

IDENTIFIKASI POTENSI LONGSORAN LERENG BERDASARKAN ANALISIS KINEMATIKA DI PT. HARMAK INDONESIA

Identification of Slope Failure Potency Based on Kinematics Analysis at PT. Harmak Indonesia

MARKUS OLA*, SINGGIH SAPTONO** dan BARLIAN DWINAGARA**

Program Studi Magister Teknik Pertambangan, UPN "Veteran" Yogyakarta
Jl. Padjajaran Jl. Ring Road Utara No. 104, Sleman, Yogyakarta

Korespondensi e-mail: olaamarkus@gmail.com

*Kontributor utama **Kontributor Anggota

ABSTRAK

Kegiatan tambang terbuka sangat dipengaruhi oleh kondisi kestabilan lereng selama proses penambangan berlangsung. Faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng antara lain sebaran litologi, geometri lereng, kondisi permukaan, serta struktur geologi baik lokal maupun regional. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi longsoran yang disebabkan oleh keberadaan bidang diskontinuitas melalui pendekatan analisis kinematika. Data struktur geologi dikumpulkan melalui metode *scanline sampling* pada tiga lokasi pengamatan dengan total 115 set data kekar dan pengujian laboratorium untuk memperoleh nilai sudut gesek dalam batuan. Analisis kinematika dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak *Rocscience Dips* untuk mengevaluasi hubungan geometris antara orientasi bidang diskontinuitas, orientasi lereng, dan sudut gesek dalam. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada *scanline 1* dan *scanline 2* terdapat potensi longsoran baji dalam kondisi stabil karena belum memenuhi kriteria *daylighting*, sedangkan pada *scanline 3* teridentifikasi potensi longsoran bidang yang secara kinematik memenuhi seluruh persyaratan ketidakstabilan. Keberadaan air dan getaran akibat aktivitas penggalian berpotensi bertindak sebagai faktor pemicu yang dapat menurunkan kestabilan lereng.

Kata kunci: longsoran, *scanline*, stereografi, analisis kinematika.

ABSTRACT

Open-pit mining operations are strongly influenced by slope stability conditions throughout the mining process. Factors that influence slope stability including lithological distribution, slope geometry, surface conditions, and geological structures at both local and regional scales. This study aims to identify potential slope failures associated with the presence of discontinuity planes using a kinematic analysis approach. Geological structural data were collected using the *scanline sampling* method at three observation locations, yielding a total of 115 joint sets, and laboratory testing was conducted to determine the internal friction angle of the rock mass. Kinematic analysis was performed using *Rocscience Dips* software to evaluate the geometric relationships among discontinuity orientations, slope orientation, and the internal friction angle. The results indicate that at *scanline 1* and *scanline 2*, potential wedge failures are classified as stable due to the absence of *daylighting* conditions, whereas at *scanline 3*, a potential planar failure was identified that kinematically satisfies all instability criteria. The presence of water and vibrations induced by excavation activities may act as triggering factors that reduce slope stability.

Keywords: failure, *scanline*, stereography, kinematic analysis.

PENDAHULUAN

PT Harmak Indonesia merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan batuan dengan komoditas utama berupa batu andesit, berlokasi di Dusun Clapar 3, Desa Hargowilis, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. Kegiatan penambangan dilaksanakan berdasarkan Izin Usaha Pertambangan Operasi Produksi (Perpanjangan II) sesuai Surat Keputusan Kepala Dinas Perizinan dan Penanaman Modal Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 545/05852/P-2/2020 tanggal 25 Agustus 2020, dengan total luas wilayah izin pertambangan sebesar 21,5 ha dan luas area penambangan aktif sekitar 2,03 ha. Metode penambangan yang diterapkan adalah tambang terbuka tipe *quarry site hill type*.

Kestabilan lereng pada kegiatan tambang terbuka merupakan aspek fundamental yang menentukan tingkat keselamatan kerja, keberlangsungan operasi penambangan, serta efisiensi kegiatan produksi. Stabilitas lereng dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain kondisi litologi, geometri lereng, kondisi permukaan lereng, serta keberadaan struktur geologi baik pada skala lokal maupun regional. Keberadaan struktur geologi dapat berfungsi sebagai jalur aliran air yang berpotensi menurunkan kualitas serta kekuatan massa batuan secara keseluruhan, sehingga meningkatkan potensi terjadinya kelongsoran lereng (Hasibuan dan Heriyadi, 2020).

Longsoran lereng merupakan respons dari massa batuan terhadap tegangan yang terjadi untuk mencari kondisi keseimbangan yang baru (Arif, 2016). Mekanisme dan tipe longsoran pada lereng batuan sangat dipengaruhi oleh karakteristik serta orientasi bidang-bidang diskontinuitas yang berkembang. Hubungan geometris antara orientasi bidang diskontinuitas dan arah kemiringan lereng menjadi faktor pengontrol utama dalam terjadinya kelongsoran, sehingga analisis terhadap kondisi struktur geologi menjadi penting dalam evaluasi kestabilan lereng (Rusydy dkk., 2017).

Pendekatan awal untuk mengidentifikasi jenis dan potensi longsoran pada lereng batuan adalah analisis kinematika melalui evaluasi hubungan geometris antara orientasi bidang

diskontinuitas, orientasi lereng, serta nilai sudut gesek dalam batuan. Analisis kinematika mampu mengidentifikasi potensi kegagalan seperti longsoran planar, longsoran baji (*wedge failure*), dan runtuh guling (*toppling failure*), namun tidak digunakan untuk menilai kestabilan lereng secara kuantitatif (Rusydy dkk., 2017).

Analisis kinematika dilakukan dengan memanfaatkan proyeksi stereograf untuk memvisualisasikan hubungan antara orientasi lereng dan bidang-bidang diskontinuitas pada massa batuan. Hasil analisis ini memberikan informasi mengenai tipe dan arah potensi keruntuhan lereng, yang selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan geometri lereng yang lebih aman dalam evaluasi kestabilan lereng pada kegiatan penambangan (Idris dkk., 2019).

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penggabungan antara studi literatur dengan pengolahan hasil pengumpulan data yang ada di lapangan dan laboratorium.

Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh dasar teoritis yang berkaitan dengan analisis kinematika dalam evaluasi potensi longsoran lereng batuan berdasarkan pada teori massa batuan dan diskontinuitas, mekanisme kelongsoran lereng, serta prinsip proyeksi stereografis. Orientasi dan karakteristik kekar, perlapisan, serta bidang sesar merupakan faktor dominan yang mengontrol perilaku kestabilan lereng. Mekanisme kelongsoran seperti bidang, planar, baji, dan guling terjadi ketika hubungan orientasi antara bidang diskontinuitas dan lereng memenuhi syarat kinematik tertentu.

Analisis kinematika memanfaatkan proyeksi stereografis pada *Schmidt net* untuk menggambarkan jurus dan kemiringan lereng serta bidang diskontinuitas sehingga memungkinkan identifikasi terjadinya kelongsoran berdasarkan posisi kutub atau garis perpotongan terhadap zona *daylight envelope* dan *friction cone*. Pendekatan ini bersifat geometris sehingga mampu

menentukan jenis kelongsoran yang mungkin terjadi.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui inventarisasi struktur geologi dan geometri lereng menggunakan metode scanline sampling. Pengambilan data struktur geologi dan lereng menggunakan metode scanline dilakukan dengan membentangkan tali (pita ukur) sepanjang 10 kali rata-rata spasi kekar atau sesuai kebutuhan di lapangan (Gambar 1), kemudian setiap diskontinuitas yang memotong garis bentangan dicatat dengan mengukur orientasi (jurus dan kemiringan) bidang diskontinuitas serta orientasi lereng menggunakan kompas geologi.

Pengukuran dilakukan pada 3 (tiga) lokasi di area penambangan dengan panjang masing-masing *scanline* sebesar 5 meter, sehingga diperoleh sebanyak 115 set data kekar. Selanjutnya, pengujian laboratorium dilakukan terhadap sampel batuan yang diambil dari masing-masing lokasi *scanline* untuk memperoleh parameter sudut gesek dalam batuan (ϕ). Pengujian laboratorium dilakukan terhadap tiga sampel batuan sebagai parameter masukan dalam analisis kinematika (Muralha dkk., 2014).



Gambar 1. Pengukuran struktur geologi

Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data dilakukan menggunakan metode proyeksi stereografis terhadap data orientasi struktur geologi, orientasi lereng dan

pengujian laboratorium yang diperoleh dari pengukuran lapangan. Seluruh data diproyeksikan ke dalam *Schmidt net* menggunakan perangkat lunak *Rocscience Dips versi 8.0* untuk menentukan orientasi umum (arah dan kemiringan) bidang-bidang diskontinuitas yang berkembang pada massa batuan. Melalui proyeksi stereografis tersebut, dilakukan analisis hubungan geometris antara orientasi bidang diskontinuitas, orientasi lereng, dan nilai sudut gesek dalam (ϕ) guna mengidentifikasi jenis dan potensi mekanisme longsoran lereng batuan.

Analisis kinematika dilakukan dengan mengevaluasi posisi kutub bidang diskontinuitas dan garis perpotongan bidang terhadap zona *daylight envelope* dan *friction cone*, sehingga potensi terjadinya longsoran planar, longsoran baji (*wedge failure*), maupun runtuh guling (*toppling failure*) dapat diidentifikasi secara sistematis (Sirait, Pulungan dan Pujiyanto, 2021).

Geologi

Stratigrafi daerah Kabupaten Kulon Progo (Gambar 2) merupakan daerah yang termasuk dalam kubah Kulon Progo dengan Formasi Batu Andesit. Pusat erupsi Gunung Gajah, Ijo dan Menoreh menghasilkan batuan berkomposisi basaltik Batu Andesit. Secara garis besar stratigrafi regional daerah Kulon Progo dari tua ke muda adalah sebagai berikut:

1. Formasi Nanggulan

Formasi Nanggulan merupakan unit stratigrafi tertua yang tersingkap di daerah Kulon Progo dengan lokasi tipe terletak di sebelah Barat Laut Dusun Nanggulan. Formasi Nanggulan tersusun atas batupasir, batulempung, napal, sisipan lignit, dan tuff yang menunjukkan lingkungan pengendapan laut dangkal hingga neritik, serta mengandung foraminifera dan moluska yang kaya sebagai penunjang penanggalan biostratigrafi.

2. Formasi Andesit Tua

Formasi Andesit Tua tersusun dari breksi andesit, tufa, lapilli, aglomerat, dan sisipan lava andesit serta terobosan dasit, andesit profir dan diorite profir. Formasi Andesit Tua tersusun oleh terobosan andesit profir dan breksi gunung api yang menumpang secara tidak selaras di atas Formasi Nanggulan. Batuan beku terobosan yang

berupa dasit, andesit profir dan *diorite* profir ini menerobos hingga Formasi Nanggulan. Terobosan ini berbentuk kubah segiempat (*Elongated Dome*) (Rahardjo dkk., 1995 dalam Abdillah, 2020).

3. Formasi Jonggrangan

Formasi ini mempunyai batuan penyusun yang berupa tufa, napal, breksi, batulempung, dengan sisipan lignit, sedangkan pada bagian atas terdiri dari batugamping bioherm diselingi napal dan batugamping berlapis. Ketebalan formasi ini sekitar 2540 m.

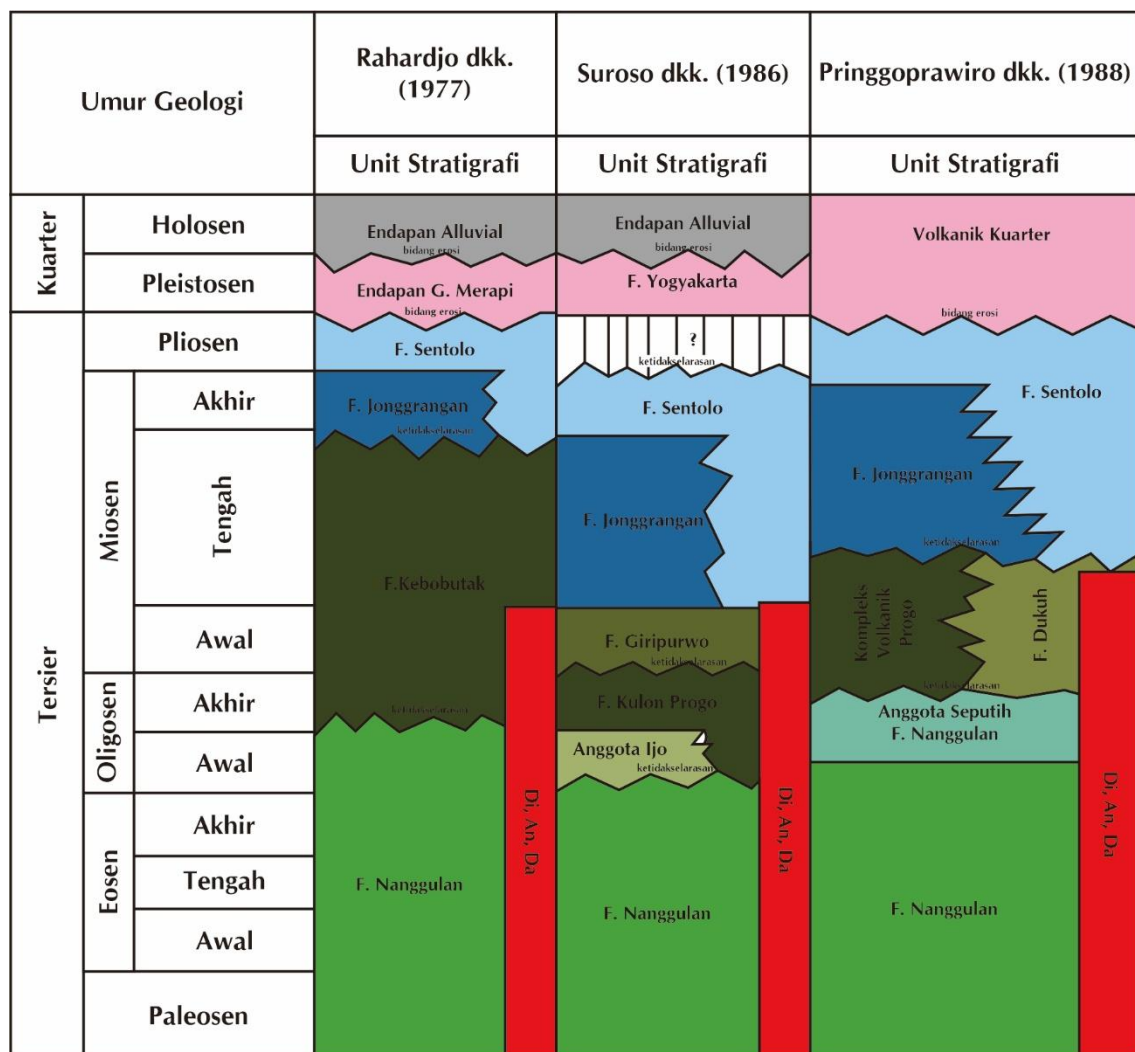
4. Formasi Sentolo

Formasi Sentolo ini mempunyai batuan penyusun berupa batupasir, napalan dan batugamping, dan bagian bawahnya terdiri dari napal tuffan. Ketebalan formasi ini sekitar 950 m.

HASIL PENELITIAN

Kondisi Lokasi Penelitian

Daerah penelitian dikelompokkan menjadi 1 (satu) formasi batuan yaitu Formasi Andesit Tua (Ansyarullah dkk., 2021). Formasi Andesit Tua tersusun oleh terobosan andesit profir dan breksi gunung api. Pengukuran struktur geologi dilakukan pada 3 (tiga) lokasi dalam area kuari batu andesit dengan panjang 5 m. Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa jarak antara kekar berkisar kurang dari 0,09 m hingga mencapai 2,98 m. Kondisi air di setiap lintasan pengukuran bervariasi kering hingga basah. Tingkat kekuatan batuan tergolong *weak rock* hingga *hard rock*. Singkapan andesit di lereng setinggi 5-10 m.



Gambar 2. Stratigrafi daerah Kulon Progo (Abdillah, 2020)

Inventarisasi Data Kekar

Salah satu data penting yang sangat diperlukan untuk mengetahui potensi longsor yang terjadi adalah data struktur geologi pada lokasi penelitian. Struktur geologi yang tampak dan banyak dijumpai berupa kekar-kekar. Pengambilan data dilakukan menggunakan metode *scanline* dengan membentangkan tali (pita ukur) sepanjang 10 kali rata-rata spasi kekar atau sesuai kebutuhan di lapangan, kemudian setiap diskontinuitas yang memotong garis bentangan dicatat dengan mengukur orientasi (jurus dan kemiringan) bidang diskontinuitas serta orientasi lereng menggunakan kompas geologi (Gambar 3).



Gambar 3. Peralatan dan perlengkapan

Pengukuran dilakukan pada 3 (tiga) titik pengamatan di area penambangan dengan kode SC1, SC2, dan SC3. Panjang masing-masing *scanline* sebesar 5 m, sehingga diperoleh sebanyak 115 set data kekar. Hasil dari pengukuran kekar ini berupa data - data arah dan kemiringan dari bidang kekar tersebut. Rata-rata orientasi arah dan kemiringan kekar dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Arah umur (mean) data kekar

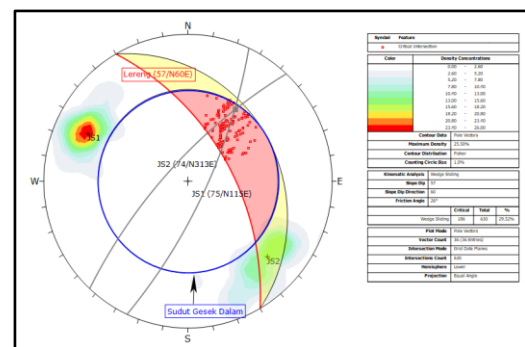
Scanline	Mean Strike (°)	Mean Dip (°)	Jumlah Data
SC1	214	61	36
SC2	150	80	45
SC3	343	72	34

Proyeksi Stereografi

Seluruh data diproyeksikan ke dalam *Schmidt net* menggunakan perangkat lunak *Rocscience Dips* versi 8.0. Melalui proyeksi stereografis tersebut, dilakukan analisis hubungan geometris

antara orientasi bidang diskontinuitas, orientasi lereng, dan nilai sudut gesek dalam (ϕ) guna mengidentifikasi jenis dan potensi mekanisme longsor lereng batuan.

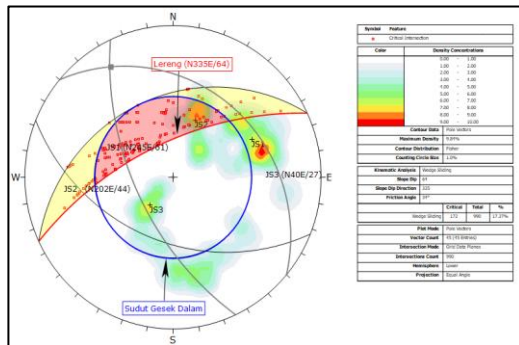
Arah dan kemiringan umum kekar (Tabel 1) selanjutnya dihubungkan dengan arah dan kemiringan lereng serta sudut gesek dalam batuan untuk memperkirakan potensi longsor yang bisa terjadi. Berdasarkan hasil proyeksi stereografi pada *scanline* 1 (Gambar 4) dengan arah lereng N60°E/57°, terdapat perpotongan dua struktur di muka lereng dengan arah dan kemiringan perpotongan N214°E/61°. Syarat terbentuknya longsor baji, selain keterdapatan perpotongan dua struktur dimuka lereng, yaitu sudut lereng (ψ_f) lebih besar dari sudut perpotongan kedua bidang lemah (ψ_i) tersebut, dan sudut lereng lebih besar dari sudut gesek dalam ($\psi_f > \phi$) (Arif, 2016). Pada *scanline* 1 sudut lereng sebesar 57°, sudut perpotongan dua bidang lemah adalah 61° ($\psi_f < \psi_i$), sudut gesek dalam dari hasil pengujian sampel batuan di lokasi *scanline* 1 adalah 26°. Berdasarkan persyaratan terjadinya longsor baji maka pada *scanline* 1 potensi longsor yang bisa terjadi adalah potensi longsor baji stabil dan memiliki probabilitas sebesar 29,52%.



Gambar 4. Proyeksi stereografi untuk *scanline* 1

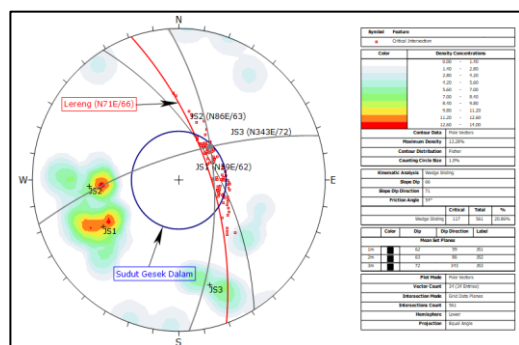
Berdasarkan hasil proyeksi stereografi pada *scanline* 2 (Gambar 5) dengan arah lereng N335°E/64° terdapat perpotongan dua struktur di muka lereng dengan arah dan kemiringan perpotongan N150°E/80°. Syarat terbentuknya longsor baji, selain keterdapatan perpotongan dua struktur dimuka lereng, yaitu sudut lereng (ψ_f) lebih besar dari sudut perpotongan kedua bidang lemah (ψ_i) tersebut, dan sudut lereng lebih besar dari sudut gesek dalam ($\psi_f > \phi$) (Arif, 2016). Pada

scanline 2 sudut lereng sebesar 64° , sudut perpotongan dua bidang lemah adalah 80° ($\psi_f < \psi_i$), sudut gesek dalam dari hasil pengujian sampel batuan di lokasi *scanline* 2 adalah 34° . Berdasarkan persyaratan terjadinya longsoran baji maka pada *scanline* 2 potensi longsoran yang bisa terjadi adalah potensi longsoran baji tidak dapat runtuh dan memiliki probabilitas sebesar 17,37%.



Gambar 5. Proyeksi stereografi untuk *scanline* 2

Hasil proyeksi stereografi pada *scanline* 3 (Gambar 6) dengan arah lereng $N71^\circ E/66^\circ$ menunjukkan orientasi salah satu kekar dengan arah lereng $N59^\circ E/65^\circ$ yang mempunyai arah relatif searah dengan arah lereng dengan perbedaan arah sebesar 12° . Sudut gesek dalam dari hasil pengujian sampel batuan di lokasi *scanline* 3 adalah 54° . Syarat terbentuknya longsoran bidang, selain terdapat bidang gelincir yang searah dengan arah lereng dengan toleransi $\pm 20^\circ$, yaitu sudut kemiringan bidang gelincir harus lebih kecil dari sudut kemiringan lereng, dan kemiringan bidang gelincir harus lebih besar dari sudut gesek dalam. Pada *scanline* 3, sudut kemiringan bidang gelincir



Gambar 6. Proyeksi stereografi untuk *scanline* 3

sebesar oleh karena itu pada *scanline* 3 berpotensi longsoran bidang dengan persentase longsoran bidang sebesar 20,86%.

PEMBAHASAN

Hasil analisis kinematika berdasarkan proyeksi stereografis menunjukkan bahwa potensi ketidakstabilan lereng di lokasi penelitian sangat dikontrol oleh hubungan geometris antara orientasi bidang diskontinuitas dan geometri lereng. Pada *scanline* 1 dan *scanline* 2 terbentuk blok baji yang secara geometris memenuhi syarat kemiringan lebih besar dari sudut gesek dalam (ϕ), sedangkan kemiringan garis perpotongan bidang diskontinuitas lebih landai dibandingkan kemiringan lereng, sehingga kondisi *daylighting* belum tercapai dan dikategorikan sebagai potensi longsoran baji stabil. Kondisi ini menunjukkan ambang kestabilan yang sensitif terhadap perubahan kondisi lapangan akibat meningkatnya tekanan air pori dan gangguan dinamis dari aktivitas peledakan.

Keberadaan air yang masuk melalui sistem kekar dapat mengurangi sudut gesek dalam batuan akibat peningkatan tekanan air pori dan mengubah kondisi kinematik dari longsor baji stabil menjadi longsor baji runtuh. Infiltrasi air pada massa batuan terkekarkan dapat secara signifikan menurunkan kestabilan lereng dengan memperbesar gaya penggerak dan mengurangi kekuatan geser pada bidang diskontinuitas. Hal ini terjadi karena kenaikan tekanan air pori (*pore water pressure*) akibat pengisian air pada rekahan dan pori bidang diskontinuitas akan mengurangi tegangan efektif, sehingga parameter kekuatan geser menurun dan potensi keruntuhan lereng meningkat (Cheng dkk., 2024). Getaran akibat aktivitas penggalian dan peledakan berpotensi memperlebar bukaan kekar, meningkatkan intensitas rekahan sekunder, dan mempercepat terjadinya keruntuhan lereng, karena energi frekuensi getaran dan percepatan partikel yang dihasilkan dapat menyebabkan kerusakan pada massa batuan (Ullah dkk., 2025).

Berdasarkan hasil proyeksi stereografis pada *scanline* 3 menunjukkan bahwa orientasi kekar relatif searah dengan arah lereng dengan selisih arah kemiringan sebesar 12° , serta kemiringan bidang kekar yang lebih besar dari sudut gesek

dalam (ϕ) dan lebih kecil daripada kemiringan lereng. Kondisi ini memenuhi seluruh kriteria kinematik longsoran bidang, sehingga lereng pada *scanline* 3 berada dalam kondisi tidak stabil. Pada kondisi tersebut, keberadaan air hujan maupun getaran akibat aktivitas penggalian berperan sebagai faktor pemicu utama yang dapat mempercepat terjadinya pergerakan massa batuan, karena mekanisme longsoran bidang sangat sensitif terhadap penurunan kekuatan geser dan peningkatan gaya penggerak sepanjang bidang gelincir.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Potensi ketidakstabilan lereng di lokasi penelitian dikontrol oleh hubungan geometris antara orientasi bidang diskontinuitas. Berdasarkan analisis kinematika pada *scanline* 1 dan *scanline* 2, kemiringan garis perpotongan bidang diskontinuitas lebih besar dibandingkan kemiringan lereng, sehingga kondisi *daylighting* belum tercapai dan teridentifikasi potensi longsoran baji dalam kondisi stabil. Sedangkan pada *scanline* 3 teridentifikasi potensi longsoran bidang yang secara kinematik memenuhi seluruh persyaratan ketidakstabilan, sehingga lereng berada dalam kondisi tidak stabil. Keberadaan air yang mengisi sistem kekar serta getaran akibat aktivitas penggalian berpotensi menurunkan kekuatan geser pada bidang diskontinuitas dan bertindak sebagai faktor pemicu yang dapat mempercepat terjadinya keruntuhan lereng.

Saran

Pemantauan lereng secara berkala pada daerah-daerah yang berpotensi mengalami longsoran guna mengidentifikasi gerakan tanah yang terjadi sehingga upaya pencegahan pada gejala pergerakan bisa segera ditanggulangi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Program Studi Magister Teknik Pertambangan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"

Yogyakarta atas dukungannya terhadap penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, F. (2020) *Rancangan geometri lereng penambangan andesit PT Hargowilis Indonesia Kokap Kulon Progo*. Universitas Pembangunan 'Veteran' Yogyakarta.
- Ansjarullah, S., Koesnaryo, Tumalang, I. S. dan Tama, A. S. (2021) 'Kajian klasifikasi massa batuan andsit dan potensi jenis longsoran pada lereng penambangan PT. Harmak Indonesia di Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta', in *Prosiding Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan (SEMITAN)*. Surabaya: LPPM - Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS), pp. 121–128.
- Arif, I. (2016) *Geoteknik Tambang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Cheng, J., Liu, Y., Xu, C., Xu, J. dan Sun, M. (2024) 'Study on the influence of pore water pressure on shear mechanical properties and fracture surface morphology of sandstone', *Scientific Reports*, 14(1), p. 5761. doi: 10.1038/s41598-024-55834-8.
- Hasibuan, S. dan Heriyadi, B. (2020) 'Analisis balik kestabilan lereng bekas disposal area dengan menggunakan metode Bishop di tambang PT. Nusa Alam Lestari di Desa Salak, Kecamatan Talawi, Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat', *Journals Mining Engineering: Bina Tambang*, 5(4), pp. 46–56.
- Idris, S. R., Muslim, D., Sulaksana, N. dan Burhannudinnur, M. (2019) 'Karakteristik kestabilan lereng daerah Jatigede Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat berdasarkan analisis kinematik', *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 15(2), pp. 89–96. doi: 10.30556/jtmb.Vol15.No2.2019.1009.
- Muralha, J., Grasselli, G., Tatone, B., Blümel, M., Chrysanthakis, P. dan Yujing, J. (2014) 'ISRM suggested method for laboratory determination of the shear strength of rock joints: revised version', *Rock Mechanics and Rock Engineering*. Springer, 47(1), pp. 291–302. doi: 10.1007/s00603-013-0519-z.
- Rusdy, I., Al-Huda, N., Jamaluddin, K., Sundary, D. dan Nugraha, G. S. (2017) 'Analisis kestabilan lereng batu di jalan raya Lhoknga Km 17,8 Kabupaten Aceh Besar', *Riset Geologi dan Pertambangan*, 27(2), pp. 145–155. doi: 10.14203/risetgeotam2017.v27.452.

- Sirait, B., Pulungan, Z. dan Pujiyanto, E. (2021) 'Identifikasi potensi longsoran lereng pada kuari batugamping menggunakan analisis kinematika', *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 17(2), pp. 61–75. doi: 10.30556/jtmb.Vol17.No2.2021.1113.
- Ullah, S., Ren, G., Ge, Y., Burhan Memon, M., Kinyua, E. M. dan Ndayiragije, T. (2025) 'Dynamic slope stability assessment under blast-induced ground vibrations in open-pit mines: a pseudo-static limit equilibrium approach', *Sustainability*, 17(14), p. 6642. doi: 10.3390/su17146642.

LAMPIRAN
DATA PENGUKURAN KEKAR

Data kekar pada *scanline* 1

No	Orientasi kekar		
	Strike (°)	Dip (°)	Dip direction (°)
1.	233	76	318
2.	255	69	355
3.	15	71	123
4.	219	78	296
5.	28	80	113
6.	226	74	321
7.	27	73	121
8.	240	66	327
9.	20	74	116
10.	24	65	95
11.	28	84	110
12.	231	85	320
13.	225	75	306
14.	241	84	340
15.	25	79	131
16.	36	77	116
17.	212	74	306
18.	240	80	324
19.	20	73	115
20.	40	74	110
21.	20	81	98
22.	210	75	305
23.	33	80	116
24.	217	82	303
25.	235	66	297
26.	245	76	330
27.	25	72	105
28.	27	76	110
29.	216	69	321
30.	254	80	336
31.	207	72	307
32.	230	69	312
33.	30	80	115
34.	41	73	123
35.	40	76	140
36.	35	61	125

Data kekar pada *scanline* 2

No	Orientasi kekar		
	Strike (°)	Dip (°)	Dip direction (°)
1.	130	25	236
2.	136	24	230
3.	278	75	278
4.	305	27	44
5.	159	74	245
6.	316	16	57
7.	187	42	260
8.	110	47	202
9.	220	65	308
10.	165	53	260
11.	310	34	42
12.	159	38	240
13.	145	59	251
14.	131	49	230
15.	145	55	303
16.	250	68	342
17.	155	66	250
18.	153	61	252
19.	280	45	10
20.	297	51	30
21.	150	57	232
22.	265	58	353
23.	250	59	335
24.	150	34	215
25.	120	60	200
26.	258	70	344
27.	254	68	258
28.	144	61	237
29.	158	67	235
30.	260	65	2
31.	270	67	355
32.	138	60	226
33.	157	67	260
34.	280	53	12
35.	98	41	183
36.	232	63	325
37.	300	10	40
38.	125	50	202
39.	116	42	200
40.	115	51	204
41.	292	42	31
42.	295	30	27
43.	313	22	39
44.	323	36	50
45.	115	31	217

Data kekar pada *scanline* 3

No	Orientasi kekar		
	Strike (°)	Dip (°)	Dip direction (°)
1.	320	67	60
2.	350	52	85
3.	241	72	61
4.	315	77	94
5.	350	67	89
6.	244	66	349
7.	350	73	76
8.	328	86	144
9.	327	70	340
10.	315	70	48
11.	194	61	288
12.	353	51	63
13.	221	80	215
14.	201	63	305
15.	242	69	69
16.	255	88	3
17.	352	54	82
18.	219	79	338
19.	212	61	314
20.	345	52	92
21.	349	56	88
22.	245	78	90
23.	4	59	46
24.	24	58	100
25.	330	75	66
26.	342	61	82
27.	345	52	60
28.	353	56	63
29.	317	89	20
30.	334	63	63
31.	312	74	43
32.	339	60	56
33.	221	80	334
34.	333	66	354

