

**ANALISIS PERBANDINGAN KETELITIAN PENGUKURAN
PEMANTAUAN LERENG TAMBANG BATUBARA MENGGUNAKAN
DRONE DAN TOTAL STATION (Studi Kasus: Desa Beringin Makmur II,
Kecamatan Rawas Ilir, Kabupaten Musi Rawas Utara)**

Zainal Abidin¹, Aning Haryati S.T., M.T.², Raden Gumilar S.T., M.T.³

¹Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

²Dosen pembimbing 1 Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

³Dosen pembimbing 2 Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

ABSTRACT

Along with the development of mapping technology, monitoring of slope movement not only uses tools such as Total Station and Slope Stability Radar, the use of drone technology has also begun to be applied. However, the use of drone technology as a new alternative technology requires a test of the accuracy of the measurement data to be applied.

This study was conducted to analyze the comparison of the accuracy of slope monitoring measurements with drones and Total Stations. Slope monitoring coordinates extracted from drones were obtained from dense cloud data from processing using Agisoft Metashape software.

The results of the displacement calculation from the Total Station where based on the threshold parameters, drone and Total Station data fall into the “continuous monitoring” class. The results of the t-test obtained the t-table value with a value of $3.327 > 2.776$, then this value indicates that there is a significant difference between the two slope shift calculation data with drones and Total Station.

Keywords : *drone, total station, slope monitoring*

ABSTRAK

Seiring berkembangnya teknologi pemetaan, pemantauan pergerakan lereng tidak hanya menggunakan alat *Total Station* maupun *Slope Stability Radar*, pemanfaatan *drone* juga mulai diaplikasikan. Namun pemanfaatan *drone* sebagai teknologi alternatif baru diperlukan uji ketelitian data pengukurannya untuk bisa diterapkan.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perbandingan ketelitian pengukuran pemantauan lereng dengan *drone* dan *Total Station*. Ekstraksi koordinat titik pemantauan lereng dari *drone* diperoleh dari data *dense cloud* yang diolah dengan *software Agisoft Metashape*.

Hasil perhitungan *displacement* dari *Total Station* menghasilkan nilai pergeseran rata-rata dimana berdasarkan parameter ambang batas, data *drone* masuk ke kelas “pemantauan kontinyu” sedangkan *Total Station* masuk “1x pengamatan per hari”. Hasil Uji-t didapatkan nilai t_{tabel} dengan nilai $3,327 > 2,776$, maka nilai tersebut menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua data perhitungan pergeseran lereng dengan *drone* dan *Total Station*.

Kata Kunci : *drone, total station, pemantauan lereng*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perencanaan tambang terbuka (*open pit*) yang tidak sesuai desain lereng akan mengakibatkan kegagalan lereng. Kegagalan tersebut berupa kejadian longsor atau pergeseran lereng yang dapat membahayakan kegiatan penambangan (Supandi, 2011). Kestabilan lereng tambang terbuka seperti pada tambang batu bara merupakan salah satu hal penting saat ini mengingat sebagian besar perusahaan tambang di Indonesia meningkatkan produksinya (Radik, 2021).

Menurut lampiran I Keputusan Menteri Energi dan Sumber daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik, Pengelolaan teknis pertambangan yang baik terkait lereng terdiri atas pemantauan, pemeriksaan, dan pemeliharaan kestabilan lereng penambangan dan lereng akhir penambangan yang paling kurang meliputi:

1. Geometri dan dimensi lereng tetap terjaga;
2. Pergerakan lereng (*displacement*), metode pemantauan, alat pantau dan penempatannya, tingkat kejenuhan air;
3. *Ground vibration* akibat kegiatan peledakan, evaluasi hasil pemantauan, dan pemeriksaan, serta tindak lanjut hasil evaluasi.

Salah satu tindakan pemantauan yang dilakukan dalam pemeliharaan kestabilan lereng adalah pemantauan pergerakan lereng (*displacement*). Tujuan dari pemantauan lereng adalah memberikan peringatan dini terhadap kondisi kestabilan yang terjadi pada lereng. Peringatan dini ini memberikan informasi mitigasi dari prediksi pergerakan lereng yang terjadi untuk keberlanjutan proses produksi penambangan, sehingga keselamatan pekerja dan peralatan menjadi lebih aman.

Lereng tambang didesain dengan mengikuti nilai faktor keamanan dengan nilai $FK \leq 1$ untuk mengontrol resiko keselamatan pekerja dan peralatan sehubungan dengan terjadinya kelongsoran akibat kegagalan lereng. Metode yang banyak digunakan untuk pemantauan pergerakan lereng seperti survei pemantauan menggunakan *Total Station* dan *reflectorless prism*, dan pemantauan lereng dengan *Slope Stability Radar*.

Seiring dengan berkembangnya teknologi pemetaan, pemantauan pergerakan lereng tidak hanya menggunakan alat seperti *Total Station* maupun *Slope Stability Radar*, Pemanfaatan teknologi *drone* mulai diaplikasikan. *Drone* merupakan pesawat tanpa awak yang dikendalikan dari jarak jauh secara otomatis maupun manual. *Drone* dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu dalam pemetaan. Dengan menggunakan metode fotogrametri, *drone* dapat digunakan untuk melakukan pemetaan skala besar. Penggunaan *drone* dalam pemetaan ini akan membuat kebutuhan pekerjaan menjadi lebih cepat dan efisien. Teknologi pemetaan dengan menggunakan *drone* juga semakin berkembang. Dengan integrasi koordinat tanah atau *Ground Control Point*, *drone* juga mampu memberikan akurasi ketelitian hingga fraksi centimeter (cm). Selain itu, keunggulan lain dari *drone* adalah dengan berat yang ringan, biaya yang murah serta penggunaannya yang mudah, mampu untuk melakukan survei area dengan cakupan yang luas dan dapat menjangkau area berbahaya, termasuk area lereng tambang.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian pada tugas akhir ini dilakukan di salah satu Pit tambang batubara yang berlokasi di Desa Beringin Makmur II, Kecamatan Rawas Ilir, Kabupaten Musi Rawas Utara. Batas area

dalam pengambilan data penelitian ini berada pada koordinat yang ditunjukkan tabel 1.

Tabel 1 Batas Area Penelitian

No	Batas Area	Easting (E)	Northing (N)
1	Batas 1	296508,368	9720325,118
2	Batas 2	297060,672	9720325,118
3	Batas 3	297060,672	9719780,682
4	Batas 4	296508,368	9719780,682

Koordinat pada batas area penelitian tersebut penulis gunakan untuk membatasi area penelitian agar lebih terfokus pada suatu area yang diteliti. Selain itu, batas area tersebut juga penulis gunakan sebagai *Area of Interest* (AOI) dalam penentuan rencana jalur terbang. Adapun batas area penelitian pada tabel 1 digambarkan pada sketsa lokasi sebagai berikut.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Data RAW foto udara

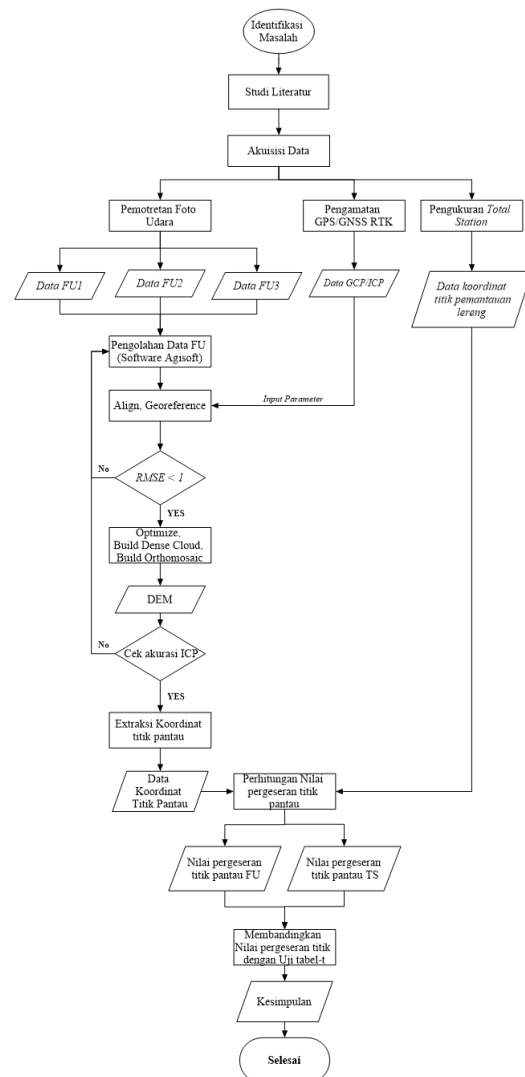
Data RAW foto udara yang digunakan dalam penelitian ini memiliki variasi temporal dengan jumlah *epoch* pengukuran 3 kali akuisisi pada tanggal 7 September 2022 untuk *epoch* 1, 15 September 2022 untuk *epoch* 2, dan 20 September 2022 untuk *epoch* 3.

2. Data koordinat *Ground Control Point* (GCP) dan *Independent Control Point* (ICP)

3. Data pemantauan kestabilan lereng dengan *Total Station*

Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian merupakan pengembangan dari kerangka pemikiran. Pengembangan kerangka berpikir diwujudkan dalam bentuk diagram alir penelitian yang diawali dari pengidentifikasian masalah yang terjadi, kemudian studi literatur, proses pengumpulan data, pengolahan data, Analisis data hingga proses pengambilan kesimpulan dan pembuatan laporan penelitian.



Gambar 2 Diagram alir penelitian

Deformasi

Deformasi adalah perubahan kedudukan (pergerakan) suatu materi baik secara absolut maupun relatif dalam suatu kerangka referensi tertentu akibat suatu gaya yang bekerja pada materi tersebut (Kuang, S. , 1996). Proses perhitungan pergeseran titik dilakukan dengan persamaan 1.

$$TD = \sqrt{(X_n^2 - X_{n-1}^2) + (Y_n^2 - Y_{n-1}^2) + (Z_n^2 - Z_{n-1}^2)} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

$X_n - X_{n-1}$: Koordinat *easting* hari pengukuran – hari sebelumnya

$Y_n - Y_{n-1}$: Koordinat *northing* hari pengukuran – hari sebelumnya

$Z_n - Z_{n-1}$: Koordinat *elevation* hari pengukuran – hari sebelumnya

Hasil *Total Displacement* kemudian dibandingkan dengan Standar Operasional Prosedur atau parameter ambang batas pemantauan yang digunakan untuk menentukan tindakan yang akan dilakukan ketika pergeseran lereng ini terjadi.

Tabel 2 Parameter ambang batas pergeseran titik (Joste dan Cawood, 2004)

No	Pergeseran	Perintah
1	0-2 mm/hari	1x Pengamatan per bulan
2	2-5 mm/hari	1x Pengamatan per
3	5-10 mm/hari	1x Pengamatan per 2 hari
4	10-20 mm/hari	1x Pengamatan per hari
5	>50 mm/hari	diamati secara kontinyu
6	50 mm/shift	Evakuasi
7	5 mm/jam	Evakuasi
8	4 mm/30 menit	Evakuasi
9	3 mm/15 menit	Evakuasi

Agisoft Metashape

Agisoft Metashape merupakan perangkat lunak dalam pengolahan foto udara yang dikembangkan oleh AgiSoft LLC. Menurut Peraturan Kepala BIG No 1 tahun 2020 Tahapan triangulasi udara dilakukan dengan memasukkan parameter *interior orientation (IO)* yang paling sedikit terdiri atas Panjang fokus terkalibrasi, *principal point autocollimation*, ukuran piksel, jumlah piksel, orientasi arah sistem kamera udara dan nilai distorsi lensa. Syarat ketelitian hasil perataan triangulasi udara adalah:

- Rata-rata residual *tie point* < 1 ukuran piksel (mikron);
- Residual maksimal setiap *tie point* yang dibentuk secara otomatis < 2,5 ukuran piksel (mikron);
- Residual maksimal setiap *tie point* yang dibentuk secara manual < 20 mikron;
- Residual setiap ICP terhadap model dan ketelitian model terhadap ICP tidak lebih besar dari : 0,4 x nilai ketelitian peta.

Setelah semua syarat ketelitian triangulasi udara terpenuhi, kemudian dibentuk data *point cloud* dalam bentuk *dense cloud* (Supriyanto, 2019).

Uji-t Sampel berpasangan

Uji-t berpasangan (*paired t-test*) merupakan salah satu metode pengujian hipotesis dimana data yang digunakan berpasangan. Ciri-ciri yang paling sering ditemui pada kasus yang berpasangan adalah salah satu individu (objek penelitian) mendapatkan dua perlakuan yang berbeda. Menurut Montolalu & Langi (2018) dalam (Riva'i, 2021), persamaan uji-t berpasangan dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$t_{hit} = \frac{\bar{D}}{\frac{SD}{\sqrt{n}}} \dots\dots\dots (2)$$

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left\{ \sum D^2 - \frac{(\sum D)^2}{n} \right\}} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan keterangan:

t_{hit} : Nilai t hitungan

$\bar{D}$: Rata-rata selisih pengukuran 1 dan 2

SD : Standar deviasi selisih pengukuran 1 dan 2

n : jumlah sampel

Interpretasi uji t tes diuraikan sebagai berikut.

- Untuk menginterpretasi uji *t-test*, terlebih dahulu harus ditentukan:
 - Nilai signifikasi α
 - Df (*degree of freedom*) = N – k, khusus untuk *paired sample t-test* Df = N – 1.
 - Bandingkan nilai t_{hit} dengan $t_{tab} = \alpha ; n-1$
- Apabila:
- $t_{hit} > t_{tab}$: berbeda secara signifikan (H_0 ditolak)
 - $t_{hit} < t_{tab}$: tidak berbeda secara signifikan (H_0 diterima)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Akuisisi Data Total Station

Pengukuran pemantauan lereng dengan *Total Station* dilakukan pada periode tanggal 1 September 2022 hingga 21 September 2022 setiap harinya pada pukul 7.00 WIB. Hasil pengukuran berupa data koordinat *Easting*, *Northing* dan *Elevation*. Data pengukuran pemantauan lereng yang diukur pada hari yang sama dengan pemetaan foto udara *drone* disajikan pada tabel 3, tabel 4 dan tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 3 Hasil pengukuran *Total Station* tanggal 7 September 2022

No	Nama Titik	Koordinat		
		<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	<i>Elevation</i>
1	GTM-01	297046,620	9720143,027	65,880
2	GTM-02	296729,090	9720323,149	83,745
3	GTM-03	296715,195	9720210,749	73,883
4	GTM-04	296541,917	9719855,887	78,708
5	GTM-05	296771,352	9719887,684	59,841

Tabel 4 Hasil pengukuran *Total Station* tanggal 15 September 2022

No	Nama Titik	Koordinat		
		<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	<i>Elevation</i>
1	GTM-01	297046,646	9720142,989	65,902
2	GTM-02	296729,108	9720323,108	83,756
3	GTM-03	296715,204	9720210,739	73,868
4	GTM-04	296541,924	9719855,885	78,706
5	GTM-05	296771,399	9719887,687	59,840

Tabel 5 Hasil pengukuran *Total Station* tanggal 21 September 2022

No	Nama Titik	Koordinat		
		<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	<i>Elevation</i>
1	GTM-01	297046,649	9720142,951	65,874
2	GTM-02	296729,123	9720323,102	83,745
3	GTM-03	296715,201	9720210,735	73,878
4	GTM-04	296541,921	9719855,865	78,687
5	GTM-05	296771,401	9719887,681	59,856

Hasil Akuisisi Data GCP/ICP

Pengukuran data GCP dan ICP dilakukan dengan metode GNSS/GPS RTK. Data GCP dan ICP ini nantinya akan digunakan sebagai nilai untuk transformasi dari koordinat foto ke koordinat tanah atau *Georeference*.

Tabel 6 Hasil pengukuran GCP

No	Nama Titik	Koordinat			H prec.	V prec.
		<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	<i>Elevation</i>		
1	GCP01	297046,62	9720143,027	65,880	0,002	0,003
2	GCP02	296729,09	9720323,149	83,745	0,001	0,002
3	GCP03	296715,195	9720210,749	73,883	0,001	0,002
4	GCP04	296541,917	9719855,887	78,708	0,002	0,003
5	GCP05	296771,352	9719887,684	59,841	0,000	0,001

Tabel 7 Hasil pengukuran ICP

No	Nama Titik	Koordinat			H prec.	V prec.
		<i>Easting</i>	<i>Northing</i>	<i>Elevation</i>		
1	ICP01	296858,373	9720018,000	60,789	0,001	0,002
2	ICP02	296982,796	9720255,101	68,537	0,001	0,003
3	ICP03	297016,723	9720168,662	66,874	0,001	0,002
4	ICP04	296988,800	9720099,610	61,889	0,002	0,004
5	ICP05	296604,157	9720112,407	75,412	0,002	0,003
6	ICP06	296578,568	9720098,309	65,88	0,001	0,002
7	ICP07	296545,447	9719984,434	83,745	0,003	0,006

Hasil Pengolahan Data Foto Udara

Pengolahan data foto udara dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Agisoft Metashape*. Adapun proses pengolahan terdiri dari proses triangulasi udara, pembuatan *dense cloud*, klasifikasi data *dense cloud* dan pembuatan *ortomosaic*.

1. Triangulasi Udara

Dalam proses triangulasi udara, dilakukan proses *align*. Hasil proses *align* berupa titik-titik *tie point*. Adapun koordinat GCP dimasukkan sebagai parameter koordinat tanah. kesalahan dalam proses memasukkan data GCP ini ditunjukkan dengan besaran RMS piksel yang dihasilkan sebagaimana ditunjukkan ringkasan pengolahan triangulasi udara terhadap *epoch 1*, *epoch 2* dan *epoch 3* pengukuran.

Tabel 8 Ketelitian hasil pengolahan triangulasi udara

<i>Epoch</i>	<i>RMS piksel</i> < 1	<i>RMS reprojection error</i> < 1	<i>Max reprojection error</i> < 2,5	Keterangan
<i>Epoch 1</i>	0,346	0,248	0,600	Memenuhi
<i>Epoch 2</i>	0,493	0,211	0,901	Memenuhi
<i>Epoch 3</i>	0,536	0,296	1,240	Memenuhi

2. Pengolahan *Dense Cloud*

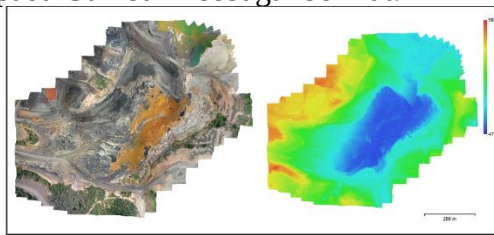
Dense cloud didapatkan dari proses peningkatan kepadatan dari *tie point*

pada proses sebelumnya. Jumlah titik yang dihasilkan dari proses peningkatan ini sebesar 20.712.759 titik pada *epoch* 1, 21.682.324 titik pada *epoch* 2, dan 21.690.658 titik pada *epoch* 3.



Gambar 1 Sampel dense cloud pada epoch 2

3. Pembuatan DEM dan *Orthomosaic*
Data *dense cloud* juga dijadikan dasar untuk pembuatan DEM. *Orthomosaic* dan DEM menjadi *output* yang akan dijadikan model dalam perolehan ekstraksi koordinat pemantauan lereng seperti ditunjukkan pada Gambar 4 sebagai berikut.



Gambar 4 Pembuatan DEM dan *Orthomosaic*

Model *orthomosaic* dan DEM dalam setiap *epoch* pengukuran memiliki ketelitian resolusi spasial yang berbeda. Adapun rincian ketelitian resolusi spasial pada masing-masing yang disajikan pada tabel 9 sebagai berikut.

Tabel 1 *Output Model*

<i>Epoch</i>	Resolusi spasial <i>Orthomosaic</i> cm/pix	Resolusi spasial DEM cm/pix
<i>Epoch 1</i>	3,89	15,6
<i>Epoch 2</i>	3,96	15,8
<i>Epoch 3</i>	3,84	15,4

4. Pengujian Model

Proses pengujian dilakukan untuk mengetahui ketelitian geometris dari model, dengan cara membandingkan nilai ICP yang didapatkan dari *densecloud* dengan nilai ICP dari pengamatan GNSS RTK. Adapun

untuk ketelitian model pada *epoch* 1, 2 dan *epoch* 3 secara ringkas disajikan pada tabel 10.

Tabel 10 Ketelitian Model

<i>Epoch</i>	RMS EH	RMSEV	CE90	LE90	Kelas Ketelitian		Keterangan
					H	V	
<i>Epoch 1</i>	0,221	0,192	0,336	0,317	0,75	0,50	Memenuhi
<i>Epoch 2</i>	0,220	0,197	0,334	0,324	0,75	0,50	Memenuhi
<i>Epoch 3</i>	0,221	0,184	0,335	0,302	0,75	0,50	Memenuhi

Berdasarkan uji ketelitian model, ketiga model hasil pengolahan foto udara telah memenuhi syarat ketelitian sehingga dapat dilakukan ekstraksi koordinat titik pantau.

Hasil Ekstraksi Titik Pantau

Proses ekstraksi dilakukan dengan metode interpretasi *marker* yang telah dipasang pada titik pemantauan menggunakan bantuan perangkat lunak *Global Mapper*. Hasil dari ekstraksi nilai koordinat pemantauan lereng dari foto udara disajikan sebagai berikut.

Tabel 11 Ekstraksi Titik Koordinat Epoch 1

No	Nama Titik	Koordinat		
		Easting	Northing	Elevation
1	GTM-01	297046,773	9720143,139	65,995
2	GTM-02	296729,177	9720323,270	83,731
3	GTM-03	296715,171	9720210,940	74,197
4	GTM-04	296541,905	9719855,892	78,809
5	GTM-05	296771,258	9719887,659	60,705

Tabel 12 Ekstraksi Titik Koordinat Epoch 2

No	Nama Titik	Koordinat		
		Easting	Northing	Elevation
1	GTM-01	297046,612	9720143,005	65,975
2	GTM-02	296729,058	9720323,156	83,737
3	GTM-03	296715,204	9720210,736	74,259
4	GTM-04	296541,937	9719855,868	78,774
5	GTM-05	296771,346	9719887,685	60,728

Tabel 13 Ekstraksi Titik Koordinat Epoch 3

No	Nama Titik	Koordinat		
		Easting	Northing	Elevation
1	GTM-01	297046,679	9720143,087	65,942
2	GTM-02	296729,081	9720323,189	83,760
3	GTM-03	296715,181	9720210,758	74,353
4	GTM-04	296541,915	9719855,961	78,789
5	GTM-05	296771,339	9719887,774	60,669

Hasil Perhitungan Nilai Pergeseran Titik Pantau *Total Station*

Pengamatan titik pantau dengan alat *Total Station* dilakukan dari tanggal 1 September 2022 sampai dengan tanggal 21 September 2022. Berikut disajikan hasil perhitungan pergeseran titik dari pengukuran *Total Station*.

Tabel 14 Hasil Perhitungan Nilai Pergeseran Titik Pantau *Total Station* Selang 1 – 21 September 2022

Hn - Hn-1	GTM 01			Total Displacement (mm)
	E (mm)	N (mm)	Z (mm)	
2-1	15,00	-11,00	-8,00	20,25
3-2	3,00	-17,00	0,00	17,26
4-3	4,00	23,00	7,00	24,37
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
19-18	-4,00	9,00	0,00	9,85
20-19	-14,00	-12,00	-12,00	22,00
21-20	5,00	-18,00	5,00	19,34
Rata-rata (mm/hari)				17,17

Hn - Hn-1	GTM 02			Total Displacement (mm)
	E (mm)	N (mm)	Z (mm)	
2-1	-4,00	-6,00	2,00	7,48
3-2	7,00	6,00	4,00	10,05
4-3	4,00	0,00	-6,00	7,21
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
19-18	-4,00	-2,00	6,00	7,48
20-19	10,00	0,00	-10,00	14,14
21-20	5,00	8,00	0,00	9,43
Rata-rata (mm/hari)				10,63

Hn - Hn-1	GTM 03			Total Displacement (mm)
	E (mm)	N (mm)	Z (mm)	
2-1	-8,00	-10,00	-1,00	12,85
3-2	-2,00	10,00	4,00	10,95
4-3	6,00	-1,00	-1,00	6,16
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
19-18	8,00	-13,00	-2,00	15,39
20-19	-9,00	3,00	3,00	9,95
21-20	4,00	3,00	-3,00	5,83
Rata-rata (mm/hari)				12,05

Tabel 15 Hasil Perhitungan Nilai Pergeseran Titik Pantau *Total Station* Selang 1 – 21 September 2022 (lanjutan)

Hn - Hn-1	GTM 04			Total Displacement (mm)
	E (mm)	N (mm)	Z (mm)	
2-1	-13,00	3,00	-18,00	22,41
3-2	-19,00	0,00	0,00	19,00
4-3	15,00	1,00	10,00	18,06
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
19-18	-8,00	-4,00	9,00	12,69
20-19	6,00	8,00	4,00	10,77
21-20	10,00	-7,00	-11,00	16,43
Rata-rata (mm/hari)				15,62

Hn - Hn-1	GTM 05			Total Displacement (mm)
	E (mm)	N (mm)	Z (mm)	
2-1	1,00	-17,00	-13,00	21,42
3-2	-8,00	25,00	0,00	26,25
4-3	24,00	-3,00	8,00	25,48
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
---	---	---	---	---
19-18	3,00	14,00	-1,00	14,35
20-19	14,00	4,00	2,00	14,70
21-20	-6,00	-15,00	-5,00	16,91
Rata-rata (mm/hari)				13,78

Dari hasil perhitungan pergeseran titik pantau dengan *Total Station* didapatkan nilai pergeseran rata-rata harian berkisar dari 10,63 mm – 17,17 mm.

Hasil Perhitungan Nilai Pergeseran Titik Pantau *Drone*

Proses perhitungan untuk nilai pergeseran titik pantau dari *drone* sama dengan proses perhitungan pada *Total Station*. Nilai *total displacement* dihasilkan dari jumlah *epoch* 3 kali pengamatan. Nilai rata-rata pergeseran titik perhari (mm/day) dihitung dengan membagi jumlah tersebut dengan selang pengukuran dari tanggal 7 – 21 September 2022 dengan lama selang waktu 14 hari. Adapun nilai pergeseran titik

yang dihasilkan dari pengamatan *drone* disajikan pada tabel 16 sebagai berikut.

Tabel 16 Hasil Perhitungan Nilai Pergeseran Titik Pantau Drone Selang 7 – 21 September 2022

Hn - Hn-1	GTM 01			Total Displacement (mm)
	E (mm)	N (mm)	Z (mm)	
15-7	- 161,00	-134,00	-19,78	210,40
21-15	67,00	82,00	-32,60	110,80
Rata-rata (mm/hari)				22,94

Hn - Hn-1	GTM 02			Total Displacement (mm)
	E (mm)	N (mm)	Z (mm)	
15-7	- 119,00	-114,00	5,75	164,89
21-15	23,00	33,00	23,22	46,45
Rata-rata (mm/hari)				15,10

Hn - Hn-1	GTM 03			Total Displacement (mm)
	E (mm)	N (mm)	Z (mm)	
15-7	33,00	-204,00	62,00	215,75
21-15	-23,00	22,00	94,39	99,61
Rata-rata (mm/hari)				22,53

Hn - Hn-1	GTM 04			Total Displacement (mm)
	E (mm)	N (mm)	Z (mm)	
15-7	32,00	-24,00	-34,78	53,01
21-15	-22,00	93,00	14,88	96,72
Rata-rata (mm/hari)				10,69

Hn - Hn-1	GTM 05			Total Displacement (mm)
	E (mm)	N (mm)	Z (mm)	
15-7	88,00	26,00	23,04	94,61
21-15	-7,00	89,00	-58,66	106,82
Rata-rata(mm/hari)				14,39

Dari hasil perhitungan pergeseran titik pantau dengan *drone* didapatkan nilai pergeseran rata-rata harian berkisar dari 10,69 mm – 22,94 mm.

Hasil Uji-t Sampel Berpasangan

Titik kritis ditetapkan dengan nilai signifikansi α sebesar 5% dengan nilai Df = $n - 1 = 5 - 1 = 4$. Sehingga nilai t_{tabel} didapatkan nilai sebesar 2.776. Setelah didapatkan nilai t_{tabel} selanjutnya adalah

menghitung nilai t_{hitung} yang disajikan pada tabel 17 sebagai berikut.

Tabel 17 Hasil uji t_{hitung} terhadap Total displacement dari TS dan drone

Titik	Total Displacement Drone (mm/day)	Total Displacement Total Station (mm/day)	Selisih(D)	Selisih ² (D ²)
GTM-01	22,94	17,169	5,774	33,336
GTM-02	15,10	10,627	4,468	19,965
GTM-03	22,53	12,051	10,475	109,717
GTM-04	10,69	15,623	4,928	24,283
GTM-05	14,39	13,778	0,610	0,372
Jumlah			26,254	187,673
Rata-rata			5,251	
SD			3,529	
Thit			3,327	

Berdasarkan hasil pengujian t data *Total Displacement* dengan jumlah 5 titik sampel pada pengamatan lereng dengan *drone* dan *Total Station* didapatkan nilai rata-rata 5,251 dengan simpangan baku (SD) sebesar 3,529. Dengan hasil rata-rata dan simpangan baku tersebut nilai t_{hitung} didapatkan sebesar 3,327. Apabila dibandingkan dengan nilai t_{tabel} dengan nilai $3,327 > 2,776$, maka nilai tersebut berbeda secara signifikan sehingga hipotesis pengukuran lereng dengan menggunakan *drone* untuk menggantikan *Total Station* “Ditolak”.

Hasil uji t tersebut menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan terkait nilai *Total Displacement* antara *drone* dan *Total Station*. Hal tersebut bisa diakibatkan akibat kurang telitnya dalam proses interpretasi pada saat ekstraksi titik koordinat dari *drone*. Selain itu ketelitian model *drone* hasil pengolahan data yang mendapatkan nilai RMSEH dalam rentang 0,220 – 0,336 serta nilai RMSEV 0,184 – 0,316 turut menyumbang pengaruh.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu:

1. Ekstraksi nilai koordinat dari hasil pengolahan *drone* dapat diperoleh dengan metode interpretasi. Model penelitian yang dihasilkan memiliki nilai CE90 dan LE90 yang menunjukkan bahwa model tersebut berada pada skala 1: 2500 pada kelas 1, dengan nilai RMSE_H dalam rentang 0,220 – 0,336 serta nilai RMSE_V 0,184 – 0,316.
2. Hasil perhitungan *Total Displacement* dari *Total Station* menghasilkan nilai pergeseran rata-rata harian berkisar dari 10,63 mm – 17,17 mm, dengan nilai pergeseran rata-rata harian tersebut maka pengamatan pergeseran lereng wajib dilakukan satu kali pengamatan setiap harinya. Hasil perhitungan *Total Displacement* dari *drone* didapatkan nilai pergeseran rata-rata harian berkisar dari 10,69 mm – 22,94 mm, dengan nilai pergeseran rata-rata harian tersebut maka pengamatan pergeseran lereng wajib dilakukan setiap harinya secara kontinu.
3. Hasil pengujian *t* data *Total Displacement* dengan jumlah 5 titik sampel pada pengamatan lereng dengan *drone* dan *Total Station* didapatkan nilai rata-rata 5,251 dengan simpangan baku (SD) sebesar 3,529. Dengan hasil rata-rata dan simpangan baku tersebut nilai *t* hitung didapatkan sebesar 3,327. Apabila dibandingkan dengan nilai *t* tabel dengan nilai $3,327 > 2,776$, maka nilai tersebut berbeda secara signifikan sehingga hipotesis pengukuran lereng dengan menggunakan *drone* untuk menggantikan *Total Station* “Ditolak”.

SARAN

Saran yang dapat diberikan penulis bagi penelitian selanjutnya yaitu:

1. Model hasil pengolahan data dengan *drone* perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu untuk mendapatkan akurasi ketelitian model yang lebih teliti, serta model memenuhi syarat ketelitian model berdasarkan Peraturan BIG No 1 Tahun 2020;
2. Proses interpretasi dalam ekstraksi koordinat diharapkan dilakukan dengan lebih teliti;
3. Untuk mendapatkan nilai koordinat dari proses ekstraksi koordinat foto udara perlu lebih teliti dalam melakukan klasifikasi *ground* model, hal ini perlu dilakukan agar nilai koordinat benar benar mewakili realita koordinat tanah sebenarnya dan terbebas dari vegetasi, rumput, maupun semak semak;
4. Untuk pengukuran pemantauan lereng lebih direkomendasikan menggunakan *Total Station* dengan pengamatan secara kontinu setiap harinya, sedangkan *drone* bisa untuk penunjang kebutuhan datanya seperti digunakan untuk memvisualisasikan model pergeseran lereng.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2007). *Penentuan posisi dengan GPS dan aplikasinya*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Awal, R., Eri, P., & Andrey, Z. (2020). *Evaluasi Kestabilan Lereng Pit 2 Tambang Batubara Pada PT. Seluma Prima Coal Di Desa Rangkiling Kecamatan Mandiangin Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi*. Mine Magazine, 1, 1.
- Ayuningtyas, N. H. (2020). *Analisis Deformasi pada Titik Pantau Lereng Tambang (Studi Kasus: Lereng Tambang PT. Adaro Indonesia)*. Yogyakarta:

- Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Badan Informasi Geospasial. (2018). *Peraturan Badan Informasi Geospasial No 6 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar*. Jakarta: Badan Informasi Geospasial Indonesia.
- Badan Informasi Geospasial. (2020). *Peraturan Badan Informasi Geospasial No 1 Tahun 2020 tentang Standar Pengumpulan Data Geospasial Dasar untuk Pembuatan Peta Dasar Skala Besar*. Jakarta: Badan Informasi Geospasial Indonesia.
- Basuki, S. (2011). *Ilmu Ukur Tanah (Edisi Revisi)*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Brahmantara. (2017). *Metode Foto Rentang Dekat (Close Range Photogrammetry) Dan Aerial Untuk Pendokumentasian Tiga Dimensi Cagar Budaya*. Konservasi Cagar Budaya Borobudur, XI, 76-88.
- Brown, N., Kaloustian, S., & Roeckle, M. (2007). *Monitoring of Open Pit Mines using Combined GNSS Satellite Receivers and Robotic Total Stations. Proceedings of the 2007 International Symposium on Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering* (pp. 417-429). Perth: Australian Centre for Geomechanics.
- Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara. (2014). *Pedoman Teknis Pemantauan Kestabilan Lereng Tambang Dan Timbunan Batuan Penutup*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral.
- DM Agussalim, P. (2022). *Penggunaan Teknologi Drone dalam Georeferencing Daerah Rawan Longsor Berbasis Arcgis*. Makassar: Magister Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas .
- Fathimah, S., Sudarsono, B., & Awaluddin, M. (2019). *Survei Deformasi Daerah Jembatan Penggaron dengan Metode GPS*. Jurnal Geodesi Undip2018, 8 No 1, 64-73.
- Kuang, S. . (1996). *Geodetic Network Analysis and Optimal Design*. Chelsea, Michigan: Ann Arbor Press.
- Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral. (2018). *Kepmen Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral Republik Indonesia.
- N.H. Romla. (2014). *Studi Kestabilan Slope Menggunakan Data Monitoring Dengan Total Station*. Bandung: ITB.
- Priyono. (2008). *Metode Penelitian Kuantitatif*. Sidoarjo: Zifatama Publishing.
- Radik, I. (2021). *Pemantauan Pergerakan Lereng Menggunakan Total Station Pada Tambang Batubara Terbuka Di Pit X PT. Khotai Makmur Insan Abadi*. Prosiding FIT ISI, 1, pp. 31-37. Jakarta.
- Riva'i, A. Y. (2021). *Analisis Perbandingan Pergeseran Titik Pantau Lereng Tambang Menggunakan Drone RTK Dan Robotic Total Station Pada Tambang Timah Primer Pemali*. Yogyakarta: Program Studi Teknologi Survei Dan Pemetaan Dasar, Departemen Teknologi Kebumihan, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada.
- Sahrul, Vita A. (2019). *Analisis Deformasi Lereng Menggunakan Metode Monitoring pada Lereng Jalan Trans Provinsi Kilometer 18 Kolaka Provinsi Sulawesi Tenggara*. Jurnal Geomine, 7 No 3, 178-189.
- Soetaat. (1994). *Diktat Fotogrametri Analitik*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Sugiyono. (2006). *Statistika Untuk Penelitian*. Bandung: CV. Alfabeta.
- Suharsana. (1999). *Fotogrametri Dasar*. Yogyakarta: Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Sullivan, T. (1993). *Understanding pit slope movements*. Australian conference on geotechnical instrumentation and monitoring in open pit and underground mining, (pp. 435-445).
- Supandi. (2011). *Pengamatan Kestabilan Lereng Tambang Menggunakan Slope Stability Radar (SSR)*. Jurnal Teknologi Technoscintia, 4 No. 1, 94-102.
- Supriyanto, E. (2019). *Pengolahan Data Survey UAV dengan Agisoft Metashape*. Denpasar.