

Evaluasi Data Diskontinuitas dari Metode Scanline dengan Metode Structure From Motion (SfM) untuk Analisis Keruntuhan Lereng

Evaluation of Discontinuity Data from Scanline Method with Structure From Motion (SfM) Method for Slope Stability Analysis

Tsalis Abdullah Rosyada, Najib, dan Reddy Setyawan

Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jalan Diponegoro No. 57 Bandung 40122 Indonesia

e-mail: najib@ft.undip.ac.id

Naskah diterima 11 November 2024, selesai direvisi 20 Maret 2025 dan disetujui 30 April 2025

ABSTRAK

Longsor merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi khususnya pada daerah yang memiliki iklim tropis. Pada tahun 2023 daerah Tegalrejo, Kecamatan Gedangsari, Gunung Kidul, Yogyakarta telah mengalami bencana tanah longsor. Kejadian longsor tersebut memutus jalur penghubung desa Tegalrejo dan mengancam desa tersebut. Oleh karena itu, diperlukan investigasi mengenai kejadian longsor tersebut. Bidang diskontinuitas merupakan hal yang penting dalam analisis kestabilan lereng yang dapat menyebabkan potensi longsor. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan data diskontinuitas hasil observasi lapangan dengan scanline dan UAV (drone), analisis tipe dan potensi longsor. Pengambilan data diskontinuitas dilakukan menggunakan kompas di sepanjang daerah pengamatan scanline dan menggunakan drone (metode ini dikenal dengan *Structure from Motion* (SfM)) yang divisualisasikan dalam bentuk 3D model. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data fotogrametri, geometri lereng, data mekanika batuan yaitu kohesi, dan sudut geser dalam. Objek lereng longsor yang telah dipetakan di ubah dalam bentuk visualisasi 3D model menggunakan perangkat lunak Agisoft Metashape kemudian dilanjutkan analisis arah diskontinuitas melalui perangkat lunak Cloud Compare. Wilayah penelitian yang diidentifikasi terjadi longsor berupa *toppling failure* selaras dengan perolehan data syarat pembentukan dan persentase zona kritis yang merujuk pada jenis mekanis *toppling failure*. Hasil *tracking* perangkat lunak menggunakan *tool plugin compass* memiliki tingkat keakuratan mendekati hasil dari observasi data lapangan yang ada di lokasi penelitian. Dari penelitian ini dapat memberikan gambaran akurasi dan efektifitas penggunaan penggunaan UAV dalam survei diskontinuitas untuk keperluan analisis stabilitas lereng.

Kata kunci: diskontinuitas, SfM, UAV, kestabilan lereng, longsor

ABSTRACT

Landslide is one of the common natural disasters, particularly in regions with tropical climates such as in Indonesia. A landslide disaster devastated the Tegalrejo area in the Gedangsari District of Gunung Kidul, Yogyakarta, in 2023. The landslide disaster threatened Tegalrejo Village and closed the village's accessibility. As a result, the landslide incident required an investigation. When analyzing slope stability that could end up in landslides, the discontinuity plane is essential. comparing discontinuity data from field observations by scanlines and UAVs (drones) as well as determining types and potential failures is the goal of this study. A compass was used to collect discontinuity data along the scanline observation region, and a drone was used to view the data in the form of a 3D model. This technique is called *Structure from Motion* (SfM). This study used data from photogrammetry, slope geometry, and rock mechanics, namely internal friction angle and cohesion. Using Agisoft Metashape software, the mapped landslide slope objects were transformed into a 3D model illustration. subsequently Cloud Compare software was used to analyze the discontinuity direction. The proportion of crucial zones referring to the mechanical type of toppling failure and the data collection of formation requirements are consistent with the research region that was recognized as having a landslide in the form of toppling failure. The software tracking findings obtained with the compass plugin tool are

nearly as accurate as field data observations made at the study area. This research may present an overview of the precision and efficiency of using UAVs in discontinuity surveys for slope stability assessments.

Keywords: *discontinuities, SfM, UAV, slope stability, landslide*

PENDAHULUAN

Wilayah Tegalrejo yang merupakan bagian dari Kabupaten Gunung Kidul. Desa Tegalrejo terletak 20 kilometer dari sebelah selatan Kota Klaten. Secara administratif Desa Tegalrejo termasuk ke dalam wilayah Kecamatan Gedangsari (Gambar 2). Pada bulan Maret 2023 wilayah tersebut telah terjadi bencana alam tanah longsor dengan dimensi sekitar 100 m x 150 m. Longsor yang menyebabkan terputusnya jalan penghubung di Desa Tegalrejo dan mengancam rumah di desa tersebut. Salah satu inovasi dari perkembangan teknologi yang berkembang saat ini, keberadaan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) seperti *drone* dapat menjadi salah satu wahana pengambilan data dalam bidang geologi. Beberapa penelitian penggunaan UAV terkait bidang geologi telah dilakukan seperti *mapping* topografi (Micheletti drr., 2015); (Thiele drr., 2017) ; (Vollgger, S. A., dan Cruden, 2018); (Al' Afif, M., drr., 2020); dan (Erfani drr., 2024), analisis kondisi dan keruntuhan lereng melalui bentuk 3D model (Islamiyati drr., 2022); (Firmansyah drr., 2022); (Wibowo drr., 2022); dan (Susanto drr., 2023), rekonstruksi foto singkapan (McCaffrey drr., 2005), interpretasi arah diskontinuitas (Hafiz dan Setianto, 2019), Kajian Kebencanaan (Panggabea drr., 2021); (Suryalfihra drr., 2023), dan pekerjaan lainnya.

Pengukuran diskontinuitas secara langsung di lapangan menggunakan kompas geologi tidak dapat dilakukan secara menyeluruh apabila kondisi lereng sulit untuk dijangkau. Hal ini menjadi sangat penting ketika kedudukan diskontinuitas digunakan sebagai data utama informasi keadaan kestabilan lereng pada lokasi penelitian (Islamiyati drr., 2022). Penggunaan UAV sebagai alat bantu *mapping* membantu dalam validasi atau mengukur data kekar pada daerah yang sulit dijangkau serta mengurangi resiko saat melakukan pengukuran pada lereng

(Acharya drr., 2023). Tidak hanya itu, penggunaan *drone* yang relatif lebih murah dan mendapatkan resolusi tinggi daripada metode alternatif seperti radar udara dan pemindai laser terestrial yang lebih mahal. Penggunaan UAV dan platform satelit memberikan informasi dan sumber skala dengan waktu yang tepat. Data dari UAV/ drone kemudian diolah untuk membuat visualisasi 3D model.

Melalui metode *Structure from Motion* (SfM), diskontinuitas diolah untuk mendapatkan arah kedudukan *strike* dan *dip* pada lereng. Foto-foto hasil *drone* yang berupa 2D kemudian diolah menjadi gambar 3D untuk memperkirakan struktur 3D dari objek menggunakan bantuan perangkat lunak. Pada penelitian ini pengolahan data dibantu menggunakan bantuan perangkat lunak berupa *Agisoft Metashape* dan *plugin compass* pada *Cloud Compare*. Hasil ekstraksi data diskontinuitas tersebut digunakan untuk membandingkan hasil arah orientasi diskontinuitas yang ada pada lereng melalui hasil data observasi lapangan dengan hasil menggunakan metode *Structure from Motion* (SfM). Metode ini dilakukan melalui pendekatan tingkat *overlap* tinggi yang menangkap struktur tiga dimensi secara keseluruhan dari lokasi dengan pengambilan gambar dari berbagai macam posisi (Westoby drr., 2012). Hasil ini didukung dengan hasil uji laboratorium berupa *triaxial test* dan *direct shear test* untuk mengetahui nilai *index properties* dari litologi yang ada. Pengujian laboratorium diperlukan sebagai data primer yang digunakan dalam analisis kinematika untuk menentukan mekanisme dan tipe longsoran pada daerah penelitian. Stead dan Wolter, 2015 mengatakan beberapa hal yang mempengaruhi kondisi struktur geologi yaitu sifat massa batuan seperti kuat geser, kuat tekan, kohesi, sudut gesek dalam, dan geometri lereng. Data yang telah diolah sebelumnya, selanjutnya di analisis dengan metode kinematika menggunakan *software* Dips untuk mengetahui

kestabilan lereng dan keruntuhan lereng pada daerah tersebut.

Lokasi penelitian yang berada pada Desa Tegalrejo dikelilingi oleh daratan aluvial dimana secara fisiografi termasuk ke dalam Zona Depresi Tengah Pulau Jawa (Subzona Solo), sedangkan di bagian Utara dibatasi oleh Zona Pegunungan Selatan (Van Bemmelen, 1949). Zona tersebut dikenal dengan sebutan Perbukitan Baturagung. Pada daerah Pegunungan Selatan, Pegunungan Selatan didominasi oleh struktur geologi berupa sesar yang memiliki arah timur laut – barat daya (Pola Meratus), dan utara – selatan (Pola Sunda).

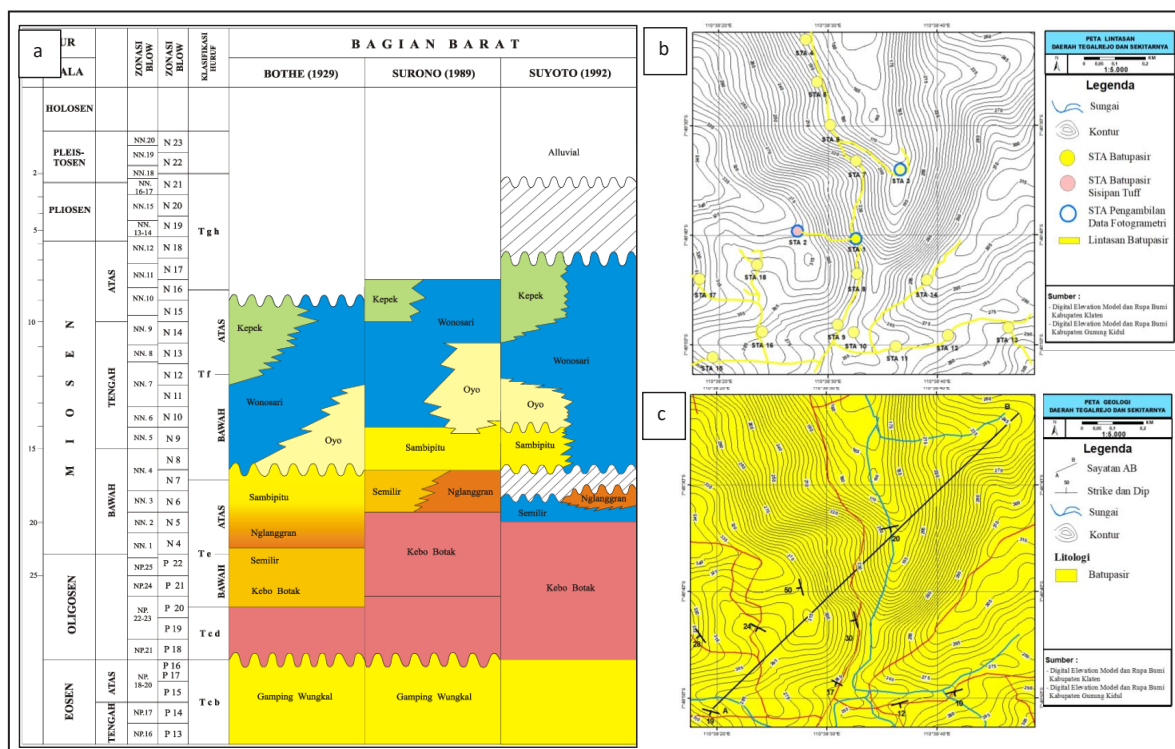
Wilayah penelitian termasuk kedalam Formasi Kebo Botak. Secara stratigrafi dan geologi regional formasi tersebut terbentuk pada zaman Oligosen akhir hingga Miosen awal (Gambar 1). Formasi Kebo Tersusun atas litologi perselingan konglomerat, batupasir tufaan, serpih, dan lanau. Di beberapa wilayah dapat dijumpai litologi berupa lava bantal dan intrusi diorit. Formasi ini diperkirakan memiliki ketebalan kurang lebih

800 meter dan terendapkan pada lingkungan laut sedangkan Formasi Botak tersusun atas litologi breksi, konglomerat batupung, batupasir tufaan, batulempung dan serpih yang menunjukkan perselingan (Suroño, 2008).

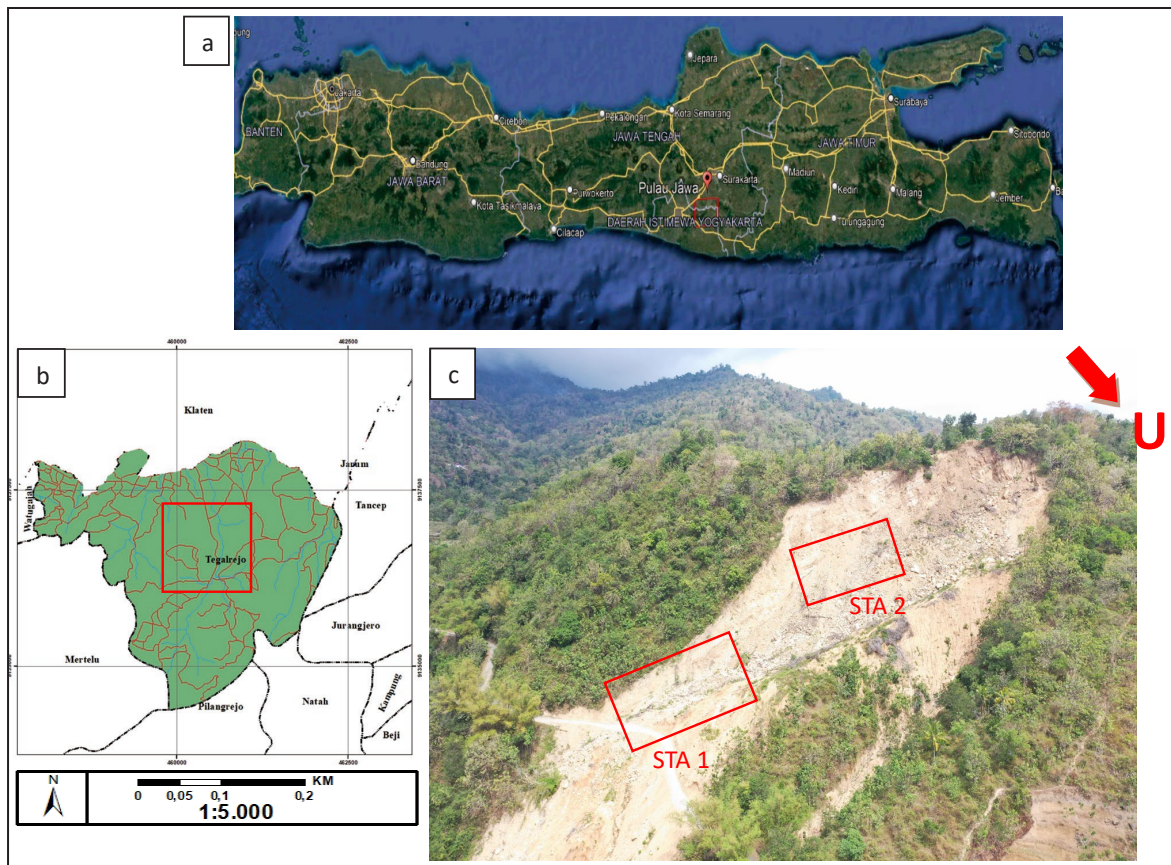
Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tingkat akurasi data observasi lapangan dan perangkat lunak melalui pendekatan berupa *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yaitu *Structure from Motion* (SfM) di lokasi penelitian. Hal ini sangat penting untuk mengetahui seberapa tingkat akurasi hasil pengambilan data diskontinuitas menggunakan UAV dibandingkan dengan pengambilan data yang diukur secara langsung dengan kompas geologi. Selanjutnya, data yang didapatkan di analisis untuk mengetahui potensi longsor lokasi penelitian dengan melihat jenis dan mekanisme longoran.

METODE PENELITIAN

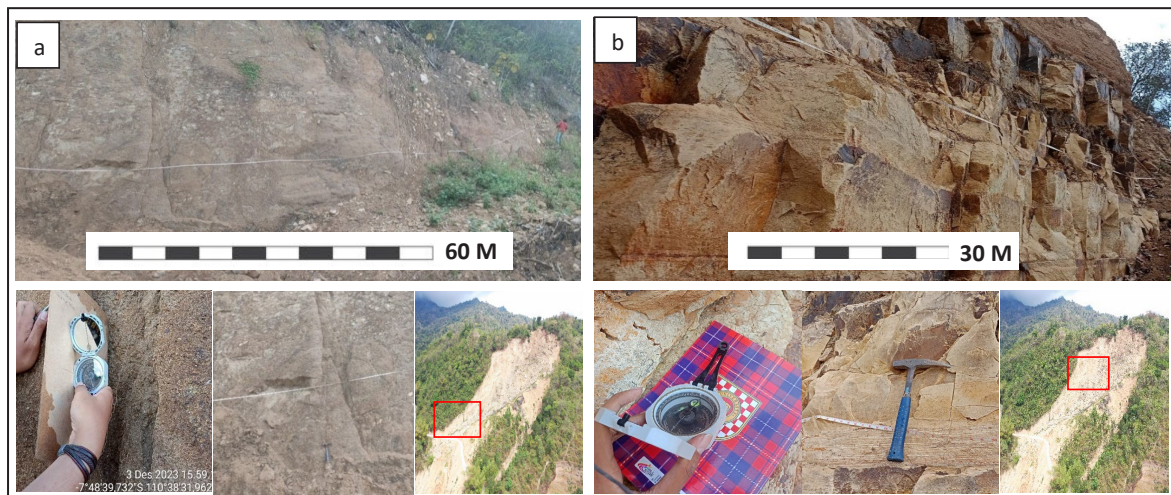
Penelitian yang dilakukan dibagi menjadi 4 tahap. Tahapan tersebut yaitu penyelidikan



Gambar 1. Lokasi penelitian. (a) stratigrafi lokasi daerah penelitian oleh (Sutarto dr., 2021), (b) Peta lintasan daerah penelitian, (c) Peta geologi daerah penelitian.



Gambar 2. Peta inset Jawa Tengah (diambil dari Google Earth), (b) Peta Administrasi daerah penelitian, (c) Lereng longsor fokus objek penelitian.

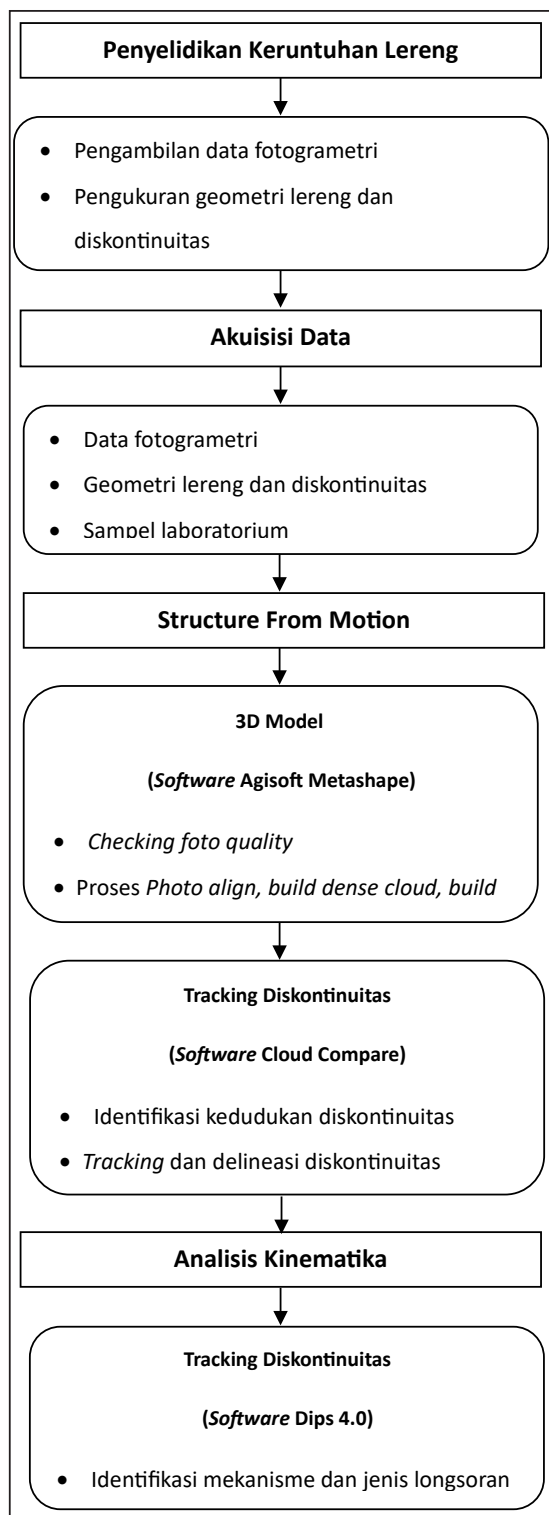


Gambar 3. Lokasi penelitian. (a) Pengambilan data *scanline* dan kondisi lereng longsor pada STA 1, (b) Pengambilan data *scanline* dan kondisi lereng longsor pada STA 2.

keruntuhan lereng, akuisisi data, *Structure from Motion*, dan analisis kinematika (Gambar 4).

Tahap penyelidikan keruntuhan lereng dilakukan dengan mengambil data di lapangan setelah mel-

akukan studi literatur dan *reconnaissance* pada daerah penelitian. Kedua hal tersebut dilakukan untuk mengumpulkan informasi terkait kondisi daerah penelitian. Data yang diambil berupa



Gambar 4. Diagram alir penelitian.

kedudukan diskontinuitas, jurus dan kemiringan lapisan, sampel batuan, serta foto udara singkapan menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Pengambilan data hanya dilakukan pada dua

titik lokasi penelitian yang berada pada lokasi area longsor. Setiap data hasil pengukuran yang diambil akan dicatat untuk dianalisis. Terkait pengukuran geometri lereng dan data diskontinuitas dilakukan menggunakan metode rentang tali/ *scanline* (Gambar 3). Dari hasil *scanline*, didapatkan masing-masing 17 set data diskontinuitas di Stasiun Pengamatan (STA) 1 dan STA 2. Dari hasil data lapangan, uji laboratorium, foto udara dilakukan proses akuisisi data.

Pengambilan data fotogrametri dilakukan dengan bantuan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Pada penelitian digunakan jenis *drone* Dji Mini 2. Pada lokasi STA 1 dilakukan penangkapan 73 data fotogrametri sedangkan pada STA 2 diperoleh 43 data fotogrametri.

Hasil tangkapan foto udara dilanjutkan pengolahan data dengan metode *Structure from Motion* (SfM) menggunakan 2 *software* yaitu Agisoft Metashape dan Cloud Compare. Sampel foto akan diolah menjadi 3D model visual untuk mengetahui kedudukan diskontinuitas.

Agisoft Metashape berfungsi sebagai perangkat lunak untuk memvisualisasikan data 2D fotogrametri menjadi bentuk 3D model. Pembuatan visualisasi 3D pada Agisoft Metashape diproses melewati 5 tahapan yaitu *checking photo quality* (American Society for Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (ASPRS), 2015), *photo align*, *build dense cloud*, *build mesh*, dan *build texture*. Selanjutnya, hasil olahan 3D yang telah jadi di *extract* pada *software* Cloud Compare. Pada tahapan ini dilakukan pencarian bidang-bidang diskontinuitas pada jarak yang sama dengan pengukuran data kekar dari observasi data lapangan di sepanjang *scanline*. Perangkat lunak ini digunakan untuk mengetahui kedudukan diskontinuitas pada daerah penelitian. Cloud Compare menyediakan 2 jenis *tools* yang dapat digunakan sebagai pengukuran diskontinuitas yaitu *facets* dan *plugin compass*. Penelitian ini hanya di fokuskan pada jenis *tools plugin compass*.

Berikutnya dilakukan analisis kinematika dan diperlukan data sudut geser dalam dan kohesi

dari litologi. Data tersebut didapatkan dari pengujian sampel batuan di laboratorium. Pengambilan sampel uji laboratorium dilakukan pada dua titik dengan mempertimbangkan tingkat jenis lapukan pada litologi daerah longsor. Sampel berupa 1 bongkah batupasir yang telah dilakukan *drill core* pada STA 2 dan 1 *box disturb* sampel lapukan batupasir pada STA 1. Hasil uji laboratorium sampel kemudian diolah ke dalam *software* Dips 4.0 untuk mengetahui tegasan utama struktur, mekanisme, jenis, dan zona kritis longsor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan dari hasil pemetaan lapangan dan pengolahan data, daerah penelitian memiliki kondisi litologi berupa dominasi batupasir dengan sisipan tuff. Batupasir memiliki warna kuning kecokelatan, tekstur masif berupa ukuran butir (0.062 mm - 2 mm) sangat halus - sangat kasar, bentuk butir membulat, sortasi bagus, dan kemas tertutup. Tuff memiliki karakteristik dengan warna abu-abu kecokelatan, tekstur masif dengan ukuran butir < 2 mm, bentuk butir membulat, sortasi baik, dan kemas tertutup.

Hasil pengamatan geomorfologi menunjukkan bahwa daerah penelitian merupakan daerah dengan bentuklahan struktural berbukit terjal

dan struktural berbukit gelombang. Struktur geologi yang banyak ditemukan yaitu kekar. Kelerengan (*slope*) daerah penelitian mempunyai kategori curam-sangat curam (Van Zuidam, 1986). Daerah penelitian dipengaruhi oleh proses endogen yang dikontrol oleh tektonisme sehingga menyebabkan pembentukan pola struktur dan relief perbukitan.

Berdasarkan aspek geologi teknik, faktor seperti jenis batuan, struktur geologi, kemiringan lereng merupakan indikator yang berperan terhadap kejadian longsor (Dewi dr., 2017). Berdasarkan hasil kondisi wilayah penelitian, hal ini menjadi faktor penyebab longsor yang terjadi sebelumnya.

Dari hasil perolehan data *plugin compass* dengan hasil observasi lapangan, memberikan hasil yang selisih perbedaannya relatif kecil. Hal ini dapat dilihat dari perbedaan perolehan nilai dalam pengambilan data kedudukan kekar (Tabel 1) dan (Tabel 2). Perolehan data kedudukan dari observasi data lapangan bahkan *tool plugin compass* yang memiliki nilai hampir sama dapat menjadi data dukung dalam validasi suatu data (Gambar 5). Hasil persentase keakuratan antara *plugin compass* terhadap observasi data lapangan pada STA 1 dan STA 2 dengan jenis pengukuran *strike* mencapai 96% sedangkan pada jenis pengukuran *dip* yaitu di atas 94%.

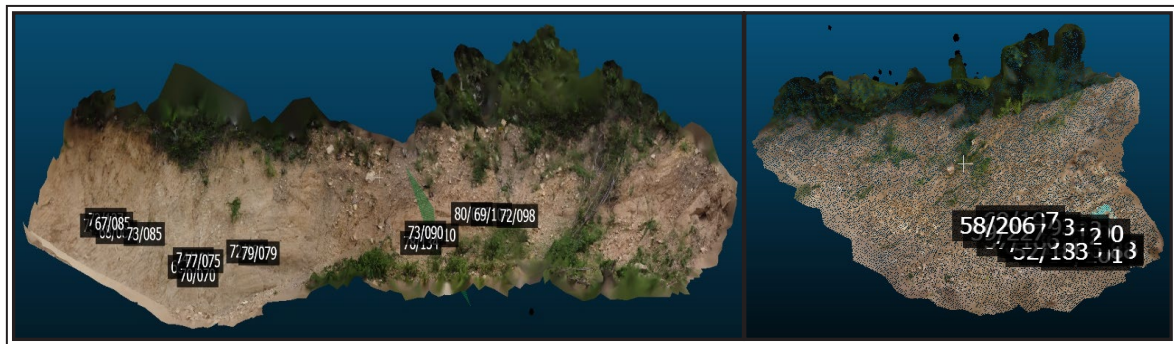
Tabel 1. Perbedaan hasil nilai pengukuran diskontinuitas STA 1

Scanline			Plugin Compass			Perbedaan				Litologi
Meter	Strike	Dip	Meter	strike	Dip	Strike	%	Dip	%	
0,5	20	79	0,5	30	75	10	2,8	4	4,4	Lapukan Batupasir
0,7	28	75	0,7	37	72	9	2,5	3	3,3	
1,3	7	69	1,3	354	68	-13	3,6	1	1,1	
1,8	30	71	1,8	27	67	3	0,8	4	4,4	
5,1	6	70	5,1	355	73	-11	3,1	3	3,3	
7,6	184	70	7,6	197	66	9	2,5	4	4,4	
8,6	18	76	8,6	11	74	-7	1,9	2	2,2	
9,4	350	66	9,4	340	70	10	2,8	4	4,4	
9,8	353	78	9,8	347	75	6	1,7	3	3,3	
17,3	191	75	17,3	190	67	1	0,3	8	8,9	
19,1	346	68	19,1	345	75	1	0,3	7	7,8	
26	23	74	26	18	83	5	1,4	9	10	
28,7	34	65	28,7	44	78	10	2,8	8	8,9	
30,3	7	67	30,3	1	73	-6	1,7	6	6,7	
42,8	9	73	42,8	6	80	-3	0,8	7	7,8	
47	17	66	47	14	69	3	0,8	3	3,3	
52,2	10	69	52,2	8	72	-2	0,6	3	3,3	
Rata-rata			Rata-rata				1,78 %		5,16%	

Evaluasi Data Diskontinuitas dari Metode Scanline dengan Metode Structure From Motion (SfM)
untuk Analisis Keruntuhan Lereng

Tabel 2. Perbedaan hasil nilai pengukuran diskontinuitas STA 2

Scanline			Plugin Compass			Perbedaan				Litologi
Meter	Strike	Dip	Meter	strike	Dip	Strike	%	Dip	%	
1,2	41	62	1,2	26	58	-15	4,2	4	4,4	Batupasir
1,7	30	67	1,7	17	69	-13	3,6	2	2,2	
2,3	27	65	2,3	38	59	11	3,1	6	6,7	
2,9	61	71	2,9	45	64	-11	3,1	7	7,8	
3,1	10	63	3,1	13	61	3	0,8	2	2,2	
3,6	24	62	3,6	16	57	-8	2,2	5	5,6	
4	21	67	4	7	63	-14	3,9	4	4,4	
4,4	54	65	4,4	39	60	-15	4,2	5	5,6	
4,7	7	61	4,7	14	63	7	1,9	2	2,2	
5,3	24	62	5,3	32	70	8	2,2	8	8,9	
5,6	349	54	5,6	0	61	14	3,9	7	7,8	
7,9	21	72	7,9	10	65	-11	3,1	7	7,8	
10	18	67	10	3	68	-15	4,2	1	1,1	
12,8	9	60	12,8	356	64	-13	3,6	4	4,4	
14,6	30	61	14,6	21	53	-9	2,5	8	8,9	
19,2	98	74	19,2	108	67	10	2,8	7	7,8	
21,3	323	63	21,3	336	71	13	3,6	8	8,9	
Rata- rata							3,1%	Rata- rata	5,69%	



Gambar 5. Lokasi penelitian. (a) Hasil tracking diskontinuitas STA 1, (b) Hasil tracking diskontinuitas.

Penulis belum menemukan adanya referensi yang pasti untuk mengelompokkan seberapa akurat atau seberapa jauh perbedaan nilai *strike* dan *dip* masih dapat dikatakan valid.

Pengujian laboratorium berupa mekanika batuan *triaxial test* dan *direct shear test* dilakukan oleh PT Asia Rock Test. Dari sampel di STA 1, diperoleh nilai *fraction angle* sebesar 27° dan kohesi $11,73 \text{ Kg/cm}^2$. Berdasarkan pengujian *direct shear test*, sampel pada STA 2 memiliki nilai *fraction angle* sebesar 75° dan kohesi $0,106 \text{ Kg/cm}^2$ (Tabel 3).

Jenis dan mekanisme longsoran dapat diketahui melalui analisis kinematika. Jenis dan mekanisme diperoleh berdasarkan pemenuhan syarat dan persentase signifikansi zona kritis tertinggi (Wyllie dan Mah, 2017) dari lereng penelitian.

Tabel 3. Data kondisi lereng dan laboratorium STA 1 dan STA 2

Jenis	Besaran ($^{\circ}$)
<i>Dip direction</i> STA 1	260
<i>Dip</i> STA 1	50
<i>Fraction angle</i> STA 1	27
<i>Dip direction</i> STA 2	260
<i>Dip</i> STA 2	50
<i>Fraction angle</i> STA 2	75

Hasil analisis yang telah dilakukan melalui *software* Dips memperoleh nilai *critical* pada bidang kekar yang di dapatkan dari hasil keseluruhan data kekar. Pengolahan *software* Dips dilakukan dengan 2 cara pengambilan data kekar yaitu observasi data lapangan menggunakan metode rentang tali/ *scan line* dan *tracking* diskontinuitas melalui *tool plugin compass* pada *software* Cloud Compare.

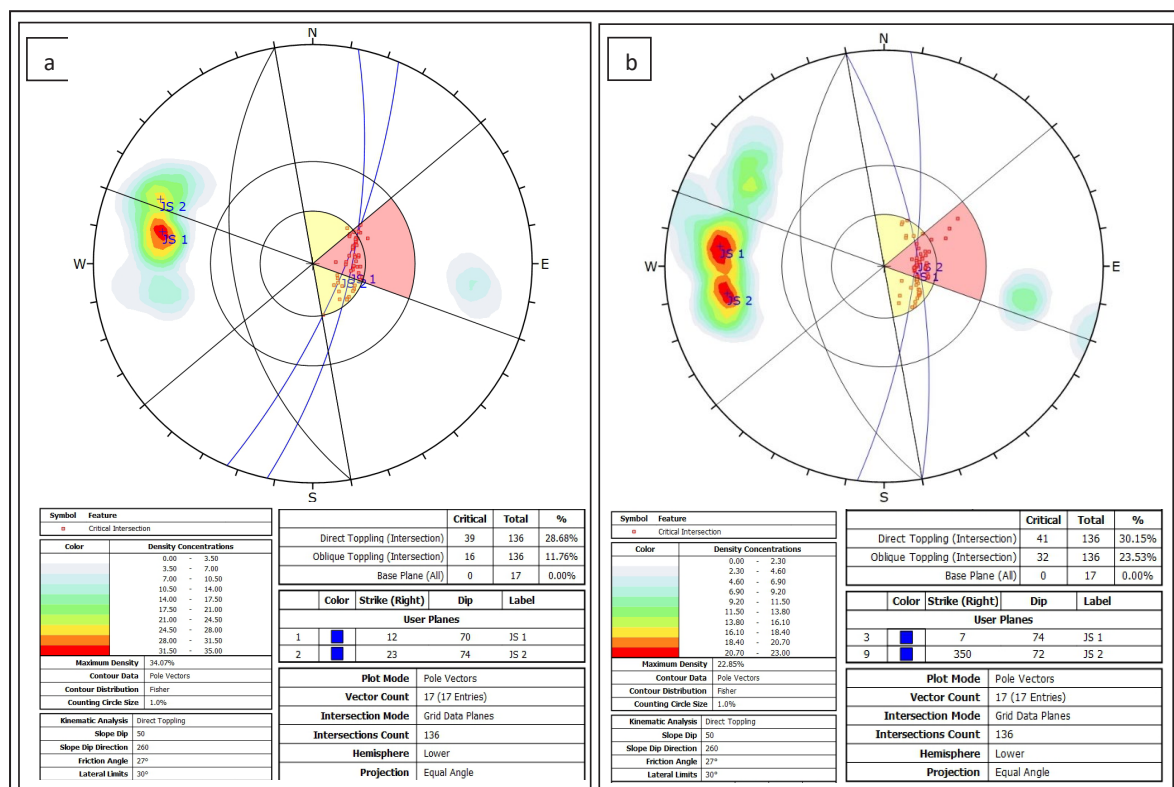
Berdasarkan analisis kinematika, didapatkan bahwa potensi yang memungkinkan longsoran terjadi adalah jenis tipe *toppling failure* atau longsoran guling. Hasil keseluruhan pada jenis tipe *toppling failure* memiliki persentase zona kritis yang cukup tinggi pada STA 1 dan STA 2 (Tabel 4). Diskontinuitas yang ada di lokasi kemungkinan menyebabkan terjadinya tipe longsoran jenis *oblique toppling* dengan nilai tertinggi mencapai 63,97%, sedangkan pada *direct toppling* mencapai 44,44% (Gambar 6). Jenis tipe *planar sliding* secara keseluruhan memiliki persentase 0%, sedangkan *wedge slid-*

ing pada kedua jenis pengambilan data memiliki zona kritis longsor hanya pada STA 1 dengan persentase mencapai 1% - 4%.

Hasil analisis syarat pembentukan longsor dari setiap jenis tipe longsoran pada masing-masing STA menunjukkan bahwa pemenuhan syarat hanya terpenuhi pada jenis longsoran *toppling failure* pada STA 1 dengan jenis pengambilan data kekar observasi lapangan serta STA 1 *tracking plugin compass* (Tabel 5). Pemenuhan syarat ini dapat dikatakan terpenuhi apabila keseluruhan syarat pada suatu jenis longsoran terpenuhi.

Tabel 4. Hasil signifikansi persentase zona kritis setiap jenis tipe longsoran pada masing-masing STA

	<i>Planar sliding</i>	<i>Wedge sliding</i>	<i>Direct toppling</i>	<i>Oblique toppling</i>
STA 1				
Observasi Lapangan	0%	3,68%	28,68%	11,76%
STA 2				
Observasi Lapangan	0%	0%	44,44%	42,22%
STA 1				
<i>Plugin compass</i>	0%	1,47%	30,15%	23,53%
STA 2				
<i>Plugin compass</i>	0%	0%	26,47%	63,97%



Gambar 6. Hasil pengolahan *software* Dips dengan nilai signifikansi zona kritis tertinggi. (a). *Toppling failure* pada STA 1 observasi data lapangan, (b). *Toppling failure* pada STA 1 dengan *tool plugin compass software* Cloud Compare.

Tabel 5. Hasil signifikansi persentase zona kritis setiap jenis tipe longsoran pada masing-masing STA

	<i>Planar sliding</i>	<i>Wedge sliding</i>	<i>Direct toppling</i>
STA 1			
Observasi Lapangan	Tidak terpenuhi	Tidak terpenuhi	Terpenuhi
STA 2			
Observasi Lapangan	Tidak terpenuhi	Tidak terpenuhi	Tidak terpenuhi
STA 1			
<i>Plugin compass</i>	Tidak terpenuhi	Tidak terpenuhi	Terpenuhi
STA 2			
<i>Plugin compass</i>	Tidak terpenuhi	Tidak terpenuhi	Tidak terpenuhi

Persentase signifikansi zona kritis yang tinggi tidak memastikan bahwa syarat pembentukan longsor terpenuhi, tetapi tidak dapat dipungkiri bahwa persentase longsor juga menjadi faktor yang harus diperhatikan bersamaan dengan setiap poin syarat yang terpenuhi akan mengurangi nilai dari kestabilan lereng. Berdasarkan hasil pengolahan data yang dilakukan, tipe longsor yang kemungkinan terbentuk adalah jenis *toppling failure*. Hal ini selaras dengan kondisi daerah penelitian yang juga diketahui menunjukkan jenis longsoran *toppling failure*.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kedudukan diskontinuitas dan arah tegasan utama yang didapatkan melalui hasil pengolahan stereonet dengan perangkat lunak Dips pada daerah penelitian yaitu diperoleh barat daya - timur laut. Hal ini menandakan bahwa daerah penelitian memungkinkan untuk terjadinya potensi longsor susulan dengan jenis longsoran tersebut. Metode Structure from motion dengan bantuan wahana *Unmanned Aerial Vehicle* yang diolah dengan *tool plugin compass* pada Cloud Compare menunjukkan hasil yang cukup baik. Persentase keakuratan pengambilan data dengan UAV diatas 94% dibandingkan dengan pengukuran langsung dengan metode scanline. Hal ini memberikan kesimpulan bahwa UAV dapat digunakan sebagai metode pengambilan data, data pendukung, atau validasi dari hasil pemetaan lapangan. Daerah penelitian memiliki potensi longsor dengan jenis *toppling failure*. Nilai persentase yang mencapai 28,68% dan 30,15% pada jenis *direct toppling* serta terpenuhinya

syarat pembentukan suatu longsoran pada STA 1 pada pengambilan data diskontinuitas baik dari observasi lapangan dan *plugin compass*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada tim editor dan tim redaksi yang telah menerbitkan manuskrip ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya, S., Neupane, B., & Bahadur, N. (2023). Discontinuity Orientation Mapping in Rock Slope using Digital Tools. *IOE Graduate Conference, 14*, 1479–1483.
- Al' Afif, M., Raharjo, P. D., Winduhutomo, S., Puswanto, E., & Wibowo, D. A. (2020). Peranan UAV dalam Perencanaan Bangunan pada Kawasan Ancaman Longsor Tinggi di Kawasan Geopark Karangsambung-Karangbolong Bagian Utara. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 10(3), 139. <https://doi.org/10.34126/jlbg.v10i3.274>
- American Society for Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (ASPRS). (2015). ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(3), 1–26. <https://doi.org/10.14358/pers.81.3.a1-a26>
- Dewi, T. S., Kusumayudha, S. B., & Purwanto, H. S. (2017). Zonasi Rawan Bencana Tanah Longsor dengan Metode Analisis GIS. *Jurnal Mineral, Energi Dan Lingkungan*, 1 (1), 50–59.

- Erfani, S., Wijaya, R. C., Djana, M., Septiana, T., Naimullah, M., Gracia, C., Rizkiano, A., & Mulyasari, R. (2024). Identifikasi Potensi Longsor Kawasan Patahan Semangko Menggunakan Foto Udara Uav (Studi Kasus: Way Kerap, Semaka, Kabupaten Tanggamus). *Journal Online of Physics*, 9(2), 61–72. <https://doi.org/10.22437/jop.v9i2.31987>
- Firmansyah, Y. C., Syaumi, D. Y., & Hakim, L. (2022). Analisis Resiko Keruntuhan Lereng Menggunakan Discontinuity Mapping-Remote Sensing Dan Analisis Kinematik Di Pit C2Hs, Sambarata Mine Operation, Pt Berau Coal. *Indonesian Mining Professionals Journal*, 4(2), 135–144. <https://doi.org/10.36986/impj.v4i2.81>
- Google Earth. (n.d.). Tegalrejo. diakses dari <https://www.google.com/earth>.
- Hafiz, A., & Setianto, A. (2019). Application of structure from motion method to determine direction of slope failure. *Proceedings - 2019 5th International Conference on Science and Technology, ICST 2019, June*. <https://doi.org/10.1109/ICST47872.2019.9166399>
- Islamiyati, D., Palumpun, V. A. W., Aryati, F., D., & Novianto, H. (2022). Slope Failure Kinematic Analysis using Structure from Motion (SfM) Method: Study Case in Bench 57 High Grade Limestone Mine PT . Solusi Bangun Slope Failure Kinematic Analysis using Structure from Motion (SfM) Method : Study Case in. *Proceedings 49TH IAGI Annual Convention and Exhibition, January*.
- McCaffrey, K. J. W., Jones, R. R., Holdsworth, R. E., Wilson, R. W., Clegg, P., Imber, J., Holliman, N., & Trinks, I. (2005). Unlocking the spatial dimension: Digital technologies and the future of geoscience fieldwork. In *Journal of the Geological Society* (Vol. 162, Issue 6). <https://doi.org/10.1144/0016-764905-017>
- Micheletti, N., Chandler, J. H., & Lane, S. N. (2015). Structure from Motion (SfM) Photogrammetry Photogrammetric heritage. *Geomorphological Techniques*, 2, 1–12.
- Panggabean, M. I., Amarrohman, F. J., & Prasetyo, Y. (2021). Kajian Penurunan Muka Tanah Menggunakan Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) dan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) (Studi Kasus: Wilayah Pembangunan Jalan TOL Semarang-Demak STA 17-22). *Jurnal Geodesi Undipdesi Undip*, 10(2), 108–117.
- Stead, D., & Wolter, A. (2015). A critical review of rock slope failure mechanisms: The importance of structural geology. *Journal of Structural Geology*, 74(December 2011), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2015.02.002>
- Surono, S. (2008). Litostratigrafi dan sedimentasi Formasi Kebo dan Formasi Butak di Pegunungan Baturagung, Jawa Tengah Bagian Selatan. *Indonesian Journal on Geoscience*, 3(4), 183–193. <https://doi.org/10.17014/ijog.3.4.183-193>
- Suryalfihra, S. I., Kurniadin, N., & Wumu, R. (2023). Pelatihan Foto Udara Menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) untuk Pemetaan Area Terdampak Bencana pada BPBD Kota Samarinda. *Sewagati*, 7(5), 782–789. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v7i5.617>
- Susanto, A., Najib, Syauqi, H. A., Hendi, N., Farida, A., & Wibisono, P. A. V. (2023). Analisis Keruntuhan Lereng dengan Metode Structure from Motion (SfM) pada Lereng Tambang Batugamping di Tuban, Jawa Timur. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, 14(2), 59–75.
- Sutarto, H., Soesilo, J., Wibowo, B. T., Hamdalah, H., Majid, A., & Aqilah N, S. (2021). Karakteristik dan Pembentukan Batuan Beku di Pegunungan Jiwo, Bayat, Jawa Tengah. *Jurnal Mineral, Energi, Dan Lingkungan*, 4(2), 18. <https://doi.org/10.31315/jmel.v4i2.3235>
- Thiele, S. T., Grose, L., Samsu, A., Mickelthwaite, S., Vollgger, S. A., & Cruden, A. R. (2017). Rapid, semi-automatic fracture and contact mapping for point clouds, images and geophysical data. *Solid Earth*, 8(6), 1241–1253. <https://doi.org/10.5194/se-8-1241-2017>

- Van Bemmelen RW. (1949). The Geology Of Indonesia. In *General Geology of Indonesia*. <https://doi.org/10.1385/0-89603-489-5:219>
- Van Zuidam, R. A., & Zuidam-Cancelado, F. I. (1986). *Aerial photo-interpretation in terrain analysis and geomorphologic mapping* (p. 25102). The Hague: Smits Publishers.
- Vollgger, S. A., dan Cruden, A. R. (2018). Mapping folds and fractures in basement and cover rocks using UAV photogrammetry, Cape Liptrap and Cape Paterson, Victoria, Australia, *Journal of Structural Geology*, 85, 168-187. .pdf. *Journal of Stuctural Geology*, 85, 168–187.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). “Structure-from-Motion” photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>
- Wibowo, R. C., Rizkiano, A., & Sarkowi, M. (2022). Identifikasi Zona Potensi Longsor Menggunakan Metode Fotogrametri Foto Udara Area Pidada Kota Bandar Lampung. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing*, 3(2), 70–76. <https://doi.org/10.23960/jgrs.2022.v3i2.74>
- Wyllie, D. C., & Mah, C. (2017). Rock Slope Engineering. In *Civil and Mining* (4th ed., p. 456).