

TESIS

**ANALISIS STABILITAS LERENG BERBASIS FEM
MENGUNAKAN PEMODELAN FOTOGRAMETRI UAV
DENGAN *GROUND CONTROL POINTS* TERBATAS**

MUHAMMAD HAFIZHIR RIDHA



**REKAYASA GEOTEKNIK
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
2025**

TESIS
ANALISIS STABILITAS LERENG BERBASIS FEM
MENGGUNAKAN PEMODELAN FOTOGRAMETRI UAV
DENGAN *GROUND CONTROL POINTS* TERBATAS

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Magister dari
Universitas Lambung Mangkurat**

Oleh

MUHAMMAD HAFIZHIR RIDHA
2320828310055



REKAYASA GEOTEKNIK
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
2025

LEMBAR PENGESAHAN
TESIS PROGRAM STUDI S-2 TEKNIK SIPIL

**Analisis Stabilitas Lereng Berbasis FEM Menggunakan Permodelan
Fotogrametri UAV dengan *Ground Control Point* Terbatas**

Oleh

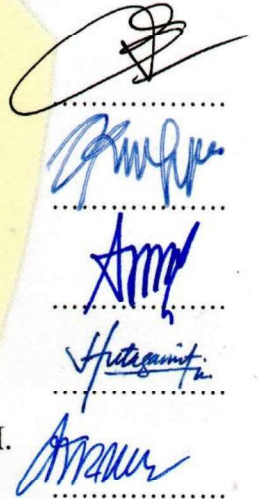
Muhammad Hafizhir Ridha (2320828310055)

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada (8 Desember) 2025 dan
dinyatakan

LULUS

Komite Penguji :

- Ketua** : Prof. Dr. Ir. Rusdiansyah, S.T., M.T., IPU.
NIP. 19740809 200003 1 001
- Anggota 1** : Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng.
NIP. 19790723 200501 2 005
- Anggota 2** : Dr. Ir. Muhammad Afief Ma'ruf, S.T., M.T., IPM.
NIP. 19841031 200812 1 001
- Anggota 3** : Dr. Hutagamissufardal, S.T., M.T.
NIP. 19700212 199502 1 001
- Pembimbing Utama** : Prof. Dr.-Ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T., IPM.
NIP. 19750719 200003 1 001



.....
.....
.....
.....
.....

Banjarmasin,

Diketahui dan disahkan oleh:



Wakil Dekan Bidang Akademik
Fakultas Teknik ULM

Dr. Mahmud, S.T., M.T.
NIP. 19740107 199802 1 001

Koordinator Program Studi
S-2 Teknik Sipil

Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng.
NIP. 19790723 200501 2 005

TESIS

Judul Tesis : Analisis Stabilitas Lereng Berbasis FEM Menggunakan
Permodelan Fotogrametri UAV dengan *Ground Control Point*
Terbatas

Nama : Muhammad Hafizhir Ridha

NIM : 2320828310055

Disetujui Komisi Pembimbing
Pembimbing Utama



Prof. Dr.-Ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T., IPM.
NIP. 19750719 200003 1 001

Koordinator Program Studi
Magister Teknik Sipil



Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng.
NIP. 19790723 200501 2 005

TESIS

**ANALISIS STABILITAS LERENG BERBASIS FEM MENGGUNAKAN
PERMODELAN FOTOGRAMETRI UAV DENGAN
GROUND CONTROL POINT TERBATAS**

MUHAMMAD HAFIZHIR RIDHA


2320828310055

Tesis ini telah diuji dan telah diperbaiki pada tanggal 11 Desember 2025

Tim penguji/penilai:

Prof. Dr. Ir. Rusdiansyah, S.T., M.T., IPU.
NIP. 19740809 200003 1 001

Ketua



.....

Dr. Nursiah Chairunnisa, S.T., M.Eng.
NIP. 19790723 200501 2 005

Sekretaris



.....

Dr. Ir. Muhammad Afief Ma'ruf, S.T., M.T., IPM.
NIP. 19841031 200812 1 001

Anggota 1



.....

Dr. Hutagamissufardal, S.T., M.T.
NIP. 19700212 199502 1 001

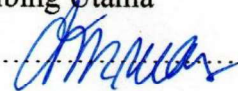
Anggota 2



.....

Prof. Dr.-Ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T., IPM.
NIP. 19750719 200003 1 001

Pembimbing Utama



.....

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis ini merupakan penelitian yang telah saya lakukan. Segala kutipan dari berbagai sumber telah diungkapkan sebagaimana mestinya. Tesis ini belum pernah dipublikasikan untuk keperluan lain oleh siapapun juga.

Jika dikemudian hari ternyata pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia menerima hukuman dari ketidakbenaran pernyataan tersebut.

Banjarmasin, 11 Desember 2025

Yang membuat Pernyataan



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Fuz'.

Muhammad Hafizhir Ridha

232082828310055

ABSTRAK

Analisis Stabilitas Lereng Berbasis FEM Menggunakan Pemodelan Fotogrametri UAV dengan *Ground Control Points* Terbatas

**Muhammad Hafizhir Ridha
232082828310055**

Prof. Dr.-ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T., IPM

Fotogrametri UAV merupakan metode efisien untuk pemetaan lereng dan analisis stabilitas. Namun, penggunaan Ground Control Points (GCP) yang banyak di medan kompleks dan sulit dijangkau seringkali menimbulkan kendala operasional dan biaya. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi konfigurasi GCP minimal yang tetap mampu menghasilkan model elevasi lereng akurat serta dampaknya terhadap analisis stabilitas berbasis Finite Element Method (FEM).

Tujuan penelitian mencakup: Menganalisis pengaruh variasi distribusi GCP terhadap akurasi pemetaan UAV di medan lereng kompleks, Mengevaluasi dampak konfigurasi GCP terhadap faktor keamanan (SF) lereng dengan pemodelan FEM, dan Menentukan konfigurasi GCP minimal optimal untuk pemodelan lereng yang akurat dalam analisis risiko longsor.

Hasil penelitian menunjukkan: Konfigurasi GCP vertikal menghasilkan akurasi tertinggi (RMSE total 5,50 mm), diikuti diagonal (61,26 mm) dan hanya di puncak (52,93 mm). Pada analisis stabilitas, konfigurasi vertikal menghasilkan SF 1,72, paling mendekati referensi GPS (SF=1,826), sementara konfigurasi di puncak terendah (SF=1,269) dan diagonal menengah (SF=1,514). Konfigurasi GCP vertikal terbukti sebagai tata letak minimal paling efektif untuk menghasilkan model lereng akurat dan andal, serta mendukung efisiensi pemetaan UAV di area sulit dijangkau. Temuan ini berkontribusi pada pengembangan sistem pemantauan lereng yang lebih efisien, akurat, dan ekonomis, serta dapat diterapkan dalam manajemen risiko bencana longsor.

Kata Kunci: Fotogrametri UAV; Ground Control Points (GCP); stabilitas lereng; manajemen risiko bencana

ABSTRACT

FEM Based Slope Stability Analysis Using UAV Photogrammetry Modeling with Limited Ground Control Points

Muhammad Hafizhir Ridha
232082828310055

Prof. Dr.-ing. Yulian Firmana Arifin, S.T., M.T., IPM

UAV photogrammetry is an efficient method for slope mapping and stability analysis. However, the use of numerous Ground Control Points (GCPs) in complex and difficult-to-access terrain often presents operational and cost constraints. This study aims to evaluate a minimal GCP configuration that is still capable of producing accurate slope elevation models, as well as its impact on stability analysis based on the Finite Element Method (FEM).

The research objectives include: Analyzing the influence of GCP distribution variations on UAV mapping accuracy in complex slope terrain, Evaluating the impact of GCP configuration on slope safety factor (SF) through FEM modeling, and Determining the optimal minimal GCP configuration for accurate slope modeling in landslide risk analysis..

The results show: The vertical GCP configuration achieved the highest accuracy (total RMSE 5.50 mm), followed by diagonal (61.26 mm) and crest-only (52.93 mm). In stability analysis, the vertical configuration yielded an SF of 1.72, closest to the GPS reference (SF = 1.826), while the crest-only configuration had the lowest SF (1.269) and the diagonal configuration was intermediate (SF = 1.514). The vertical GCP configuration proved to be the most effective minimal layout for producing accurate and reliable slope models, while also supporting efficient UAV mapping in hard-to-reach areas. These findings contribute to the development of a more efficient, accurate, and economical slope monitoring system and can be applied in landslide disaster risk management.

Keywords: *UAV photogrammetry; Ground Control Points (GCP); slope stability; disaster risk management*

PRAKATA

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah segala Puji dan Syukur kepada Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya. Dan juga tidak lupa saya haturkan shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada junjungan Nabi Besar Muhammad Shallahu Alaihi Wassalam yang telah membawa kita berada di zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan. Berkat niat, usaha dan do'a maka penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis dengan judul “Analisis Stabilitas Lereng Berbasis FEM Menggunakan Pemodelan Fotogrametri UAV dengan *Ground Control Points* Terbatas”.

Penulisan Tesis ini dilakukan untuk memenuhi syarat dalam mencapai gelar Magister Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat. Didalam proses penulisan ini, penulis banyak mendapatkan bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga penulisan tesis ini dapat terselesaikan tepat waktu.

Banjarmasin, 11 Desember 2025



Muhammad Hafizhir Ridha

DAFTAR ISI

TESIS	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN.....	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	5
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Definisi Lereng	6
2.2. Pengendalian Kekuatan Lereng.....	6
2.3. Definisi Fotogrametri	7
2.4. Analisis <i>Orthophoto</i> dan DEM dengan Program <i>Agisoft Metashape</i>	8
2.4.1. RMSE _x (<i>Root Mean Square Error</i> pada Sumbu X dan Y)....	8
2.4.2. RMSE _z (<i>Root Mean Square Error</i> pada Sumbu Z).....	9
2.5. Analisis <i>Point Cloud</i> dan Model 3D dengan Program <i>CloudCompare</i>	9
2.6. Analisis Stabilitas Lereng dengan Program <i>Plaxis</i>	10
BAB III METODE PENELITIAN	12
3.1. Bagan Alir Penelitian.....	12
3.2. Lokasi	12

3.3.	Bahan	14
3.4.	Prosuder Pelaksanaan	14
3.5.	Pengujian	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		26
4.1.	Dampak Distribusi GCP terhadap Akurasi Pemetaan	26
4.1.1.	Metrik Akurasi Fotogrametri UAV untuk Konfigurasi GCP Berbeda	26
4.1.2.	Analisis <i>CloudCompare</i> untuk Konfigurasi GCP.....	29
4.1.3.	Analisis Penampang Melintang dari Profil Lereng Berdasarkan Konfigurasi GCP	32
4.2.	Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan <i>Finite Element Method</i> (FEM)	36
4.2.1.	Data Tanah dan Lapisan Bawah Permukaan.....	36
4.2.2.	Pemodelan FEM untuk Stabilitas Lereng	43
4.2.3.	Analisis Permukaan Slip dan factor Keamanan Lereng.....	46
4.3.	Konfigurasi GCP dengan Penempatan Terbaik.....	52
4.4.	Kontribusi Terhadap Manajemen Risiko Berencana.....	53
BAB V PENUTUP		55
5.1.	Kesimpulan.....	55
5.2.	Saran	55
DAFTAR RUJUKAN		57
LAMPIRAN		62

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Tipe perilaku tanah berdasarkan zona bagan perilaku tanah	11
Tabel IV.1 Metrik Akurasi untuk Konfigurasi GCP Berbeda.....	26
Tabel IV.3 Indeks Propertis dan Indeks Mekanis Tanah	42
Tabel IV.4 Sifat Tanah BH1, BH2, dan BH3 untuk Analisis Kestabilan Lereng.	44
Tabel IV.5 Hubungan Empiris Antara Parameter Tanah dan Hasil CPT yang Digunakan dalam Analisis FEM	45
Tabel IV.6 Rekapitulasi Nilai SF dan Lingkar Longsor	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Grafik Zona Perilaku Tanah	10
Gambar III.1	Bagan Alir Penelitian	12
Gambar III.2	Lokasi Penelitian	13
Gambar III.3	Benchmark (BM) pada lokasi penelitian.....	14
Gambar III.4	GPS Geodetik RTK.....	16
Gambar III.5	Alat Uji Sondir	16
Gambar III.6	Alat Uji Bor Tangan.....	17
Gambar III.7	Alat Sieve Shaker	17
Gambar III.8	Alat oven listrik.....	18
Gambar III.9	Alat Uji Cassagrande.....	18
Gambar III.10	Alat Geser Langsung.....	19
Gambar III.11	Alat Geser Vane	19
Gambar III.12	Alat Kuat Tekan Bebas.	20
Gambar III.13	Drone DJI Phantom 4 Professional Obsidian.....	20
Gambar III.14	Pemasangan Ground Control Point (GCP)	22
Gambar III.15	(a) Penempatan GCP Atas, (b) Penempatan GCP Turun Lurus Vertikal, dan (c) Penempatan GCP Turun Diagonal.....	22
Gambar III.16	Perangkat Lunak DJI Pilot	23
Gambar III.17	Pemasangan Ground Control Point (GCP)	25
Gambar IV.1	DEM dan Kontur Topografi Geodetik RTK.....	27
Gambar IV.2	DEM dan Kontur Akuisisi <i>Drone</i> dengan GCP Atas	28
Gambar IV.3	DEM dan Kontur Akuisisi <i>Drone</i> dengan GCP Vertikal.....	28
Gambar IV.4	DEM dan Kontur Akuisisi <i>Drone</i> dengan GCP Diagonal	28
Gambar IV.5	(a) Perbandingan Profil Elevasi Data UAV dengan 3 GCP Penempatan Atas (Coklat) vs. Survei Lapangan GPS Geodetik (Biru). (b) Perbandingan Jarak dari Point Cloud ke Point Cloud Antar model elevasi.....	29
Gambar IV.6	(a) Perbandingan Profil Elevasi: Data Survei Lapangan (Biru) vs. Data UAV dengan 3 GCP Penempatan Turun Lurus Vertikal	

	(Putih). (b) Perbandingan Jarak dari Point Cloud ke Point Cloud Antar model elevasi.....	30
Gambar IV.7	(a) Perbandingan Profil Elevasi: Data Survei Lapangan (Biru) vs. Data UAV dengan 3 GCP Penempatan Turun Diagonal (Pirus). (b) Perbandingan Jarak dari Point Cloud ke Point Cloud Antar model elevasi.....	31
Gambar IV.8	Posisi penampang melintang.....	32
Gambar IV.9	Pembandingan Penampang GPS Geodetik dengan Drone GCP Penempatan Atas (Potongan 1).....	32
Gambar IV.10	Pembandingan Penampang GPS Geodetik dengan Drone GCP Penempatan Atas (Potongan 2).....	33
Gambar IV.11	Pembandingan Penampang GPS Geodetik dengan Drone GCP Penempatan Atas (Potongan 3).....	33
Gambar IV.12	Pembandingan Penampang GPS Geodetik dengan Drone GCP Penempatan Turun Lurus Vertikal (Potongan 1).....	34
Gambar IV.13	Pembandingan Penampang GPS Geodetik dengan Drone GCP Penempatan Turun Lurus Vertikal (Potongan 2).....	34
Gambar IV.14	Pembandingan Penampang GPS Geodetik dengan Drone GCP Penempatan Turun Lurus Vertikal (Potongan 3).....	34
Gambar IV.15	Pembandingan Penampang GPS Geodetik dengan Drone GCP Penempatan Turun Diagonal (Potongan 1).....	35
Gambar IV.16	Pembandingan Penampang GPS Geodetik dengan Drone GCP Penempatan Turun Diagonal (Potongan 2).....	35
Gambar IV.17	Pembandingan Penampang GPS Geodetik dengan Drone GCP Penempatan Turun Diagonal (Potongan 3).....	35
Gambar IV.18	(a) Grafik qc terhadap Kedalaman (b) Grafik FR terhadap Kedalaman.....	37
Gambar IV.19	(a) Grafik Klasifikasi Tanah Untuk CPT 1 terhadap kedalaman dan (b) Grafik Zona bagan perilaku tanah.....	37
Gambar IV.20	(a) Grafik qc terhadap Kedalaman (b) Grafik FR terhadap Kedalaman.....	38
Gambar IV.21	(a) Grafik Klasifikasi Tanah Untuk CPT 2 terhadap kedalaman dan (b) Grafik Zona bagan perilaku tanah Robertson et al. (1986) ...	38
Gambar IV.22	(a) Grafik qc terhadap Kedalaman (b) Grafik FR terhadap Kedalaman.....	39

Gambar IV.23 (a) Grafik Klasifikasi Tanah Untuk CPT 3 terhadap kedalaman dan (b) Grafik Zona bagan perilaku tanah Robertson et al. (1986) ...	39
Gambar IV.24 Prediksi Stratigrafi Tanah Berdasarkan Data CPT.	43
Gambar IV.25 Analisis Stabilitas Lereng dengan Garis Dasar Geodetik	46
Gambar IV.26 Analisis Stabilitas Lereng dengan Garis GCP Penempatan Atas	47
Gambar IV.27 Analisis Stabilitas Lereng dengan Garis GCP Penempatam Turun Diagonal	47
Gambar IV.28 Analisis Stabilitas Lereng dengan Garis GCP Penempatan Turun Lurus Vertikal	48
Gambar IV.29 Analisis Panjang Bidang Gelincir Lereng dengan Garis Dasar Geodetik	49
Gambar IV.30 Analisis Panjang Bidang Gelincir Lereng dengan Garis GCP Penempatan Atas	49
Gambar IV.31 Analisis Panjang Bidang Gelincir Lereng dengan Garis GCP Penempatan Turun Diagonal.....	49
Gambar IV.32 Analisis Panjang Bidang Gelincir Lereng dengan Garis GCP Penempatan Turun Lurus Vertikal	50
Gambar IV.33 Ringkasan Alur Kerja Pemetaan Lereng dan Pemodelan Geoteknik Berbasis UAV	54

DAFTAR SINGKATAN DAN ISTILAH

Singkatan/Istilah	Definisi
Agisoft Metashape	Perangkat lunak fotogrametri profesional untuk pemrosesan gambar UAV dan pembuatan model 3D, DEM, dan <i>orthophoto</i> .
AGL	<i>Above Ground Level</i> – ketinggian di atas permukaan tanah.
Akuisisi Data (<i>Data Acquisition</i>)	Proses pengambilan gambar atau data lapangan menggunakan UAV atau sensor lainnya.
Akurasi Geometrik (<i>Geometric Accuracy</i>)	Tingkat kedekatan model spasial (posisi dan bentuk) yang dihasilkan dengan kondisi sebenarnya di lapangan.
<i>Atterberg Limits</i>	Batas konsistensi tanah (cair, plastis, menyusut) berdasarkan kadar air.
<i>Benchmark</i> (BM)	Titik referensi tetap dengan koordinat dan elevasi diketahui, digunakan dalam pengukuran geodetik.
BH	<i>Borehole</i> (Lubang Bor) – titik pengeboran tanah untuk pengambilan sampel dan uji lapangan.
BH	<i>Borehole</i> (Lubang Bor) – titik pengeboran tanah untuk pengambilan sampel dan uji lapangan.
<i>Bundle Adjustment</i>	Proses optimasi matematis dalam fotogrametri untuk menyelaraskan posisi kamera, orientasi, dan koordinat titik 3D secara simultan guna meminimalkan kesalahan reprojeksi.
CL	<i>Low-Plasticity Clay</i> – klasifikasi tanah berdasarkan USCS.
CloudCompare	Perangkat lunak untuk memvisualisasikan, membandingkan, dan menganalisis data point cloud dan model 3D, termasuk analisis perbedaan (M3C2).
CPT	<i>Cone Penetration Test</i> (Uji Penetrasi Konus) – uji lapangan untuk menentukan karakteristik tanah dengan mengukur tahanan konus dan gesekan selongsong.
DEM	<i>Digital Elevation Model</i> (Model Elevasi Digital) – representasi digital permukaan tanah tanpa objek di atasnya.
<i>Dense Cloud</i> (Awan Padat)	Hasil dari proses fotogrametri yang menghasilkan titik 3D yang sangat padat, mewakili permukaan objek dengan detail halus.
<i>Direct Shear Test</i>	Uji geser langsung untuk menentukan parameter kuat geser tanah.
Distorsi Lensa (<i>Lens Distortion</i>)	Penyimpangan geometri pada citra yang disebabkan oleh karakteristik optik lensa kamera, perlu dikoreksi dalam fotogrametri.
DSM	<i>Digital Surface Model</i> (Model Permukaan Digital) – representasi digital permukaan tanah beserta objek di atasnya (vegetasi, bangunan).
DSM (<i>Digital Surface Model</i>)	Model permukaan digital yang mencakup elevasi semua objek di permukaan bumi, seperti vegetasi, bangunan, dan tanah.
DTM (<i>Digital Terrain Model</i>)	Model elevasi digital yang merepresentasikan permukaan tanah tanpa objek di atasnya (seperti vegetasi dan bangunan), seringkali merupakan hasil dari klasifikasi atau pemfilteran <i>point cloud</i> .

ERI	<i>Electrical Resistivity Imaging</i> – teknik geofisika untuk memetakan resistivitas bawah permukaan.
FEM	<i>Finite Element Method</i> (Metode Elemen Hingga) – metode numerik untuk menganalisis perilaku struktur dan material dengan membagi domain menjadi elemen-elemen kecil.
<i>Flight Planning Software</i> (Perangkat Lunak Perencanaan Penerbangan)	Perangkat lunak untuk merencanakan jalur penerbangan UAV secara otomatis berdasarkan parameter seperti area, ketinggian, <i>overlap</i> , dan kecepatan. Contoh: Pix4Dcapture, DJI GS Pro, DJI Pilot.
Fotogrametri (<i>Photogrammetry</i>)	Ilmu, teknologi, dan seni memperoleh informasi kuantitatif dan kualitatif tentang objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi citra fotografi.
Fotogrametri UAV (<i>UAV Photogrammetry</i>)	Teknik fotogrametri yang menggunakan Wahana Udara Nir-awak (<i>drone</i>) sebagai platform pengambilan gambar untuk pemetaan dan pemodelan 3D.
FR	<i>Friction ratio</i> – rasio antara gesekan selongsong dan tahanan konus dalam CPT.
fs	<i>Sleeve friction</i> – gesekan selongsong pada uji CPT.
Gabion	Struktur penahan dari batu dalam kawat anyaman.
GCP (<i>Ground Control Point</i>)	Titik referensi di lapangan dengan koordinat (X, Y, Z) yang diketahui secara akurat, digunakan untuk mengkalibrasi dan memvalidasi model fotogrametri.
Geodetik	Ilmu dan teknik pengukuran bumi, termasuk penentuan posisi, bentuk, dan medan gravitasi.
<i>Georeferencing</i> (Georeferensi)	Proses menetapkan sistem koordinat dunia nyata (misalnya, UTM) ke model atau citra fotogrametri.
GIS	<i>Geographic Information System</i> – sistem untuk mengelola, menganalisis, dan memetakan data spasial.
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> – sistem satelit navigasi global seperti GPS, GLONASS, Galileo.
GPS	<i>Global Positioning System</i> – sistem satelit navigasi milik Amerika Serikat, bagian dari GNSS.
GSD (<i>Ground Sampling Distance</i>)	Ukuran resolusi spasial citra, yaitu jarak di lapangan yang direpresentasikan oleh satu piksel dalam citra. Dinyatakan dalam mm/piksel atau cm/piksel.
<i>Horizontal Accuracy</i> (Akurasi Horizontal)	Ketepatan pengukuran posisi planar (X, Y) dalam model fotogrametri, biasanya dievaluasi menggunakan RMSE _{xy} .
<i>Hydrometer Test</i>	Uji laboratorium untuk menentukan distribusi butiran halus tanah.
Kalibrasi Kamera (<i>Camera Calibration</i>)	Proses menentukan parameter internal kamera (seperti <i>focal length</i> , <i>principal point</i> , <i>lens distortion</i>) untuk meningkatkan akurasi geometrik model.
Kohesi (c)	Kekuatan geser tanah yang berasal dari ikatan antarpartikel.
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i> – teknologi penginderaan jauh dengan laser untuk pemetaan 3D.

<i>Liquefaction</i>	Fenomena tanah kehilangan kekuatan dan berperilaku seperti cairan akibat getaran.
LL	<i>Liquid Limit</i> (Batas Cair) – kadar air tanah saat berubah dari plastis menjadi cair.
M3C2	<i>Multi-Scale Model-to-Model Cloud Comparison</i> – metode perbandingan cloud point dalam perangkat lunak CloudCompare.
Mitigasi Risiko	Upaya mengurangi dampak bencana melalui perencanaan dan tindakan preventif.
ML	<i>Sandy Silt</i> atau <i>Low-Plasticity Silt</i> – klasifikasi tanah berdasarkan USCS.
Modulus Elastisitas (E)	Ukuran kekakuan material, menunjukkan hubungan antara tegangan dan regangan.
Mohr–Coulomb	Model kegagalan material yang digunakan dalam analisis tanah, berdasarkan kohesi dan sudut geser dalam.
<i>Oblique Imagery</i> (Citra Miring)	Gambar yang diambil dengan sudut kamera tidak tegak lurus terhadap tanah, sering digunakan untuk menangkap sisi objek (seperti fasade bangunan) dalam fotogrametri.
<i>Orthophoto</i> (<i>Orthorectified Image</i>)	Citra digital yang telah dikoreksi secara geometris untuk menghilangkan distorsi akibat kemiringan kamera (<i>tilt</i>) dan variasi topografi sehingga memiliki skala seragam dan koordinat terkalibrasi.
<i>Overlap</i> (Tumpang Tindih)	Persentase area yang tumpang tindih antara gambar-gambar yang berurutan dalam satu jalur penerbangan (<i>overlap frontal</i>) atau antar jalur (<i>sidelap</i>).
Paralaks Stereoskopi (<i>Stereoscopic Parallax</i>)	Prinsip dasar fotogrametri di mana perbedaan posisi objek pada dua atau lebih gambar yang tumpang tindih digunakan untuk merekonstruksi bentuk tiga dimensi.
Pemodelan 3D (<i>3D Modeling</i>)	Proses pembuatan representasi digital tiga dimensi dari objek atau medan berdasarkan data fotogrametri.
Pemrosesan Fotogrametri (<i>Photogrammetric Processing</i>)	Tahap pengolahan data gambar menggunakan perangkat lunak (seperti Agisoft Metashape, Pix4D) untuk menghasilkan <i>orthophoto</i> , DEM, DSM, dan model 3D.
Penerbangan UAV (<i>UAV Flight</i>)	Rencana dan eksekusi penerbangan drone untuk akuisisi gambar, meliputi ketinggian (AGL), jalur, overlap, dan kecepatan.
PI	<i>Plasticity Index</i> (Indeks Plastisitas) – selisih antara LL dan PL.
PL	<i>Plastic Limit</i> (Batas Plastis) – kadar air tanah saat berubah dari plastis menjadi padat.
PLAXIS	Perangkat lunak berbasis FEM untuk analisis geoteknik dan stabilitas tanah.
<i>Point Cloud</i>	Kumpulan titik data 3D yang merepresentasikan permukaan objek atau medan.
<i>Poisson's Ratio</i> (ν)	Rasio antara regangan lateral dan aksial saat material ditekan.

PPK	<i>Post-Processing Kinematic</i> – teknik pengolahan data GPS setelah pengukuran untuk meningkatkan akurasi posisi.
qc	Cone resistance – tahanan ujung kerucut pada uji CPT.
<i>Reconstruction</i> (Rekonstruksi)	Tahap dalam pemrosesan SfM di mana titik-titik kunci dari berbagai gambar disusun untuk membangun geometri 3D.
<i>Reinforced Earth</i>	Tanah yang diperkuat dengan material geosintetik atau tulangan.
<i>Retaining Wall</i>	Dinding penahan tanah untuk mencegah longsor.
RGB	<i>Red, Green, Blue</i> – model warna digital untuk citra visual.
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i> – ukuran kesalahan rata-rata kuadrat antara nilai prediksi dan referensi.
RMSE _{xy}	<i>Root Mean Square Error</i> pada sumbu X dan Y – mengukur kesalahan horizontal dalam model 3D.
RMSE _z	<i>Root Mean Square Error</i> pada sumbu Z – mengukur kesalahan vertikal dalam model 3D.
RTK	<i>Real-Time Kinematic</i> – teknik pengukuran GPS dengan koreksi waktu nyata untuk akurasi posisi tingkat sentimeter.
SF	<i>Safety Factor</i> (Faktor Keamanan) – rasio antara kekuatan tanah dan tegangan yang bekerja, digunakan dalam analisis stabilitas lereng.
SfM (<i>Structure from Motion</i>)	Teknik pemrosesan fotogrametri yang membangun model 3D dari serangkaian gambar 2D yang tumpang tindih dengan melacak titik-titik kunci pada gambar yang berbeda.
<i>Shear Strain</i>	Regangan geser – deformasi tanah akibat tegangan geser.
<i>Sidelap</i> (Tumpang Tindih Samping)	Tumpang tindih antara gambar-gambar dari jalur penerbangan yang berdekatan.
<i>Sieve Analysis</i>	Analisis saringan untuk menentukan distribusi ukuran butiran tanah.
<i>Slip Surface</i>	Permukaan geser potensial tempat terjadi longsor.
Stratigrafi	Susunan lapisan batuan atau tanah berdasarkan waktu pengendapan.
Sudut Geser Dalam (ϕ)	Parameter kekuatan tanah yang menunjukkan tahanan geser akibat friksi antarpartikel.
<i>Texturing</i> (Pemberian Tekstur)	Proses pemetaan citra asli ke permukaan model 3D untuk memberikan tampilan visual yang realistis.
<i>Tie Points</i> (Titik Ikat)	Titik-titik yang diidentifikasi secara otomatis atau manual pada beberapa gambar yang tumpang tindih, digunakan untuk menyelaraskan gambar dalam proses SfM.
<i>Total Station</i>	Alat ukur sudut dan jarak elektronik yang digunakan dalam survei tanah.
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i> (Wahana Udara Nir-awak) – pesawat terbang tanpa pilot yang dikendalikan dari jarak jauh, digunakan untuk pemetaan dan fotogrametri.
<i>Unconfined Compression Test</i>	Uji kuat tekan bebas untuk menentukan kuat tekan tanah tanpa tegangan penyangga.

USCS	<i>Unified Soil Classification System</i> – sistem klasifikasi tanah berdasarkan sifat fisik dan plastisitas.
Validasi Model (<i>Model Validation</i>)	Proses memverifikasi keakuratan model fotogrametri dengan membandingkannya terhadap data referensi (misalnya, pengukuran GPS geodetik).
<i>Vane Shear Test</i>	Uji geser vane untuk menentukan kuat geser tanah tidak terdrainase.
Vegetasi	Tutupan tumbuhan di permukaan tanah.
<i>Vertical Accuracy</i> (Akurasi Vertikal)	Ketepatan pengukuran ketinggian dalam model fotogrametri, biasanya dievaluasi menggunakan RMSEz.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data CPT	63
Lampiran 2. Data Indeks Properti Tanah	66
Lampiran 3. Titik Ukur Geodetik	99
Lampiran 4. DEM Orthophoto	114