

**PENGARUH KEKAR TERHADAP JENIS LONGSORAN DI PIT D SAMBARATA MINE
OPERATION PT BERAU COAL, KALIMANTAN TIMUR : PENDEKATAN
DISCONTINUITY MAPPING DAN ANALISIS KINEMATIK**

Dinefa Yuslima Syaumi¹, Raden Irvan Sophian¹, Faisal Helmi¹, Kurniawan Setiadi²

¹Teknik Geologi, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

²*Geotechnical & Hydrology Department*, PT Berau Coal

Korespondensi e-mail : dinefa19001@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

Lokasi penelitian terletak di Pit D Sambarata *Mine Operation* PT Berau Coal, Kalimantan Timur yaitu sebuah tambang terbuka batubara yang masih aktif melakukan kegiatan pertambangan. Analisis pengaruh struktur geologi berupa kekar menggunakan analisis kinematik dilakukan untuk mengetahui jenis longsor yang berpotensi di enam lereng lokasi penelitian. Data lereng dan data kekar diperoleh dari foto udara hasil *Discontinuity Mapping* menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dengan teknik fotogrametri. Berdasarkan hasil penelitian, keenam lereng yang terdapat pada Pit D memiliki potensi longsor guling langsung dengan nilai *Probability of Failure* (PoF) tertinggi sebesar 24,19% pada lereng *highwall*.

Kata kunci : analisis kinematik, UAV, fotogrametri

ABSTRACT

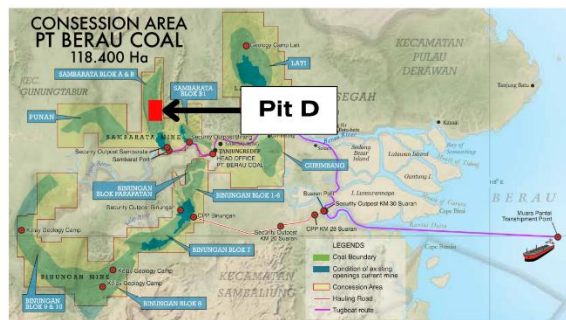
The research area is located at Pit D Sambarata Mine Operation PT Berau Coal, East Kalimantan, which is an open-pit coal mine that is still actively carrying out mining activities. Analysis of the influence of geological structures in the form of joints using kinematic analysis was carried out to determine the types of potential landslides on the six slopes of the research area. Slope and joint data were obtained from aerial photos resulting from Discontinuity Mapping using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) with photogrammetry techniques. Based on the research results, the six slopes in Pit D have the potential for direct toppling failure with the highest Probability of Failure (PoF) value of 24.19% on highwall slopes.

Key words: kinematic analysis, UAV, photogrammetry

PENDAHULUAN

Secara administratif, lokasi penelitian terletak di Kecamatan Gunung Tabur, Kabupaten Berau, Provinsi Kalimantan Timur yang berjarak $\pm 8,3$ km dari *Head Office* PT Berau Coal. Analisis pengaruh struktur geologi berupa kekar pada lokasi penelitian dilakukan untuk mengetahui jenis longsor yang berpotensi yaitu dengan analisis kinematik menggunakan data kekar dan data lereng dari foto udara. Jenis longsor pada setiap area perlu diketahui karena dapat mempengaruhi kestabilan lereng.

Keterdapatan struktur geologi pada suatu lereng dapat menjadi salah satu faktor pengontrol internal terjadinya longsor (Widagdo dkk., 2021). Oleh karena itu, dilakukan pemetaan struktur pada lokasi penelitian dengan metode *Discontinuity Mapping-Remote Sensing* dengan teknik fotogrametri untuk mengambil data struktur yang sulit dilakukan pemetaan permukaan.



Gambar 1 Peta Lahan Konsesi PT Berau Coal
(Geology & Exploration Department PT Berau Coal, 2015)

TINJAUAN PUSTAKA

Litologi yang menyusun lokasi penelitian umumnya batulempung dan batupasir dengan sisipan batubara. Struktur geologi pada lokasi penelitian saling berpotongan yaitu Sesar

Mendatar Sambarata yang berarah Timur Laut – Barat Daya dan Sesar Mendatar Birang yang berarah Barat Laut – Tenggara (Raharjo, 2009). Selain itu, terdapat struktur lipatan yaitu Antiklin Sentosa dan Antiklin Rantau Panjang (Firmansyah, 2022). Kekar sebagai variabel penelitian ini merupakan struktur geologi berupa retakan atau rekahan pada batuan yang belum mengalami pergeseran (Pluijm dan Marshak, 2004).

Lokasi penelitian terdiri dari enam lereng, yaitu tiga *lowwall*, dua *highwall*, dan satu *sidewall*. *Highwall* adalah sisi lereng yang mempunyai perlapisan atau *dip* batuan yang tegak lurus terhadap kemiringan lereng dan mempunyai *slope* serta *bench*. *Lowwall* adalah sisi lereng yang mempunyai perlapisan atau *dip* batuan yang sejajar terhadap kemiringan lereng. *Sidewall* atau *endwall* adalah sisi lereng pada tambang yang menjadi tanda berakhirnya wilayah pertambangan dan tegak lurus terhadap *lowwall* dan *highwall*.

Longsor

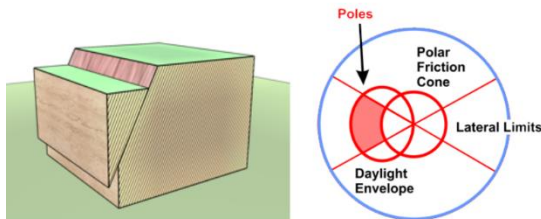
Longsor adalah suatu gerakan tanah dan batuan yang terjadi secara tiba-tiba (Arif, 2016). Jenis-jenis longsor yang umum terjadi pada tambang terbuka adalah:

Longsor Bidang (*Planar Failure*)

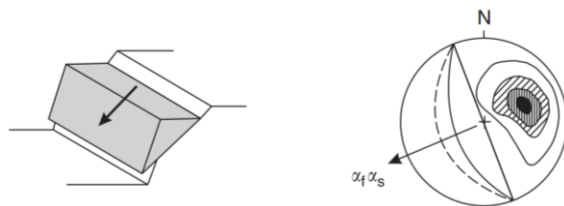
Longsor bidang adalah longsor yang terjadi disepanjang bidang luncur bidang diskontinuitas, seperti sesar, kekar, liniasi, atau bidang perlapisan dengan kemiringan yang lebih datar dari permukaan lereng di atasnya (Alade dan Abdulazeez, 2014). Menurut Wyllie dan Mah (2004), longsor bidang akan terjadi jika:

- 1) Bidang gelincir lereng mempunyai *strike* yang sejajar atau hampir sejajar dengan *strike* lereng (toleransi maksimal 20°).

- 2) Bidang gelincir mempunyai *dip* lebih kecil daripada *dip* lereng, tetapi lebih besar dari sudut geser dalam ($\Psi_f > \Psi_p > \Phi$).
- 3) Terdapat bidang *release* sebagai batasan pada sisi kanan dan kiri blok yang mengalami pergerakan (menggelincir).



Gambar 2 Visualisasi Longsoran Bidang
(Sumber : <https://help.maptek.com>. Diakses 10 Mei 2023)



$\alpha_f = \text{dip direction}$

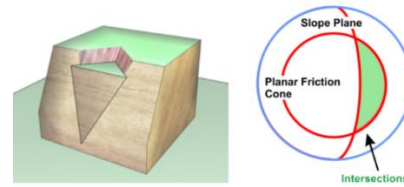
$\alpha_s = \text{arah longsoran}$

Gambar 3 Visualisasi Longsoran Bidang (Wyllie dan Mah, 2004)

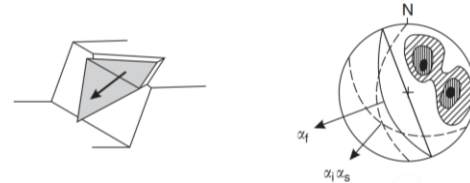
Longsoran Baji (*Wedge Failure*)

Longsoran baji adalah longsoran yang terjadi karena terdapat garis perpotongan (*intersection*) antara dua bidang kekar yang mengarah ke bawah dengan kemiringan yang lebih datar dari permukaan lereng di atasnya (Alade dan Abdulazeez, 2014). Menurut Arif (2016), longsoran baji akan terjadi jika:

- 1) Terdapat dua atau lebih bidang diskontinuitas saling berpotongan.
- 2) Sudut garis potong kedua bidang diskontinuitas dengan bidang horizontal lebih kecil dari sudut lereng, tetapi lebih besar dari sudut geser dalam ($\Psi_f > \Psi_i > \Phi$).



Gambar 4 Visualisasi Longsoran Baji (Sumber : <https://help.maptek.com>. Diakses 10 Mei 2023)



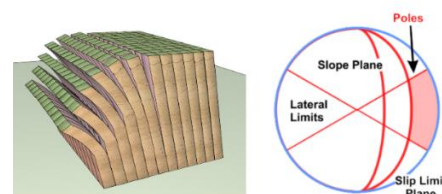
$\alpha_f = \text{dip direction}$ $\alpha_s = \text{arah longsoran}$

$\alpha_i = \text{dip direction, garis intersection}$

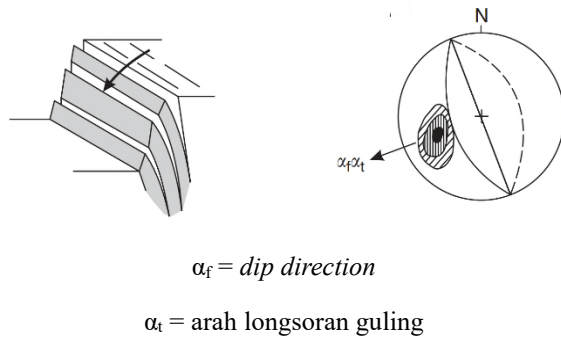
Gambar 5 Visualisasi Longsoran Baji (Wyllie dan Mah, 2004)

Longsoran Guling *Flexural* (*Flexural Toppling Failure*)

Dilansir dari situs resmi Maptek I-Site Studio, longsoran guling *flexural* adalah longsoran yang terjadi jika bidang diskontinuitas pada lereng mempunyai kemiringan berlawanan arah dengan kemiringan lereng dan apabila perlapisan batuan muncul pada lereng serta *principal stress* paralel terhadap muka lereng. Menurut Wyllie dan Mah (2004), bidang dasar pada longsoran guling *flexural* tidak terdefiniskan dengan baik, seperti pada longsoran guling langsung.



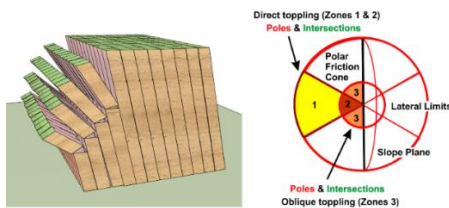
Gambar 6 Visualisasi Longsoran Guling *Flexural*
(Sumber : <https://help.maptek.com>. Diakses 10 Mei 2023)



Gambar 7 Visualisasi Longsor Guling (Wyllie dan Mah, 2004)

Longsor Guling Langsung (*Direct Toppling Failure*)

Dilansir dari situs resmi *Maptek I-Site Studio*, longsor guling langsung adalah longsor yang terjadi jika bidang diskontinuitas pada lereng mempunyai kemiringan yang berlawanan dengan kemiringan lereng dan apabila pusat gravitasi dari sebuah blok berada pada dasar blok.



Gambar 8 Visualisasi Longsor Guling Langsung (Sumber : <https://help.maptek.com>. Diakses 10 Mei 2023)

Analisis Kinematik

Analisis kinematik adalah metode untuk mendapatkan informasi kestabilan lereng berdasarkan jenis gerakan material lereng, tanpa mengidentifikasi gaya yang menyebabkan pergerakan material tersebut (Gurocak, Alemdag dan Zaman, 2008 dalam Sirait dkk., 2021). Untuk mendapatkan nilai dari analisis kinematik yaitu berupa *Probability of Failure* (PoF), maka diperlukan data berupa orientasi struktur

geologi, orientasi lereng, dan sudut geser dalam.

Probability of Failure (PoF) adalah probabilitas longsor yang diperhitungkan dengan cara melakukan peninjauan nilai relatif dari gaya penggerak dan gaya penahan dari lereng (Wyllie dan Mah, 2004).

Nilai PoF dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{PoF} = \frac{\text{jumlah kejadian gagal}}{\text{jumlah total kejadian}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Pada dasarnya, rumus sederhana PoF adalah perbandingan antara jumlah kejadian gagal dengan jumlah total kejadian yang dinyatakan dalam persentase. Oleh karena itu, semakin besar nilai PoF, maka semakin besar peluang lereng untuk longsor (Azizi dkk., 2019).

Remote Sensing

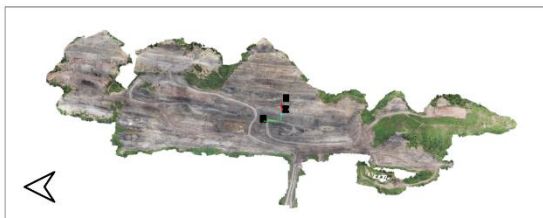
Remote sensing (penginderaan jauh) adalah ilmu dan seni untuk mendapatkan informasi mengenai objek, daerah, atau fenomena dengan cara menganalisis data yang diperoleh dari alat tanpa kontak langsung terhadap objek, daerah, atau fenomena yang sedang dianalisis (Lillesand dan Kiefer, 1979 dalam Handayani dan Setiyadi, 2003). Teknik *remote sensing* (penginderaan jauh) yang digunakan pada penelitian ini adalah fotogrametri dengan menggunakan alat *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) atau lebih dikenal dengan istilah *drone*. Dalam penelitian ini, pesawat UAV tidak hanya menggunakan kamera dalam pengambilan foto, tetapi juga menggunakan teknologi *Light Detection and Ranging* (LIDAR), yaitu teknologi pemindaian laser yang berfungsi untuk menghasilkan data 3 dimensi yang ditampilkan dalam bentuk *point clouds* (Arrofiqoh dkk., 2022). *Point clouds* adalah kumpulan titik yang

mengandung data koordinat X, Y, dan Z (Otepka dkk., 2013 dalam Ramadhani dkk., 2021). Selanjutnya, hasil pemetaan diolah menggunakan perangkat *RiSCAN Pro* dari RIEGL untuk menggabungkan data foto udara dan *point clouds* dan membuat data dalam bentuk *LIDAR Laser* (Las), sehingga data dapat diolah menggunakan perangkat *Maptek I-Site Studio* untuk melakukan pemetaan struktur geologi berupa kekar.

METODE PENELITIAN

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah tahapan persiapan penelitian yang mencakup studi literatur berupa analisis geologi regional pada lokasi penelitian. Selanjutnya, dilakukan tahapan pengambilan data berupa foto udara dan sudut geser dalam.

- 1) Foto udara diperoleh melalui pemetaan dengan alat UAV LIDAR dan teknik fotogrametri dalam bentuk *LIDAR Laser* (Las).

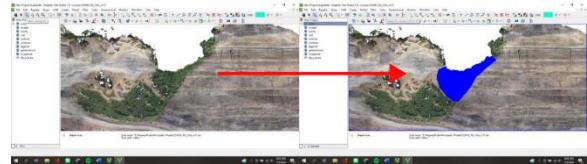


Gambar 9 Foto Udara Pit D Sambarata Mine Operation PT Berau Coal

- 2) Nilai sudut geser dalam didapatkan dari pengujian *Triaxial* pada sampel geoteknik yang diperoleh dari titik bor DDGT-BE-19-01 sampai dengan DDGT-BE-19-10 yang kemudian diambil rata-ratanya melalui analisis statistika.

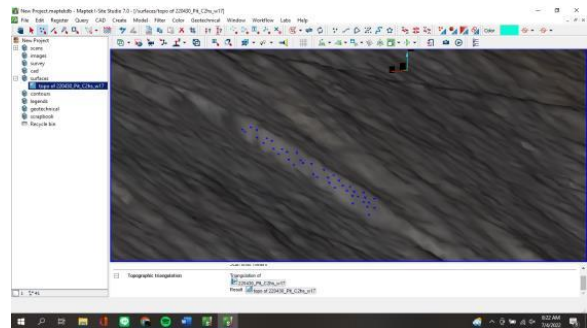
Kemudian, dilakukan tahap analisis data yaitu pemetaan struktur kekar dari foto udara menggunakan perangkat lunak *Maptek I-Site Studio v.7.0* Lisensi PT Berau Coal, untuk

mendapatkan orientasi lereng dan orientasi kekar. Dalam perangkat *Maptek I-Site Studio*, hasil pemetaan menggunakan UAV LIDAR masih terdapat vegetasi yang terekam, untuk itu perlu dihapus terlebih dahulu agar hasil analisis tidak terganggu.

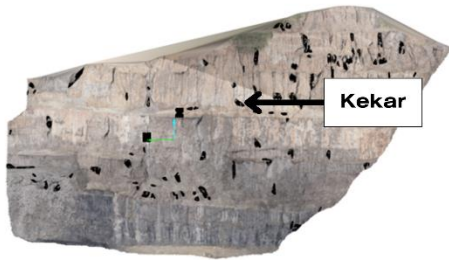


Gambar 10 Hasil Sebelum dan Sesudah Penghapusan Vegetasi Pada Data UAV LIDAR Melalui Perangkat Lunak *Maptek I-Site Studio v.7.0* Lisensi PT Berau Coal

Data hasil UAV LIDAR selanjutnya ditriangulasi terlebih dahulu untuk mendapatkan bidang kekar. Hasil dari triangulasi tersebut menjadikan kekar yang dianalisis menjadi satu bidang kekar. Selanjutnya, perangkat ini dapat mencari bidang kekar dengan *strike* dan *dip* yang menyerupai bidang kekar yang sudah dipilih dengan menggunakan fitur “*Smart Connect*”. Orientasi lereng berupa *strike* dan *dip* dapat diperoleh dengan menggunakan fitur “*Query Dip and Strike*”. Orientasi kekar berupa nilai *dip*, *dip direction*, *strike*, *trend*, *plunge*, panjang kekar, dan luas bidang kekar dapat diperoleh dengan menggunakan fitur “*Extract Discontinuities*”.



Gambar 11 Pembuatan Triangulasi Pada Bidang Kekar Melalui Perangkat Lunak *Maptek I-Site Studio v.7.0* Lisensi PT Berau Coal



Gambar 12 Contoh Pemetaan Struktur Menggunakan Metode Remote Sensing Melalui Perangkat Lunak Maptek I-Site Studio v.7.0 Lisensi PT Berau Coal



Gambar 13 Informasi Orientasi Struktur dengan Menggunakan Metode Remote Sensing Melalui Perangkat Lunak Maptek I-Site Studio v.7.0 Lisensi PT Berau Coal

Setelah mendapatkan data orientasi lereng dan orientasi kekar, kemudian dilakukan analisis kinematik untuk mengetahui jenis dan arah longsoran serta kemungkinan keterjadian longsoran tersebut menggunakan perangkat lunak Rocscience Dips v.8.0 Lisensi Universitas Padjadjaran.

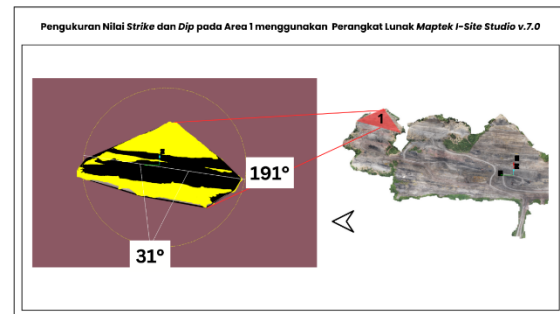
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada lokasi penelitian, dilakukan pengujian analisis kinematik longsoran bidang, longsoran baji, longsoran guling *flexural*, dan longsoran guling langsung.

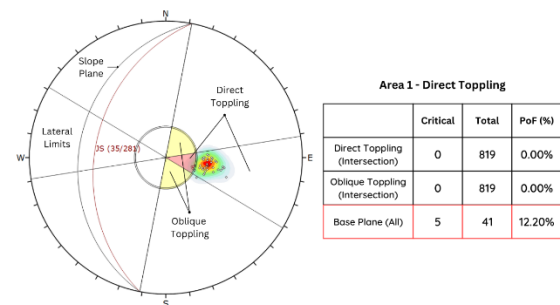
Analisis Kinematik Area 1

Pemetaan struktur kekar dilakukan pada area 1 dengan nilai *strike* 191° dan *dip* 31°. Didapatkan nilai PoF dari longsoran guling langsung sebesar 12,2% yang diperoleh dari

analisis 41 data kekar dan yang termasuk dalam zona kritis sebanyak 5 kekar.



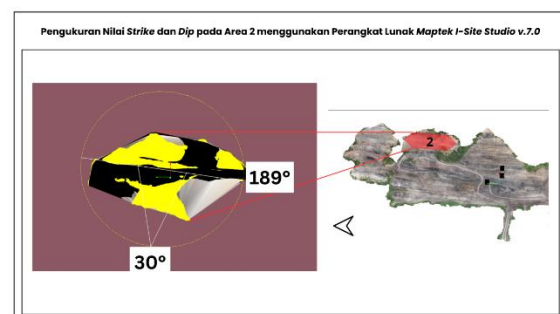
Gambar 14 Pengukuran Nilai *Strike* dan *Dip* pada Area 1



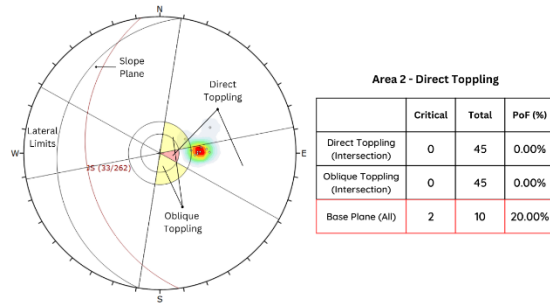
Gambar 15 Hasil Analisis Kinematik Area 1 – *Direct Toppling* (Longsoran Guling Langsung)

Analisis Kinematik Area 2

Pemetaan struktur kekar dilakukan pada area 2 dengan nilai *strike* 189° dan *dip* 30°. Didapatkan nilai PoF dari longsoran guling langsung sebesar 20% yang diperoleh dari analisis 10 data kekar dan yang termasuk dalam zona kritis sebanyak 2 kekar.



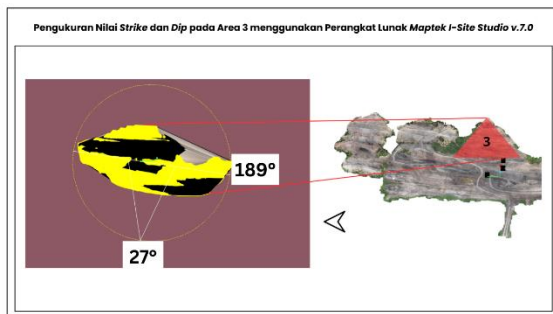
Gambar 16 Pengukuran Nilai *Strike* dan *Dip* pada Area 2



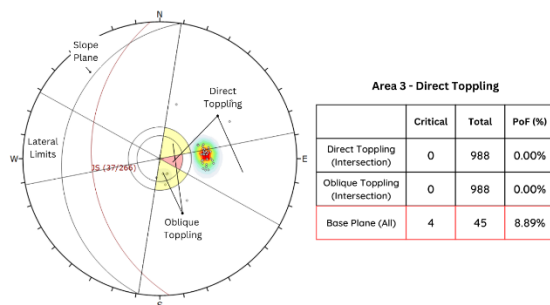
Gambar 17 Hasil Analisis Kinematik Area 2 – *Direct Toppling* (Longsoran Guling Langsung)

Analisis Kinematik Area 3

Pemetaan struktur kekar dilakukan pada area 3 dengan nilai *strike* 189° dan *dip* 27°. Didapatkan nilai PoF dari longsoran guling langsung sebesar 8,89% yang diperoleh dari analisis 45 data kekar dan yang termasuk dalam zona kritis yaitu sebanyak 4 kekar.



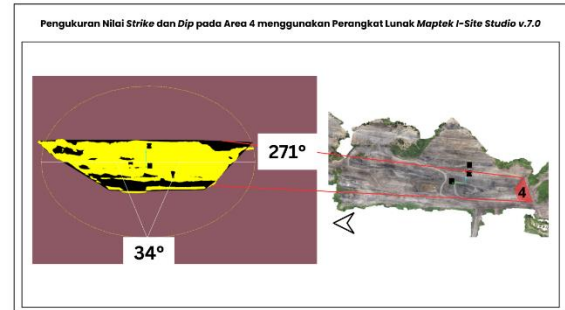
Gambar 18 Pengukuran Nilai *Strike* dan *Dip* pada Area 3



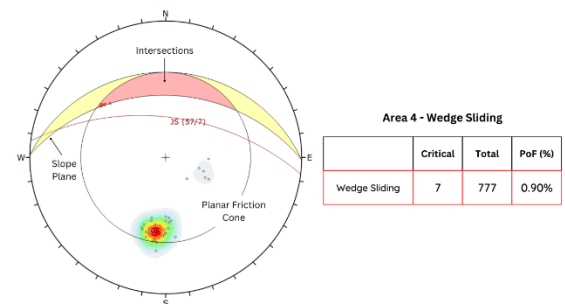
Gambar 19 Hasil Analisis Kinematik Area 3 – *Direct Toppling* (Longsoran Guling Langsung)

Analisis Kinematik Area 4

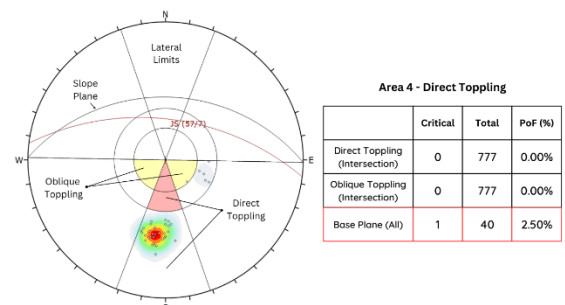
Pemetaan struktur kekar dilakukan pada area 4 dengan nilai *strike* 271° dan *dip* 34°. Didapatkan nilai PoF dari longsoran baji sebesar 0,9% dan longsoran guling langsung sebesar 2,5% yang diperoleh dari analisis 40 data kekar dan yang termasuk dalam zona kritis yaitu sebanyak 1 kekar.



Gambar 20 Pengukuran Nilai *Strike* dan *Dip* pada Area 4



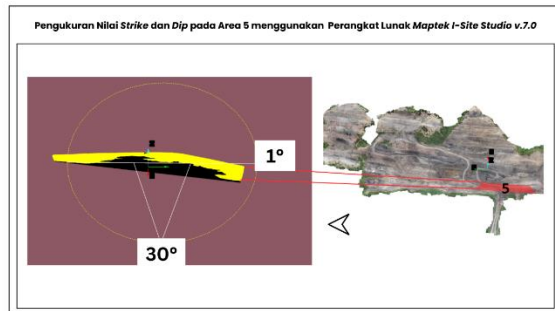
Gambar 21 Hasil Analisis Kinematik Area 4 – *Wedge Sliding* (Longsoran Baji)



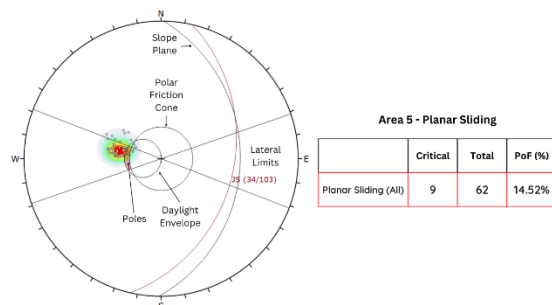
Gambar 22 Hasil Analisis Kinematik Area 4 – *Direct Toppling* (Longsoran Guling Langsung)

Analisis Kinematik Area 5

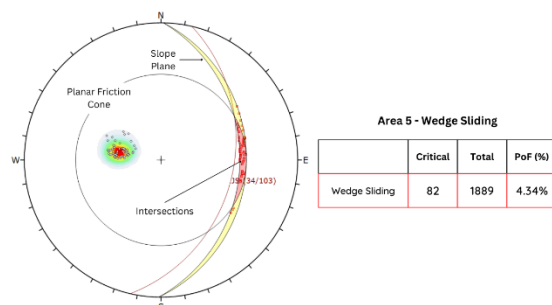
Pemetaan struktur kekar dilakukan pada area 5 dengan nilai *strike* 1° dan *dip* 30° . Didapatkan nilai PoF dari longsoron bidang sebesar 14,52%, longsoron baji sebesar 4,34%, dan longsoron guling langsung sebesar 24,19% yang diperoleh dari analisis 62 data kekar dan yang termasuk dalam zona kritis yaitu sebanyak 15 kekar.



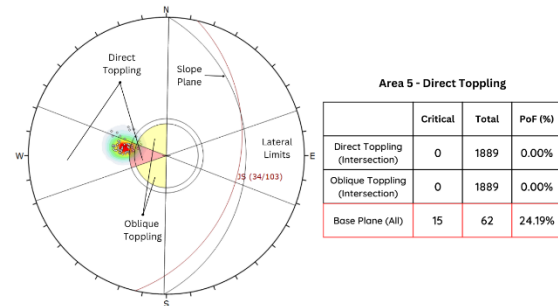
Gambar 23 Pengukuran Nilai *Strike* dan *Dip* pada Area 5



Gambar 24 Hasil Analisis Kinematik Area 5 – *Planar Sliding* (Longsoron Bidang)



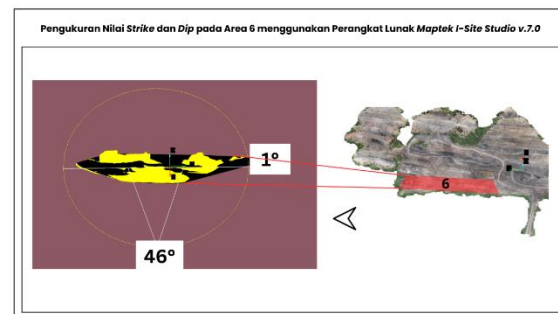
Gambar 25 Hasil Analisis Kinematik Area 5 – *Wedge Sliding* (Longsoron Baji)



Gambar 26 Hasil Analisis Kinematik Area 5 – *Direct Toppling* (Longsoron Guling Langsung)

Analisis Kinematik Area 6

Pemetaan struktur kekar dilakukan pada area 6 dengan nilai *strike* 1° dan *dip* 46° . Didapatkan nilai PoF dari semua jenis longsoron sebesar 0,00%.



Gambar 27 Pengukuran Nilai *Strike* dan *Dip* pada Area 6

KESIMPULAN

Analisis pengaruh struktur geologi berupa kekar menggunakan analisis kinematik dilakukan untuk mengetahui jenis longsoron yang berpotensi di enam lereng, didapatkan nilai *Probability of Failure* (PoF) yang bervariasi yaitu dari 0,9% pada lereng *sidewall* sampai 24,19% pada lereng *highwall* dengan potensi paling besar berupa longsoron guling langsung pada baseplan karena kemiringan bidang diskontinuitas lebih besar daripada kemiringan lereng dan pusat gravitasi berada pada dasar blok batuan, sehingga memiliki tendensi alami untuk jatuh sesuai gaya gravitasi.

SARAN

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa hal yang perlu dipertimbangan sebagai saran yang dapat diberikan, yaitu:

- 1) Disarankan untuk melakukan pemetaan geologi secara manual yaitu dengan cara melakukan penelitian lapangan secara langsung untuk membandingkan hasil pemetaan menggunakan metode *remote sensing*.
- 2) Disarankan untuk melakukan rekapitulasi pemetaan *discontinuity mapping – remote sensing* yang dilakukan sekali dalam seminggu untuk memvisualisasikan dan mengamati fluktuasi dari pengaruh struktur pada lokasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. *Kinematic Analysis*. <https://help.maptek.com/pointmodeler/2023/menus/geotechnical/kinematic-analysis.htm>
- Alade, S. M., dan Abdulazeez, S. S. (2014). *Kinematic Assessment of Rock Slope Stability at Obajana and Ewekoro Quarries*. *Earth Science*, 3, 34-41. doi:10.11648/j.earth.20140302.11
- Arif, I. (2016). *Geoteknik Tambang Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Arrofiqoh, E. N., Muryamto, R., Afiyanti, D., Azizah, S. C., Kresnawan, D. S., dan Fabiola, A. N. (2022). *Pemanfaatan UAV dengan Sensor Kamera dan Lidar untuk Pemetaan Situs Cagar Budaya Kawasan Candi Prambanan*. *Journal of Geodesy and Geomatics (Geoid)*, 17, 176-184.
- Azizi, M. A., Marwanza, I., Nugroho, B., Ghifari, M. K., Dwialfawan, R. A., dan Anugrahadi, A. (2019). *Metodologi Pengukuran Tingkat Risiko Kestabilan Lereng Tambang Terbuka*. Prosiding Workshop dan Simposium Nasional Geomekanika Ke 5, 224-231.
- Handayani, D., dan Setiyadi, A. (2003). *Remote Sensing (Penginderaan Jauh)*. VIII, 113-120.
- Mamonto, F., As'ari, dan Ferdy. (2016). *Identifikasi Patahan Manado dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner-Schlumberger Di Desa Watutumou II Kecamatan Kalawat Kabupaten Minahasa Utara*. *Jurnal Ilmiah Sains*, 16, 51-60.
- Pluijm, B. A., dan Marshak, S. (2004). *Earth Structure: An Introduction to Structural Geology and Tectonics Second Edition*. W.W. Norton & Company.
- Raharjo, S. (2009). *Potensi Gas Methane Batubara Di Daerah Kelai, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur*. *Jurnal Ilmiah Magister Teknik Geologi (JMTG)*, 2.
- Ramadhani, S. M., Prasetyo, Y., dan Bashit, N. (2021). *Analisis Ketelitian Point Clouds Teknologi Terrestrial Laser Scanner (Studi Kasus: Dekanat Lama Fakultas Teknik)*. *Jurnal Geodesi Undip*, 250-258.
- Sirait, B., Pulungan, Z., dan Pujiyanto, E. (2021). *Identifikasi Potensi*

- Longsoran Lereng pada Kuari Batugamping Menggunakan Analisis Kinematika. Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, 17, 61-75.*
- Widagdo, A., Ismahyudi, S., Setijadi, R., Permanajati, I., dan Tilaksono, A. (2021). *Kontrol Struktur Geologi Terhadap Gerakan Tanah dan Batuan pada Batuan Formasi Halang di Daerah Sirau, Kecamatan Karang Moncol-Purbalingga, Propinsi Jawa Tengah*. Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar, 574-578.
- Wyllie, D. C., dan Mah, C. W. (2004). *Rock Slope Engineering: Civil and Mining (4th ed.)*. Spon Press, Taylor & Francis Group.