

**PERMODELAN DAN PERHITUNGAN VOLUME SAMPAH
DENGAN WAHANA UAV (*UNMANNED AERIAL VEHICLE*)
PADA TPA REGIONAL BLANG BINTANG**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

**FADHIL FAJRUL SIDIK
NIM. 180702077
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH
2023 M/1444 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

PERMODELAN DAN PERHITUNGAN VOLUME SAMPAH DENGAN WAHANA UAV (*UNMANNED AERIAL VEHICLE*) PADA TPA REGIONAL BLANG BINTANG

TUGAS AKHIR

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai salah satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh:

FADHIL FAJRUL SIDIK

NIM. 180702077

Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry

Disetujui untuk Dimunaqasyahkan Oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II



Yeggi Darnas S.T., M.T

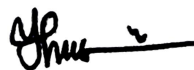
NIDN. 2020067905

Dr. Eng. Ir. Hafizhul Khair AM, S.T., M.T

NIDN. 0012088701

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



Husnawati Yahya, M.Sc

NIDN. 2009118301

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PERMODELAN DAN PERHITUNGAN VOLUME SAMPAH DENGAN WAHANA UAV (*UNMANNED AERIAL VEHICLE*) PADA TPA REGIONAL BLANG BINTANG

TUGAS AKHIR

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
serta Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan Kelulusan Program Sarjana Teknik
(S-1) dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Kamis/21 Desember 2023
8 Jumadil Akhir 1445 H

Panitia Ujian Munqasyah Skripsi

Ketua

Yeggi Darnas S.T., M.T
NIDN. 2020067905

Sekretaris

Dr. Eng. Ir. Hafizhul Khair AM, S.T., M.T
NIDN. 0012088701

Penguji I

Dr. Muhammad Nizar, S.T., M.T
NIDN. 012205702

Penguji II

Arief Rahman, S.T., M.T
NIDN. 2010038901

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU
NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fadhil Fajrul Sidik
NIM : 180702077
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul : Permodelan dan Perhitungan Volume Sampah dengan Wahana UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) pada TPA Regional Blang Bintang.

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan tugas akhir ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.

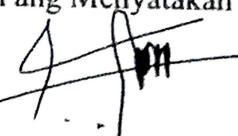
Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 17 Desember 2023

Yang Menyatakan




Fadhil Fajrul Sidik

NIM.180702077

ABSTRAK

Nama : Fadhil Fajrul Sidik
NIM : 180207077
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Permodelan dan Perhitungan Volume Sampah dengan Wahana UAV (*Unamanned Aerial Vehicle*) pada TPA Regional Blang Bintang
Tanggal Sidang : 21 Desember 2023
Judul Halaman :
Pembimbing I : Ir. Yeggi Darnas, S.T., M.T.
Pembimbing II : Dr. Eng. Ir. Hafizhul Khair AM, S.T., M.T.
Kata Kunci : Volume Sampah, Tempat Pemrosesan Akhir (TPA), Fotogrametri, *Landfill*.

Setiap tempat pemrosesan akhir (TPA) memiliki masa operasional yang telah direncanakan dapat dilihat dari daya tampung lahan dan timbunan sampah yang masuk ke TPA. Maka diperlukan perhitungan volume saat ini guna untuk mengetahui volume sampah sebenarnya yang tertampung pada *landfill* setelah mengalami dekomposisi dan kompaksi yang mengakibatkan penurunan angka volume sampah pada *landfill*. Survei fotogrametri merupakan sebuah metode untuk menggantikan metode konvensional yang terkadang tidak bisa mewakili suatu area. Penelitian ini menyajikan data dalam bentuk 2D dan 3D. Permodelan 2D dapat membentuk topografi pada area *landfill* dengan kondisi *real time* dan lebih detail, sehingga dapat melakukan pemantauan pada kondisi *landfill*. Permodelan 3D menghasilkan data DEM (*Digital Elevation Model*) sehingga dapat mengetahui volume sampah yang tertampung pada area *landfill*. Data yang didapatkan dari metode fotogrametri dengan data yang tertimbang pada TPA Regional Blang Bintang, menjadi acuan untuk menentukan sisa umur pakai TPA Regional Blang Bintang setelah mengalami faktor pemadatan. Hasil Peta kawasan yang dihasilkan menggunakan metode fotogrametri pada ketinggian 80 m dengan GSD 4 cm/piksel dalam skala peta 1:1.250 sangat jelas dan akurat sehingga kegiatan pemantauan dan evaluasi dapat dilakukan dengan efisien. Berdasarkan data DEM terkontrol (titik kontrol tanah) dengan GNSS didapat hasil perhitungan volume sampah zona 1 adalah 38.714,53 m³ dengan status masih aktif, volume sampah zona 2 adalah 49.828,98 m³ status tidak aktif, volume sampah zona 3 adalah 61.546,61 m³ dengan status aktif dan volume sampah zona 4 adalah 14.337,42 m³ dengan status aktif. Sisa umur pakai TPA Regional Blang Bintang setelah mengalami faktor pemadatan akan berakhir pada tahun 2027 bulan Juli hari ke-12.

ABSTRACT

Name : Fadhil Fajrul Sidik
Student ID Number : 180702077
Departemen : *Environmental Engineering*
Title : *Modeling and Calculation of Waste Volume using UAV (Unmanned Aerial Vehicle) at Blang Bintang Regional Landfill*
Date of session : 21 December 2023
Number of Pages :
Advisor I : Ir. Yeggi Darnas, S.T., M.T.
Advisor II : Dr. Eng. Ir. Hafizhul Khair AM, S.T., M.T.
Keywords : *Waste Volume, Final Processing Site (TPA), Photogrammetry, Landfill.*

Each final processing site (TPA) has a planned operational period which can be seen from the land capacity and waste generation entering the TPA. So it is necessary to calculate the current volume in order to find out the actual volume of waste stored in the landfill after experiencing decomposition and compaction which results in a decrease in the volume of waste in the landfill. Photogrammetric survey is a method to replace conventional methods which sometimes cannot represent an area. This research presents data in 2D and 3D form. 2D modeling can form the topography of the landfill area in real time and in more detail, so that it can monitor landfill conditions. 3D modeling produces DEM (Digital Elevation Model) data so that you can determine the volume of waste stored in the landfill area. Data obtained from the photogrammetric method with weighted data at the Blang Bintang Regional Landfill, is a reference for determining the remaining useful life of the Blang Bintang Regional Landfill after experiencing compaction factors. Results: The regional map produced using the photogrammetric method at a height of 80 m with a GSD of 4 cm/pixel at a map scale of 1:1,250 is very clear and accurate so that monitoring and evaluation activities can be carried out efficiently. Based on controlled DEM data (ground control points) with GNSS, the calculation results for zone 1 waste volume were 38,714.53 m³ with active status, zone 2 waste volume was 49,828.98 m³ with inactive status, zone 3 waste volume was 61,546.61 m³ with active status and zone 4 waste volume is 14,337.42 m³ with active status. The remaining useful life of the Blang Bintang Regional Landfill after experiencing compaction factors will end in 2027 on the 12th day of July.

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah Swt yang telah melimpahkan segala karunia-Nya yang tidak terhingga, khususnya nikmat iman dan islam yang dengan keduanya diperoleh kebahagiaan dunia dan akhirat. Selawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad saw dan atas keluarga, sahabat beliau serta orang-orang yang mengikuti jejak langkah mereka itu hingga akhir zaman.

Dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah Swt penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Permodelan dan Perhitungan Volume Sampah dengan Wahana UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) pada TPA Regional Blang Bintang”** dengan baik yang merupakan salah satu syarat untuk syarat kelulusan mata kuliah tugas akhir pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry salam bersertakan selawat penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad saw yang telah membawa risalah islam hingga mampu menjadi panduan kehidupan dalam bentuk pengetahuan ilmu kita baik di dunia maupun akhirat. Pada proses penyusunan tugas akhir ini penulis sadar betul tugas akhir ini sepenuhnya sangat sulit terbentuk tanpa adanya dukungan, bimbingan, bantuan dan doa dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung, oleh karena itu pada kesempatan saat ini penulis mengucapkan terima kasih.

1. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc. Selaku ketua Prodi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry dan selaku pembimbing akademik atas kesempatan dan bantuan yang diberikan kepada penulis.
2. Bapak Aulia Rohedi, S.T., M.Sc. Selaku sekretaris Prodi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ibu Ir. Yeggi Darnas, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I (satu) yang telah banyak membantu dan membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

4. Bapak Dr, Eng. Ir. Hafizhul Khair AM, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II (dua) yang telah banyak membantu dan membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Asnawi Ahmad, S. Hut., M.Si selaku Kepala Seksi Pengolahan dan Pemrosesan Akhir TPA Regional Blang Bintang, yang telah banyak membantu dan membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Orang tua beserta keluarga yang telah memberikan dukungan, teguran dan doa yang tiada henti untuk penulis.
7. Teman-teman yang telah membantu penulis dalam mempersiapkan penulisan tugas akhir dan membantu memberikan referensi penulisan dan referensi teori dalam penulisan para sahabat dan teman yang selalu membantu dan memberikan semangat.
8. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis berharap Allah Swt berkenan membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak khususnya bagi perkembangan ilmu pengetahuan di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun tetap penulis harapkan untuk lebih menyempurnakan penulisan tugas akhir ini.

AR - R A N I R Banda Aceh, 02 November 2023

Penulis,

Fadhil Fajrul Sidik
NIM. 180702077

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Fotogrametri.....	4
2.1.1 Pengertian Fotogrametri.....	4
2.1.2 Prinsip Dasar Fotogrametri	5
2.1.3 Kalibrasi Kamera	5
2.2 <i>Ground Sampling Distance</i> (GSD)	6
2.3 <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (UAV).....	6
2.4 Jalur Terbang.....	7
2.4.1 Pertampalan Depan (<i>Overlap</i>)	7
2.4.2 Pertampalan Samping (<i>sidelap</i>)	8
2.4.3 Luas Perekaman	8
2.4.4 Tinggi Terbang.....	9
2.4.5 Jarak Antar Jalur Terbang.....	9
2.4.6 Interval Waktu Pemotretan	9
2.4.7 Jumlah Jalur Terbang.....	9
2.5 Titik Kontrol Tanah.....	9
2.5.1 <i>Global Positioning Sytem</i> (GPS)	10

2.5.2	<i>Global Navigation Satellite System (GNSS)</i>	10
2.5.2.1	<i>Real Time Kinematic (RTK)</i>	11
2.5.2.1	<i>Post Processing Kinematik (PPK)</i>	11
2.6	Permodelan 3D.....	12
2.6.1	Tahap <i>Alignment</i>	12
2.6.2	Tahap Membangun <i>Dense Point Cloud</i>	12
2.6.3	Tahap Membangun <i>Mesh</i>	13
2.6.4	Tahap Pemberian Tekstur Pada Objek.....	13
2.7	<i>Digital Elevation Model (DEM)</i>	13
2.7.1	<i>Digital Surface Model (DSM)</i>	13
2.7.2	<i>Digital Terrain Model (DTM)</i>	14
2.8	Mosaik Foto	15
2.8.1	Mosaik Tidak Terkontrol	15
2.8.2	Mosaik Semi Terkontrol	15
2.8.3	Mosaik Terkontrol	15
2.9	<i>Orthophoto</i>	16
2.10	Perhitungan Volume.....	17
2.10.1	Metode Irisan Melintang (<i>Cross Section</i>)	17
2.10.2	Metode Garis Kontur	18
2.10.3	Metode <i>Cut and Fill</i>	19
2.11	Pengertian Sampah.....	20
2.12	Timbulan Sampah	21
2.13	Tempat Pemrosesan Akhir (TPA).....	22
2.13.1	<i>Sanitary landfill</i>	22
2.13.2	Penutupan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA).....	23
BAB III METODELOGI PENELITIAN		25
3.1	Lokasi Penelitian.....	25
3.2	Alat dan Bahan Penelitian.....	27
3.3	Tahapan Penelitian	28
3.3.1	Studi Literasi.....	29
3.3.2	Survei Lapangan	29
3.3.3	Penentuan Titik Ikat.....	29
3.3.4	Perencanaan misi	30
3.3.5	Pengambilan Data	32

3.3.6 Pengolahan Data	34
3.3.7 Analisis Data.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Analisis UAV (<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>) dan Pembentukan Topografi.....	37
4.1.1 Karakteristik Pesawat Terbang Tanpa Awak.....	37
4.1.2 Kalibrasi Kamera	37
4.1.3 Detail Misi Terbang	38
4.1.3.1 <i>Ground Sampling Distance (GSD)</i>	38
4.1.3.2 Luas Perekaman	38
4.1.3.3 Interval Waktu Pemotretan	39
4.1.3.4 Jarak Antar Jalur Terbang	40
4.1.3.5 Jalur Terbang.....	40
4.1.4 Pengolahan Titik Kontrol Tanah.....	41
4.1.5 Pengolahan Model Topografi.....	43
4.1.5.1 <i>Align Photos</i>	43
4.1.5.2 Digitasi Koordinat GNSS.....	44
4.1.5.3 <i>Build Mesh</i>	44
4.1.5.4 <i>Build Digital Elevation Model (DEM)</i>	45
4.1.6 <i>Orthophoto</i>	46
4.2 Analisis Volume Sampah.....	47
4.2.1 Volume Sampah yang Masuk ke TPA.....	47
4.2.2 Perhitungan Volume Foto Udara.....	47
4.2.3 Perhitungan Volume Lahan Urug.....	51
4.3 Analisis Masa Umur Pakai TPA	52
4.3.1 Proyeksi Volume Sampah.....	52
4.3.2 Faktor Pematatan.....	53
4.3.3 Masa Umur Pakai TPA	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN A DATA PENELITIAN.....	65
LAMPIRAN B PERHITUNGAN	69
LAMPIRAN C DOKUMETASI LAPANGAN	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Fotogrametri	4
Gambar 2.2 Kondisi Kolinearitas	5
Gambar 2.3 Pertampalan ke Depan	7
Gambar 2.4 Pertampalan ke Samping	8
Gambar 2.5 <i>Premark</i> Titik Kontrol Tanah Media Plox	10
Gambar 2.6 Proses <i>Real Time Kinematic</i> (RTK)	11
Gambar 2.7 Proses <i>Post Processing Kinematic</i> (PPK).....	12
Gambar 2.8 <i>Digital Surface Model</i> (DSM)	13
Gambar 2.9 <i>Digital Terrain Model</i> (DTM).....	14
Gambar 2.10 Tampilan Foto.....	15
Gambar 2.11 <i>Orthophoto</i>	17
Gambar 2.12 Penentuan Volume dengan Metode Potongan Melintang Rata-Rata	18
Gambar 2.13 Penentuan Volume dengan Garis Kontur	19
Gambar 2.14 Perhitungan Volume dengan <i>Metode Cut and Fill</i>	20
Gambar 2.15 Skema <i>Sanitary Landfill</i>	23
Gambar 3.1 Peta Administrasi Kabupaten Aceh Besar.....	25
Gambar 3.2 Peta Lokasi Penelitian.....	26
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian.....	28
Gambar 3.4 <i>Overlap</i> dan <i>Sidelap</i>	31
Gambar 3.6 Diagram Alir Pengolahan Data.....	34
Gambar 4. 1 DJI Mavic 2 Pro.....	37
Gambar 4. 2 <i>Ground Sampling Distance</i> (GSD).....	38
Gambar 4. 3 Jalur Terbang dan Sebaran Foto Perekaman Drone	40
Gambar 4. 4 Lokasi Titik Tontrol Tanah dengan GNSS.....	41
Gambar 4. 5 Foto Udara Sudut 45° (Gambar 1) dan Sudut 90° (Gambar 2).....	43
Gambar 4. 6 Tampilan <i>Align Photos</i> Tampak depan (gambar 1) dan tampak sampin (gambar 2).....	44
Gambar 4. 7 Tampilan <i>Build Mesh</i>	45
Gambar 4. 8 Tampilan <i>Digital Elevation Model</i> (DEM).....	45

Gambar 4. 9 Tampilan <i>Orthophoto</i> 2D	46
Gambar 4. 10 Tampilan <i>Ortophoto</i> 3D	46
Gambar 4.11 Grafik Jumlah Sampah yang Masuk ke TPA Regional Blang Bintang 2015-2023	47
Gambar 4. 12 Tampilan <i>Digital Terrain Model</i> (DTM).....	48
Gambar 4.13 Tampilan DTM pada <i>Software Global Mapper</i>	49
Gambar 4. 14 Pembagian Zona <i>Landfill</i>	50
Gambar 4.15 <i>Detail Engeneering Design</i> (DED) TPA Regional Blang Bintang.....	51
Gambar 4. 16 Grafik Proyeksi Volume Timbulan Sampah TPA Regional Blang Bintang Tahun 2023-2028.....	53



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Penelitian	27
Tabel 3.2 Standar nilai GSD.....	30
Tabel 3.3 Nilai GSD yang didapatkan menggunakan <i>Software Drone Deploy</i> ...	31
Tabel 3.4 Parameter Misi Terbang	32
Tabel 4.1 Detail Misi Terbang	41
Tabel 4.2 Koordinat Titik Kontrol Tanah Hasil Pengukuran Lapangan	42
Tabel 4.3 Titik Kontrol Tanah dalam <i>Universal Transverse Mercator</i> (UTM).	42
Tabel 4.4 Pergeseran Koordnat Titik Kontrol Tanah	42
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Volume	49
Tabel 4.6 Volume Sampah Setelah Terpadatkan di TPA Regional Blang Bintang	54
Tabel 4.7 Perhitungan masa umur pakai TPA Setelah Faktor Pemadatan	55



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Undang-undang Nomor 18 Tahun 2008 tentang pengelolaan sampah menyatakan bahwa sampah merupakan sisa kegiatan sehari-hari manusia ataupun dari proses alam yang berbentuk padat yang kemudian bertempat proses terakhir di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). TPA merupakan tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan secara aman bagi manusia dan lingkungan.

TPA Regional Blang Bintang yang terletak pada Desa Data Makmur, Kecamatan Blang Bintang, Kabupaten Aceh Besar, secara geografis TPA Blang Bintang berada pada $5^{\circ} 31' 11''$ N, $95^{\circ} 28' 46''$ E. TPA Blang Bintang memiliki Luas lahan sebesar ± 206 Ha, pengolahan sampah yang dilakukan dari TPA Regional Blang Bintang bersumber dari Kabupaten Aceh Besar dan Kota Banda Aceh, dengan TPA Regional Blang Bintang sebagai pengganti dari TPA Gampong Jawa Kota Banda Aceh.

Setiap TPA memiliki masa operasional yang telah direncanakan dapat dilihat dari daya tampung lahan dan timbunan sampah yang masuk ke TPA. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 03/PRT/M/2013 Tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. Pasal 61 menjelaskan “Penutupan TPA dapat dilakukan jika memenuhi beberapa kriteria salah satu nya ialah, TPA telah penuh dan tidak dapat diperluas”. Maka diperlukan perhitungan volume saat ini guna untuk mengetahui volume sampah sebenarnya yang tertampung pada *landfill* setelah mengalami dekomposisi dan kompaksi yang mengakibatkan penurunan angka volume sampah pada *landfill*.

Perhitungan volume sampah dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu dengan menerapkan metode konvensional untuk mengetahui koordinat suatu titik dengan menggunakan alat ukur *theodolite* ataupun *total station*.

Pada survei konvensional hasil perhitungan volume yang mendekati volume sebenarnya sangat bergantung pada bentuk permukaan tanah semakin banyak sebaran titik pada setiap permukaan semakin mendekati hasil volume sebenarnya, dengan bertambahnya titik berarti akan menambah waktu dan biaya. Oleh sebab itu perhitungan volume dilakukan dengan menggunakan metode yang lebih efisien dan aman untuk kondisi tertentu, salah satunya dengan metode fotogrametri.

Survei fotogrametri merupakan sebuah metode untuk menggantikan metode konvensional yang terkadang tidak bisa mewakili suatu area, contoh kasus jika diperlukan perhitungan luasan longsor atau bahkan volume longsor maka metode konvensional tidak dapat diterapkan karena faktor keamanan. Hal tersebut dikarenakan lokasi longsor (timbunan longsor) sangat tidak aman untuk diambil titik-titik pengukuran.

Fotogrametri akan memberikan basis data dalam bentuk *Digital Elevation Model* (DEM) yang diinterpolasi dari foto udara dan direkam oleh suatu alat seperti satelit atau alat pemotretan udara. Alat pemotretan udara atau yang lebih di kenal dengan sebutan *drone*.

Drone dilengkapi sistem GPS yang membuat foto yang didapatkan memiliki informasi *longitude*, *latitude* dan *altitude* atau koordinat 3D (x, y dan z). Penentuan titik kontrol tanah juga dilakukan untuk memberikan referensi koordinat 3D (x, y dan z) terhadap hasil operasi *align photo*, sehingga model 3D yang terbentuk dapat diperbaiki kualitas geometriknya dan pada akhirnya mampu menghasilkan DEM dan *Orthophoto* yang akurat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana memodelkan topografi kawasan TPA Regional Blang Bintang dengan metode fotogrametri menggunakan wahana UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) dengan titik kontrol tanah menggunakan GNSS?
2. Bagaimana menghitung volume sampah yang didapatkan menggunakan metode fotogrametri pada TPA Regional Blang Bintang?
3. Bagaimana mengitung sisa masa pakai TPA Regional Blang Bintang menggunakan data survei fotogrametri?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan model topografi kawasan TPA Regional Blang Bintang dengan metode fotogrametri menggunakan wahana UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) dengan titik kontrol tanah menggunakan GNSS.
2. Menghitung volume sampah yang didapatkan menggunakan metode fotogrametri pada TPA Regional Blang Bintang.
3. Menghitung sisa masa pakai TPA Regional Blang Bintang menggunakan data survei fotogrametri.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini menyajikan data dalam bentuk 2D dan 3D. Permodelan 2D dapat membentuk topografi pada area *landfill* dengan kondisi *real time* dan lebih detail, sehingga dapat melakukan pemantauan pada kondisi *landfill*. Permodelan 3D menghasilkan data DEM (*Digital Elevation Model*) sehingga dapat mengetahui volume sampah yang tertampung pada area *landfill*.

Data yang didapatkan dari metode fotogrametri dengan data yang tertimbang pada TPA Regional Blang Bintang, menjadi acuan untuk menentukan sisa umur pakai TPA Regional Blang Bintang setelah mengalami faktor pemadatan.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memodelkan tampak topografi kawasan TPA Regional Blang Bintang dari metode fotogrametri menggunakan wahana UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*).
2. Menghitung dan membandingkan volume sampah dari metode fotogrametri menggunakan wahana UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) dengan volume sampah pada TPA Regional Blang Bintang.
3. Memproyeksikan volume sampah dan menghitung sisa masa pakai TPA Regional Blang Bintang.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

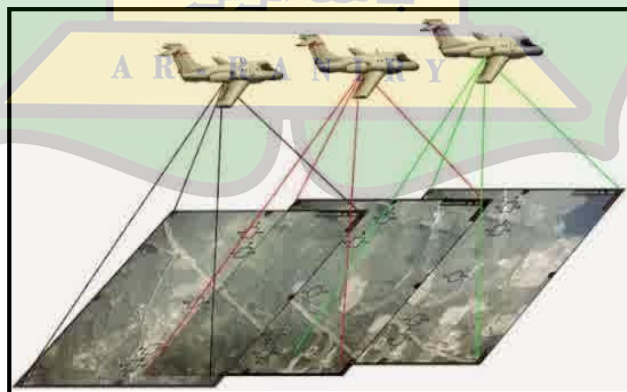
2.1 Fotogrametri

2.1.1 Pengertian Fotogrametri

Fotogrametri adalah seni, ilmu dan teknologi untuk memperoleh informasi tepercaya dari kondisi fisik dan lingkungan objek melalui proses perekaman, pengukuran dan interpretasi citra fotografik. Informasi dapat diperoleh dari perekaman energi radian elektromagnetik dan fenomena lainnya. Fotogrametri dapat melakukan pengukuran objek atau pemetaan daerah tanpa kontak langsung dengan objek yang direkam (Bambang, 2014).

Fotogrametri dasarnya menghasilkan pengukuran yang tepat dari objek tiga dimensi dan terrain fitur dari foto dua dimensi. Aplikasi dari metode ini adalah menghitung koordinat, perhitungan jarak, ketinggian, luas, dan volume. Lebih lanjut dapat diaplikasikan untuk menghasilkan peta topografi dan pembuatan data *digital elevation model* (DEM) dan *Orthophoto* (Bambang, 2014).

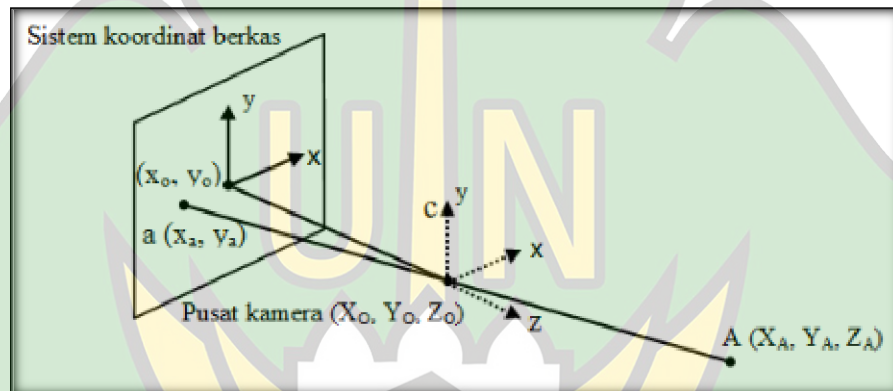
Salah satu teknik pengumpulan data objek 3D dapat dilakukan dengan menggunakan teknik fotogrametri. Teknik ini menggunakan foto udara sebagai sumber data utamanya. Foto udara hasil pemotretan menyediakan suatu alternatif dalam penyediaan informasi 3D yang akan digunakan dalam penentuan nilai tinggi suatu objek topografi misalnya bangunan. Kualitas informasi yang dihasilkan sangat tergantung dari kualitas citra sumber data tersebut (Prayogo, 2020)



Gambar 2.1 Prinsip Fotogrametri
(Sumber: Falcker dalam Halimi, 2018)

2.1.2 Prinsip Dasar Fotogrametri

Fotogrametri menerapkan prinsip kolinearitas (kesegarisan) yang dapat diartikan bahwa titik utama kamera, koordinat titik pada foto dan posisi 3 dimensi titik tersebut pada ruang berada pada satu garis lurus. Dalam fotogrametri, posisi dari sebuah objek pada ruang didefinisikan pada sistem koordinat kartesian 3D. Pada awalnya, objek didefinisikan pada sistem koordinat berkas. Kemudian dilakukan transformasi koordinat untuk mendapatkan koordinat pada sistem koordinat tanah. Kedua sistem tersebut terdapat perbedaan skala, sehingga transformasi koordinat terdiri dari translasi, rotasi dan perubahan skala (Wijayanto, 2016).



Gambar 2.2 Kondisi Kolinearitas
(Sumber: Wijayanto, 2016).

2.1.3 Kalibrasi Kamera

Kalibrasi kamera dalam pengukuran fotogrametri merupakan proses penentuan orientasi dalam dari sebuah kamera. Sebuah kamera dikatakan sudah terkalibrasi apabila parameter panjang fokus, *principle point* dan distorsi lensa telah diketahui, sebagai berikut (Wijayanto, 2016) :

a. Panjang Fokus

Panjang fokus adalah jarak tegak lurus antara titik pusat lensa (titik fokus) dengan bidang proyeksi kamera (CCD/CMOS) dalam kamera digital atau film dalam kamera analog. Nilai panjang fokus ini harus diketahui pada saat pengukuran objek, yang biasanya dinyatakan dalam satuan panjang (mm) dan dalam piksel.

b. *Principle Point*

Principle point merupakan titik utama hasil proyeksi tegak lurus titik pusat perspektif (titik pusat proyeksi) pada bidang foto. Titik ini merupakan titik utama pada sistem koordinat foto.

c. Distorsi Lensa

Distorsi menyebabkan tidak tepatnya proyeksi dari pusat perspektif lensa terhadap bidang foto sehingga letak proyeksinya tidak tepat pada pusat sistem koordinat foto. Distorsi menyebabkan ketidaksesuaian bentuk objek pada foto dengan objek di dunia nyata. Hal ini disebabkan karena lensa yang digunakan memiliki kualitas kurang baik sehingga terjadi perubahan arah sinar yang keluar dari lensa dan yang masuk menjadi tidak sejajar. Kesalahan tersebut akan menyebabkan penyimpangan geometri pada foto dengan objek yang sebenarnya.

2.2 *Ground Sampling Distance (GSD)*

Ground Sampling Distance (GSD) atau resolusi spasial tanah adalah ukuran terkecil dari objek yang terekam oleh kamera. Panjang dan lebar kamera berpengaruh pada luas cakupan perekaman. Panjang dan lebar sensor menentukan dalam menentukan panjang basis udara untuk memperoleh pertampalan yang diinginkan. GSD jarak sebenarnya di atas tanah yang diwakili tiap piksel pada foto udara. Berikut ini formula untuk mendapatkan nilai GSD foto udara (Aber dalam Khariul, 2018) :

$$GSD = Sz \times (H \text{ rata-rata} / f) \quad (1)$$

Keterangan :

GSD : *Ground sampling distance* (mm/pixel)

Sz : Ukuran sensor (mm/pixel)

H rata-rata : Tinggi terbang (mm)

f : Panjang fokus kamera (mm)

2.3 *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) atau dikenal juga dengan nama Pesawat Udara Nir Awak (PUNA) merupakan pesawat udara yang dapat beroperasi tanpa adanya awak pesawat. UAV beroperasi dengan adanya operator pengendali yang

ada diluar pesawat, sementara pesawat beroperasi secara otomatis sesuai komando dari operator pengendali (Auningsih, 2021).

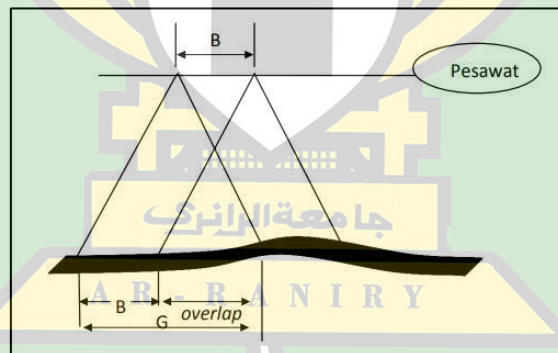
Pada umumnya pesawat tanpa awak terbagi menjadi 2 jenis yaitu, *fixed wing* dan *multirotor*. *Multirotor* ialah pesawat tanpa awak yang memiliki 2 rotor atau lebih. Jenis *multirotor* ini memanfaatkan baling-baling sebagai gaya angkat yang dihasilkan dari putaran motor yang terpasang propeller. *Quadcopter* dikenal juga dengan sebutan *drone* yang memiliki 4 (empat) motor yang dipasang simetris pada ujung-ujung kerangka utama.

2.4 Jalur Terbang

perencanaan jalur terbang yaitu foto-foto tersebut pada umumnya dibuat sedemikian sehingga daerah yang digambarkan foto udara yang berurutan didalam satu jalur terbang yang disebut pertampalan. Parameter yang perlu diperhatikan, antara lain (Falker dalam Halimi, 2018):

2.4.1 Pertampalan Depan (*Overlap*)

Tampalan ke depan (*overlap*) adalah tampalan kedepan antar foto yang berurutan sepanjang jalur terbang. Nilai minimal *overlap* pada metode fotogrametri yaitu 70% dan pada lahan yang tidak rata (gundukan, pegunungan dll) maka nilai *overlap* berubah, hal ini mempengaruhi pengolahan data pertampalan (Farid, 2019).



Gambar 2.3 Pertampalan ke Depan
(Sumber: Falker dalam Halimi, 2018)

Keterangan :

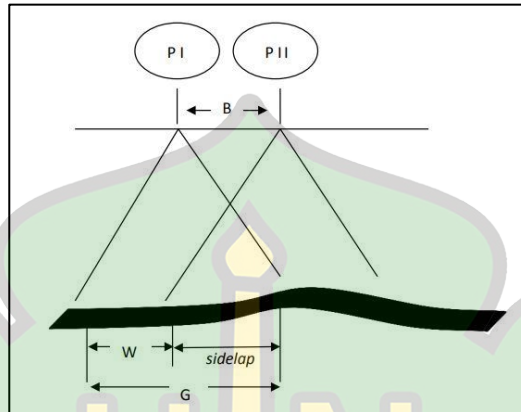
G = ukuran bujur sangkar medan pada sebuah foto tunggal.

B = basis atau jarak antara stasiun pemotretan.

PE = besarnya pertampalan dinyatakan dalam persen.

2.4.2 Pertampalan Samping (*sidelap*)

Pertampalan ke samping (*sidelap*) adalah pertampalan antara jalur terbang yang berdempitan secara berurutan. Nilai minimal pada *sidelap* pada metode fotogrametri yaitu 60%, pada nilai ini objek akan tercover oleh 7-9 foto (Farid, 2019).



Gambar 2.4 Pertampalan ke Samping
(Sumber: Falker dalam Halimi, 2018)

Keterangan :

- PI & PII = Pesawat yang berada pada jalur terbang 1 dan 2
- W = Jarak antara jalur terbang yang berurutan
- PS = Besarnya tampalan samping dinyatakan dalam persen.

2.4.3 Luas Perekaman

Luas perekaman dipengaruhi oleh ukuran sensor yang digunakan, ketinggian terbang dan skala yang di hasilkan. Skala (S) dapat diketahui dengan cara membagi ukuran piksel disensor (ps) dengan ukuran piksel di lapangan (GSD).

$$S = \frac{ps}{GSD} \quad (2)$$

Luas area perekaman (LA) dapat ditentukan oleh hasil kali panjang cakupan (P) dengan lebar cakupan (L) perekaman.

Panjang cakupan perekaman dinyatakan dengan persamaan :

$$P = \text{Panjang CMOS} \times S \quad (3)$$

Lebar cakupan perekaman dinyatakan dengan persamaan :

$$L = \text{Lebar CMOS} \times S \quad (4)$$

Setelah dihitung panjang cakupan (P) dan lebar cakupan (L), maka luas cakupan perekaman (La) dapat di hitung dengan persamaan :

$$LA = P \times L \quad (5)$$

2.4.4 Tinggi Terbang

Tinggi terbang (Hg) dapat ditentukan dengan mengetahui terlebih dahulu ukuran piksel pada sensor (ps), panjang fokus (f) kamera yang digunakan dan resolusi spasial (GSD) yang diinginkan.

$$Hg = \frac{GSD \times f}{ps} \quad (6)$$

2.4.5 Jarak Antar Jalur Terbang

Jarak antar jalur terbang (J) dipengaruhi oleh pertampalan ke samping (*sidelap*) dan panjang cakupan (P) perekaman sebagai penentu jarak pemotretan diantara setiap jalur. Jarak antar jalur terbang dapat ditentukan dengan persamaan :

$$J = P \times (1 - \textit{sidelap}) \quad (7)$$

2.4.6 Interval Waktu Pemotretan

Interval waktu pemotretan diatur sesuai dengan panjang basis udara (B) dan kecepatan (V=Km/jam). Sedangkan panjang basis udara dihitung dari skala foto dan pertampalan ke depan (*overlap*) yang ditetapkan. Interval waktu pemotretan dapat dihitung dengan:

$$B = \text{lebar cakupan} \times (1 - \textit{Overlap}) \quad (8)$$

$$Dt = \frac{B (m)}{(m/s)} \quad (9)$$

2.4.7 Jumlah Jalur Terbang

Jumlah jalur (ns) dipengaruhi oleh jarak antar jalur terbang (J), lebar wilayah (W), dan lebar cakupan perekaman (L). Jumlah strip dinyatakan dengan:

$$ns = \frac{W - L}{J} \quad (10)$$

2.5 Titik Kontrol Tanah

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

diperlukan GCP, sehingga ada keterkaitan antara sistem citra foto dengan sistem tanah (Tjahjadi, 2017)



Gambar 2.5 Premark Titik Kontrol Tanah Media Piloc
(Sumber: Dokumentasi)

2.5.1 Global Positioning System (GPS)

Global Positioning System (GPS) adalah suatu sistem radio navigasi yang menggunakan satelit yang saling berhubungan dan beredar pada orbitnya. Satelit-satelit yang digunakan pada GPS tersebut merupakan milik Departemen Pertahanan Amerika Serikat. Untuk mengetahui suatu posisi (koordinat) maka digunakan GPS *receiver* untuk menangkap sinyal dari satelit. Setiap posisi pada permukaan bumi diwakili oleh titik koordinat berupa lintang, bujur dan elevasi, setiap titik titik kontrol tanah akan diambil koordinatnya menggunakan GPS *receiver* (Abidin dalam Bambang, 2014).

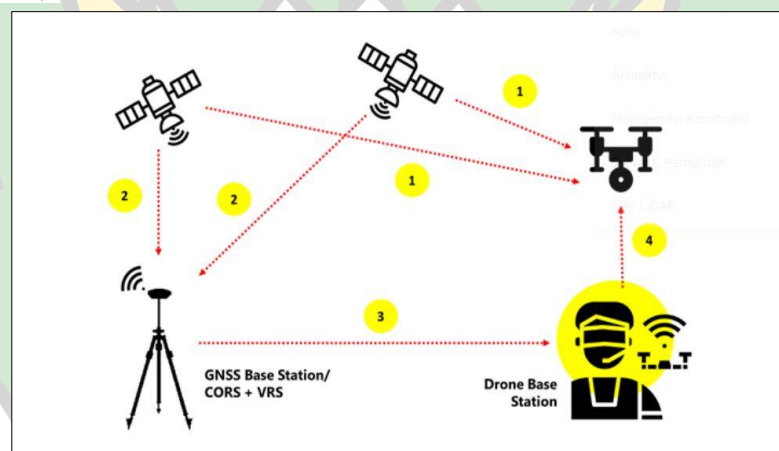
2.5.2 Global Navigation Satellite System (GNSS)

Global Navigation Satellite System (GNSS) adalah sistem navigasi yang digunakan untuk menentukan posisi di atas permukaan bumi. GNSS terdiri dari beberapa sistem satelit diantaranya adalah GPS milik Amerika Serikat, GLONASS milik Eropa, GALILEO milik Rusia, dan COMPASS milik China. GNSS tersebut merupakan teknologi yang digunakan untuk menentukan posisi atau lokasi (lintang, bujur, dan ketinggian) serta waktu dalam satuan ilmiah di bumi. Satelit akan mentransmisikan sinyal radio dengan frekuensi tinggi yang berisi data waktu dan posisi yang dapat diambil oleh penerima yang memungkinkan pengguna untuk mengetahui lokasi dimanapun di permukaan bumi (Hapsari, 2016).

2.5.2.1 Real Time Kinematic (RTK)

Real Time Kinematic (RTK) merupakan teknologi koreksi data lokasi yang memungkinkan untuk dilakukan secara *real time* pada saat *drone* menjalankan fungsi pemotretannya. *Drone* RTK membawa serta GNSS RTK *receiver* pada armada *drone* yang berfungsi untuk mengumpulkan data dari satelit dan stasiun pangkalan untuk secara akurat mengoreksi gambar lokasi bersamaan saat armada *drone* tersebut terbang (Asyah, 2020).

Data satelit kerap kali mengalami error dikarenakan penundaan troposfer dan menyediakan akurasi maksimal sekitar satu meter. Data dari pangkalan stasiun darat diperhitungkan untuk mengoreksi kesalahan sinyal satelit, membawa akurasi turun ke tingkatan centimeter (cm). Dalam perihal teknologi RTK, lancarnya jaringan komunikasi yang tidak terinterupsi merupakan sebuah persyaratan dari stasiun pangkalan GNSS, melalui stasiun pangkalan *drone* ke *drone* itu sendiri. Ketika *drone* mendarat, jika seluruh sinyal konstan dan stabil, data dengan akurasi yang absolut akan tersedia untuk proses selanjutnya yaitu hasil survey pemetaan (Asyah, 2020).



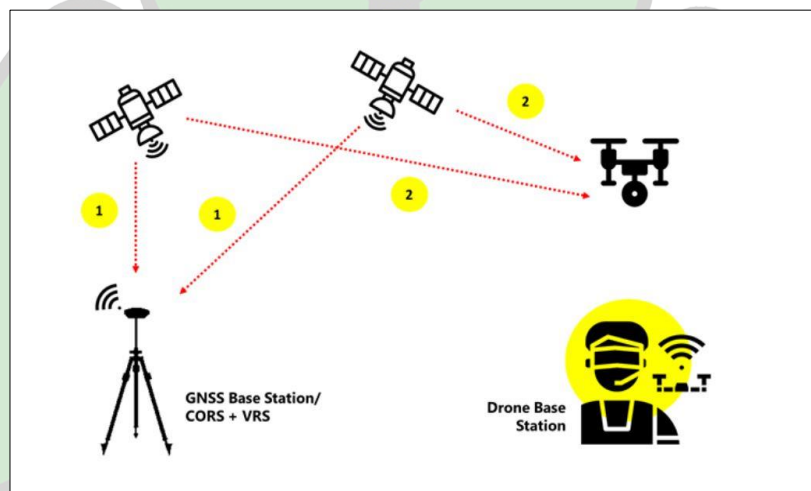
Gambar 2.6 Proses *Real Time Kinematic* (RTK)
(Sumber: PT. Handal Selaras, 2020)

2.5.2.1 Post Processing Kinematik (PPK)

PPK merupakan teknologi koreksi data lokasi setelah pengambilan data berupa pemotretan selesai dilaksanakan kemudian data tersebut haruslah diunggah ke dalam *cloud*. *Drone* PPK akan terbang bersama dengan GNSS PPK *receiver* yang berfungsi mengumpulkan data dari satelit dan mencatatnya untuk kebutuhan pengambilan data setelah penerbangan (Asyah, 2020).

Data satelit kerap kali mengalami error dikarenakan penundaan troposfer dan menyediakan akurasi data maksimal sekitar satu meter. Data satelit dari GNSS *receiver* dikumpulkan pada stasiun pangkalan dan setelah penerbangan berakhir data-data tersebut dikumpulkan dengan data *drone* untuk mengoreksi sinyal error satelit, membawa akurasi turun ke tingkatan centimeter (Asyah, 2020).

Dalam teknologi PPK, baik komunikasi data GNSS ke data *drone*, atau komunikasi data *drone* ke data koreksi *drone* sangatlah dibutuhkan. Ketika *drone* mendarat, proses koreksi harus diaplikasikan pada *software* yang sesuai. Data dengan akurasi yang absolut selanjutnya tersedia untuk tahap selanjutnya dan menghasilkan hasil survey pemetaan (Asyah, 2020).



Gambar 2.7 Proses *Post Processing Kinematic* (PPK)
(Sumber: PT. Handal Selaras, 2020)

2.6 Permodelan 3D

Permodelan 3D dalam grafis adalah representasi secara matematis oleh objek 3D yang pembuatannya menggunakan *software Agisoft Metashape*. Secara umum pembentukan model 3D dengan *software Agisoft Metashape* terdiri dari empat (4) tahap utama, yaitu (Wijayanto, 2016):

2.6.1 Tahap *Aligment*

Pada tahap ini diawali dengan proses *image matching*, serta menemukan posisi kamera pada jalur terbang yang telah ditentukan. Sehingga *sparse point cloud* dan formasi posisi kamera terbentuk.

2.6.2 Tahap Membangun *Dense Point Cloud*

Dense Point Cloud merupakan salah satu metode yang paling sesuai untuk memodelkan objek yang memiliki tekstur. Metode ini tergolong metode semi

otomatis karena proses pembentukan *point cloud* dapat dilakukan secara otomatis dengan melakukan pengaturan.

2.6.3 Tahap Membangun *Mesh*

Pembentukan *mesh* pada dasarnya merupakan pembentukan poligon di permukaan objek berdasarkan titik-titik *dense point cloud*. Poligon – poligon tersebut pada umumnya berbentuk segitiga dan segiempat yang kemudian digabungkan satu sama lain sehingga membentuk suatu permukaan objek yang solid.

2.6.4 Tahap Pemberian Tekstur Pada Objek

Pemberian tekstur dilakukan dengan memakai tekstur dari foto aslinya atau memberikan tekstur yang tersedia dalam *software* pengolahan data.

2.7 *Digital Elevation Model (DEM)*

Digital elevation model merupakan model permukaan merupakan model permukaan bumi yang terbentuk dari bumi yang terbentuk dari titik – titik yang memiliki nilai koordinat 3 dimensi (x, y dan z). Titik-titik tersebut dapat berupa titik sample permukaan bumi atau titik hasil interpolasi atau ekstrapolasi. *Digital elevation model (DEM)* dapat diperoleh dari berbagai macam sumber, seperti pengukuran langsung dilapangan, fotogrametri, digitasi peta topografi, dan dari sumber lain (Wijayanto, 2016).

2.7.1 *Digital Surface Model (DSM)*



Gambar 2.8 *Digital Surface Model (DSM)*
(Sumber: Software Agisoft Metashape, 2023)

Digital Surface Model (DSM) merupakan representasi permukaan bumi yang memuat lebih banyak informasi ketinggian termasuk semua objek yang berada di atas permukaan bumi seperti vegetasi, gedung, dan fitur lainnya. Perolehan data DSM bisa melalui data dari peta, *image matching* (Pencocokan citra), maupun pengukuran secara langsung di lapangan (Tjahjadi, 2017).

Pada proses pembuatan data *digital surface model (DSM)* dengan fotogrametri, semua objek yang ada pada permukaan bumi baik objek alami dan objek buatan manusia dianggap sebagai permukaan tanah. pohon, bangunan dan objek apa saja yang ada pada permukaan bumi pada saat melakukan foto udara akan dimodelkan sebagai data DSM (Tjahjadi, 2017).

2.7.2 Digital Terrain Model (DTM)

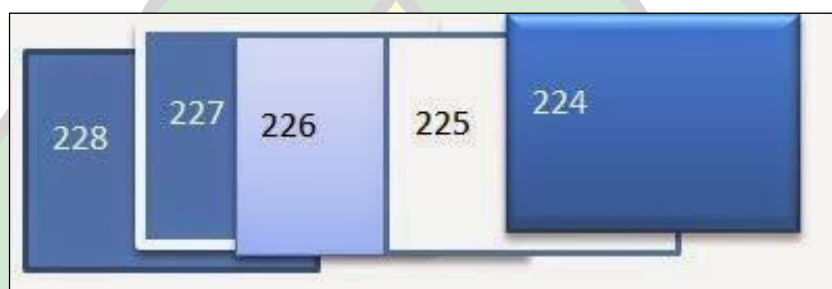
Digital Terrain Model (DTM) merupakan model medan digital yang hanya memuat informasi ketinggian permukaan tanah tanpa terpengaruh oleh vegetasi atau fitur buatan manusia lainnya. Untuk menghasilkan DTM diperlukan data ketinggian tanah yang diperoleh dari hasil penyaringan data *Digital Surface Model (DSM)*. Data foto udara merekam semua fitur yang berada di atas permukaan bumi termasuk bangunan dan tumbuhan. Untuk itu, perlu dilakukan klasifikasi untuk membedakan antara objek bangunan, tanah, serta vegetasi. Pengolahan yang dilakukan berupa pengklasifikasian terhadap data *ground* dan *non ground point* (bangunan dan vegetasi). Sehingga menghasilkan data *digital terrain model* yang hanya memiliki informasi ketinggian tanah (Tjahjadi, 2017).



Gambar 2.9 *Digital Terrain Model (DTM)*
(Sumber: Software Agisoft Metashape, 2023)

2.8 Mosaik Foto

Mosaik foto adalah hasil perakitan dari dua atau lebih foto yang saling *overlap* (tampalan kedepan) untuk membentuk suatu gambaran tunggal dari suatu daerah. Perakitan dilakukan dengan memotong dan menyambung bagian bagian foto yang *overlap* agar citra yang sama berimpit sedekat mungkin pada batas sambungan. Umumnya mosaik foto dirakit dari foto udara vertikal, namun terkadang juga dirakit dari foto miring. Jika dibuat dengan baik, akan memperlihatkan penampilan seperti suatu foto tunggal yang sangat besar (Wolf dalam Baruna, 2016).



Gambar 2.10 Tampalan Foto
(Sumber: Wolf dalam Baruna, 2016)

2.8.1 Mosaik Tidak Terkontrol

Dalam mosaik tidak terkontrol digunakan foto-foto yang belum dikoreksi atau foto asli hasil pemotretan langsung. Mosaik ini tidak memiliki titik kontrol yang digunakan untuk mengikat satu foto dengan foto lain yang bertampalan. Yang digunakan untuk mengikat adalah detail detail sesuai yang tertelak di daerah pertampalan, baik *overlap* maupun *sidelap* (Wolf dalam Baruna, 2016).

2.8.2 Mosaik Semi Terkontrol

Mosaik ini terdiri dari foto-foto udara yang sudah dan belum terkoreksi. Mosaik ini diorientasikan terhadap koordinat lapangan dengan cara mengikatkan titik-titik kontrol yang ada di atas foto dengan titik-titik kontrol tanahnya. Pengikatan antara satu foto dengan foto lainnya dilakukan dengan menempatkan detail-detail yang sesuai (Wolf dalam Baruna, 2016).

2.8.3 Mosaik Terkontrol

Foto-foto yang digunakan untuk disusun menjadi mosaik yang terkontrol adalah foto yang telah dikoreksi dengan cara rektifikasi. Pengikatan antar foto dilakukan dengan menggunakan titik kontrol, baik titik kontrol minor maupun titik

kontrol tanah. Mosaik yang terbentuk telah terikat atau terorientasi terhadap sistem koordinat yang diperoleh di lapangan dengan menggunakan GPS atau alat ukur lainnya (Wolf dalam Baruna, 2016).

Mosaik foto harus terkontrol dalam artian harus memiliki sistem koordinat, sehingga penggambaran secara utuh dari sebuah daerah memiliki sistem koordinat yang benar. Teknologi yang semakin berkembang juga telah membuat suatu foto memiliki koordinat referensi tanpa harus dikontrol, dalam hal ini diperoleh dari alat GPS *Real Time Kinematics* (RTK) yang terdapat pada *drone*. GPS tersebut akan memberikan kontrol koordinat pada setiap foto, sehingga ketika penyambungan foto yang memiliki nilai yang sama akan langsung terkontrol dan proses retifikasi pun dapat dilewati.

2.9 *Orthophoto*

Orthophoto adalah foto yang menyajikan gambaran obyek pada posisi ortografik yang benar. Oleh karena itu *Orthophoto* secara geometrik ekuivalen terhadap peta garis konvensional dan peta simbol planimetrik yang juga menyajikan posisi ortografik obyek secara benar. Ortofoto dari foto perspektif melalui proses yang disebut retifikasi diferensial.

Keunggulan *Orthophoto* dibandingkan dengan peta garis adalah bahwa *Orthophoto* memiliki kualitas piktorial foto udara sehingga dapat dikenali dan diidentifikasi dengan baik. Lebih dari itu *Orthophoto* memiliki ketelitian geometrik yang sangat baik sehingga pengukuran sudut atau jarak dapat dilakukan langsung di atas *Orthophoto* seperti halnya pada peta garis. Perbedaan utama *Orthophoto* dan peta garis adalah pada kenampakan gambarnya. Peta *Orthophoto* terbentuk oleh kenampakan yang sesungguhnya, sedangkan peta garis menggunakan simbol garis untuk menyajikan kenampakan secara selektif



Gambar 2.11 *Orthophoto*
(Sumber: Software Agisoft Metashape)

2.10 Perhitungan Volume

Volume adalah jumlah ruang yang ditempati oleh sampel material. Material yang dimaksud dapat berupa material padat, cair, maupun gas. Volume benda pada prinsipnya biasa dihitung dengan mengalikan panjang dengan lebar (luas alas) dan tingginya, satuan Internasional (SI) untuk volume adalah meter kubik (m^3) (Maulidin, 2016).

Prinsip hitungan volume adalah 1 (satu) luasan dikalikan dengan 1 (satu) yang diwakili tinggi. Jika ada beberapa luasan atau beberapa tinggi, maka dibuat wakilnya, misalnya dengan menghitung luas rata-rata ataupun tinggi rata-rata. Ada beberapa cara atau metode untuk menghitung volume (Maulidin, 2016).

Metode perhitungan volume zona atau tumpukan material pada dasarnya menggunakan prinsip perhitungan volume dari bagian permukaan dataran dasar yang dibatasi oleh penampang-penampang melintangnya. Perhitungan volume dapat dilakukan dengan beberapa metode, antara lain (Maulidin, 2016):

2.10.1 Metode Irisan Melintang (*Cross Section*)

Irisan melintang diambil tegak lurus terhadap sumbu proyek dengan interval jarak tertentu dalam metode ini. Metode ini cocok digunakan untuk pekerjaan yang bersifat memanjang seperti perencanaan jalan raya, jalan kereta api, saluran, penanggulangan sungai, penggalian pipa dan lain-lain.

Dalam metode ini volume didapat dengan mengalikan luas rata-rata dari irisan yang ada dengan jarak antara irisan awal dan akhir. Apabila irisan-irisan tersebut $A_1, A_2, A_3, \dots, A_{n-1}, A_n$ dan jarak antara irisan A_1 ke $A_n = D$ maka:

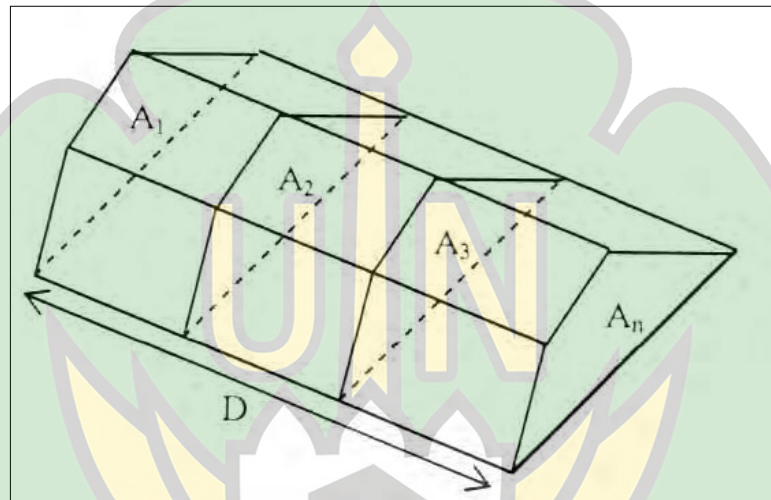
$$\text{Volume} = \left(\frac{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_{n-1} + A_n}{n} \right) D \quad (11)$$

Keterangan gambar:

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_{n-1}, A_n$: Luas tampang ke-1 sampai ke-n (m^2)

D : Jarak antar penampang (m)

V : Volume jarak rata-rata (m^3)



Gambar 2.12 Penentuan Volume dengan Metode Potongan Melintang Rata-Rata
(Sumber: Irvine, 1995)

2.10.2 Metode Garis Kontur

Garis kontur adalah garis yang menghubungkan titik-titik yang memiliki ketinggian yang sama, sehingga bidang yang dibentuk oleh sebuah garis kontur adalah merupakan bidang datar. Luas penampang ditentukan dengan luasan yang dibatasi oleh suatu garis kontur, sedangkan beda tinggi atau jarak antar penampang ditentukan dari interval garis kontur, yaitu beda tinggi antara dua garis kontur yang berurutan.

Metode ini juga dipakai untuk digunakan pada endapan bijih dimana ketebalan dan kadar mengecil dari tengah ke tepi endapan. Volume dapat dihitung dengan cara menghitung luas daerah yang terdapat di dalam batas kontur, kemudian mempergunakan prosedur-prosedur yang umum dikenal. Volume metode kontur dihitung dengan rumus:

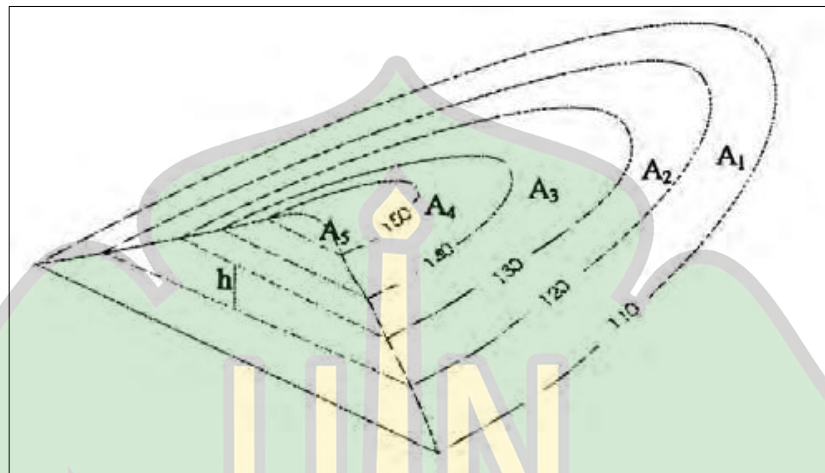
$$\text{Volume} = h \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5}{n} \quad (12)$$

Keterangan gambar:

A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 : Luas tampang (m^2)

h : Interval kontur (m)

n : Jumlah luasan



Gambar 2.13 Penentuan Volume dengan Garis Kontur
(Sumber: Irvine, 1995)

2.10.3 Metode *Cut and Fill*

Metode perhitungan volume ini digunakan untuk data *point cloud* dari pengukuran metode Fotogrametri. Akuisisi data dengan menggunakan UAV menghasilkan foto yang kemudian menjadi data berupa *point cloud*. Data *point cloud* perlu dilakukan pembentukan *Digital Elevation Model* (DEM) agar obyek dapat dihitung volumenya. Perhitungan volume dilakukan dengan metode *cut and fill* menggunakan *software Global Mapper*.

Volume dihitung dari DEM yang dibentuk dari *software Agisoft Metashape*. *Agisoft Metashape* membentuk suatu geometri prisma dari dua permukaan. Kemudian diinput dua permukaan ini adalah *design surface* dan *base surface* kedalam *software Global Mapper*. *Design surface* adalah permukaan yang dihitung volumenya sedangkan *base surface* adalah permukaan yang dijadikan sebagai alas. *Software* membentuk sebuah *grid network* (garis penghubung *vertex*) pada *base surface* dengan sebuah interval. Volume dihitung pada setiap sel, volume pada sebuah sel dihitung dengan persamaan (Raeva, 2016):

$$V_i = L_i \times w_i \times h_i \quad (13)$$

$$V_i = L_i \times W_i \times H_i \quad (14)$$

Nilai L_i dan W_i setara dengan nilai GSD data DEM

$$L_i = W_i = \text{GSD}$$

$$H_i = Z_{Ti} - Z_{Bi}$$

Maka volume dari cell dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$V_i = \text{GSD}^2 \times (Z_{Ti} - Z_{Bi}) \quad (15)$$

Keterangan:

L_i : Panjang sel

W_i : Lebar sel

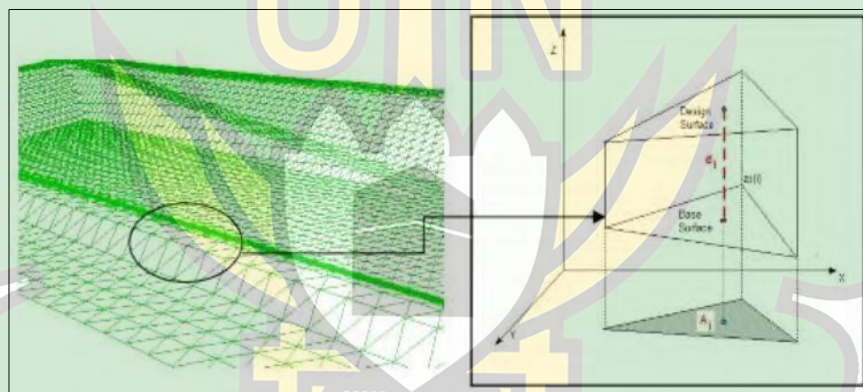
H_i : Tinggi sel

GSD : Resolusi spasial

Z_{Ti} : Tinggi puncak (*terrain altitude*) pada tengah sel

Z_{Bi} : Tinggi dasar (*base altitude*) pada tengah sel

V_i : Volume sel



Gambar 2.14 Perhitungan Volume dengan Metode Cut and Fill
(Sumber: geodis-ale.com)

2.11 Pengertian Sampah

Sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia atau proses alam yang berbentuk padat. Jumlah atau volume sampah sebanding dengan tingkat konsumsi manusia terhadap barang atau material yang digunakan sehari-hari, sehingga pengelolaan sampah tidak terlepas dari pengelolaan gaya hidup masyarakat. Sampai saat ini permasalahan sampah belum tertangani dengan baik terutama di perkotaan. Sampah telah menjadi permasalahan nasional sehingga pengelolaannya perlu dilakukan secara komprehensif dan terpadu dari hulu sampai ke hilir agar dapat

memberikan manfaat secara ekonomi, sehat bagi masyarakat, aman bagi lingkungan, serta dapat mengubah perilaku masyarakat (UU-18/2008).

Menurut Suprihatin dkk. (1999), berdasarkan asalnya, sampah dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua), yaitu:

1. Sampah Organik

Sampah organik merupakan sampah yang berasal dari tumbuhan, hewan dan alam ataupun dari kegiatan manusia seperti pertanian, perikanan dan sebagainya. Sampah jenis ini dapat terurai dengan mudah secara alami di alam. Adapun yang termasuk sampah organik yaitu sisa tepung, sayuran, kulit buah, dan daun.

2. Sampah Anorganik

Sampah Anorganik adalah sampah yang berasal dari sumber daya alam yang tak terbarui seperti mineral dan minyak bumi atau dari proses industri. Sebagian sampah anorganik sangat sulit terurai secara alami, sedangkan sebagian lainnya membutuhkan waktu yang sangat lama agar dapat terurai. Adapun sampah yang termasuk jenis ini yaitu, berupa botol, botol plastik, tas plastik, dan kaleng.

2.12 Timbulan Sampah

Timbulan sampah adalah banyaknya sampah yang timbul dari masyarakat dalam satuan volume maupun per kapita per hari, atau perluas bangunan, atau perpanjang jalan. Data timbulan sampah diperlukan untuk menentukan fasilitas setiap unit pengelolaan sampah serta untuk mengetahui desain sistem pengelolaan sampah, jenis/tipe peralatan untuk transportasi sampah, rute pengangkutan, luas dan desain TPA (SNI 19-2454-2002).

Metode menghitung timbulan sampah yaitu (Hasibuan, 2019):

1) Persentase Jumlah Volume Sampah per Tahun

Perhitungan jumlah volume sampah yang masuk ke TPA setiap tahunnya dihitung dengan menggunakan sebagai berikut:

$$= \frac{\text{Jumlah sampah tahun ke } n2 - \text{jumlah sampah tahun ke } n1}{\text{jumlah sampah tahun ke } n1} \times 100\% \quad (16)$$

2) Menghitung Prediksi sampah

Untuk memprediksi jumlah sampah dapat menggunakan rumus geometrik sebagai berikut:

$$P_n = P_a (1 + r)^n \quad (17)$$

Keterangan:

- P_n = Volume sampah pada tahun n proyeksi
 P_a = Volume sampah pada awal proyeksi
 r = Rata-rata sampel per tahun
 n = Selang waktu proyeksi (tahun)

2.13 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)

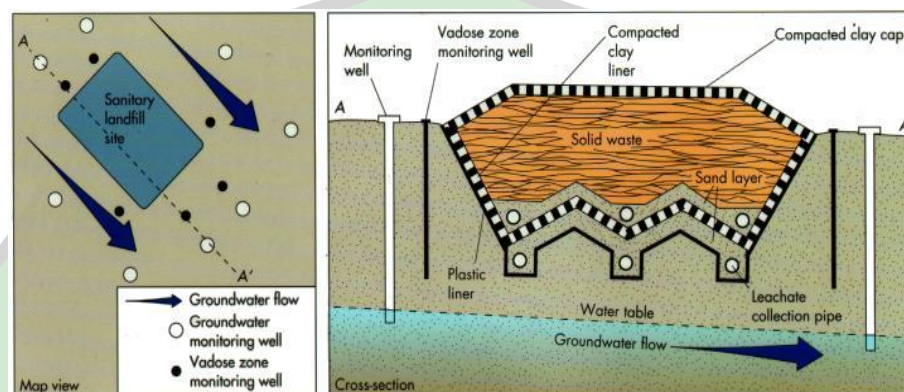
Tahap akhir dari pengelolaan sampah yaitu dilakukan pada Tempat Pemrosesan Akhir (TPA), berdasarkan Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 tentang pengelolaan persampahan, TPA merupakan tempat dimana sampah mencapai tahap akhir dalam pengelolaannya, dengan memiliki tujuan untuk tidak menimbulkan permasalahan lingkungan di sekitarnya, baik alam atau pun makhluk hidup. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah adalah tempat / sarana fisik untuk berlangsungnya kegiatan pemrosesan sampah pada tahap akhir.

Tahapan pengelolaannya dimulai dari timbulnya sampah dari sumber, pengumpulan, pemindahan/pengangkutan, pengolahan dan pembuangan. TPA digunakan sebagai tempat untuk menyimpan dan memusnahkan sampah dengan cara tertentu, sehingga dampak negatif yang ditimbulkan terhadap lingkungan dapat diminimalisir (Rumbruren dalam Hasibuan, 2019).

2.13.1 *Sanitary landfill*

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 03/PRT/M/2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana Dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga Dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, TPA dengan metode *open dumping* harus ditutup dan diganti dengan metode yang ramah lingkungan, yakni dengan metode lahan urug saniter/*sanitary landfill* untuk kota besar dan kota metropolitan, dan metode lahan urug terkendali/*controlled landfill* untuk kota sedang dan kota kecil.

Sanitary Landfill adalah system pengolahan sampah terpadu yang didesain untuk mencegah perembesan lindi kedalam tanah. Pada dasar TPA, dipasang clay liner dan geomembrane yang berfungsi untuk mencegah merembesnya lindi kedalam tanah. Pada TPA sampah akan mengalami proses dekomposisi oleh mikroba yang mengakibatkan terjadinya perubahan fisik-kimia-biologis secara simultan, dengan menghasilkan lindi. Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas lindi adalah komposisi sampah, umur *landfill*, kadar air sampah dan ketersediaan oksigen. Kualitas lindi juga dipengaruhi oleh umur *landfill* (Esye, 2021).



Gambar 2.15 Skema *Sanitary Landfill*
(Sumber: Esye, 2021)

Landfill yang baik, elemen-elemen strukturnya harus dirancang dengan tepat dan sesuai standar. Lapisan-lapisan yang harus ada pada sebuah *landfill* adalah lapisan tanah dasar, lapisan clay liner, geomembrane, pipa pengumpul lindi, konstruksi lapisan drainase, konstruksi lapisan penutup serta kolam-kolam pengolahan lindi (Esye, 2021).

2.13.2 Penutupan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)

Penutupan TPA dan perawatan pasca-penutupan adalah istilah yang digunakan untuk menjelaskan apa yang akan terjadi terhadap TPA yang telah selesai beroperasi dimasa yang akan datang. Untuk memastikan bahwa TPA yang telah selesai beroperasi akan dijaga hingga 30 sampai 50 tahun kedepan, banyak negara yang telah mengeluarkan biaya untuk melakukan perawatan terhadap TPA dan hal tersebut sudah dijelaskan dalam peraturan perundang-undangan suatu negara (Tchobanoglous dalam Hasibuan, 2019).

Menurut Peraturan Menteri Perumahan Umum No.3/PRT/M/2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana Dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah

Rumah Tangga Dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, penutupan TPA dapat dilakukan apabila memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. TPA sudah penuh dan tidak dapat dilakukan perluasan;
2. Keberadaan TPA sudah tidak sesuai lagi dengan RTRW/RTRK Kota/Kabupaten;
2. TPA dioperasikan secara penimbunan terbuka; dan
3. TPA menimbulkan masalah lingkungan.

Setiap Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) memiliki masa operasional yang telah direncanakan dapat dilihat dari daya tampung lahan dan timbulan sampah yang masuk ke TPA. Berdasarkan point ke 2 (dua) di atas, maka di perlukannya perhitungan volume sampah yang tertampung pada area penampungan agar mengetahui bahwa sebuah TPA telah melebihi kapasitas perencanaan daya tampung dari TPA tersebut.

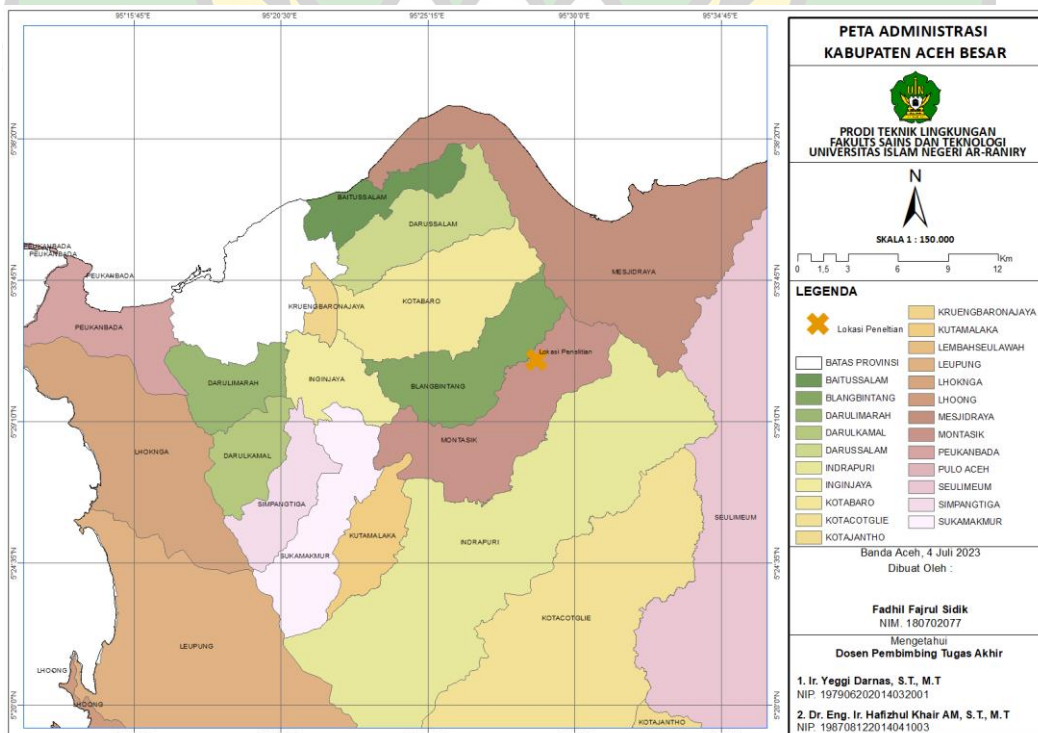


BAB III METODELOGI PENELITIAN

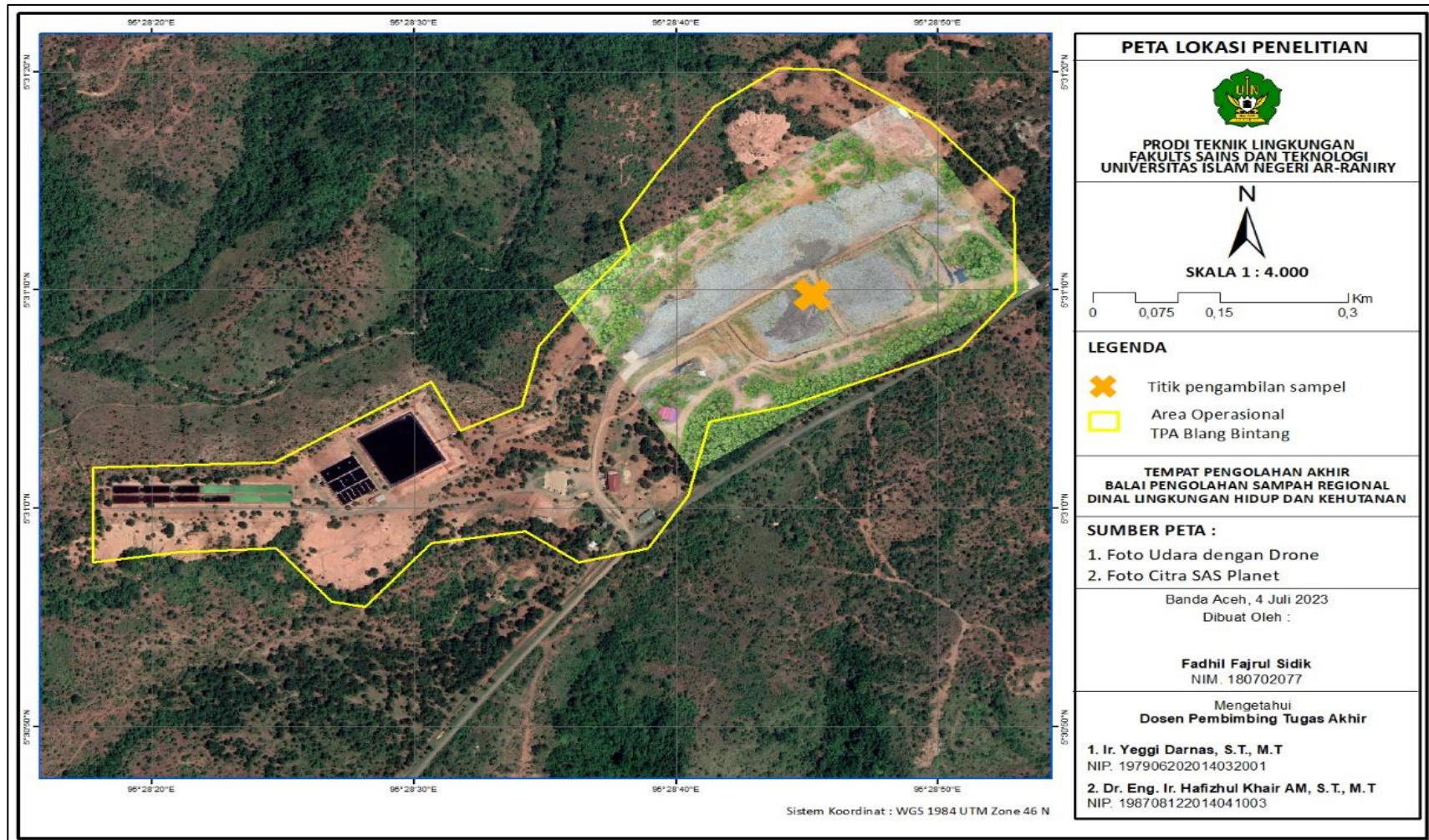
3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang dilakukan penelitian saat ini bertempat pada instansi pemerintahan yaitu Tempat Pengolahan Akhir (TPA) pada Unit Pelaksanaan Teknis Dinas (UPTD) Balai Pengolahan Sampah Regional (BPSR) Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan (DLHK) Aceh Regional Blang Bintang yang memiliki cakupan wilayah layanan di Kabupaten Aceh Besar dan Kota Banda Aceh, dengan memiliki total luas keseluruhan ± 206 Ha.

TPA Regional Blang Bintang mulai aktif menerima sampah sejak tahun 2016 hingga saat ini. 40 ha lahan telah digunakan dari total lahan yang dimiliki ± 206 Ha. Letak administrasi TPA Regional Blang Bintang yaitu di kecamatan montasik, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh. Dengan letak geografis pada $5^{\circ}31'11''$ N, $95^{\circ}28'46''$ E.



Gambar 3.1 Peta Administrasi Kabupaten Aceh Besar



Gambar 3.2 Peta Lokasi Penelitian

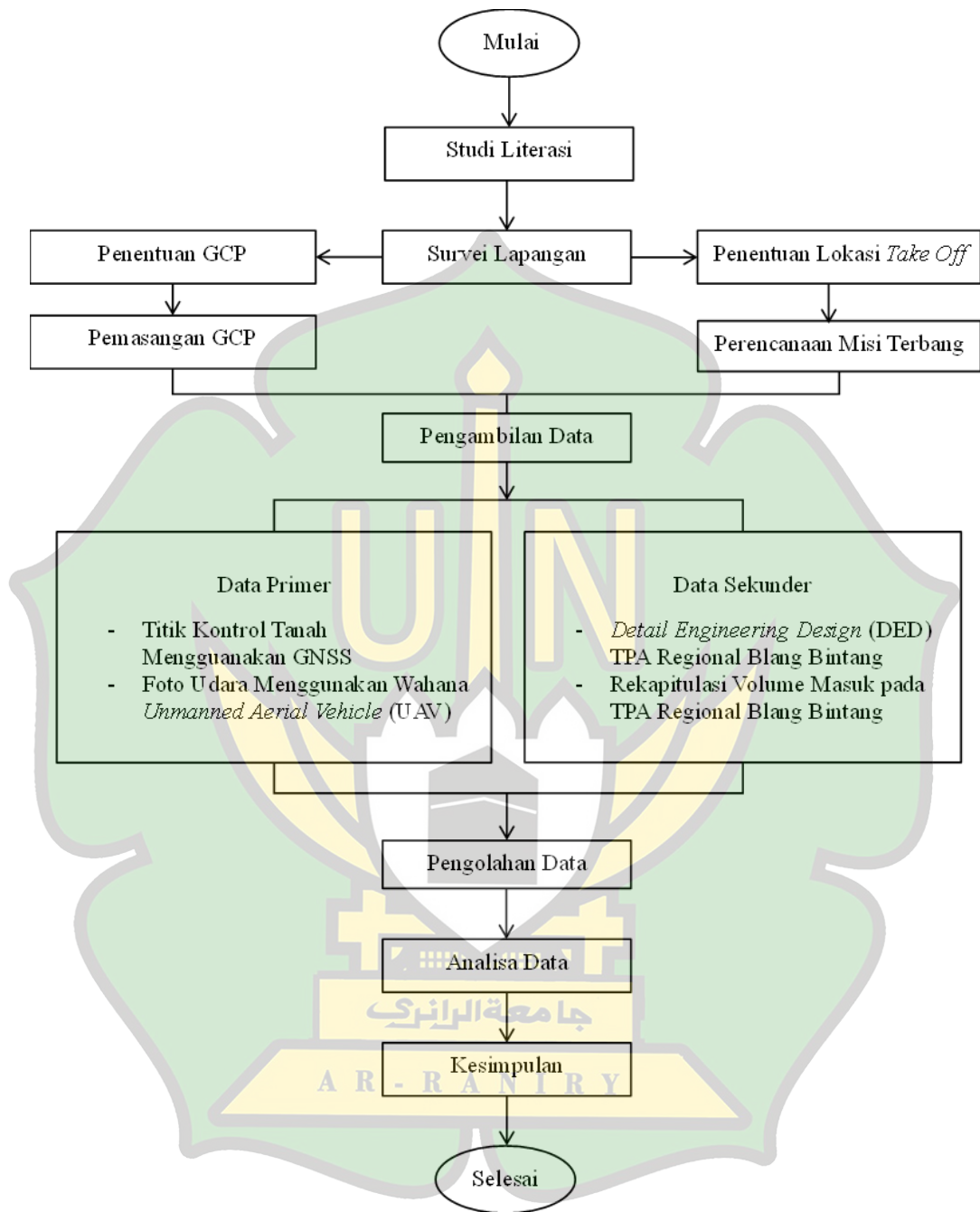
3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Penelitian

No	Alat / Bahan	Jumlah	Keterangan
1.	DJI Mavic 2 Pro	1	Untuk pengambilan foto udara
2.	Emlid RS+	1	Untuk pengukuran titik control tanah (koreksi koordinat)
3.	Laptop HP Pavilion 15	1	Untuk mengolah data lapangan
4.	Terpal Plastik	9	Untuk penanda titik kontrol tanah dengan ukuran 1 m x 25 cm
5.	<i>Software Drone Deploy</i>	1	Untuk mengatur jalur terbang secara autopilot
6.	<i>Software Agisoft Metashape</i>	1	Untuk melakukan permodelan 3D data aerial fotogrametri
7.	<i>Software Global Mapper</i>	1	Untuk menghitung volume dari data <i>digital surface model</i> .

3.3 Tahapan Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Studi Literasi

Pelaksanaan penelitian ini dimulai dari studi literatur yang berkaitan dengan penelitian-penelitian terdahulu yang terkait serta referensi teori yang dijadikan dasar teori dan rumus perhitungan untuk penelitian ini.

3.3.2 Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan sebelum melakukan pengambilan data lapangan, hal ini dilakukan agar mendapatkan hasil yang efisien dan tepat sasaran. Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan saat melakukan survei lapangan yaitu:

1. Menghindari objek-objek yang dapat menghalangi atau mengganggu misi terbang *drone* seperti bangunan tinggi, tower, tiang listrik, helikopter dan sebagainya.
2. Koneksi internet, aplikasi *drone* deploy pada android atau ios memerlukan koneksi internet, agar misi terbang dapat dilakukan. Jika lokasi penelitian tidak memiliki koneksi internet maka dapat diantisipasi dengan *mode offline*.
3. Area Take-off dan landing, lahan yang diharuskan untuk penerbangan memiliki jarak pandang yang luas agar memudahkan proses *take off* dan *landing*.
4. Zona penerbangan, zona untuk menerbangkan *drone* dipastikan area aman terbang sebagai mana telah di atur oleh kementerian perhubungan. Ada 3 zona yang memiliki izin khusus (NOTAM) untuk menerbangkan pesawat tanpa awak yaitu *Prohibited Area*, *Restricted Area* dan KKOP.

3.3.3 Penentuan Titik Ikat

Adapun hal-hal yang menjadi Penentuan titik ikat yaitu:

1. Jumlah titik ikat, jumlah titik ikat ditentukan dengan luasan dan bentuk lahan yang akan dilakukan pemetaan. Pada lahan memiliki luasan di bawah 50 ha biasanya memiliki 4 titik ikat di setiap sudut agar saling mengikat antara satu foto dengan foto lain.
2. Penentuan lokasi titik ikat, lokasi dipasangnya titik ikat harus memiliki area yang luas atau terbuka agar terlihat saat didapatkan hasil foto udara.

3.3.4 Perencanaan misi

Adapun tahapan perencanaan misi terbang adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan *Area of Interest* (AOI)

Pembuatan AOI diperlukan sebagai batasan area penerbangan yang akan dilakukan pemetaan. Pada umumnya batasan-batasan *polyline* AOI direncanakan sesuai dengan area yang ingin dipetakan kemudian di *buffer* (perlebar) sebesar 30-60 meter, hal ini dilakukan agar menghindari terjadinya distorsi. AOI dalam bentuk KML/KMZ yang kemudian di *input* kedalam aplikasi *drone* deploy untuk melakukan misi secara otomatis.

2. Penentuan GSD

Penentuan GSD ditentukan sesuai kebutuhan penelitian atau pekerjaan fotogrametri. Penentuan GSD ditentukan oleh luas, luas lahan yang besar maka GSD dengan nilai yang tinggi sangat berdampak untuk efisiensi pengambilan data dilapangan dan sebaliknya luas lahan yang terbatas atau sempit maka digunakan nilai GSD yang kecil untuk mendapatkan kualitas citra yang baik.

Tabel 3.2 Standar nilai GSD

Skala Peta Dasar	Nilai GSD (cm)
1:10.000	≤ 15
1:5.000	≤ 10
1:2.500	≤ 5
1:1.000	≤ 3

3. Penentuan parameter misi terbang

Beberapa aplikasi survei fotogrametri memiliki parameter yang berbeda dalam perencanaan misi terbang. Namun pada umumnya parameter yang perlu diinput antara lain:

- Sudut Kamera 90°

Sudut kamera yang dipakai saat terbang 90° atau vertikal, sudut kamera ini menghasilkan foto 2D yang menyajikan data Topografi area penelitian.

- Tinggi Terbang

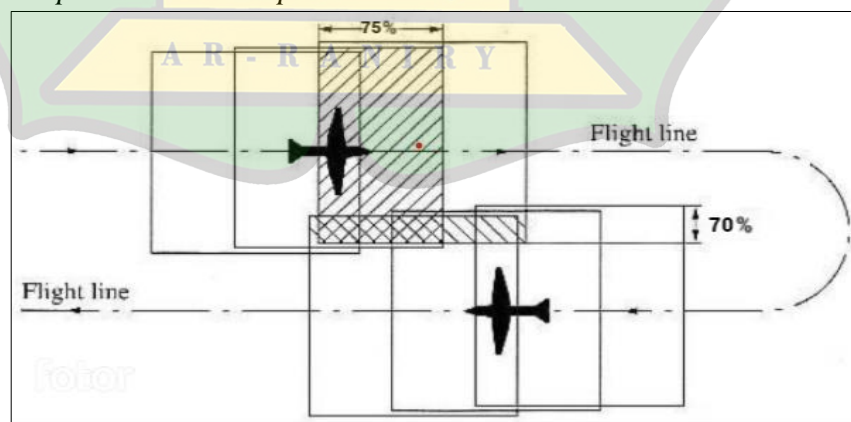
Menurut PM No 90 Tahun 2015 tentang Batas Ketinggian Pengoperasian *Drone* “tidak diperbolehkan beroperasi pada ketinggian dari 500 ft (150 m)”. Lokasi area penelitian merupakan *Restricted Area* berdekatan dengan pangkalan militer dan KKOP. Maka tinggi terbang pada penelitian ini ialah 80 m. Setiap tinggi terbang memiliki beberapa perbedaan dari resolusi yang dihasilkan, sebagai berikut:

Tabel 3.3 Nilai GSD yang didapatkan menggunakan Software *Drone Deploy*

Tinggi Terbang (m)	Resolusi (cm/piksel)
90	2
180	4
220	5
260	6

- *Overlap* dan *sidelap*

Overlap dan *sidelap* digunakan untuk mengestimasi agar tidak terjadinya kurang pertampalan pada foto udara. Makin tinggi persentase *overlap* dan *sidelap* makin banyak juga foto yang didapat dan semakin minim pula resiko data errot pada saat pertampalan foto. Maka dari itu Untuk mendapatkan hasil pertampalan foto yang efisien, dalam penelitian ini peneliti menggunakan *overlap* dan *sidelap* standart bawaan aplikasi *drone deploy* yaitu, *overlap* dan *sidelap* yang digunakan adalah 75% *overlap* dan 70% *sidelap*.



Gambar 3.4 *Overlap* dan *Sidelap*

- Kecepatan Terbang

Kecepatan terbang pada penelitian ini ialah 7 m/s, kecepatan terbang sangat mempengaruhi hasil foto dan durasi penerbangan. Makin tinggi kecepatannya maka hasil foto kemungkinan eror makin besar, hal ini diakibatkan oleh perubahan kecepatan udara dan tekanan secara drastis saat diudara menyebabkan pesawat turbulensi atau terjadi guncangan.

- Parameter 3D

Parameter 3D diperlukan untuk mendapatkan hasil 3D, maka diperlukan sudut kamera 45° dengan jalur terbang yang mengelilingi area penelitian.

Setelah melihat kondisi eksisting pada area penelitian dan mengacu pada beberapa peraturan penerbangan. Maka dapat ditentukan parameter terbang pada penelitian ini sebagai berikut:

Tabel 3.4 Parameter Misi Terbang

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Tinggi Terbang	80	m
2	<i>Overlap</i>	75	%
3	<i>Sidelap</i>	70	%
4	Kecepatan Terbang	7	m/s
5	Sudut Kamera	90	°
6.	Sudut Kamera Parameter 3D	45	°

3.3.5 Pengambilan Data

Tahapan pengambilan data meliputi data primer dan data sekunder:

1. Data Primer

Data primer merupakan sumber data dasar yang dibutuhkan dalam perencanaan yang diperoleh langsung dari lapangan, yang mencakup:

- Pemasangan Penanda Titik Kontrol Tanah

Pemasangan titik kontrol dilakukan pada lokasi-lokasi yang telah dilakukan survei lapangan. Media yang dipasang harus memiliki warna yang kontras dan berukuran besar agar terlihat pada ketinggian diatas 80 meter, dalam penelitian ini peneliti memakai 2 terpal berukuran 1 m x 25 cm pada setiap titik kontrol tanah dengan bentuk menyilang.

- Pengukuran titik kontrol tanah dengan GNSS

Pengukuran titik kontrol tanah dengan GNSS pada penelitian ini peneliti memakai alat Emlid RS+ dengan menggunakan metode statik dalam durasi 15 menit/titik dapat dilihat dalam lampiran c.1.

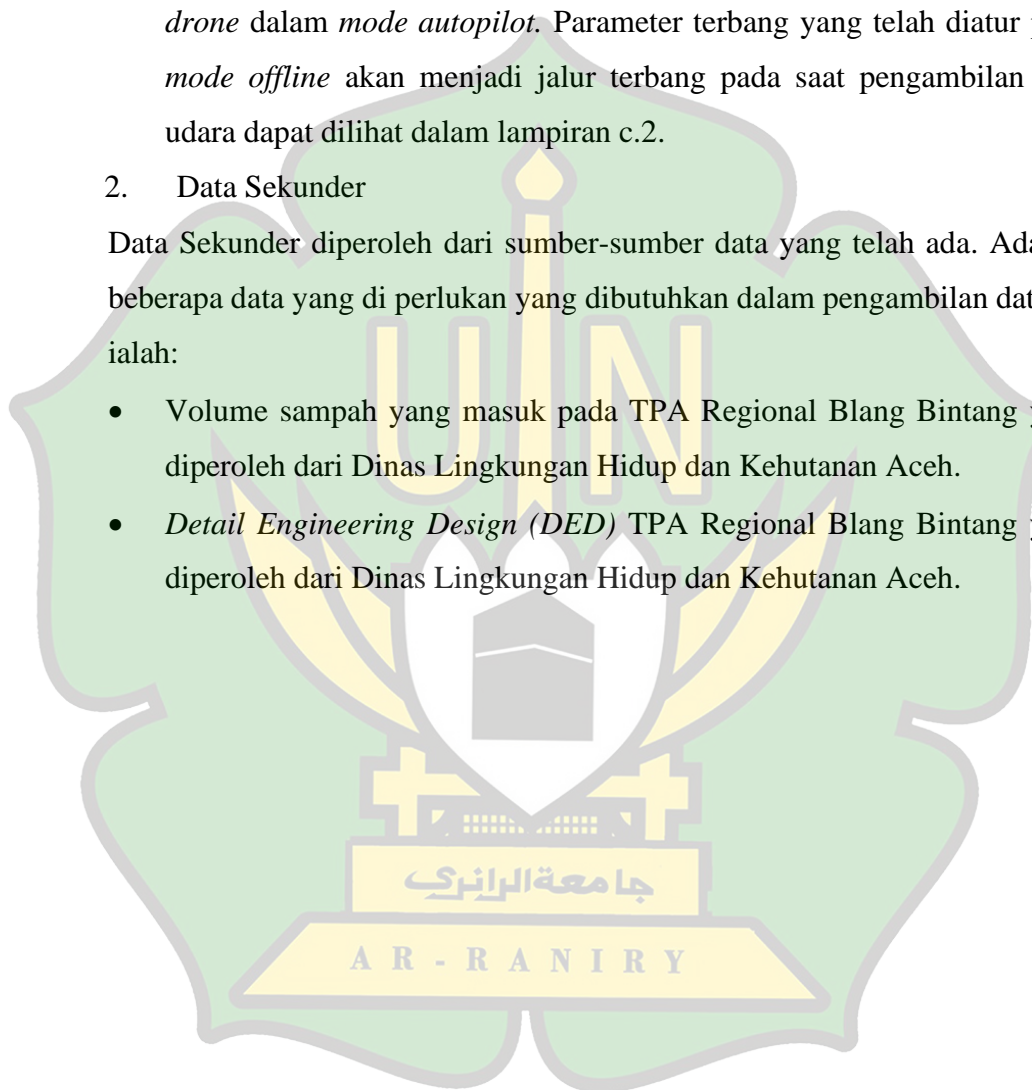
- Pengambilan Gambar

Pengambilan data dalam bentuk pengambilan gambar dilakukan dengan *drone* dalam *mode autopilot*. Parameter terbang yang telah diatur pada *mode offline* akan menjadi jalur terbang pada saat pengambilan foto udara dapat dilihat dalam lampiran c.2.

2. Data Sekunder

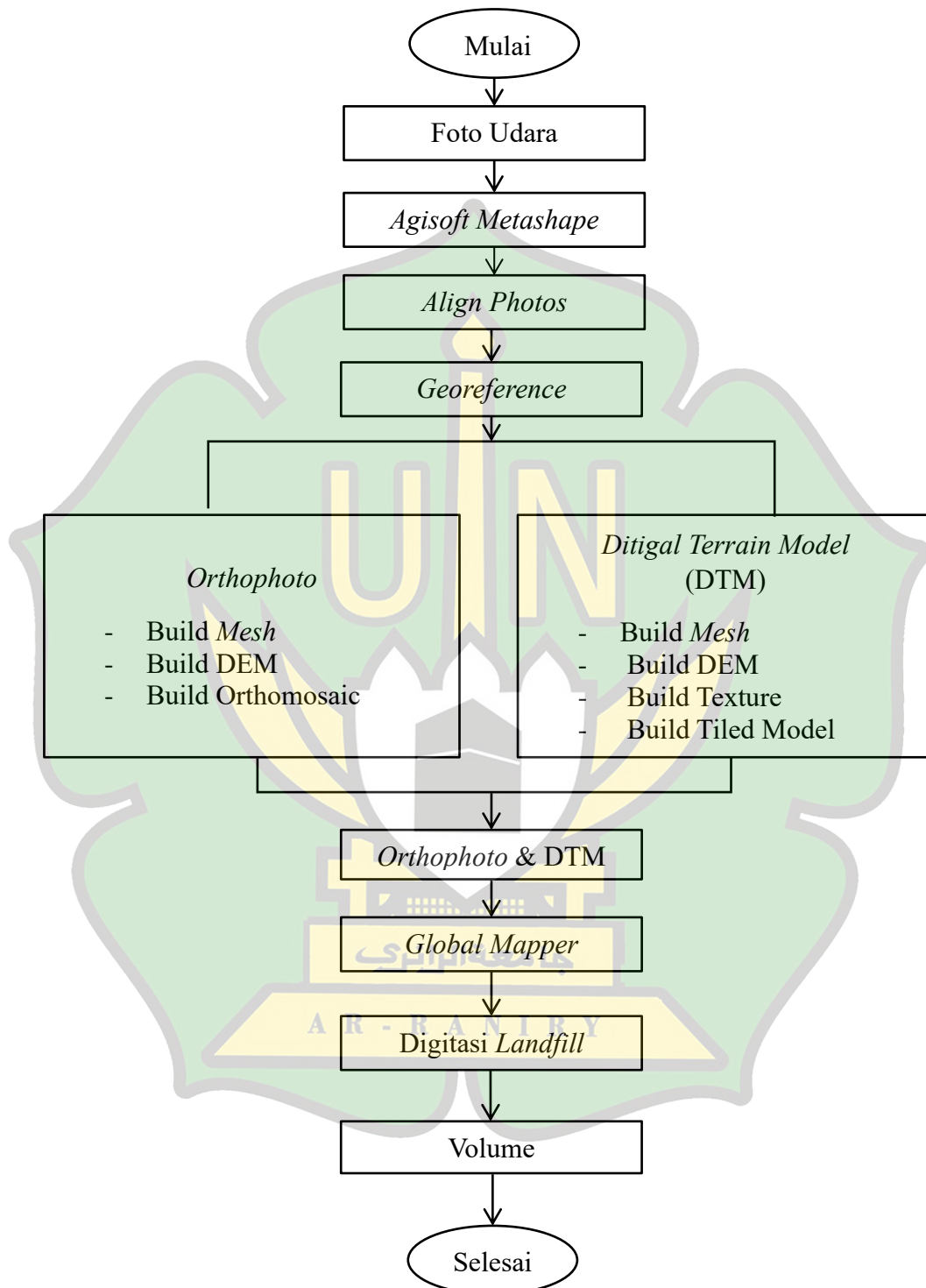
Data Sekunder diperoleh dari sumber-sumber data yang telah ada. Adapun beberapa data yang di perlukan yang dibutuhkan dalam pengambilan data ini ialah:

- Volume sampah yang masuk pada TPA Regional Blang Bintang yang diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Aceh.
- *Detail Engineering Design (DED)* TPA Regional Blang Bintang yang diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Aceh.



3.3.6 Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data hasil foto udara dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.5 Diagram Alir Pengolahan Data

Penjelasan langkah-langkah yang dilakukan dalam pengolahan data hasil foto udara pada Gambar 3.5, sebagai berikut:

1. Hasil foto yang didapatkan dari pengambilan data lapangan di *input* pada *software Agisoft Metashape*.
2. Foto-foto yang di *input* kemudian dilakukan proses *align photos*, proses ini merupakan proses pengikatan antara satu foto dengan foto yang lain, sehingga menjadi satu foto yang terhubung.
3. Setelah Proses *Align Photos*, maka dilakukan digitasi *georeference* titik kontrol tanah dengan koordinat x, y dan z, pada penelitian ini titik kontrol tanah yang didapatkan dari pengukuran menggunakan GNSS.
4. Proses permodelan *Orthophotos* yaitu proses permodelan topografi atau 2D dengan melewati proses *Build Mesh*, *Build DEM* dan *Build Orthomosaic*.
5. Proses Permodelan *Digital Terrain Model* yaitu proses permodelan 3D yang menyisakan permukaan tanah saja dengan menghilangkan digitasi yang ada pada kawasan tersebut dengan melewati proses *Build DEM*, *Build Mesh*, *Build Texture* dan *Build Tiled Model*.
6. Setelah didapatkan *Orthophotos* dan *Digital Terrain Model (DTM)* kemudian data tersebut diinput kedalam *software Global Mapper*.
7. Kemudian dilakukan digitasi *landfill* untuk mengklasifikasi area yang akan dilakukan perhitungan volume.
8. Setelah dilakukan digitasi *landfill* didapatkan data *cut and fill* volume.

3.3.7 Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini meliputi *output* data volume sampah yang didapat dari perhitungan volume sampah menggunakan metode fotogrametri dibandingkan dengan volume masuk yang tertampung pada TPA Regional Blang Bintang yang didapatkan dari DLHK Aceh kemudian di peroleh nilai faktor padat.

Data yang didapatkan kemudian akan dilakukakan proyeksi sampah pada 5 tahun mendatang, maka hasil dari analisis data dalam penelitian ini berupa informasi terkait sisa masa pakai *landfill* dan ketersediaan lahan yang tersisa pada TPA Regional Blang Bintang.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) dan Pembentukan Topografi

4.1.1 Karakteristik Pesawat Terbang Tanpa Awak

Pesawat terbang tanpa awak yang digunakan pada penelitian ini adalah *quadcopter multirotor* DJI Mavic 2 Pro dengan kecepatan maksimal 72 km/h dan lama waktu terbang selama 31 menit. *Drone* DJI Mavic 2 Pro dilengkapi dengan GPS sehingga dapat dilakukan fitur *autopilot* dengan jalur terbang yang telah direncanakan.



Gambar 4. 1 DJI Mavic 2 Pro

4.1.2 Kalibrasi Kamera

Kamera yang terdapat pada *drone* DJI Mavic 2 Pro memiliki sensor CMOS dengan ukuran 12,8 x 9,6 mm (1") dan resolusi maksimal 5472 x 3648 piksel.

$$\begin{aligned}
 \text{Ukuran sensor pada CMOS} &= \text{lebar sensor} : \text{lebar piksel} \\
 &= 9,6 \text{ mm} : 3648 \text{ piksel} \\
 &= 0,0026 \text{ mm/piksel}
 \end{aligned}$$

Kamera *drone* DJI Mavic 2 Pro memiliki panjang fokus (f) sebesar 11,55 mm

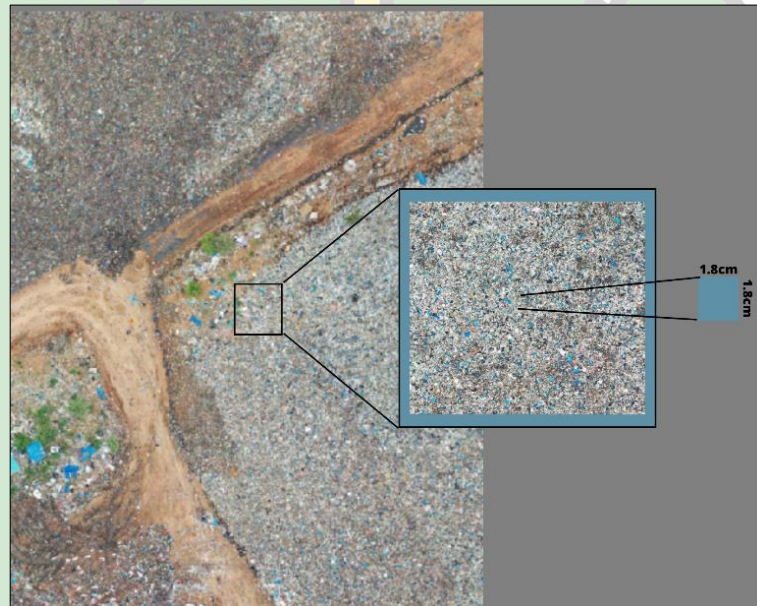
dan sudut pandang FOV (*field of view*) standar dengan nilai 77°.

4.1.3 Detail Misi Terbang

4.1.3.1 *Ground Sampling Distance (GSD)*

Ground Sampling Distance (GSD) pada penelitian ini ditentukan oleh tinggi terbang, tinggi terbang yang diperbolehkan setelah melakukan survei awal dalam penelitian ini yaitu 80 meter, maka diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{GSD} &= Sz \times (\text{Hrata-rata}/f) \\ &= 0,0026 \times (80.000/11,55) \\ &= 18 \text{ mm} \\ &= 1,8 \text{ cm/piksel} \end{aligned}$$



Gambar 4. 2 *Ground Sampling Distance (GSD)*

4.1.3.2 Luas Perekaman

Luas perekaman pada penelitian ini ditentukan oleh GSD, GSD yang diinginkan dalam penelitian ini adalah 18 mm/pixel, maka diperoleh:

Skala :

$$\begin{aligned} S &= \frac{Ps}{GSD} \\ S &= \frac{0.0026}{18} \\ S &= 1:6.923 \end{aligned}$$

Panjang Cakupan :

$$P = \text{Panjang CMOS} \times S$$

$$P = 12,8 \times 6.923$$

$$P = 88.614 \text{ mm}$$

$$P = 88,614 \text{ m}$$

Lebar Cakupan :

$$L = \text{Lebar CMOS} \times S$$

$$L = 9,6 \times 7.807$$

$$L = 66.460 \text{ mm}$$

$$L = 66,460 \text{ m}$$

Luas Cakupan :

$$La = P \times L$$

$$La = 88,614 \times 66,460$$

$$La = 5.889,28 \text{ m}^2$$

Berdasarkan hasil perhitungan didapat luas cakupan untuk sebuah foto yang direkam berkisar $5.889,28 \text{ m}^2$.

4.1.3.3 Interval Waktu Pemotretan

Dengan pertampalan ke depan (*overlap*) sebesar 75%, panjang cakupan perekaman 99,93 meter, maka dapat ditentukan,

Basis Medan:

$$B = \text{Panjang cakupan} \times (1 - \text{overlap})$$

$$B = 88,614 \times (1 - 0,75)$$

$$B = 22,15 \text{ m}$$

Interval waktu pemotretan, dengan kecepatan terbang pesawat (7 m/s):

$$Dt = \frac{B (m)}{V (m/s)}$$

$$Dt = \frac{22,15}{7}$$

$$Dt = 3,164 \text{ s}$$

Pada saat proses pengambilan foto udara interval waktu untuk setiap foto yang diambil oleh kamera adalah 3,164 detik.

4.1.3.4 Jarak Antar Jalur Terbang

Dengan pertampalan ke samping (*sidelap*) sebesar 70% dan lebar cakupan perekaman 74,95 meter, maka jarak jalur terbang:

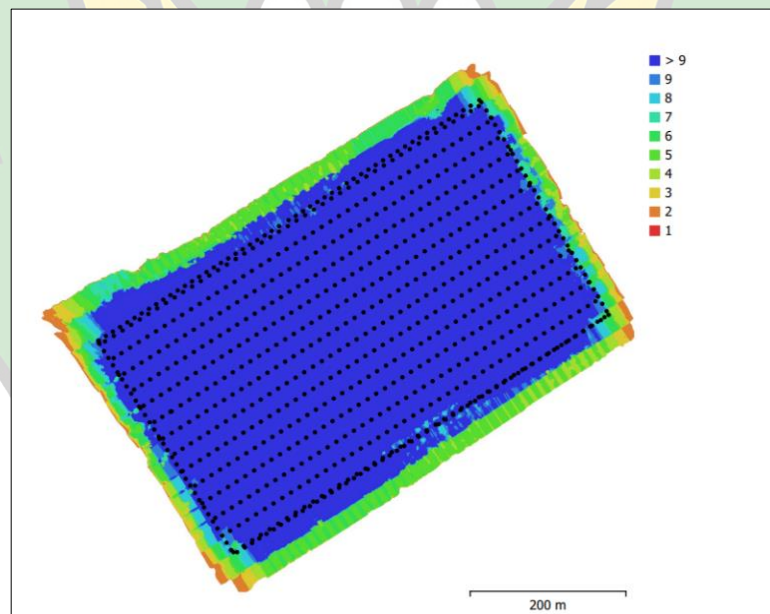
$$\begin{aligned} J &= L \times (1 - \text{sidelap}) \\ J &= 66,460 \times (1 - 0,70) \\ J &= 19,93 \text{ m} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan jarak antar jalur terbang atau lintasan terbang adalah sebesar 19,93 meter.

4.1.3.5 Jalur Terbang

Dengan jarak antar jalur terbang (J) sebesar 19,93 meter, lebar daerah perekaman (W) dalam hal ini luasan area jalur terbang 650 m x 400 m dan lebar cakupan perekaman (L) 66,46 meter, maka jumlah strip yaitu :

$$\begin{aligned} ns &= \frac{W(m) - L(m)}{J(m)} \\ ns &= \frac{400 - 66,46}{19,93} \\ ns &= 16 \end{aligned}$$



Gambar 4. 3 Jalur Terbang dan Sebaran Foto Perekaman Drone

Pada penelitian ini didapatkan 16 jalur terbang dengan pengambilan foto tegak atau 90° . Jalur terbang memiliki *double strip* (garis ganda) pada setiap sisi jalur terbang, hal ini karean dalam penelitian ini memakai parameter 3D. *Drone* akan bergerak mengelilingi *polygon* dengan sudut foto 45° .

Tabel 4.1 Detail Misi Terbang

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	<i>Ground Sampling Distance</i> (GSD)	1.8	cm/piksel
2	Luas Perekaman	5.889,28	m ²
3	Interval Waktu Pemotretan	3,164	Detik
4	Jarak Antar Jalur Terbang	19,93	m
5	Jumlah Strip (Jalur Terbang)	16	Strip
6	Waktu Terbang	37:11	Menit
7.	Luas Area Misi Terbang	29	Ha
8.	Jumlah Foto	779	Gambar
9.	Baterai yang diperlukan	3	Unit

4.1.4 Pengolahan Titik Kontrol Tanah

Titik kontrol tanah pada daerah penelitian diambil menggunakan GNSS, titik kontrol digunakan sebagai pembanding dan referensi koordinat *orthophoto* dengan koordinat asli (tanah), sistem koordinat pada titik kontrol tanah ini adalah UTM WGS 84 zona 46 N.



Gambar 4. 4 Lokasi Titik Tontrol Tanah dengan GNSS

Data hasil pengukuran GNSS yang berupa koordinat x, y dan z digunakan sebagai titik GCP yang diperlukan dalam proses orthorektifikasi. Titik GCP tersebut diukur pada titik BM (Bench Mark) yang digunakan sebagai titik kontrol pada penelitian ini. Pengolahan data survei GNSS dari tiap pada titik pengamatan dilakukan menggunakan website Indonesia Geospasial Portal.

Tabel 4.2 Koordinat Titik Kontrol Tanah Hasil Pengukuran Lapangan

Titik Kontrol	Latitude (m)	Longitude (m)	Elevation (m)
GCP 1	5,518661	95,477779	137,33
GCP 2	5,519666	95,479243	142,22
GCP 3	5,520332	95,480480	139,84
GCP 4	5,519040	95,479534	143,00

Koordinat-koordinat yang dihasilkan pada pengukuran menggunakan GNSS harus dikonversi ke dalam bentuk *Universal Transverse Mercator* (UTM) agar dapat diinput pada *software Agisoft Metashape* dapat dilihat dalam table 4.2 (Titik Kontrol Tanah dalam UTM).

Tabel 4.3 Titik Kontrol Tanah dalam *Universal Transverse Mercator* (UTM)

Titik Kontrol	Easting (m)	Northing (m)	UTM zone
GCP 1	774529.87	610568.01	46 N
GCP 2	774691.71	610679.78	46 N
GCP 3	774828.55	610754.15	46 N
GCP 4	774724.37	610610.65	46 N

GNSS merupakan alat ukur yang memiliki tingkat ketelitian yang tinggi (baik) dibandingkan dengan GPS, semakin lama durasinya semakin bagus pula ketelitian yang didapat. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah statik dengan durasi 15 menit/titik.

Tabel 4.4 Pergeseran Koordnat Titik Kontrol Tanah

Titik Kontrol	Latitude (m)	Longitude (m)	Elevation (m)
GCP 1	0,0003	0,0004	0,0009
GCP 2	0,0026	0,0086	0,0048
GCP 3	0,0003	0,0005	0,0009
GCP 4	0,0003	0,0004	0,0008

4.1.5 Pengolahan Model Topografi

Data yang diperoleh pada pengambilan data foto udara berupa foto dengan format JPG file dengan size rata-rata 10 mb (*megabyte*). Total foto yang diperoleh dalam pengambilan foto udara ini sebanyak 787 foto yang terdiri dari sudut kamera 45° dan 90° (foto tegak).

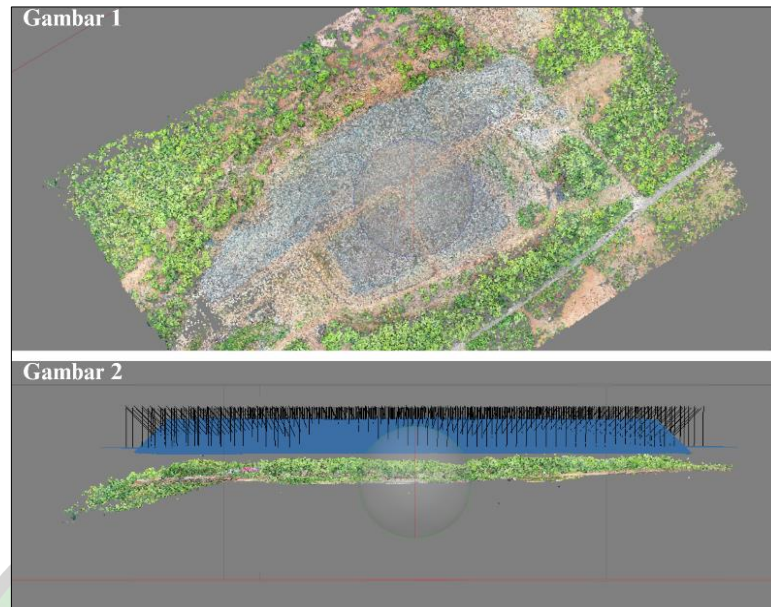


Gambar 4. 5 Foto Udara Sudut 45° (Gambar 1) dan Sudut 90° (Gambar 2)

4.1.5.1 Align Photos

Orthophoto dan *Digital Terrain Model (DTM)* melakukan tahapan titik-titik yang sama pada foto yaitu *align photos*. Proses ini akan membuat *matching point* dari 2 atau lebih foto, *align photos* menggunakan konsep rektifikasi diferensial dan penggabungan sebanyak 787 foto hasil perekaman yang terdiri dari sudut 45° dan 90° (foto tegak), maka diperoleh total *dense cloud* sebanyak 523.363 titik.

Dense cloud merupakan kumpulan titik tinggi dengan jumlah yang sangat banyak dari pemrosesan foto udara. *Dense cloud* kemudian akan diproses lebih lanjut untuk menghasilkan *digital surface model (DSM)*, *digital terrain model (DTM)* dan *orthophoto*. Proses rektifikasi tersebut menghasilkan titik *dense cloud* yang mempunyai koordinat 3D (x, y, dan z).



Gambar 4. 6 Tampilan *Align Photos* Tampak depan (gambar 1) dan tampak samping (gambar 2)

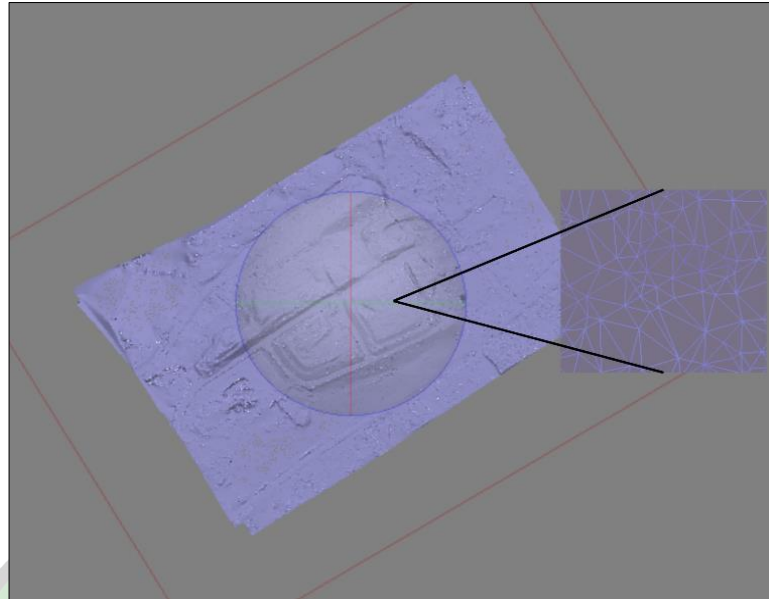
4.1.5.2 Digitasi Koordinat GNSS

Digitasi koordinat GNSS dilakukan untuk memberi referensi koordinat x, y dan z terhadap proses *align photos*, sehingga DTM dan *Orthophoto* yang di bentuk dapat diperbaiki kualitas geometriknya. Untuk memperoleh *orthophoto* yang akurat, dianjurkan untuk menggunakan GCP yang diperoleh dari pengukuran menggunakan GNSS.

4.1.5.3 Build Mesh

Build Mesh merupakan proses membangun model permukaan dalam *software Agisoft Metashape*. Terdapat 2 *surface type* yaitu *height field* dan 3D, yang nantinya akan digunakan sebagai proses pembentukan DEM, DSM, DTM dan *Orthophoto*.

Pembentukan *mesh* pada dasarnya merupakan pembentukan poligon di permukaan objek berdasarkan titik-titik *dense point cloud*. Poligon – poligon tersebut pada umumnya berbentuk segitiga dan segiempat yang kemudian digabungkan satu sama lain sehingga membentuk suatu permukaan objek yang solid.

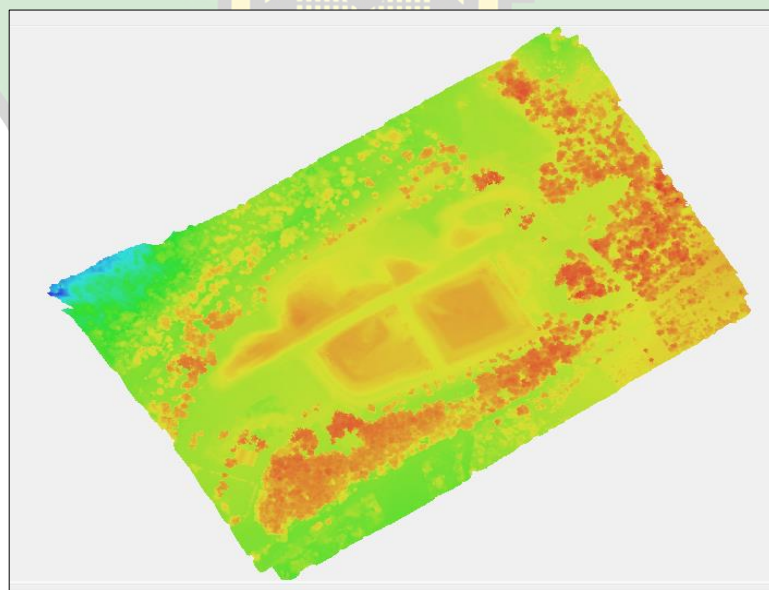


Gambar 4. 7 Tampilan *Build Mesh*

4.1.5.4 Build Digital Elevation Model (DEM)

Digital Elevation Model (DEM) merupakan model medan digital dalam format raster atau grid. Dari data DEM dapat diturunkan informasi elevasi hingga ke permodelan lebih lanjut seperti *cut and fill*. Terdapat dua terminology terkait DEM, yaitu DSM (*Digital Surface Model*) dan DTM (*Digital Terrain Model*).

Data *Digital Elevation Model* (DEM) pada penelitian ini merupakan data terkontrol yang di dapatkan dari hasil penelitian lapangan yang kemudian diolah dengan *software Agisoft Metashape*, yang digunakan sebagai data untuk pembuatan pemodelan 3D *landfill* sampah.



Gambar 4. 8 Tampilan *Digital Elevation Model* (DEM)

4.1.6 Orthophoto

Orthophoto adalah foto udara yang telah dikoreksi kesalahan geometriknya menggunakan data DEM dan data titik kontrol tanah sehingga dapat dimanfaatkan untuk kepentingan pemetaan. *Orthophoto* dapat dibentuk setelah tahap pembuatan *dense cloud*, *mesh* dan DEM selesai. Tahap terakhir untuk mengekspor data *orthophoto* yaitu build orthomosaic. Tahap ini adalah tahap terakhir dalam proses *orthophoto* dan hasil dari proses ini adalah peta yang telah terkoordinat dan tegak.



Gambar 4. 9 Tampilan *Orthophoto* 2D

Pembuatan *orthophoto* diproses menggunakan *software Agisoft Metashape* dengan kualitas tinggi/*high*. Data foto sebanyak 787 foto dengan tinggi terbang 80 m dengan 4 titik kontrol tanah (GCP). Hasil keseluruhan luasan yang terhitung sekitar 26 ha.

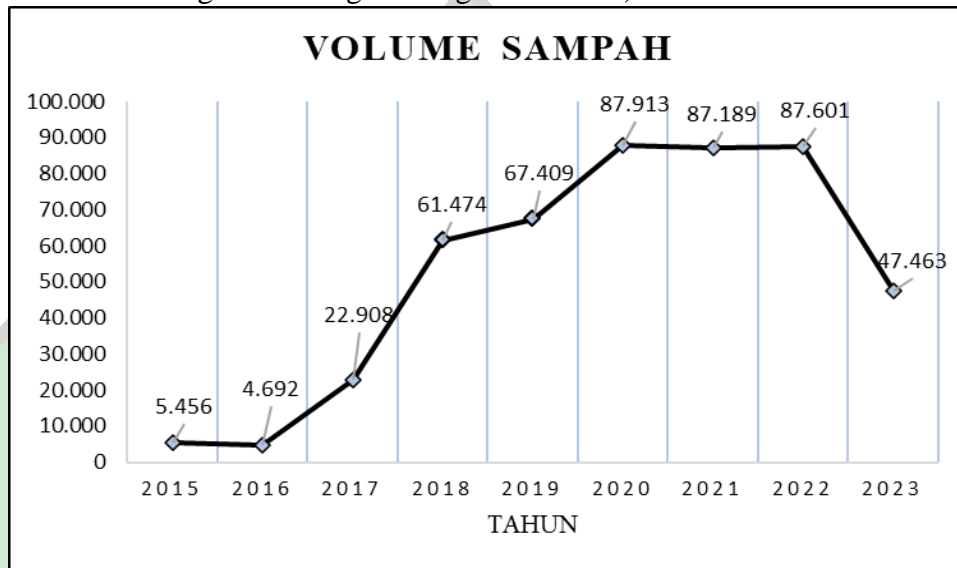


Gambar 4. 10 Tampilan *Orthophoto* 3D

4.2 Analisis Volume Sampah

4.2.1 Volume Sampah yang Masuk ke TPA

Jumlah volume sampah yang masuk ke TPA Regional Blang Bintang didapatkan dengan cara mengurangkan berat isi armada pengangkut sampah dengan berat kosong armada pengangkut sampah, sehingga didapat nilai volume sampah yang ditampung. Dapat dilihat pada gambar 4.15 (Grafik Jumlah Sampah yang Masuk ke TPA Regional Blang Bintang 2015–2023).



Gambar 4.11 Grafik Jumlah Sampah yang Masuk ke TPA Regional Blang Bintang 2015-2023

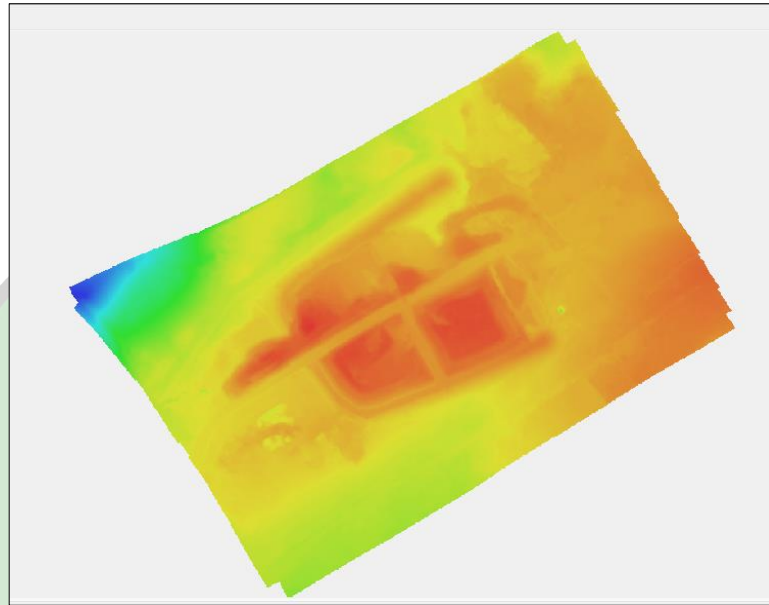
Jumlah sampah yang masuk ke TPA Regional Blang Bintang dari tahun 2017-2023 mengalami peningkatan dalam beberapa tahunnya. Hal ini dikarenakan dalam tiap tahunnya tingkat kebutuhan dan konsumtif masyarakat mengalami peningkatan. Pada tahun 2015-2016 Regional Blang Bintang beroperasi, sampah yang diterima bersumber dari aceh besar. Kemudian pada tahun 2016-2023 setelah TPA Regional Blang Bintang menampung sampah yang bersumber dari aceh besar dan banda aceh.

Berdasarkan data grafik diatas maka didapatkan volume total sampah yang masuk pada TPA Regiona Blang Bintang tahun 2015-2023 ialah **472.105 m³**.

4.2.2 Perhitungan Volume Foto Udara

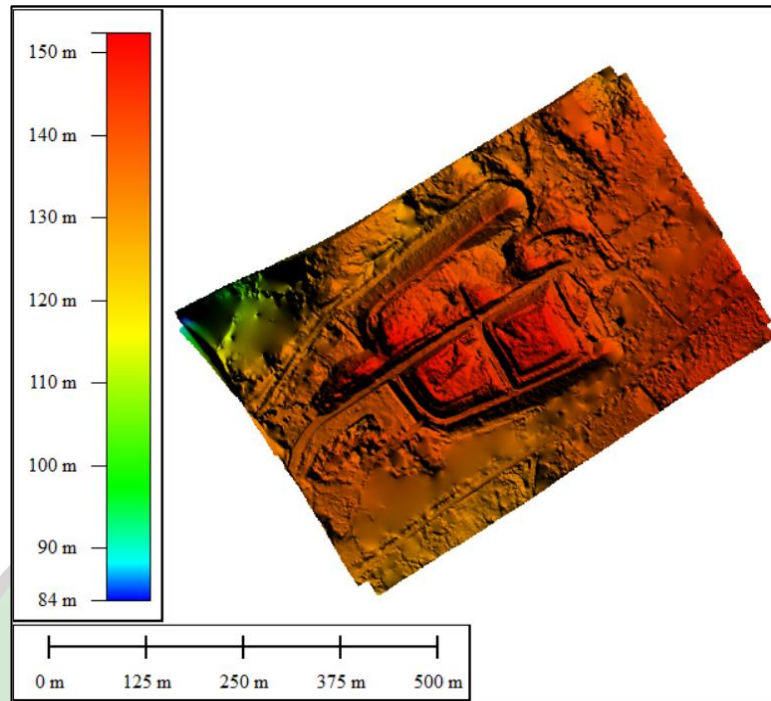
Perhitungan volume foto udara dengan wahana UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) diolah menggunakan *software Global Mapper* dengan menginput data (*Digital Terrain Model*) DTM yang diekspor dari *software Agisoft Metashape*.

Pembentukan *Digital Terrain Model* (DTM) didapatkan setelah melewati semua proses pembentukan model 3D dari hasil foto udara yang terdiri dari *build texture* dan *build tiled model*. Konversi data DSM menjadi data DTM yang meliputi proses *filtering DTM slope based*, maka terbentuk DTM dari proses *filtering* untuk menghilangkan *surface* atau DSM sehingga membentuk DTM.



Gambar 4. 12 Tampilan *Digital Terrain Model* (DTM)

Perhitungan volume dari dengan data DTM dilakukan dengan metode *cut and fill* pada *software Global Mapper*. Pada proses perhitungan volume dilakukan dengan digitasi pada batas-batas area *landfill* pada lokasi penelitian. Ketinggian referensi dilakukan secara otomatis dengan mengikuti batas-batas area yang sudah ditentukan. Pembagian zona dilakukan dengan mengidentifikasi area *landfill* pada saat melakukan survei lapangan dan melihat topografi yang didapatkan. Area *landfill* memiliki akses jalan yang dapat dilintasi mobil dengan kapasitas besar dan alat berat, akses jalan ini yang menjadi pembatas antara zona.



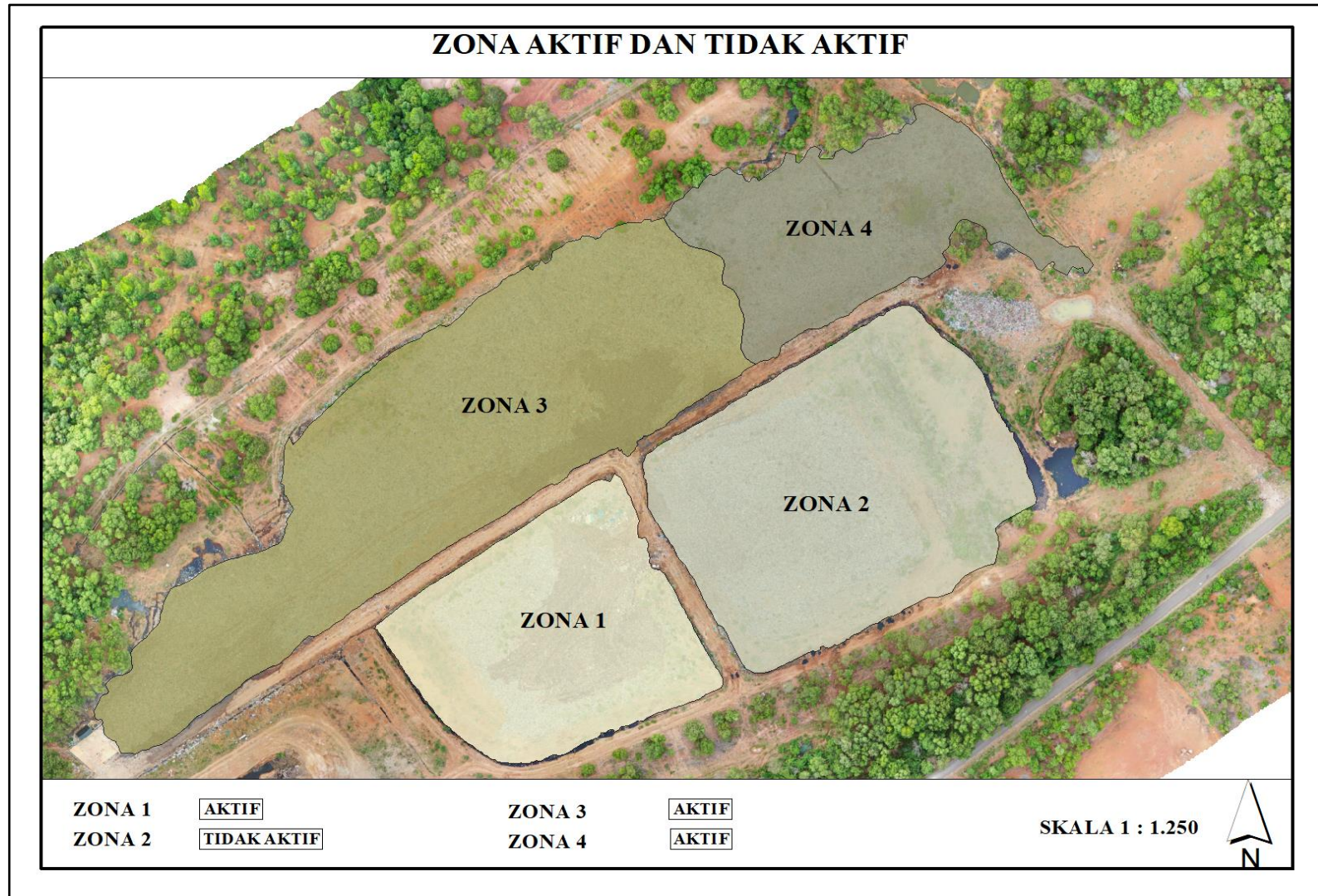
Gambar 4.13 Tampilan DTM pada *Software Global Mapper*

Berdasarkan data DTM pada *software Global Mapper*, maka didapatkan bahwa ketinggian tertinggi pada area *landfill* ialah >150 mdpl dan ketinggian terendah pada area terbang ialah 84 mdpl.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Volume

No	Variabel	Nilai			
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
1.	Luas (m ²)	9.637	14.698	19.746	8.037
2.	Cut Volume (m ³)	38.722,85	50.042,36	62.495,35	14.633,44
3.	Fill Volume (m ³)	8,313	213,37	948,74	296,02
4.	Volume Bersih (m ³)	38.714,53	49.828,98	61.546,61	14.337,42
Total (m³)		164.427,54			

Dari hasil perhitungan besar volume zona 1 adalah sebesar 38.714,53 m³, volume zona 2 adalah sebesar 49.828,98 m³, volume zona 3 adalah sebesar 61.546,61 m³ dan volume zona 4 adalah sebesar 14.337,42 m³. Jadi total volume *landfill* keseluruhan **164.427,54 m³**.



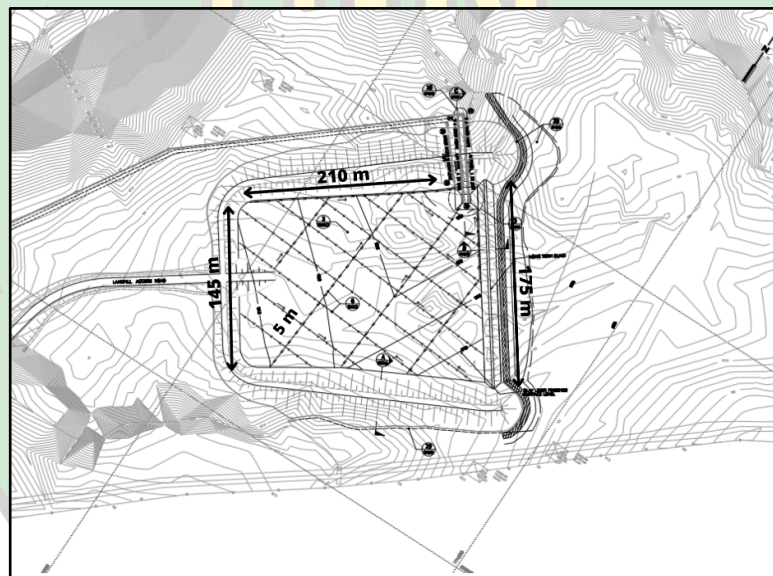
Gambar 4. 14 Pembagian Zona Landfill

4.2.3 Perhitungan Volume Lahan Urug

Sanitary landfill didesain untuk mencegah perembesan lindi kedalam tanah, metode pembuatan lahan urug yang dilapisi oleh lapisan-lapisan tertentu untuk mencegah perembesan lindi kedalam tanah. Tujuan paling mendasar dari pelaksanaan konstruksi ini adalah untuk melindungi air tanah agar tidak terkontaminasi oleh lindi. Supaya *landfill* dapat berfungsi dengan baik, elemen-elemen strukturnya harus dirancang dengan tepat dan sesuai standar.

TPA Regional Blang Bintang memiliki luas area 206 ha secara keseluruhan sedangkan area terpakai seluas 40 ha yang memiliki luas *landfill* 5 ha dan lahan urug 3.5 ha.

Lahan urug pada umumnya memiliki desain yang berbeda-beda sesuai dengan faktor eksisting dan faktor lainnya. Pada desain lahan urug perencanaan *landfill* pada TPA Regional Blang Bintang memiliki spesifikasi dapat dilihat pada Gambar 4.14a (DED TPA Regional Blang Bintang).



Gambar 4.15 *Detail Engineering Design (DED) TPA Regional Blang Bintang*
(Sumber: DLHK Aceh, 2023)

Berdasarkan DED (*Detail Engineering Design*) diatas diasumsikan *landfill* berbentuk persegi panjang dengan Panjang 210 m, lebar bawah 145 m, lebar atas 175 m dan 5 m kedalaman tanah. Maka didapatkan volume, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 t &= \sqrt{210^2 - (175 - 145)^2} \\
 &= \sqrt{44.100} - 225
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{43.875} \\
 &= 209.5 \text{ m} \\
 L &= \frac{1}{2} (a + b) t \\
 &= \frac{1}{2} (145 + 175) 209,5 \\
 &= 160 (209,5) \\
 &= 33.520 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Volume Lahan Urug:

$$\begin{aligned}
 &= \text{Luas} \times \text{Kedalaman} \\
 &= 33.520 \times 5 \\
 &= 167.500 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan volume lahan urug pada TPA Regional Blang Bintang adalah **167.500 m³**.

4.3 Analisis Masa Umur Pakai TPA

4.3.1 Proyeksi Volume Sampah

Perhitungan proyeksi jumlah volume timbulan sampah dalam penelitian ini menggunakan metode aritmatika, sebelum memproyeksikan jumlah volume timbulan sampah pada tahun ke-n terlebih dahulu mencari konstanta aritmatikanya (K_a).

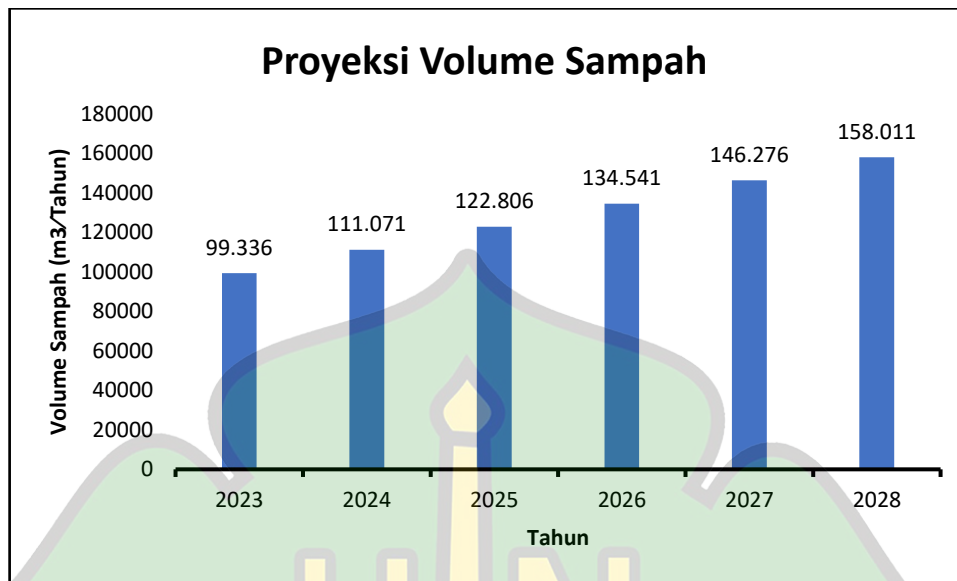
$$\begin{aligned}
 P_a &= P_0 + K_a (T_n - T_0) \\
 K_a &= \frac{P_a}{T_2} - \frac{P_1}{T_1} \\
 K_a &= \frac{87.601 - 5.456}{2022 - 2015} \\
 K_a &= 11.735
 \end{aligned}$$

Proyeksi jumlah volume sampah pada tahun 2023 dengan konstanta yang telah didapatkan, sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{2023} &= 87.601 + 11.735 \\
 P_{2023} &= 99.336 \text{ m}^3 / \text{Tahun}
 \end{aligned}$$

Perencanaan awal TPA Regional Blang Bintang diperkirakan dapat beroperasi selama 10 tahun sampai masa tutup dan pengelolaan pasca tutup. Pada penelitian ini dilakukan proyeksi 5 tahun dapat dilihat pada Gambar 4.16 (Grafik

Proyeksi Volume Timbulan Sampah TPA Regional Blang Bintang Tahun 2023-2028).



Gambar 4. 16 Grafik Proyeksi Volume Timbulan Sampah TPA Regional Blang Bintang Tahun 2023-2028

4.3.2 Faktor Pemasatan

Penurunan angka volume yang didapat pada hasil lapangan dapat dipengaruhi oleh faktor pepadatan. Faktor pepadatan diakibatkan oleh beberapa faktor yaitu faktor dekomposisi oleh bahan organik dan kompaksi pada proses penimbunan sampah yang dibantu oleh alat berat sehingga terjadinya pepadatan, hal ini menyebabkan penurunan angka volume sampah pada timbunan sampah.

Perhitungan faktor pepadatan sebagai berikut sebagai berikut:

Faktor Padat:

$$A R = \frac{\text{Volume Sampah Perhitungan}}{\text{Volume Sampah Terdata}}$$

$$= \frac{331.927}{472.105}$$

$$= 0,7$$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka didapatkan faktor padat yang terjadi pertahun adalah 0,7.

Untuk jumlah volume sampah di tahun selanjutnya setelah mengalami faktor pepadatan dapat dilihat pada Tabel 4.7 (Volume Sampah Setelah Terpadatkan di TPA Regional Blang Bintang).

Tabel 4.6 Volume Sampah Setelah Terpadatkan di TPA Regional Blang Bintang

No.	Tahun	Proyeksi Volume Sampah (m ³ /Tahun)	Faktor Padat	Volume Sampah Yang Terpadatkan	Sisa Volume Sampah (m ³)
1.	2023	99.336	0,7	29.800,8	69.535
2.	2024	111.071	0,7	33.321,3	77.749
3.	2025	122.806	0,7	36.841,8	85.964
4.	2026	134.541	0,7	40.362,3	94.178
5.	2027	146.276	0,7	43.882,8	102.393
6.	2028	158.011	0,7	47.403,3	110.607

4.3.3 Masa Umur Pakai TPA

Kondisi lahan *eksisting* TPA Regional Blang Bintang saat ini telah terisi sebesar 331.972 m³ (Volume sampah perhitungan lapangan). Pada perencanaan awal TPA Blang Bintang diperkirakan dapat bertahan 10 tahun dengan ketinggian *landfill* 15 m dari permukaan tanah.

Daya tampung rencana TPA Regional Blang Bintang tahun 2015:

$$\begin{aligned}
 V &= \text{luas} \times (\text{tinggi dari atas tanah} + \text{tinggi kedalam tanah}) \\
 &= 33.520 \times 20 \\
 &= 670.400 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Sisa volume *landfill* yang tersisa pada tahun 2023:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sisa}} &= \text{Volume perencanaan} - V_{2023} \\
 &= 670.400 - 331.927 \\
 &= 338.473 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, kapasitas maksimal pada area *landfill* ini adalah **670.400** m³. Maka ruang volume sisa pada area *landfill* adalah **338.473** m³.

Hasil perhitungan masa umur pakai TPA Regional Blang Bintang setelah mengalami faktor pemadatan dari tahun 2015-2028 dapat dilihat pada Tabel 4.8 (Perhitungan masa umur pakai TPA Setelah Faktor Pemadatan)

Tabel 4.7 Perhitungan masa umur pakai TPA Setelah Faktor Pemadatan

No	Tahun	Volume Sampah (m ³)	Sampah Terpadatkan	Kumulatif	Keterangan
1.	2015	5.456	1.637	-	Masih Aktif
2.	2016	4.692	1.408	7.104	Masih Aktif
3.	2017	22.908	6.872	23.139	Masih Aktif
4.	2018	61.474	18.442	66.171	Masih Aktif
5.	2019	67.409	20.223	113.357	Masih Aktif
6.	2020	87.913	26.374	174.896	Masih Aktif
7.	2021	87.189	26.157	235.929	Masih Aktif
8.	2022	87.601	26.280	297.249	Masih Aktif
9.	2023	99.336	29.801	366.785	Masih Aktif
10.	2024	111.071	33.321	444.534	Masih Aktif
11.	2025	122.806	36.842	530.499	Masih Aktif
12.	2026	134.541	40.362	624.677	Masih Aktif
13.	2027	146.276	43.883	727.070	TPA Penuh
14.	2028	158.011	47.403	837.678	TPA Penuh

- Analisis perhitungan umur pakai

$$\begin{aligned}
 \text{Volume sampah tahun 2027} &= 146.276 - 43.883 \\
 &= 102.393 \text{ m}^3/\text{Tahun} \text{ (: 12 Bulan)} \\
 &= 8.532 \text{ m}^3/\text{Bulan} \\
 &= 248 \text{ m}^3/\text{Hari}
 \end{aligned}$$

- Total sampah 2015 – 2016 = 727.070 m³
Volume daya tampung = 670.400 m³
Selisih = 727.070 m³ – 670.400 m³
= 56.670 m³
- Total volume sampah sampai Juli 2027
= 7 x 8.532 m³
= 59.724 m³ – 56.670 m³
= 3.054 m³

- Volume sampah perhari tahun 2027
= $3.054 \text{ m}^3 : 248 \text{ m}^3/\text{hari}$
= 12 Hari

Berdasarkan grafik diatas, maka sisa umur pakai TPA Regional Blang Bintang setelah mengalami faktor pemadatan TPA dapat dipakai sampai tahun 2027 bulan Juli hari ke-12.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dari data-data yang didapatkan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

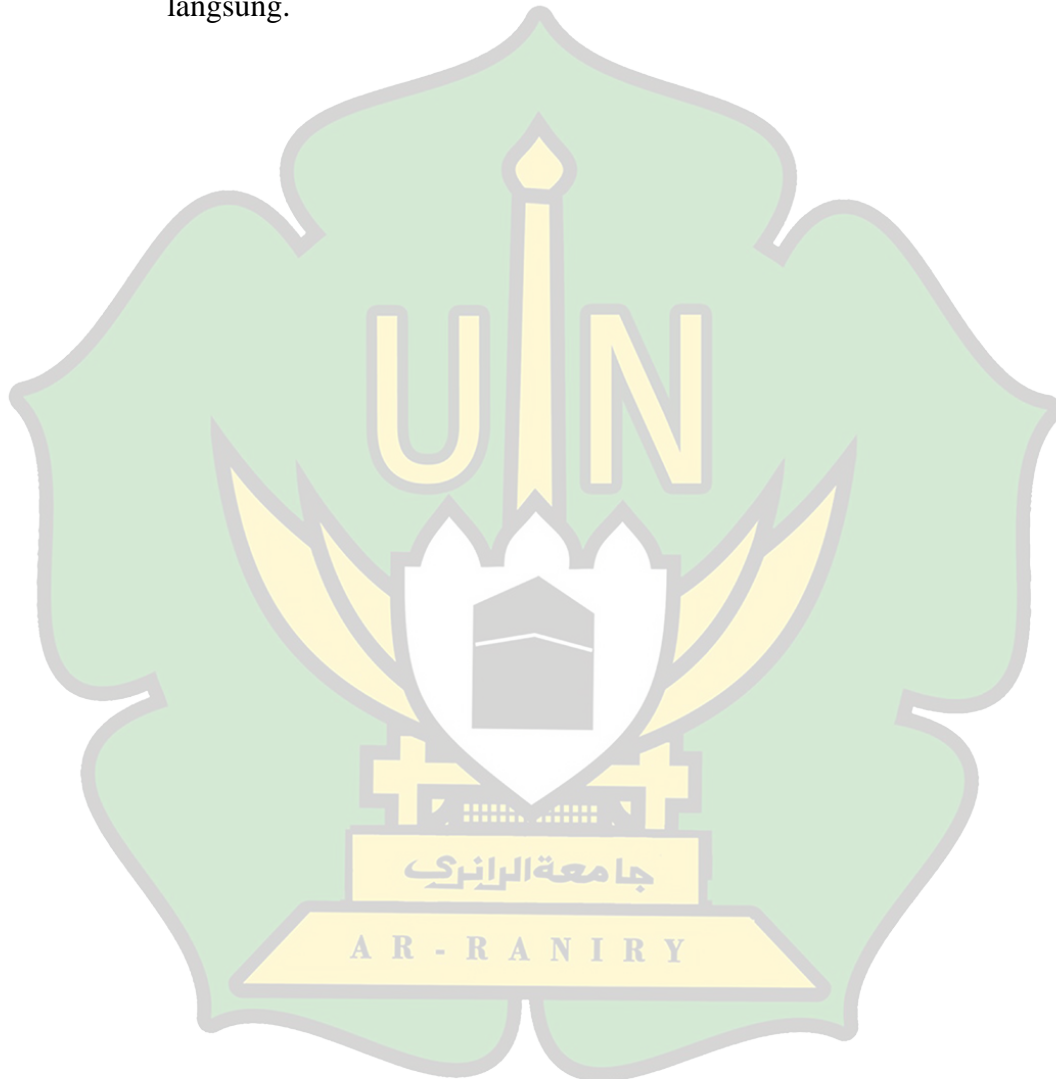
1. Peta topografi kawasan TPA Regional Blang Bintang yang dihasilkan menggunakan metode fotogrametri pada ketinggian 80 m dengan GSD 4 cm/piksel atau 1 piksel sama dengan 4 cm dipermukaan sebenarnya dalam skala peta 1 : 1.250, citra yang di dapatkan sangat detail dan *real time* sehingga kegiatan pemantauan dan evaluasi dapat dilakukan dengan efisien.
2. Berdasarkan data DEM terkontrol (titik kontrol tanah) dengan GNSS didapat hasil perhitungan volume sampah zona 1 adalah 38.714,53 m³ dengan status masih aktif, volume sampah zona 2 adalah 49.828,98 m³ status tidak aktif, volume sampah zona 3 adalah 61.546,61 m³ dengan status aktif dan volume sampah zona 4 adalah 14.337,42 m³ dengan status aktif.
3. Sisa umur pakai TPA Regional Blang Bintang setelah mengalami faktor pemadatan dengan nilai 0,7/tahun, maka didapatkan sisa umur pakai TPA Regional Blang Bintang akan berakhir pada tahun 2027 bulan Juli hari ke-12.

5.2 Saran

1. Untuk mendapatkan koordinat titik kontrol tanah yang akurat di sarankan menggunakan GNSS dengan durasi waktu +15 menit agar *Orthophoto* dan *Digital Elevation Model (DEM)* yang dihasilkan memiliki koordinat yang lebih mendekati aslinya.
2. Sebelum melakukan survei fotogrametri perlu di perhatikan zona yang akan diterbangkan menyesuaikan dengan peraturan kementerian perhubungan terhadap *Prohibited Area*, *Restricted Area* dan KKOP. Jika

area yang diterbangkan termasuk kedalam area yang bersyarat peneliti dapat mengajukan NOTAM kepada instansi terkait.

3. Spesifikasi wahana UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) dapat ditingkatkan dalam segi sensor yang memiliki fitur LIDAR (*Light Detection and Ranging*), sehingga dapat memangkas waktu pengolahan data karena LIDAR dapat menghasilkan data *Digital Elevation Model* (DEM) secara langsung.



DAFTAR PUSTAKA

- Asyah, Annabel Noor. 2020. *Drone PPK dan RTK, Apa Bedanya*.
<https://www.handalselaras.com/drone-ppk-dan-rtk-apa-bedanya/>. Di akses pada 24 November.
- Bambang, S. 2014. *Fotogrametri dan Penginderaan Jauh. Modul I-VI*. Kementerian Agraria dan Tata Ruang / Badan Pertanahan Nasional Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional: Yogyakarta.
- Baruna, P. 2016. *Prinsip Dasar Fotogrametri*. Acedemia. Jakarta.
- Jahjadi, M. E., & Djauhari, T. 2017. *Modeling 3 Dimensi Sungai dari Foto Udara*. Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang, 1–9.
- Halimi, K. 2018. *Tugas Akhir. Pemodelan dan Perhitungan Volume Stockpile dengan Wahana UAV (Unmanned Aerial Vehicle) pada wilayah PT. Lhoong Setia Mining*. Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala. Aceh.
- Hapsari, Widi. 2016. *Penentuan Posisi Stasiun GNSS CORS UNDIP EPOCH 2015 dan EPOCH 2016 Berdasarkan Stasiun IGS dan SRGI Menggunakan Perangkat Lunak Gamit*. Jurnal Geodesi Undip. Vol 5. No 4.
- Hasibuan, M. Akbar Ardiansyah. 2019. *Pengendalian Air Lindi pada Proses Penutupan TPA Gampong Jawa, Kota Banda Aceh Terhadap Kualitas Air Sumur*. Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-raniry. Aceh.
- Irvine, W. 1995. *Penyigian untuk Konstruksi*. Bandung: Penerbit ITB
- Juansah, M. Mefan. 2020. *Laju Dekomposisi Karbon pada Sampah Organik dan Perencanaan Penutupan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Banda Aceh*. Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-raniry. Aceh.
- Kementerian Perhubungan. 2015. *Peraturan Menteri Nomor 90 tahun 2015 tentang Pengendalian Pengoperasian Pesawat Udara Tanpa Awak di Ruang Udara yang dilayani Indonesia*. Kementerian Perhubungan. Jakarta.

- Kementrian PUPR. 2013. Peraturan Menteri Nomor 3 tahun 2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. KOTAKU. Jakarta.
- Maulidin, Reza Fajar. 2016. Tugas Akhir. Studi Penentuan Volume dengan Total Station dan Terrestrial Laser Scanner. Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Intitusi Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Prasetyowati, D.A. 2016. Modul Kuliah Statistika. Fakultas Ilmu Komputer Universitas Indo a Mandiri. Palembang.
- Paryogo, P. 2020. Pemanfaatan Teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) Quadcopter dalam Pemetaan Digital (Fotogrametri) Menggunakan Kerangka Ground Control Point. Jurnal Ilmiah Media Engineering. Vol 10. No 1.
- Ramadhon, S. 2020. Pengaruh Lingkungan Pengamatan pada Ketelitian Horisontal GNSS dengan Metode RTK-NTRIP. Jurnal Nasional Pengelolaan Energi Migas.
- Republik Indonesia. 2008. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah. Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia. Jakarta.
- Suprihatin, A. dkk. 1999. Sampah dan Pengelolannya. Malang: PPPGT/VEDC Malang.
- Wijayanto, B.M. 2016. Pemodelan Waduk Bajulmati dengan Wahana Udara Tanpa Awak Aibotix. Skripsi. Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

LAMPIRAN A DATA PENELITIAN

A.1 Spesifikasi *Drone*



1. Unit *Drone*

Berat	907 Gram
Kecepatan <i>take-off max</i>	5 m/s pada <i>sport mode</i>
Kecepatan <i>landing max</i>	3 m/s pada <i>sport mode</i>
Kecepatan <i>horizontal max</i>	20 m/s pada <i>sport mode</i>
Ketinggian max	6.000 m dari atas permukaan laut
Waktu terbang max	31 menit
Temperatur saat pengoperasian	-10 s/d 40°C
Sistem satelit	GPS + GLONASS
Penyimpanan Internal	8 GB

2. Kamera

Sensor	1" CMOS dengan efektifitas 20 Megapixel
Lensa	FOV (Field of View) 77°, 28 mm (35 mm format equivalent), f/2.8-f/11.
Panjang fokus	4 mm

Kisaran ISO	100 – 6.400 (video) 100 – 3.200 (foto)
Kecepatan Shutter	8 - 1/8.000 s
Ukuran Gambar Max	5.472 × 3.648
<i>Mode Still Photography</i>	Single shot
Video maks	100 Mbps
Supported file systems	FAT32 (< 32 GB), exFAT (>32 GB)
Format Foto	JPEG / DNG (RAW)

3. Baterai dan Charger

Kapasitas baterai	3.850 mAh
<i>Voltage</i>	15,4 V
<i>Max Charging Voltage</i>	17,6 V
Tipe baterai	LiPo 4S
<i>Power</i>	59,29 Wh
Berat	297 Gram
Suhu Pengisian Daya	5°C to 40°C
Daya Pengisian Maks	100 W

A.2 Spesifikasi RTK



1. Karakter Fisik

Dimensi	145 x 145 x 85 mm
Berat	690 Gram
Ketahanan Terhadap Air	IP67
Ketahanan Suhu	-20°C - 65°C
Jarak Maks. Base	10 km (RTK), 20 KM (PPK)

2. Baterai dan Charger

Ketahanan Baterai	30 Jam
Tipe Baterai	LiFePO4 3.2 V
<i>External Power Input</i>	6-40 V
Tipe Charger	Micro USB 5V

3. Akurasi

Statik	Horizontal (5 mm), Vertikal (10 mm)
PPK	Horizontal (7 mm), Vertikal (14 mm)
RTK	Horizontal (7 mm), Vertikal (14 mm)

4. Data

Koreksi	NTRIP, RTCM3
<i>Position output</i>	NMEA, LLH/XYZ
Data Logging	RINEX, 14 Hz
Penyimpanan Internal	8 Gb

5. Frekuensi GNSS

Sinyal	GPS/QZSS L1, GLONASS G1 BeiDou B1 Galileo E1, SBAS
<i>No Channel</i>	72
<i>Updates Rates</i>	14 Hz GPS / 5 Hz GNSS

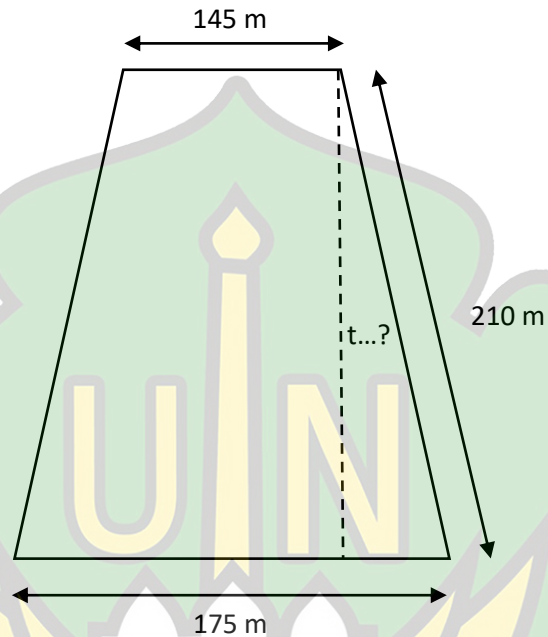
A.3 Spesifikasi Laptop



Berat	7.000 gram
Prosesor	AMD Ryzen 5-3550H (2.1GHz; 2M cache; up to 3.7GHz)
RAM	16 Gb
Sistem Operasi	Window 11
Grafik	NviDia GeForce GTX 1650 4GB
Memori	512GB SSD
Baterai	52.Wh
Tipe layar	IPS, 15.6 Inch FHD (1920×1080)

LAMPIRAN B PERHITUNGAN

B.1 Perhitungan luasan lahan urug



$$\begin{aligned}
 t &= \sqrt{210^2 - (175 - 145)^2} \\
 &= \sqrt{44.100} - 225 \\
 &= \sqrt{43.875} \\
 &= 209,5 \text{ m} \\
 L &= \frac{1}{2} (a + b) t \\
 &= \frac{1}{2} (145 + 175) 209,5 \\
 &= 160 (209,5) \\
 &= 33.520 \text{ m}
 \end{aligned}$$

B.2 Proyeksi Volume Sampah

$$\begin{aligned}
 P_a &= P_0 + K_a (T_n - T_0) \\
 K_a &= \frac{P_a}{T_2} - \frac{P_1}{T_1} \\
 K_a &= \frac{87.601 - 5.456}{2022 - 2015}
 \end{aligned}$$

$$K_a = 11.735$$

- Tahun 2023

$$P_{2023} = 87.601 + 11.735 (2023 - 2022)$$

$$P_{2023} = 99.336 \text{ m}^3/\text{Tahun}$$

- Tahun 2024

$$P_{2024} = 87.601 + 11.735 (2024 - 2022)$$

$$P_{2024} = 111.071 \text{ m}^3/\text{Tahun}$$

- Tahun 2025

$$P_{2025} = 87.601 + 11.735 (2025 - 2022)$$

$$P_{2025} = 122.806 \text{ m}^3/\text{Tahun}$$

- Tahun 2026

$$P_{2026} = 87.601 + 11.735 (2026 - 2022)$$

$$P_{2026} = 134.541 \text{ m}^3/\text{Tahun}$$

- Tahun 2027

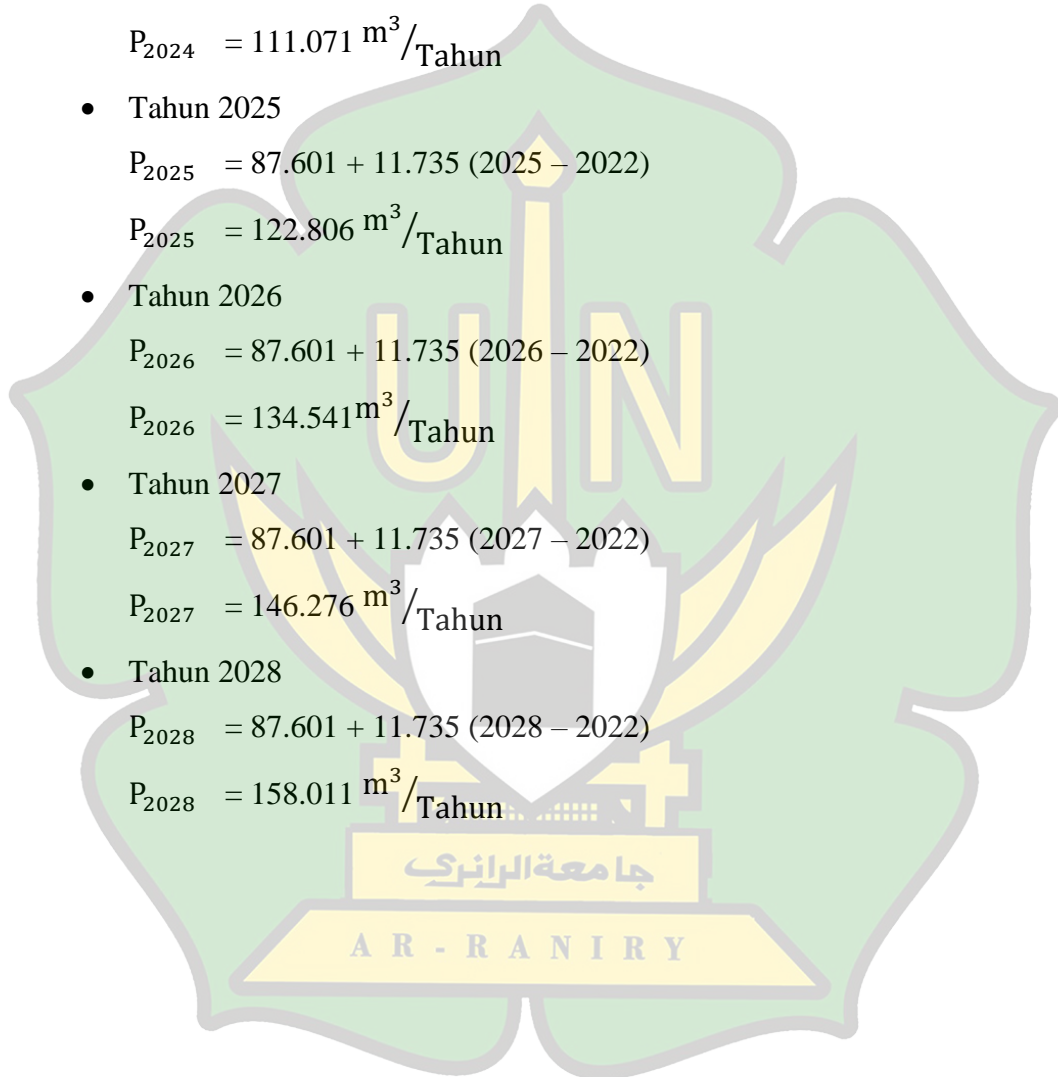
$$P_{2027} = 87.601 + 11.735 (2027 - 2022)$$

$$P_{2027} = 146.276 \text{ m}^3/\text{Tahun}$$

- Tahun 2028

$$P_{2028} = 87.601 + 11.735 (2028 - 2022)$$

$$P_{2028} = 158.011 \text{ m}^3/\text{Tahun}$$



LAMPIRAN C DOKUMETASI LAPANGAN

C.1 Proses Pemasangan Titik Kontrol Tanah dengan RTK



1



2

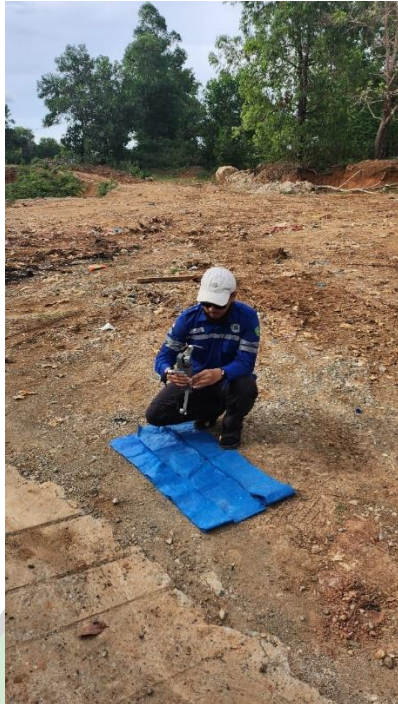


3

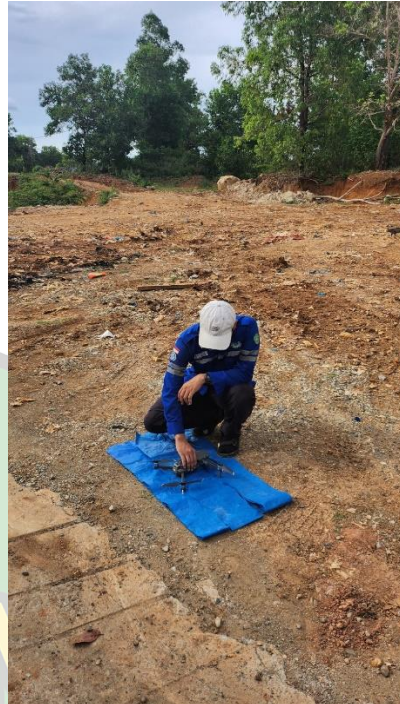


4

C.2 Proses Pengambilan Foto Tegak dengan *Drone DJI Mavic 2 Pro*

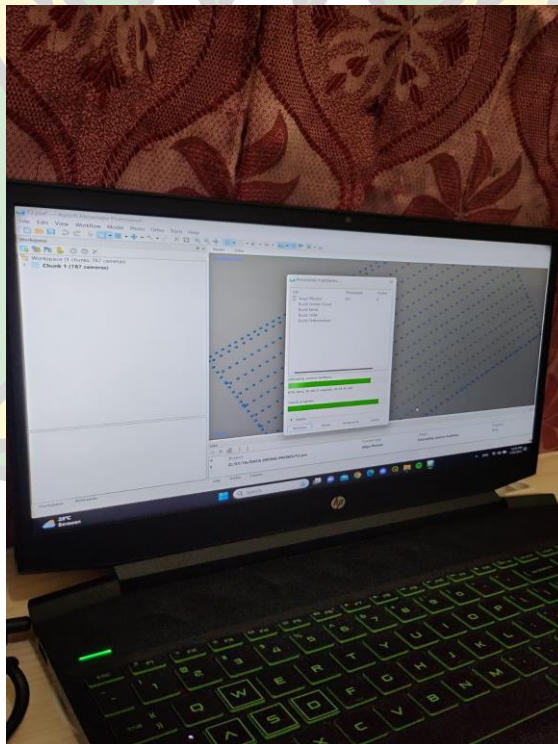


1



2

C.3 Proses Pengolahan Data



1

C.4 Kondisi Eksisting



1



2

