

POTENSI LONGSOR BERDASARKAN ANALISIS KINEMATIK PADA AREA *LOW WALL* PT. BUKIT ASAM TBK, *SITE TANJUNG ENIM*, SUMATERA SELATAN

Failure Potential Based on Kinematic Analysis in the Low Wall Area of PT. Bukit Asam Tbk, Site Tanjung Enim, South Sumatra

SITI KHODIJAH^{1*}, UTARI S. MONICA^{2**}, JODISTRIAWAN ERSYARI^{2**}, NUR KHOIRULLAH^{1**} dan RADEN I. SOPHIAN^{1**}

¹ Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran
Jalan raya Bandung-Sumedang Km 21, Sumedang 45363

² Satuan Kerja Eksplorasi, PT. Bukit Asam Tbk
Jl. Parigi No. 1 Tanjung Enim, Muara Enim, Sumatera Selatan, 31716

Korespondensi e-mail: skhodijah9@gmail.com

* Kontributor utama, ** Kontributor Anggota

ABSTRAK

PT. Bukit Asam Tbk merupakan perusahaan tambang batubara terbuka yang berada di Muara Enim Sumatera Selatan. Dalam kegiatan penambangan terbuka, analisis kestabilan lereng dilakukan untuk mengevaluasi tambang agar tercipta proses penambangan yang aman. Beberapa jenis keruntuhan lereng berkaitan dengan struktur geologi tertentu. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi tipe longsor pada area *low wall* Pit X PT. Bukit Asam Tbk dan menentukan kestabilan lereng berdasarkan data diskontinuitas menggunakan metode scanline pada 8 titik pengamatan yang mewakili seluruh litologi area *low wall*. Metode penelitian yang digunakan yaitu analisis kinematik dan analisis kestabilan lereng pada tipe longsor bidang dan baji. Berdasarkan analisis kinematik, teridentifikasi bahwa area *low wall* Pit X berpotensi terjadinya tipe longsor bidang dan baji dengan faktor keamanan tergolong stabil.

Kata kunci: diskontinuitas, area *low wall*, tipe longsor, faktor keamanan.

ABSTRACT

PT. Bukit Asam Tbk is an open-pit coal mining company in Muara Enim, South Sumatra. In open-pit mining activities, slope stability analysis is carried out to evaluate the mine in order to create a safe mining process. Several types of slope failure are associated with geological structures. This research was conducted to identify the type of landslides in the low wall area of Pit X PT. Bukit Asam Tbk and determine the slope stability factor based on discontinuity data using the scanline method at 8 observation points that represent the lithology of the low wall area. Methods used in this research is kinematic analysis, slope stability analysis on plane slide types and wedge. Based on the kinematic analysis, it was identified that the Pit X low wall area has the potential for plane and wedge type landslides with a relatively stable slopes.

Keywords: discontinuity, low wall area, types of slope failure, factor of safety.

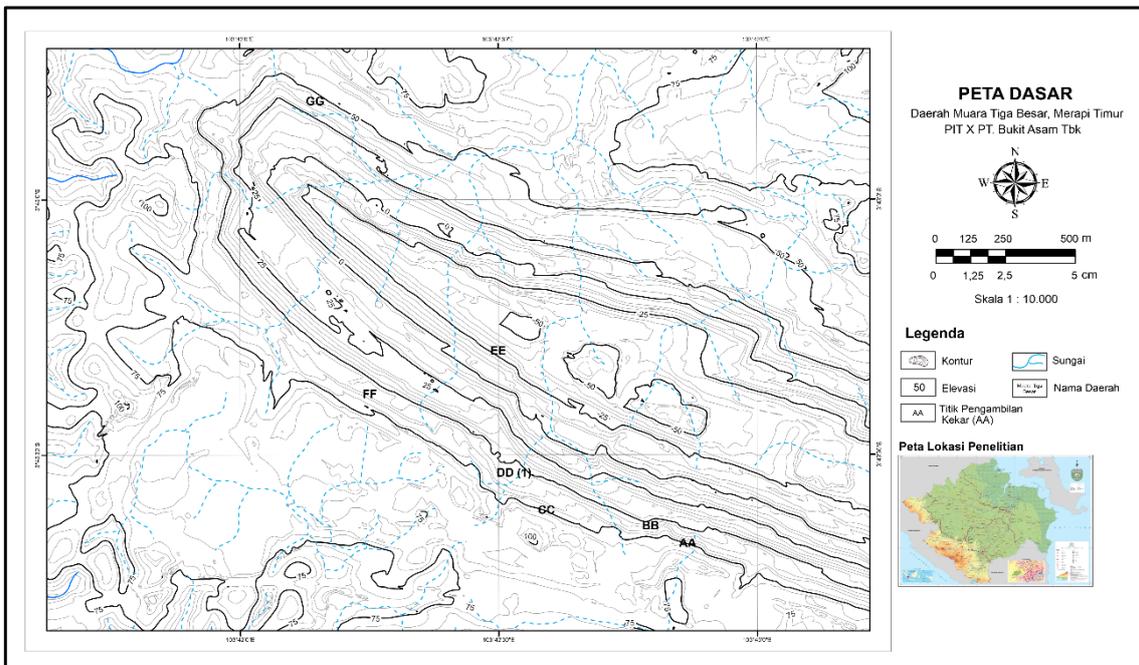
PENDAHULUAN

PT. Bukit Asam Tbk yang berlokasi di Tanjung Enim merupakan perusahaan tambang batubara yang menggunakan penambangan terbuka sebagai metode penambangannya. Tambang terbuka erat kaitannya dengan stabilitas lereng tambang dalam proses penambangan. Beberapa faktor yang secara langsung mempengaruhi kestabilan suatu lereng yaitu penyebaran batuan, geometri lereng, kondisi permukaan bumi, struktur geologi lokal dan regional, iklim dan curah hujan, sifat fisik dan mekanik material penyusun lereng. Struktur geologi berperan sebagai jalur rembesan air sehingga hadirnya struktur geologi sedikitnya akan menurunkan kualitas massa batuan (Hasibuan dan Heriyadi, 2020). Area *low wall* pada PIT X merupakan sayap antiklin utara Muara Tiga Besar memungkinkan adanya struktur geologi lainnya yang berkembang seperti keterdapatan kekar.

Beberapa jenis keruntuhan lereng batuan sangat erat kaitannya dengan struktur geologi yang ditemukan di lapangan (Hoek dan Bray 1981) dalam Wyllie dan Mah (2004). Tingkat kestabilan suatu lereng sangat dipengaruhi oleh aspek struktur geologi atau bidang diskontinuitas (Rusydy dkk., 2017). Keruntuhan batuan pada lereng umumnya

disebabkan dan mengikuti orientasi bidang-bidang diskontinuitas. Oleh karena itu untuk menunjang analisis geoteknik suatu tambang, maka diperlukan analisis struktur geologi terhadap potensi kelongsoran. Salah satu metode yang digunakan yaitu analisis kinematik yang dapat memperkirakan tipe longsoran berdasarkan karakteristik struktur geologi yang berkembang (Hoek dan Bray, 1981). Analisis kinematik ini memperhitungkan potensi tipe longsoran berdasarkan diskontinuitas atau jenis pergerakan lereng tanpa memperhitungkan gaya-gaya lain yang dapat menyebabkan pergerakan lereng (Sirait, Pulungan dan Pujiyanto, 2021). Analisis kinematik dapat memprediksi jenis longsoran yang akan terjadi pada suatu lereng batuan, namun tidak dapat menganalisis tingkat kestabilan suatu lereng (Rusydy dkk., 2017). Analisis kinematik menggunakan teknik stereografis untuk memproyeksikan jurus dan kemiringan bidang diskontinuitas dan lereng sehingga mengetahui jenis dan arah runtuhnya (Idris dkk., 2019).

Lokasi penelitian berada di area pertambangan PT. Bukit Asam, Tbk Tanjung Enim, area *low wall* Pit X secara administratif termasuk ke daerah Muara Tiga Besar, Kabupaten Lahat, Sumatra Selatan (Gambar 1).



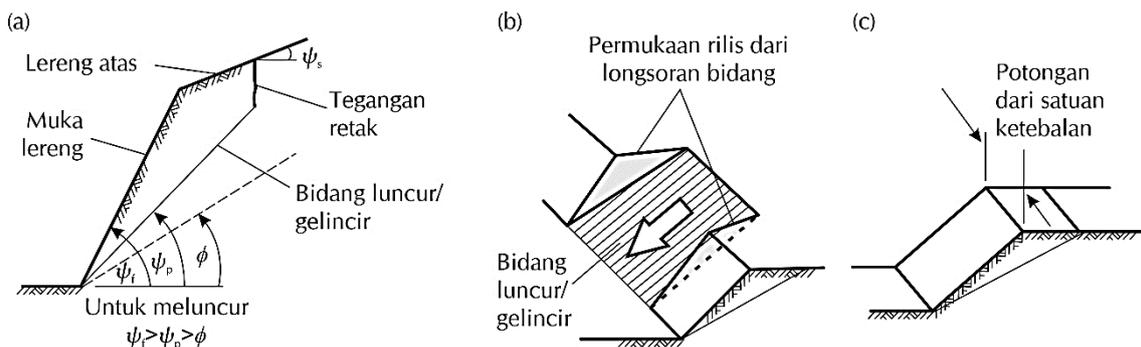
Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Tinjauan Pustaka

Analisis kinematik

Analisis kinematik dilakukan untuk mengetahui tipe longsor pada lereng batuan berdasarkan data diskontinuitas. Pada penelitian ini jenis longsor dan persyaratannya mengacu pada klasifikasi Hoek dan Bray (1981) yang terdiri dari longsor bidang (*Plannar Failure*), longsor baji (*Wedge Failure*) dan longsor jungkir (*Toppling Failure*) (Gambar 2). Adapun pada daerah penelitian hanya terdapat 2 jenis longsor yaitu longsor bidang dan longsor baji. Syarat terjadinya longsor bidang yaitu terdapat bidang luncur yang rata; jurus bidang gelincir sejajar terhadap permukaan lereng $\pm 20^\circ$; kemiringan bidang longsor lebih kecil daripada kemiringan lereng ($\psi < \psi$); dan kemiringan bidang gelincir lebih besar daripada sudut geser dalam ($\psi > \phi$).

Longsor baji (*Wedge Failure*), terjadi apabila suatu lereng memiliki diskontinuitas yang berpotongan membentuk baji terhadap lereng atau masuk ke permukaan lereng; *trend* garis perpotongan kedua bidang diskontinuitas searah muka lereng; sudut kemiringan lereng lebih besar daripada sudut *intersection* diskontinuitas; *plunge* dari *intersection* lebih besar daripada sudut geser dalamnya (Gambar 3).



Sumber: Hoek dan Bray (1981) dalam Wyllie dan Mah (2004)

Gambar 2. (a) Geometri lereng yang menunjukkan longsor bidang; (b) permukaan bidang gelincir; (c) Unit *Thickness Slide* digunakan untuk analisis kestabilan (Wyllie dan Mah, 2004)

Analisis kestabilan lereng

Analisis kestabilan lereng dilakukan untuk menentukan apakah lereng tergolong stabil atau tidak stabil berdasarkan kriteria tertentu. Pada analisis ini dilakukan dengan menggunakan asumsi bidang gelincir dari analisis kinematik. Daerah penelitian terdiri dari tipe longsor bidang dan tipe longsor baji. Berikut merupakan asumsi analisis yang dilakukan pada tipe longsor bidang.

Berdasarkan Gambar 4, maka persamaan yang digunakan dalam analisis adalah sebagai berikut.

$$FK = \frac{cA + [W(\cos\alpha - S_c \sin\alpha) - U + T\cos\theta]\tan\phi}{W(\sin\alpha + S_c \cos\alpha) - T\sin\theta} \dots\dots\dots (1)$$

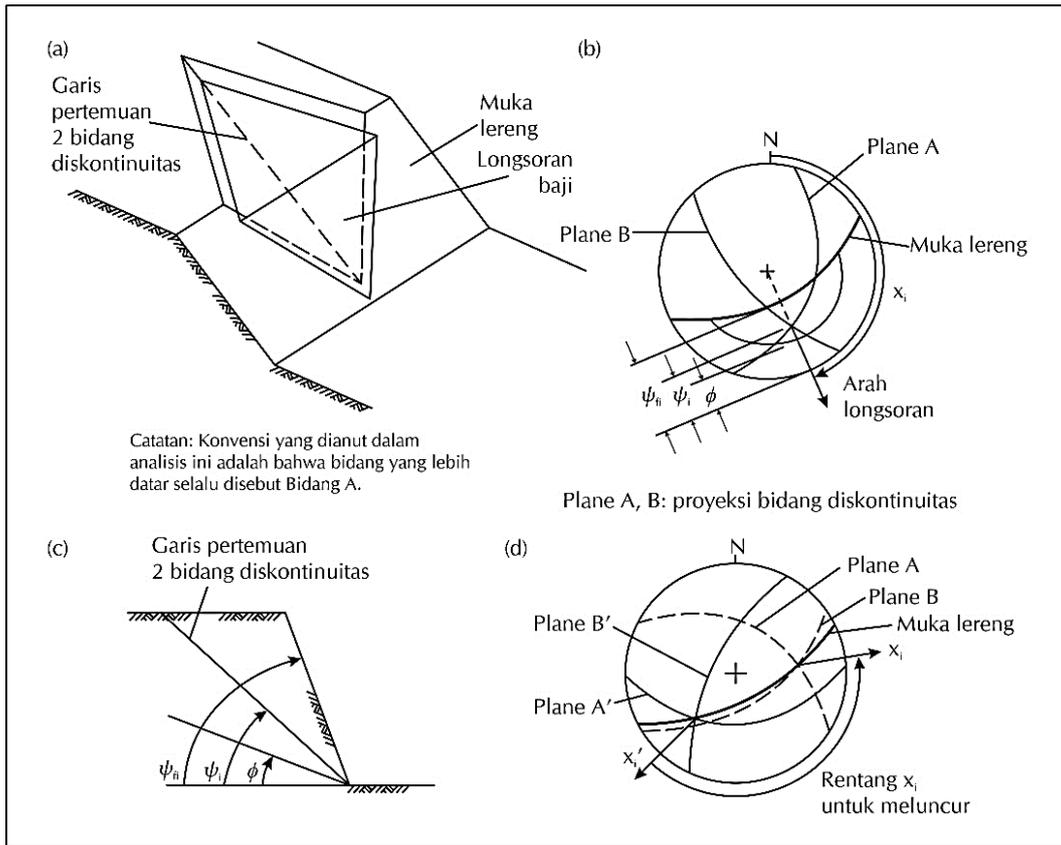
$$A = \frac{H}{\sin\alpha} \dots\dots\dots (2)$$

$$W = \frac{\gamma_r H^2}{2} (\cot\alpha - \cot\beta) \dots\dots\dots (3)$$

$$U = \frac{\gamma_w H^2}{4\sin\alpha} \dots\dots\dots (4)$$

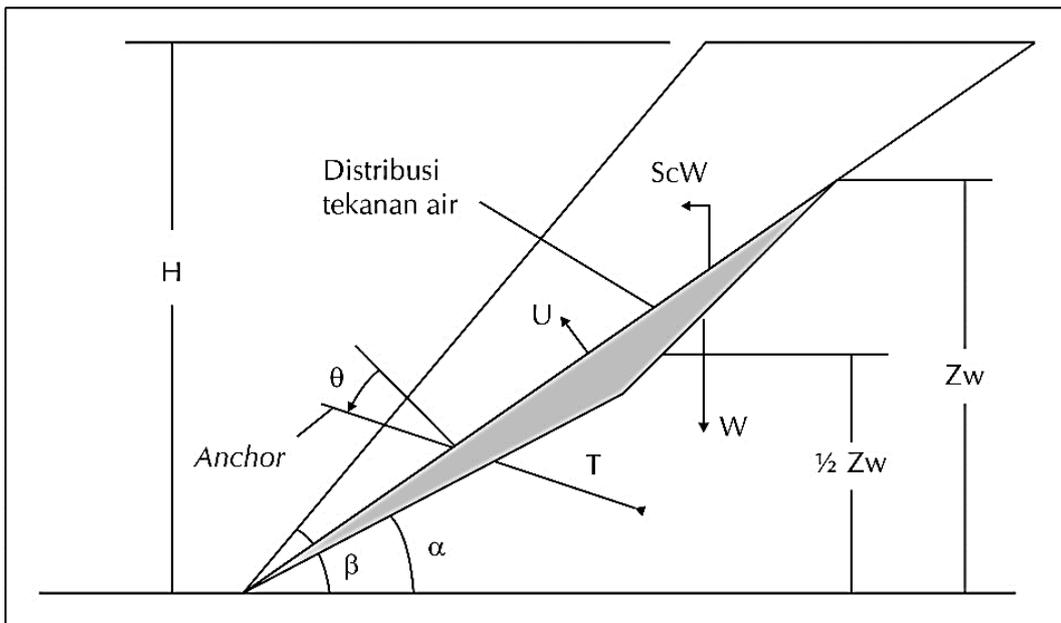
Keterangan :

FK : faktor keamanan; H : tinggi lereng; α : sudut kemiringan lereng; β : sudut kemiringan bidang gelincir (bidang diskontinuitas); γ_r : bobot isi batuan; γ_w : bobot isi air; S_c : koefisien gempa; W : bobot batuan pada bidang gelincir; A : luas bidang gelincir; U : gaya pengangkat; c : kohesi; ϕ : sudut geser dalam.



Sumber: Hoek dan Bray (1981) dalam Wyllie dan Mah (2004)

Gambar 3. Geometri longoran baji: (a) Ilustrasi, (b) *Plotting* pada stereonet, (c) Gambar secara sayatan, (d) Proyeksi diskontinuitas pada longoran baji (Hoek dan Bray (1981) dalam Wyllie dan Mah (2004))



Sumber: Hoek (2000) dalam Rocscience (2019)

Gambar 4. Analisis pada lereng longoran bidang tanpa adanya *tension crack* pada *crest* lereng (Hoek, 2000)

Perhitungan nilai faktor keamanan tipe longsoron baji menggunakan persamaan Berikut (Kovari dan Fritz, 1975) dalam Bowa dan Kasanda (2020))

$$FK = \lambda \frac{\cos i_a \tan \phi}{\sin i_a} \dots\dots\dots (5)$$

$$\lambda = \frac{\cos \omega_1 + \omega_2}{\sin(\omega_1 + \omega_2)} \dots\dots\dots (6)$$

$$\omega_1 + \omega_2 = 2\omega \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

ϕ : sudut geser dalam, λ = faktor baji (xx), ω = setengah dari sudut bidang baji, ω_1 = sudut antara permukaan kekar 1 dengan vertikal, ω_2 = sudut antara permukaan kekar 1 dengan vertikal, dan i_a = sudut plunge atau pertemuan kekar 1 dan 2.

METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu analisis kinematik (Hoek dan Bray, 1981), analisis kestabilan lereng pada longsoron bidang (Hoek, 2000) dan longsoron baji (Kovari dan Fritz, 1975). Objek penelitian berupa karakteristik diskontinuitas area *low wall* Pit X PT. Bukit Asam, Tbk. Alat yang digunakan yaitu pita ukur untuk membentangkan *scanline*; kompas geologi untuk mengukur orientasi diskontinuitas dan lereng; alat tulis; busur untuk mengukur sudut diskontinuitas terhadap *scanline* dan kamera. Data yang digunakan untuk analisis kinematik terdiri dari jurus dan kemiringan lereng; jurus dan kemiringan diskontinuitas yang didapatkan dari lapangan dengan membentangkan *scanline* sepanjang 10 kali rata-rata spasi kekar atau sesuai kebutuhan (Rai dkk., 2014); sudut geser dalam batuan yang didapatkan dari hasil uji laboratorium oleh PT. Bukit Asam, Tbk yang kemudian diproyeksikan pada stereonet (Lisle dan Leyshon, 2004) menggunakan *software Rocscience Dips v.8.0*. Kemudian dilakukan analisis kestabilan lereng menggunakan persamaan 1-7 dengan menambahkan data bidang gelincir dari analisis kinematik, geometri lereng, bobot isi jenuh batuan, kohesi, dan koefisien gempa yang didapatkan dari 50% nilai *Peak Ground Acceleration* atau PGA (Wyllie dan Mah, 2004). Dalam perhitungan kestabilan lereng ini menggunakan *software Rocscience Rocplane*

v.4.0 untuk tipe longsoron bidang dan *software Rocscience Swedge v.7.0* untuk tipe longsoron baji. Pengambilan data dilakukan pada 8 titik pengamatan dengan kode: AA, BB, CC, DD(1), DD(2), EE, FF dan GG. Pengambilan data dilakukan pada titik yang mewakili setiap lapisan litologi pada area *low wall* Pit X.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geologi Regional

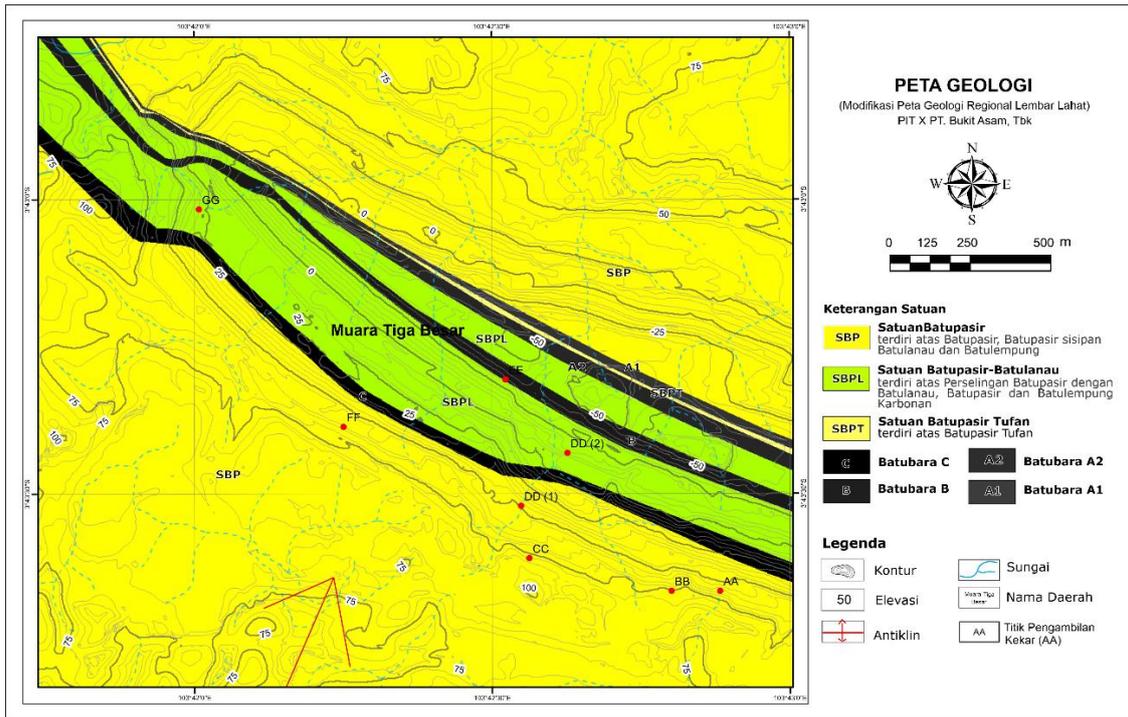
Daerah penelitian termasuk ke dalam formasi Air Benakat (Tma) dan formasi Muara Enim (Tpm) (Gafoer, Amin dan Purnomo, 2007) Adapun formasi pembawa batubara yaitu formasi Muara Enim yang memiliki umur Miosen Tengah – Pliosen Awal. Batuan yang menyusun daerah penelitian terdiri dari batupasir, batupasir sisipan batulanau, batulempung, batulanau, perselingan batupasir dengan batulanau, batulempung karbonan, batubara dan batupasir tufan (Gambar 5).

Adapun urutan stratigrafi area *low wall* Pit X dari tua ke muda adalah sebagai berikut (Khodijah dkk., 2022b).

1. Batupasir (*Under C*), lapisan ini terdiri dari batupasir dengan ketebalan >100 meter. Terdapat sisipan batulanau yang tipis dengan ketebalan 1-5 cm.
2. Lapisan Petai (*Seam C*), dicirikan dengan adanya lapisan pengotor sebanyak 1 lapis berupa batulempung atau batulanau karbonan. Lapisan batubara ini memiliki tebal berkisar 0,8 sampai 2,75 meter (C2) dan 7,2 sampai 11,4 meter (C1).
3. Lapisan *Interburden B – C*, mengandung perulangan batupasir dan batulanau dengan ketebalan berkisar 38,5 – 44 meter.
4. Lapisan Suban (*Seam B*), lapisan batubara ini memiliki tebal 15,3-20 m. dicirikan adanya 2-3 lapisan pengotor berupa batulempung lanau karbonan.

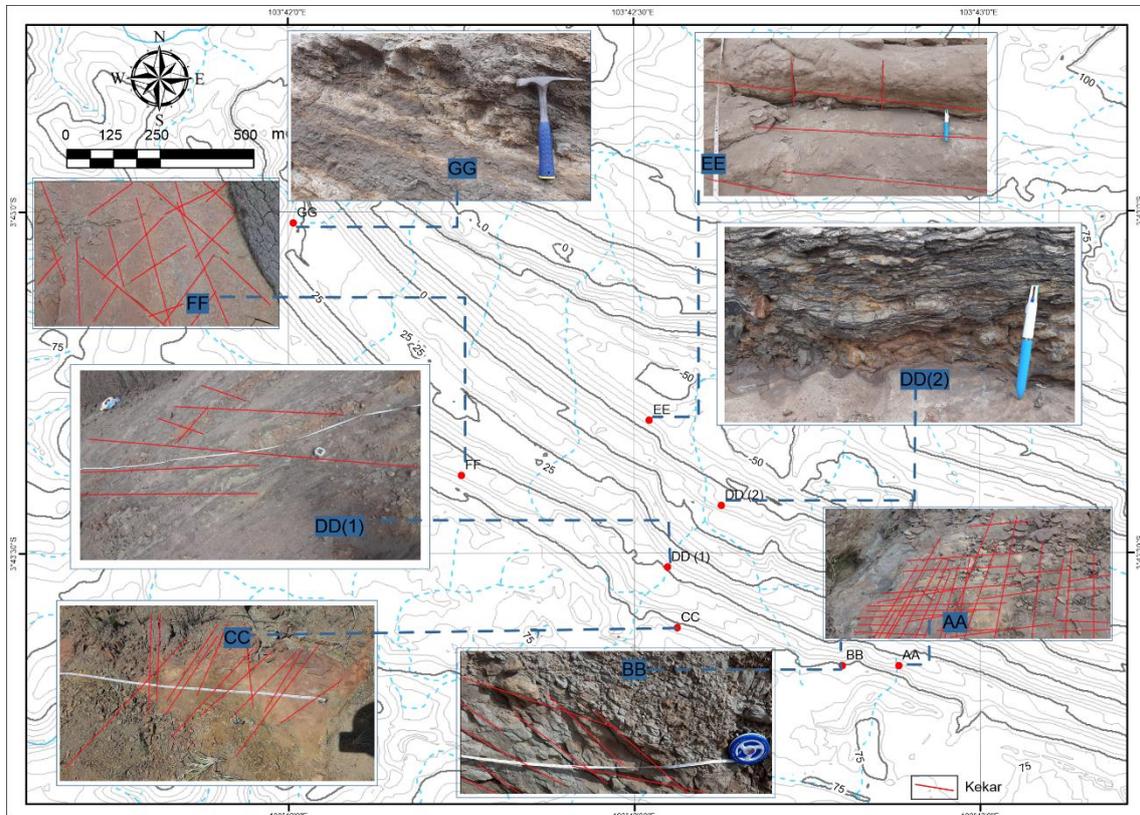
Analisis Kinematik

Analisis kinematik dilakukan pada 8 titik pengamatan yang diberi nama AA, BB, CC, DD(1), DD(2), EE, FF, dan GG (Gambar 6), diskontinuitas yang diperhitungkan berada sepanjang *scan-line*.



Sumber: Gafoer, Amin dan Purnomo (2007) dengan modifikasi dalam Khodijah dkk., (2022a)

Gambar 5. Peta geologi daerah penelitian dengan modifikasi (Gafoer, Amin dan Purnomo (2007) dalam Khodijah dkk. (2022a))



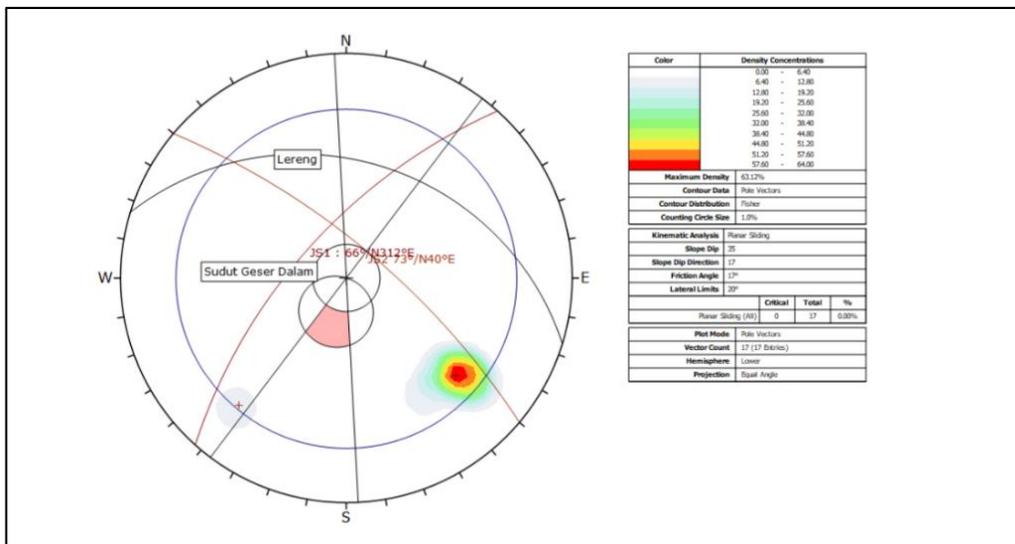
Gambar 6. Dokumentasi kekar titik pengamatan

1. Titik AA

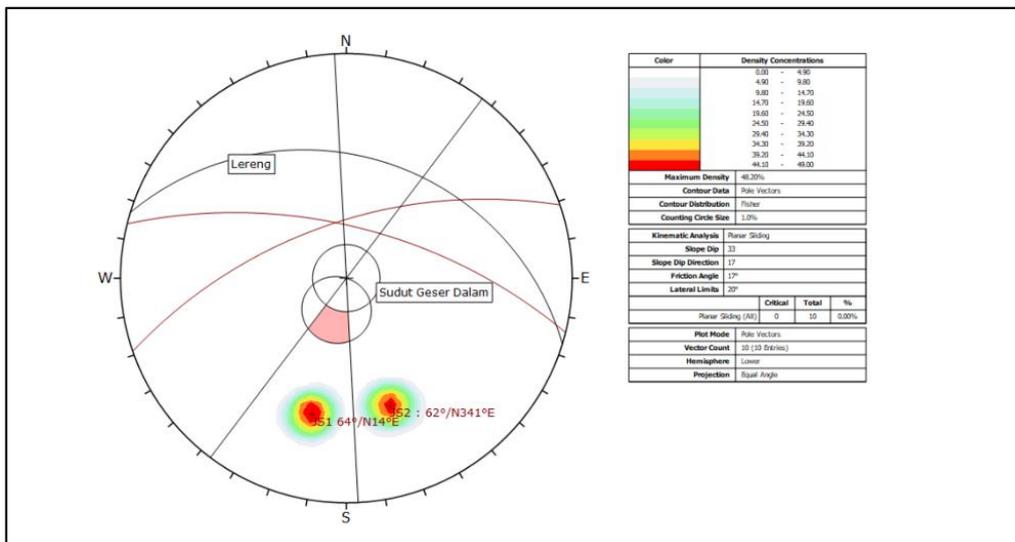
Pengukuran titik AA dilakukan pada koordinat 357272 E dan 9587860 N dengan litologi batulanau. Proyeksi stereonet analisis kinematik pada titik AA dapat dilihat pada Gambar 7. Hasil proyeksi stereonet menunjukkan adanya 2 titik puncakkan *pole* dari proyeksi bidang kekar. Berdasarkan proyeksi tersebut, maka struktur kekar tidak memenuhi syarat longsoran bidang, baji maupun jungkiran. Pada titik ini kehadiran kekar tidak mempengaruhi stabilitas lereng (Hoek dan Bray, 1981).

2. Titik BB

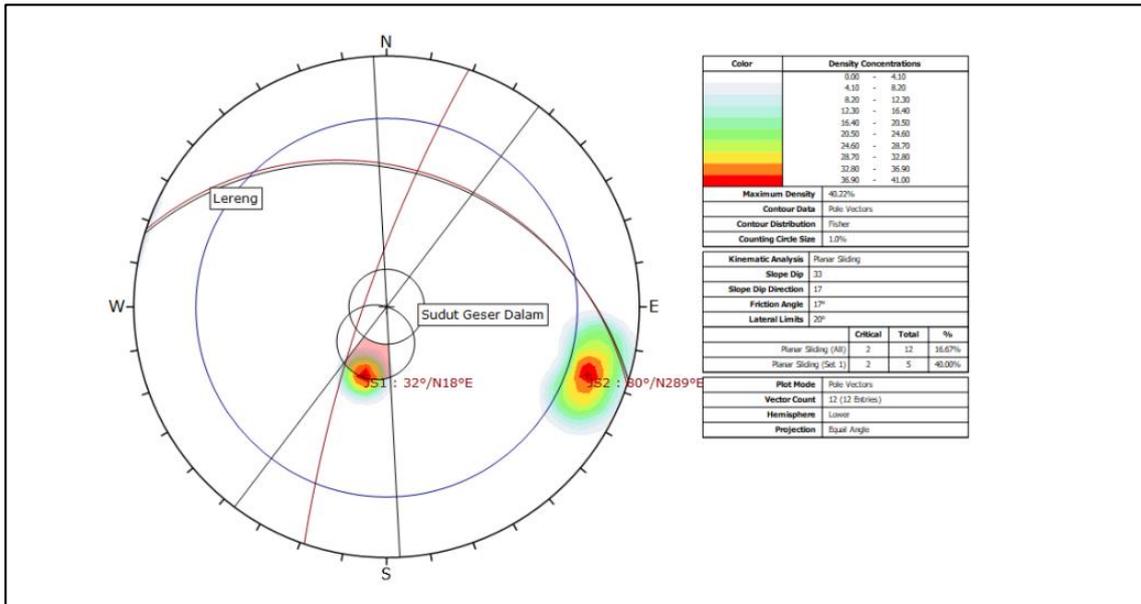
Pengukuran BB dilakukan pada koordinat 357121 E dan 9587860 N dengan litologi batupasir. Proyeksi stereonet analisis kinematik pada titik BB dapat dilihat pada Gambar 8. Hasil proyeksi stereonet menunjukkan adanya 2 (dua) titik puncakkan *pole* dari proyeksi bidang kekar. Berdasarkan proyeksi tersebut, maka struktur kekar tidak memenuhi syarat longsoran bidang, baji maupun jungkiran. Pada titik ini kehadiran kekar tidak mempengaruhi stabilitas lereng (Hoek dan Bray, 1981).



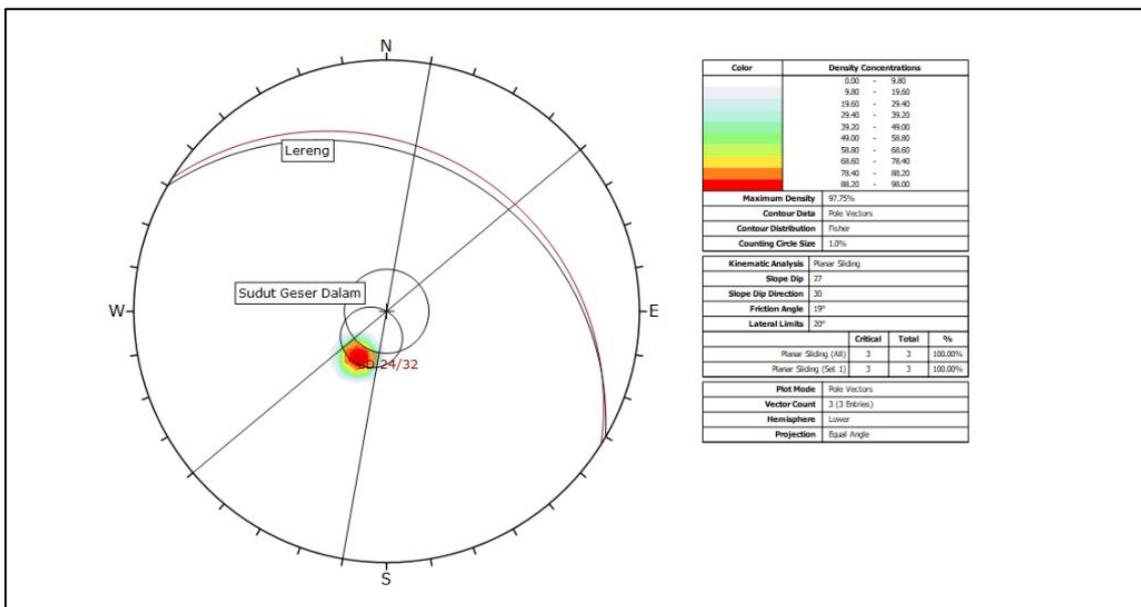
Gambar 7. Proyeksi stereonet analisis kinematik titik AA



Gambar 8. Proyeksi stereonet analisis kinematik titik BB



Gambar 10. Proyeksi stereonet analisis kinematik titik DD (1)



Gambar 11. Proyeksi stereonet analisis kinematik titik DD (2)

6. Titik EE

Pengukuran titik EE dilakukan pada koordinat 356604 E dan 9588522 N dengan litologi batupasir. Proyeksi stereonet analisis kinematik pada titik EE dapat dilihat pada Gambar 12. Hasil proyeksi stereonet menunjukkan adanya 1 titik puncakan *pole* dari proyeksi bidang kekar dan perlapisan batuan. Berdasarkan proyeksi tersebut, walaupun terdapat diskontinuitas yang

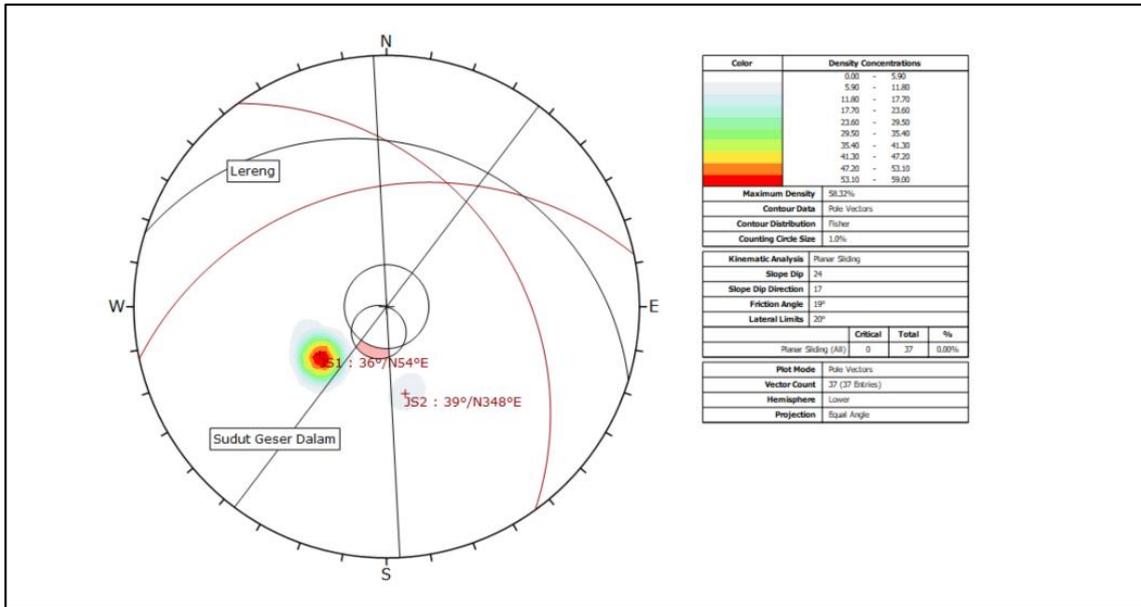
berpotongan tetapi tidak memenuhi syarat longsoran baji maupun bidang dan jungkiran. Pada titik ini kehadiran kekar tidak mempengaruhi kestabilan lereng (Hoek dan Bray, 1981).

7. Titik FF

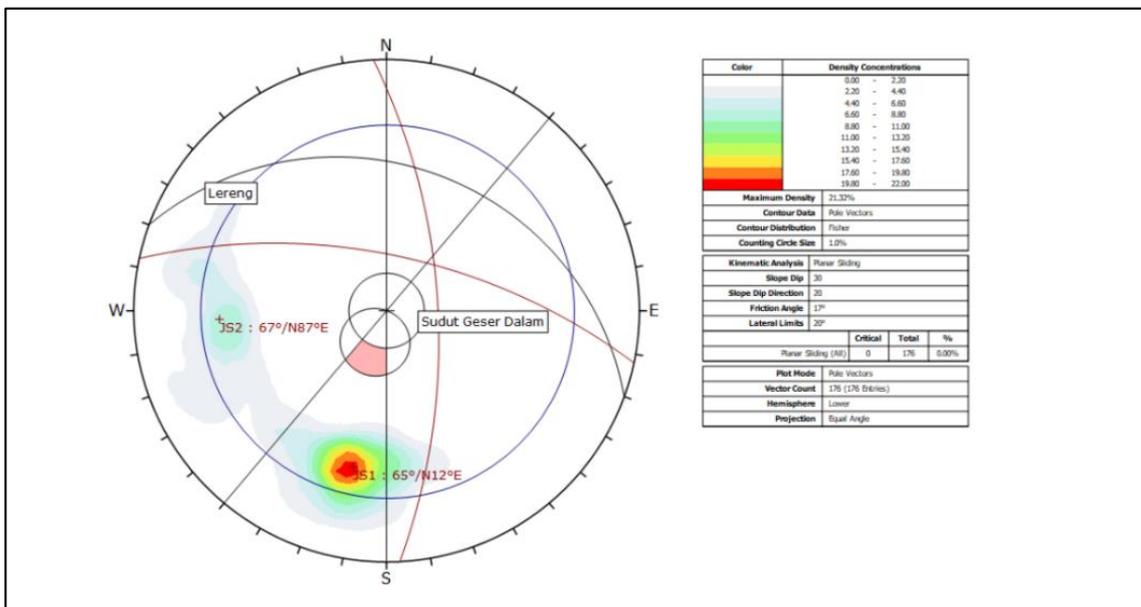
Pengukuran titik FF dilakukan pada koordinat 356101 E dan 9588373 dengan litologi batulanau. Berikut adalah proyeksi

streonet analisis kinematik pada titik FF (Gambar 13). Proyeksi streonet menunjukkan adanya 2 titik puncakan *pole* dari proyeksi bidang kekar dan perlapisan batuan. Berdasarkan proyeksi tersebut,

maka struktur kekar tidak memenuhi syarat longsoran bidang, baji maupun jungkiran. Pada titik ini kehadiran kekar tidak mempengaruhi kestabilan lereng (Hoek dan Bray, 1981).



Gambar 12. Proyeksi stereonet analisis kinematik titik EE



Gambar 13. Proyeksi stereonet analisis kinematik titik FF

8. Titik GG

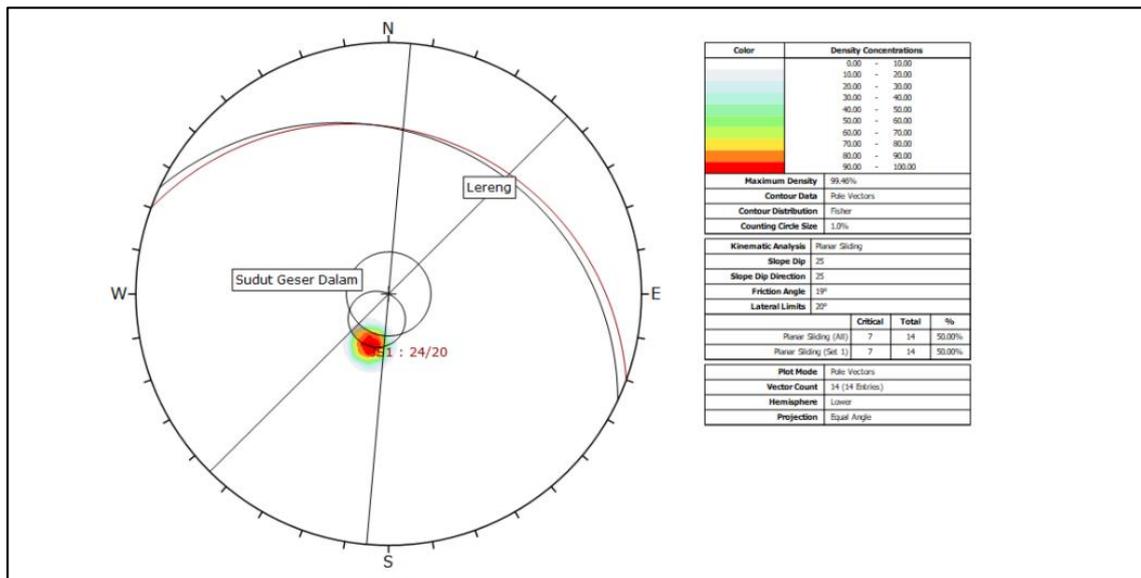
Pengukuran titik GG dilakukan pada dengan litologi perselingan batupasir dan batulanau. Berikut adalah proyeksi streonet analisis kinematik pada titik GG (Gambar 14). Pada titik GG memiliki arah lereng 25°/N22°E dan set kekar 1 memiliki arah umum 24°/N20°E dengan perbedaan 2° sehingga keduanya memiliki arah hampir sejajar, sudut kemiringan lereng lebih besar daripada sudut kemiringan diskontinuitas dan sudut geser dalam $\psi_f > \psi_p > \phi$ dengan nilai $25^\circ > 24^\circ > 19^\circ$. Berdasarkan proyeksi tersebut menunjukkan bahwa diskontinuitas terhadap lereng memenuhi syarat terjadinya longsor bidang sehingga potensi tipe longsor yang terjadi yaitu tipe longsor bidang (Hoek dan Bray, 1981) dengan probabilitas sebesar 50%.

Analisis Kestabilan Lereng

Simulasi evaluasi kestabilan lereng dilakukan menggunakan 2 *software* yaitu *Rocscience*

Rocplane v.4.0 untuk tipe longsoran bidang dan *Rocscience Swedge v. 7.0* untuk tipe longsoran baji. Berikut adalah hasil perhitungan nilai faktor keamanan lereng pada titik pengamatan CC, DD(1), DD (2) dan GG (Tabel 1, Gambar 15).

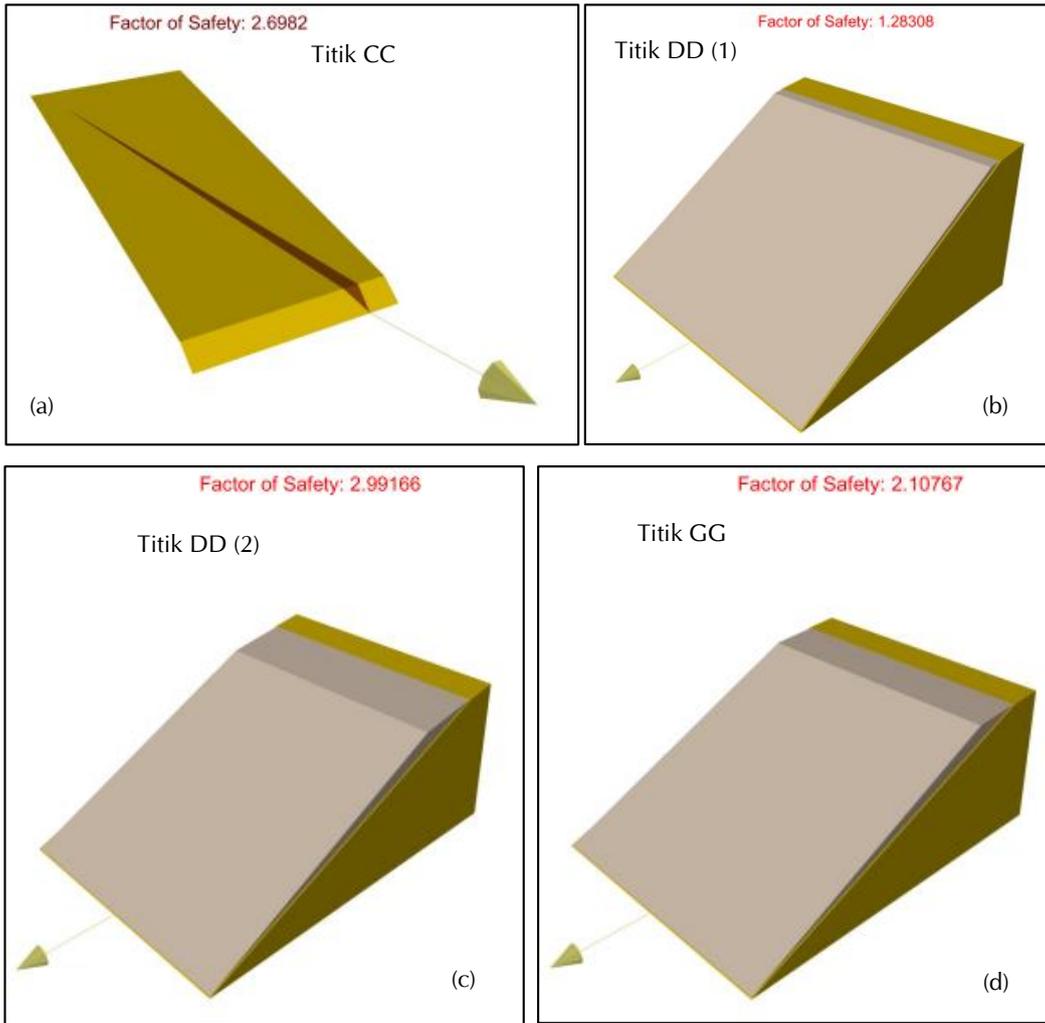
Ditinjau dari hasil analisis kestabilan lereng dengan bidang gelincir sesuai tipe longsor hasil analisis kinematik, maka seluruh lereng cenderung stabil menurut Keputusan Menteri ESDM No. 1827 Tahun 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Pada Gambar 16 dapat terlihat bahwa longsoran baji memiliki nilai faktor keamanan lebih tinggi dibanding longsoran bidang. Hal ini disebabkan nilai *plunge* pada longsoran baji lebih kecil dari sudut geser dalamnya sehingga bidang gelincir memiliki dimensi yang kecil dan memperkecil probabilitas terjadinya longsor tipe baji. Gambar 17 menunjukkan sebaran potensi tipe longsor pada daerah penelitian berdasarkan kedua analisis tersebut.



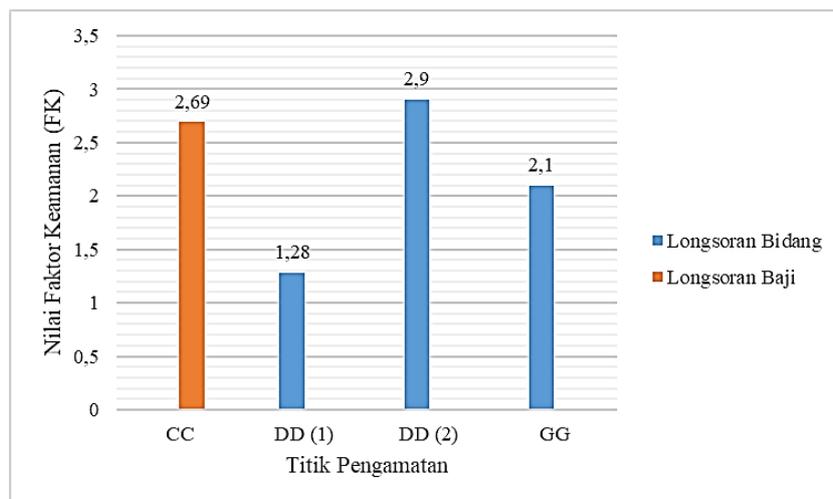
Gambar 14. Proyeksi stereonet analisis kinematik titik GG

Tabel 1. Data yang digunakan untuk analisis kestabilan lereng

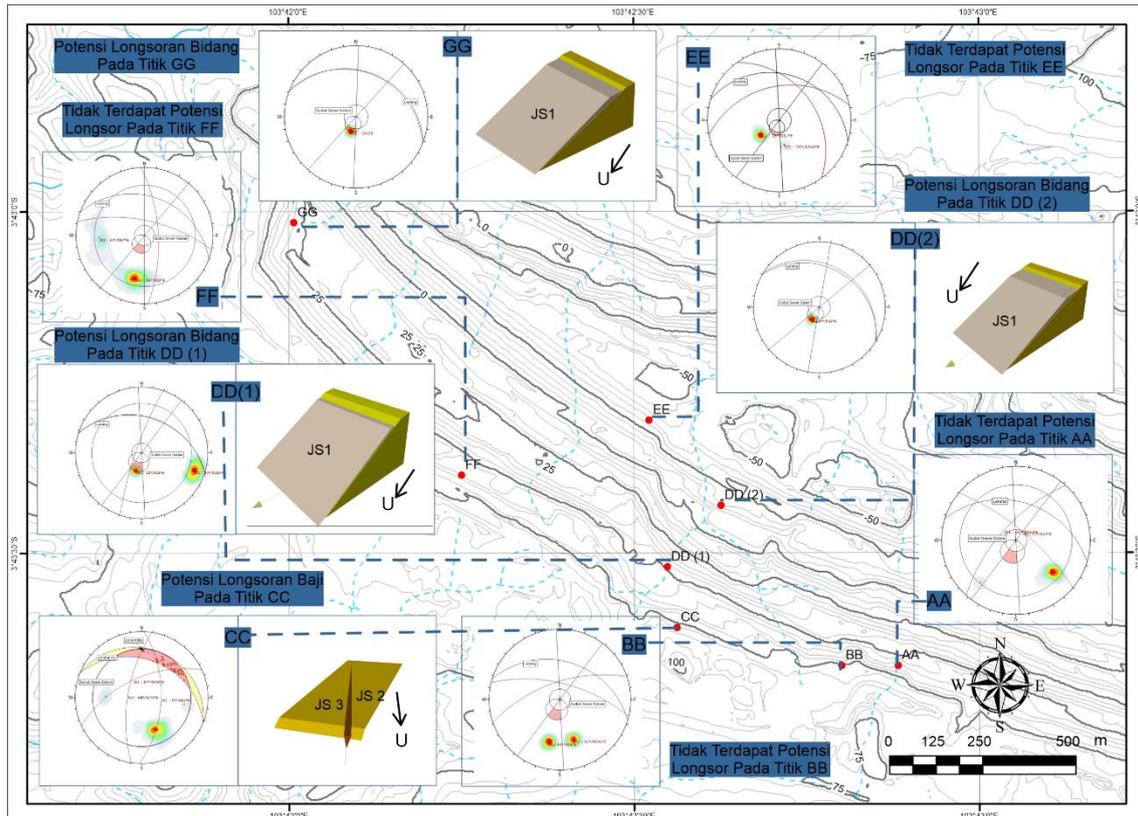
Titik	Tinggi Lereng	Orientasi Lereng	Tipe Longsor	Bidang Gelincir (<i>Dip/Dip Direction</i>)	(γ) (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)
CC	32 m	30°/N22°E	Baji	57°/N92°E 66°/N279°E	21,34	55,43	16,63
DD(1)	48	33°/N17°E	Bidang	32°/N18°E	21,34	55,43	16,63
DD(2)	57	27°/N30°E	Bidang	24°/N32°E	19,66	163,2	18,98
GG	26	25°/N22°E	Bidang	25°/N22°E	19,66	163,2	18,98



Gambar 15. Nilai faktor keamanan lereng berdasarkan tipe longsoran analisis kinematik. (a) Titik CC; (b) Titik DD (1); (c) Titik DD (2); dan (d) Titik GG (tanpa skala)



Gambar 16. Kestabilan lereng pada titik pengamatan berpotensi longsor berdasarkan analisis kinematik



Gambar 17. Potensi tipe longsor pada area *low wall* Pit X PT. Bukit Asam Tbk

KESIMPULAN

Daerah penelitian merupakan lokasi tambang batubara aktif. Hasil penelitian menunjukkan titik CC memiliki potensi longsor baji dengan probabilitas sebesar 5,5%, potensi tipe longsor bidang teridentifikasi pada titik DD (1), DD (2) dan GG dengan masing-masing probabilitasnya yaitu 16,67%, 100%, dan 50%. Pada titik lokasi AA, BB, FF dapat terbentuk tipe longsor bidang apabila sudut kemiringan lerengnya lebih besar daripada kemiringan bidang runtuhnya dan di titik EE dan FF berpotensi terbentuk tipe longsor baji apabila sudut kemiringan lereng lebih besar dari nilai *plunge* dari *intersection* dan *plunge* lebih besar dari sudut geser dalamnya. Di daerah penelitian umumnya berpotensi terjadi longsor tipe bidang dan baji, hal ini menunjukkan bahwa bidang diskontinuitas relatif searah dengan muka lereng sehingga perlu diperhatikan saat dilakukan pengupasan lereng. Analisis kestabilan lereng menunjukkan tidak akan terjadi longsor karena lereng dalam kondisi stabil berdasarkan nilai faktor

keamanan dimana FK pada lereng CC yaitu 2,69, lereng DD (1) yaitu 1,28, lereng DD (2) yaitu 2,9 dan lereng GG memiliki FK 2,1.

Perbedaan hasil analisis dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya geometri lereng dan parameter fisik dan mekanik untuk setiap analisis berbeda dimana untuk menghitung nilai faktor keamanan menggunakan nilai bobot isi, kohesi dan sudut geser dalam namun dalam analisis kinematik hanya menggunakan parameter sudut geser dalam. Pada analisis kestabilan lereng dengan mengasumsikan bidang gelincir sesuai hasil analisis kinematik menunjukkan bahwa lereng tergolong stabil. Hasil penelitian potensi longsor berdasarkan analisis kinematik pada area *low wall* PT. Bukit Asam Tbk, *site* Tanjung Enim, menunjukkan bahwa hasil analisis kinematik hanya memperkirakan kemungkinan tipe longsor oleh bidang diskontinuitas namun tidak menjelaskan kemungkinan akan adanya longsor dan tidak dapat mengukur tingkat kestabilan lereng.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada PT. Bukit Asam Tbk yang telah mengizinkan penulis dalam melakukan penelitian, serta kepada seluruh dosen pembimbing dan teman diskusi di Laboratorium Geologi Teknik Universitas Padjadjaran atas semua bantuannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowa, V.M. dan Kasanda, T. (2020) "Wedge failure analyses of the jointed rock slope influenced by foliations," *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(5), hal. 4701–4710. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01320-7>.
- Gafoer, S., Amin, T.C. dan Purnomo, J. (2007) *Peta geologi lembar Lahat, Sumatera Selatan, skala 1:250.000*. Bandung.
- 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," *Jurnal Bina Tambang*, 5(4), hal. 46–56.
- Hoek, E. (2000) *Practical rock engineering*. Vancouver: Evert Hoek Consulting Engineer Inc.
- Hoek, E. dan Bray, J.D. (1981) *Rock slope engineering*. 3rd Ed. CRC Press. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1201/9781482267099>.
- 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), hal. 89–96. Tersedia pada: <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol15.No2.2019.1009>.
- Khodijah, S., Monica, U.S., Eryari, J., Khoirullah, N. dan Sophian, R.I. (2022a) "Analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas dalam kondisi statis dan dinamis pada PIT X, Tanjung Enim Sumatera Selatan," *Padjajaran Geoscience Journal i-ISSN: 2597-4033*, 6(4).
- Khodijah, S., Monica, U.S., Eryari, J., Khoirullah, N. dan Sophian, R.I. (2022b) "Penentuan sudut kemiringan lereng maksimal berdasarkan kualitas massa batuan pada area lowwall PIT X PT. Bukit Asam Tbk Sumatera Selatan," *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY*, 20, hal. 155–167.
- Kovari, K. dan Fritz, P. (1975) "Stability analysis of rock slopes for plane and wedge failure with the aid of a programmeable pocket calculator," in *U.S Symposium on Rock Mechanics (USRMS)*. Minneapolis, hal. ARMA-75-025.
- Lisle, R.J. dan Leyshon, P.R. (2004) *Stereographic projection techniques for geologists and civil engineers*. New York: Cambridge University Press. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139171366>.
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (2018) *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang pedoman pelaksanaan Kaidah teknik pertambangan yang baik*. Indonesia.
- Rai, M.A., Kramadibrata, S. dan Wattimena, R.K. (2014) *Mekanika batuan*. Diedit oleh R.-R. Sundari. Bandung: ITB Press.
- Rocscience (2019) "Planar sliding atability analysis for rock slopes," *Rocscience Inc.* [Preprint]. Rocscience.
- Rusydy, 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," *RISSET Geologi dan Pertambangan*, 27(2), hal. 145–155. Tersedia pada: <https://doi.org/10.14203/rissetgeotam2017.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), hal. 61–75. Tersedia pada: <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol17.no2.2021.1113>.
- Wyllie, D.C. dan Mah, C.W. (2004) *Rock slope engineering: Civil and mining*. 4th ed. London and New York: Spon Press.