proses *Multistation Adjustment*



Gambar 29 Menu Result Multistation Adjustment

Pada tahap *Multi-Station Adjustment*, terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk mengontrol proses penyesuaian antar *scan station*, yaitu *Search Radius*, *Min Change of Error1*, dan *Min Change of Error2*. Parameter-parameter ini membantu memastikan proses registrasi lanjutan berjalan stabil dan menghasilkan model yang konsisten.

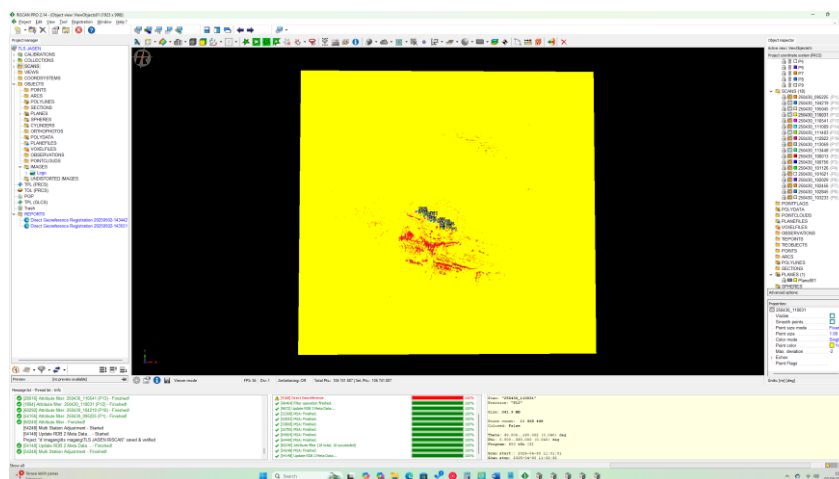
Pada tahap ini, parameter awal yang digunakan yaitu *Search radius* = 30, *Min change of error 1* = 0.1, dan *Min change of error 2* = 0.02, kemudian dilakukan proses *analyze*. Setelah proses *analyze* selesai, nilai hasil perhitungan yang diperoleh dikalikan dengan 2 (dua). Hasil perkalian tersebut kemudian dimasukkan kembali ke dalam parameter *Search radius*, kemudian dilanjutkan dengan proses *calculate*.

Apabila hasil *calculate* yang diperoleh masih belum memenuhi toleransi akurasi pengukuran yang telah ditentukan (yaitu kurang dari 0,05 m), maka proses *calculate* dilakukan kembali secara bertahap dan berulang (kontinu) hingga nilai *error* yang dihasilkan berada di bawah batas toleransi yang ditentukan (< 0,05 m). Hal ini merujuk pada teknis pekerjaan instansi terkait.

4) Membuat Planes

Pada pengolahan data *Terrestrial Laser Scanner* (TLS), proses *create planes* dilakukan untuk mengambil bagian-bagian permukaan datar dari *point cloud*,

seperti dinding atau lantai yang diperoleh dari hasil pemindaian. Perangkat lunak akan mengenali kumpulan titik yang membentuk pola bidang datar, kemudian menghitung parameter geometrinya sehingga terbentuk suatu bidang referensi. Bidang ini selanjutnya dimanfaatkan untuk mendukung proses registrasi lanjutan, serta untuk menganalisis kemiringan, deviasi, dan kondisi geometrik struktur secara lebih jelas dan terukur.



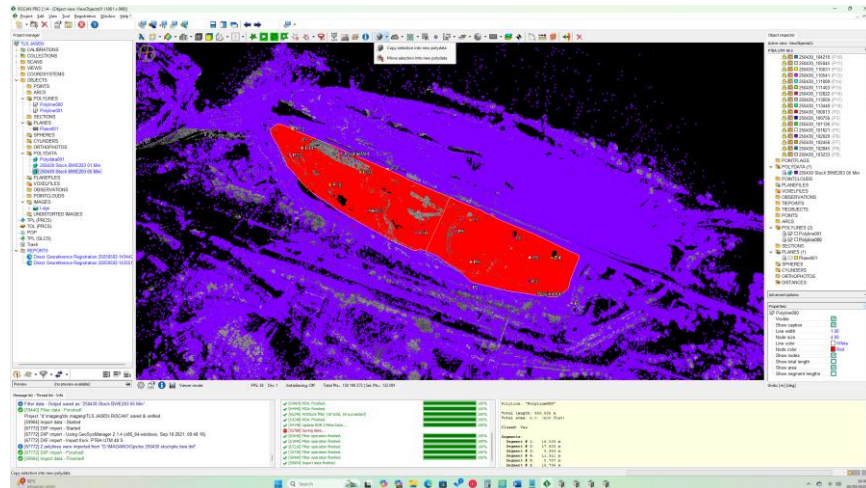
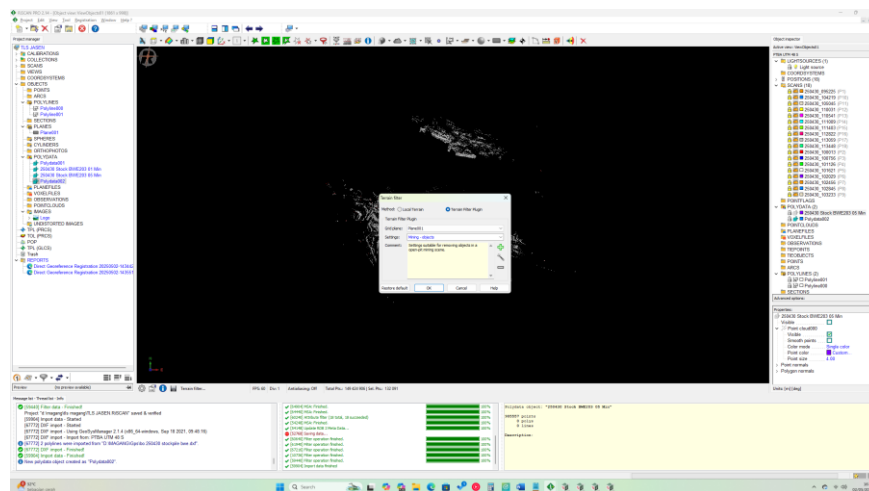
Gambar 30 Proses *Create Plane*

5) *Eliminated data*

Tahap *eliminate data* dilakukan untuk membersihkan *point cloud* dari titik-titik yang tidak diperlukan. Biasanya terdapat titik yang berada di luar batas *area* pengukuran (*boundary*), misalnya pantulan dari objek di luar *area* studi atau hasil pantulan yang terlalu jauh.

Selain itu, ada juga titik-titik yang posisinya tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya akibat *noise*, gangguan pantulan, atau pergerakan objek saat pemindaian. Jika dibiarkan, titik-titik tersebut dapat memengaruhi ketelitian hasil registrasi maupun perhitungan lanjutan.

Oleh karena itu, dilakukan proses seleksi dan penghapusan data yang tidak relevan agar *point cloud* menjadi lebih bersih, fokus pada *area* yang dianalisis, dan lebih akurat dalam merepresentasikan kondisi lapangan sebenarnya.

Gambar 31 Proses *Cropping* data TLSGambar 32 Proses *Filtering* data TLS

3.6.4 Perhitungan Volume

Pengolahan selanjutnya, menghitung volume *stockpile* menggunakan metode perhitungan *prismoidal 2 section*, pengolahan ini menggunakan *software 12D model*. Data yang diperlukan dalam menghitung volume adalah:

1. *Dense cloud* yang telah difilterisasi (.dxf).

Dense cloud yang telah difilter dilakukan *import* ke *12D Model* dengan format .dxf.

2. *Polyline boundary*.

Polyline yang digunakan saat melakukan pemotongan *boundary* di *Riscan pro*.

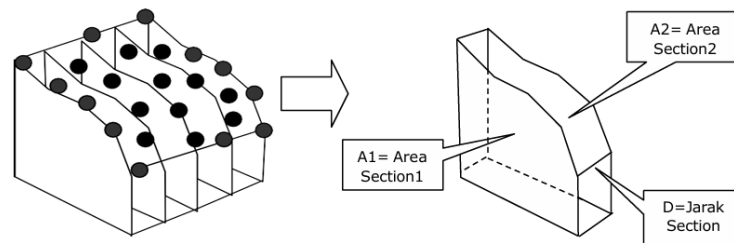
3. *Baseline*.

Baseline dibuat segaris dengan *model TIN* yang ingin dihitung. *Baseline* berfungsi untuk membagi *section* perhitungan. Pada penelitian ini, menghitung volume dengan membagi 1 meter per *section*-nya.

4. *Data original stockpile*.

Data ini sebagai penampang pada saat melakukan perhitungan. Data *original* ini diambil pada saat sebelum pembukaan lokasi *stockpile* dimana *stockpile* tersebut masih kosong dan tidak ada batu bara.

Software 12D Model memiliki dua metode perhitungan, yaitu metode *exact* dan metode *end area*, dengan beberapa aplikasi hitungan volume. Pada penelitian ini menggunakan metode perhitungan *End Area* dengan cara perhitungan *Prismoidal*. Dikarenakan, metode dan cara perhitungan ini menggunakan konsep *section* yang sangat cocok digunakan untuk permukaan *stockpile* yang tidak beraturan. Perhitungan ini menggunakan konsep prisma yang tidak beraturan.



Gambar 33 Ilustrasi perhitungan metode *Prismoidal*

Pada perhitungan volume *stockpile* ini juga menggunakan aplikasi perhitungan *String Tin to Tin*. Dikarenakan, aplikasi ini digunakan untuk menghitung volume antara dua buah *surface (tin)* dengan menggunakan satu kerangka *long section* yang telah ditentukan, sehingga *cross section* di kedua *tin* mempunyai posisi koordinat yang sama.

3.7 Tahapan Analisis

Perbandingan hasil volume ini dilakukan antara hasil pengolahan foto udara dengan data pembanding, yaitu hasil volume pengukuran menggunakan *Terrestrial Laser Scanner (TLS)* sesuai dengan standar ASTM D6172-98

dengan batas toleransi $>2\%$ (nilai *industry accepted error*). Persentase selisih volume dilakukan perhitungan dengan rumus 2.

V .KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perbandingan antara data pengukuran volume *stockpile* batubara menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dan *Terrestrial Laser Scanner* (TLS), dapat disimpulkan bahwa

1. Uji akurasi geometri terhadap data hasil akuisisi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) *fixed-wings Wingtra One Gen II* berbasis *Post Processing Kinematic* (PPK) menunjukkan bahwa nilai ketelitian horizontal CE90 (0,046 m) dan vertikal LE90 (0,11 m) telah memenuhi standar ketelitian geometri yang ditetapkan dalam Peraturan Kepala Badan informasi Geospasial (PERKABIG) Nomor 18 Tahun 2021 skala 1:1.000 kelas 1. Hal ini membuktikan bahwa data yang dihasilkan UAV memiliki akurasi geometri yang memenuhi standar untuk kebutuhan pemetaan dan perhitungan volume.
2. Hasil perhitungan volume *stockpile* batubara menggunakan UAV dengan data *Terrestrial Laser Scanner* (TLS) menunjukkan selisih volume sebesar 413,176 m³ atau 0,41% pada *stockpile* bagian selatan–timur dan 309,408 m³ atau 0,43% pada *stockpile* bagian selatan–barat. Nilai selisih tersebut masih berada dalam batas toleransi *Industry Accepted Error* sebesar 2% sesuai dengan ASTM D6172-98. Menurut hasil analisis, data hasil akuisisi menggunakan wahana UAV layak digunakan sebagai alternatif perhitungan volume *stockpile* batubara.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat menjadi pertimbangan untuk penelitian selanjutnya guna memperdalam uji kelayakan data perhitungan volume *stockpile* batubara hasil akuisisi data *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) terhadap data *Terrestrial Laser Scanner* (TLS)

1. Pembuatan *Pre-mark* dengan warna yang kontras yang disesuaikan dengan penggunaan di wilayah pertambangan batubara, warna yang kontras akan memberikan kemudahan saat marking *Ground control point* pada hasil akuisisi data foto udara serta warna yang kontras akan mengurangi kesalahan pada manusia sehingga menimbulkan *control point error* yang cukup besar.
2. Perbandingan TLS dan UAV diteliti lebih lanjut terkait akurasi vertikal dengan UAV terbang secara *oblique*, sehingga dapat mendapatkan solusi terkait permasalahan akurasi vertikal.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar. 2018. Studi Pengukuran Volumetrik Timbunan Dengan Menggunakan Instrumen *Terrestrial Lasser Scanner, Total Station, Dan Gps Rtk*, Surabaya. <https://repository.its.ac.id>
- ASTM D6172-98. 1998. *Standard Test Method for Determining the Volume of Bulk Materials Using Contours or Cross Sections Created by Direct Operator Compilation Using Photogrammetric Procedures*
- Anastasia, A., 2025. Analisis Perbandingan Volume *Stockpile* Dan Akurasi Planimetrik Menggunakan *Ground Control Point* Dan *Direct Georeferencing* Dengan *Multiple Reference Gns Base* (Cors Dan Lokal), Bandar Lampung. <https://digilib.unila.ac.id/>
- Barus, L. J. N., Irvani, I., dan Guskarnali, G. 2023. Pemanfaatan Data *Drone* Dan Terestris Untuk Menghitung Volume Cadangan Batu Granit In Situ Dalam Rangka Menentukan Arah Kemajuan Tambang Pt Aditya Buana Inter Kabupaten Bangka. Vol. 7, pp. 53-58
- Bohn, R., Lowe, T., Devereux, T., Johnson, S. M., Rochelmeyer, E., Hutley, L. B., Doody, T., and Levick, S. R. 2025. *Assessing the reliability of woody vegetation structural characterisation from UAV-LS in a tropical savanna. Science of Remote Sensing*
- Hardianti, S., Maryana, dan Dilariya. 2025. Analisis Perbandingan Kuantitas Batubara Antara *Drone Dji Phantom 4 RTK* Dengan *Terrestrial Laserr Scanner* Pada *Stockpile LS DH5* (*Comparative Analysis of Coal Quantity Between DJI Phantom 4 RTK Drone and Terrestrial Laser Scanner on LS DH5 Stockpile*) (Vol. 10, Issue 1).
- Itsnni SM, A., Riansyah, dan Sutaji, A. A. M. 2024. Perhitungan Tonase *Stockpile* Batubara Metode Cut and Fill Menggunakan Aplikasi Minescape. *Journal of Geomatics Engineering, Technology, and Science*, 2(2), 41–49. <https://doi.org/10.51967/gets.v2i2.36>

- Khomsin, Danar G. P., dan Achmad F. A. 2018. Analisa perbandingan volume dan ketelitian icp dari 3's (TS, GNSS, dan TLS). *Jurnal Geoid*. Vol. 14. No.1, 2018 (112-123)
- Maulidin, R. F. 2016. Studi Penentuan Volume Dengan *Total Station* Dan *Terrestrial Laser Scanner* . <https://repository.its.ac.id>
- Novita, D. 2017. Analisis Perbandingan Dtm (*Digital Terrain Model*) Dari Lidar (*Light Detection And Ranging*) Dan Foto Udara Dalam Pembuatan Kontur Peta Rupa Bumi Indonesia, Surabaya. <https://repository.its.ac.id>
- Peraturan BIG Nomor 18 Tahun 2021. Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar.
- Purwati, D. N. 2020. Pengukuran Topografi Untuk Menghitung Volume *Cut And Fill* Pada Perencanaan Pembangunan Perumahan Di Km. 10, Kota Balikpapan. <https://ojsmhs.poltekba.ac.id/ojs/index.php/jutateks>
- Putrawiyanta, I Putu., 2024. Perhitungan Volume Dengan Permodelan *Software Terramodel* Terhadap *Stockpile* Batubara, Palangka raya, Vol.24, Nomor 1. (Vol. 24, Issue 1).
- Putri, K. M., Subiyanto, S., dan Suprayogi, A. 2017. Pembuatan Peta Wisata Digital 3 Dimensi Obyek Wisata *Brown Canyon* Secara Interaktif Dengan Menggunakan Wahana *Unmanned Aerial Vehicle* (Uav). In *Jurnal Geodesi Undip Januari* (Vol.6, Issue 1).
- Reshetyuk, Y. 2009. *Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning, Stockholm, LIPI*.
- Sari. 2016. Analisa Geometrik *True Orthophoto* Data Lidar, Surabaya. <https://repository.its.ac.id>
- Sugandhi, N., Rakuasa, H., Abdul Wahab, W., Jaelani, A., dan Rinaldi, M. 2023. Pemanfaatan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) Untuk Pemetaan Penggunaan Lahan di Sekitar Waduk Pondok Ranggon, Provinsi DKI Jakarta, Vol.2, Nomor.7. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(7).
- Ramadhan, M. G., Sumarno, dan Yuhanafia, N. 2020. Perbandingan Perhitungan Volume *Stockpile* Hasil Pengukuran *Unmanned Aerial Vehicle* (Uav) Dan Pengukuran *Electronic Total Station* (Ets), Cirebon. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*.
- Vidyan, Y., Abidin, H. Z., Gumilar, I., dan Haerani, N. 2013. Pemanfaatan metode TLS (*Terrestrial Laser Scanning*) untuk pemantauan deformasi gunung api. Studi kasus: kerucut sinder Gunung Galunggung, Jawa Barat. <https://www.researchgate.net/publication/322655718>
- Wingtra AG. 2024. *WingtraOne Gen II technical specifications*. Wingtra AG.

- Winardi. 2006. Penentuan Posisi Dengan Gps Untuk Survei Terumbu Karang
Winardi Puslit Oseanografi-LIPI. www.academia.edu
- Wolf, P. R. 1983. Elemen Fotogrametri Dengan Interpretasi Foto Udara dan
Penginderaan Jauh. Penerjemah: Gunadi, Gunawan, T., Zuharnen, Edisi
kedua, *Gajah Mada University Press*, Yogyakarta, *LIPI*.
- Zhang, H., Aldana-Jague, E., Clapuyt, F., Wilken, F., Vanacker, V., and Van Oost,
K. 2019. *Evaluating the potential of post-processing kinematic (PPK)
georeferencing for UAV-based structure-from-motion (SfM) photogrammetry
and surface change detection*. *Earth Surface Dynamics*, 7(3), 807–827.
<https://doi.org/10.5194/esurf-7-807-2019>