

Optimalisasi Lereng Produksi Quarry Batugamping "J" dengan Metode Limit Equilibrium dan Analisis Kinematika

Sekar Ayu Citrowati¹, Kevin Febri L. P², Marojahan Benedict Efrata³, Widya Spalanzani⁴

^{1,3}Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, Institut Teknologi Bandung

²Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Universitas Trissakti

⁴Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya, Indonesia

e-mail: *¹sekaracitrowati@gmail.com, ²kevinfebrilp12@gmail.com,

³marojahansaing63@gmail.com, ⁴widya.spalanzani@dsn.ubharajaya.ac.id

Abstract

Indonesia's limestone quarry generally carried out on conical hill, thus landslide often occur therefore slope analysis is required. The Study's purpose is providing slope recommendations for limestone quarry using the Limit Equilibrium Method (LEM) and "J" quarry slope kinematics. There's a right slip fault structure affecting the ground's movement. LEM analysis scenarios carried out from actual slope (41°), gentle (30°), and steep (60°). The factor of safety value on actual slope is 393.656 using Fellenius method which is stable slope, thus reasonable considering high limestone material properties (UCS, cohesion, and phi). Kinematics result shows two potential landslides, namely wedge and toppling based on the slope's structure. Whereas the wedge type shows a critical percentage landslide value of 1.3% on actual slope, if the slope made steep, the critical percentage of landslides increase at slope of 54°-58° by 3.4-6%. While toppling type shows the critical percentage of landslides at 0% on actual slope, if the slope made steep, the critical percentage of landslides increase at the slope of 58°-60° by 2.2-3%. Therefore, the slope can be steep to 60° so that factor of safety and slope stability increasing the production of limestone quarry.

Keywords : Limestone, landslide, factor of safety, slope kinematics

Abstrak

Penambangan batugamping di Indonesia umumnya dilakukan pada morfologi conical hill, akibatnya penambangan dapat mengalami longsor sehingga perlu dilakukannya analisis kestabilan lereng. Tujuan penelitian adalah

memberikan rekomendasi kelerengan pada penambangan batugamping menggunakan Limit Equilibrium Method (LEM) dan kinematika lereng quarry "J". Terdapat struktur geologi right slip fault pada daerah dominan satuan batugamping. Hasil analisis LEM dilakukan dengan skenario pada kemiringan lereng aktual (41°), landai (30°), dan terjal (60°). Nilai faktor keamanan lereng aktual sebesar 393.656 menggunakan metode Fellenius yang termasuk dalam kategori lereng stabil, hal ini wajar dikarenakan nilai properti material (UCS, kohesi, dan phi) batugamping yang tinggi. Hasil analisis kinematika menunjukkan dapat terjadinya dua potensi longsor yaitu wedge dan toppling akibat keberadaan struktur geologi pada lereng. Tipe wedge menunjukkan nilai critical percentage kelongsoran sebesar 1,3% pada slope aktual, apabila slope diterjalkan, nilai critical percentage kelongsoran meningkat pada slope 54°-58° sebesar 3,4-6%. Sedangkan tipe toppling menunjukkan nilai critical percentage kelongsoran sebesar 0% pada slope aktual, apabila slope diterjalkan, nilai critical percentage kelongsoran meningkat pada slope 58°-60° sebesar 2,2-3%. Berdasarkan hasil kedua metode, direkomendasikan slope lereng penambangan diterjalkan sampai 60o sehingga produksi penambangan batugamping meningkat sesuai dengan faktor keamanan dan kestabilan lerengnya

Kata Kunci : batugamping, longsor, faktor keamanan, kinematika lereng

PENDAHULUAN

Pada umumnya, kegiatan penambangan terbuka menunjukkan hadirnya bentuk lereng baik itu lereng alami maupun buatan. Analisis stabilitas lereng menunjukkan bahwa

tidak ada area bahaya nyata yang dapat mempengaruhi tambang di masa mendatang menurut Goodman, R.E. and Bray. J.W. (1976). Faktor keamanan lereng batuan dihitung dengan metode limit equilibrium berdasarkan mekanisme keruntuhan yang dihasilkan dari metode kinematik. Metode utama yang digunakan untuk melakukan analisis extreme limit equilibrium adalah metode Fellenius atau Swedia (Fellenius 1936). Dalam metode ini, gaya yang menyebabkan ketidakstabilan massa batuan serta gaya tahan diselidiki dan rasio gaya tahan terhadap driving forces diukur (Price 2009; Sharma et al. 1995; Hoek dan Bray 1981). Faktor-faktor ini memiliki pengaruh signifikan terhadap terjadinya ketidakstabilan lereng batuan dan jenis pergerakan massa tanah lainnya (Uromeihy dan Mahdaviifar 2000). Mengabaikan lereng batuan akan menyebabkan pembesaran biaya finansial dan cost humanity (Liu et al. 2010; Ulusay 2019). Penambangan batugamping secara umum dilakukan pada bentukan morfologi *conical hill* yang memiliki potensi terjadinya longsor/keruntuhan. Kelongsoran diakibatkan oleh terganggunya kestabilan material penyusun lereng. Penelitian Kumar et al. (2016) menunjukkan bahwa berbagai jenis diskontinuitas (joints, faults, dan zona geser) serta metode pemotongan mempengaruhi ketidakstabilan lereng. Canal dan Akin (2016) menentukan stabilitas lereng dari potongan batuan sedimen yang tinggi dan curam di sepanjang jalan raya negara bagian di Adilcevaz-Bitlis (Turki) dengan menggunakan pendekatan probabilistik melalui sistem Klasifikasi Probabilitas Stabilitas Lereng (Slope Stability Probability Classification/SSPC). Secara umum, kestabilan lereng dikontrol oleh beberapa faktor yaitu; geometri lereng, kondisi geologi (kondisi litologi dan struktur geologi), kondisi hidrogeologi, dan sifat geoteknik berupa material properti yang terdapat pada batugamping (nilai UCS, kohesi, sudut geser dalam, dan bobot isi air) material penyusun lerengnya. Kondisi penambangan batugamping di Indonesia sendiri pada saat ini mulai cukup marak karena cadangannya cukup melimpah dan tersebar di berbagai wilayah di Indonesia. Produk dari penambangan batugamping dapat digunakan sebagai bahan material untuk keperluan pembangunan seperti pembuatan

bahan baku semen, campuran material bangunan. Cadangan batugamping di Indonesia mencapai 28,7 milyar ton (Mediadipoera, 1990). Penyebaran batugamping sendiri cenderung berada pada provinsi di Indonesia yang membentang dari Sabang sampai Merauke yaitu; Sumatera Utara, D.I Aceh, Sumatera Barat, Riau, Sumatera Selatan, Bengkulu, Lampung, Jawa Barat, Jawa Tengah, D.I Yogyakarta, Jawa Timur, Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Selatan, Sulawesi Utara, dan Papua. Maka dari itu, penggunaan hasil batugamping di Indonesia pada saat ini mulai ditingkatkan untuk menunjang sektor sumber daya alam dan ekonomi. Selain itu, bentukan morfologi dari penambangan batugamping juga berperan penting sebagai penstabil udara, seperti kawasan karst yang dapat menyerap karbondioksida pada saat proses karstifikasi.

Analisis Kinematik.

Dalam penelitian ini, metode kinematika yang digunakan untuk menentukan probabilitas keruntuhan suatu lereng batuan adalah stereo imaging. Digunakan untuk membantu mengidentifikasi jenis keruntuhan yang mungkin terjadi. Secara bersamaan menggambar sikap dan kemiringan, kemiringan dan bidang lemah pada jaringan tiga dimensi, yang akan dengan cepat menentukan jenis dan arah kegagalan. Pada dasarnya, longsor di daerah pertambangan batugamping (*hard rock sedimentary*) biasanya terjadi karena pengaruh struktur pada perbukitan/pegunungan dengan kemiringan landai atau curam. Strategi kedua yang memungkinkan dilakukannya beberapa pengendalian terhadap perilaku zona rekahan stope adalah interaksi peledakan produksi stope dengan medan tegangan yang sudah ada sebelumnya dalam pembentukan rekahan akibat penambangan. (Stacey P. F. 2005). Raghuvanshi (2017) menyajikan tinjauan komprehensif mengenai parameter-parameter yang mempengaruhi kegagalan bidang lereng batuan serta berbagai teknik untuk menganalisis jenis failure. Berbagai faktor berkontribusi dalam metode keseimbangan batas, seperti geometri lereng (tinggi dan kemiringan), kohesi dan *friction angle* pada *failure surface*, *water forces*, *support system forces*, dan *other external forces* (Anbalagan

1992; Hoek and Bray 1981; Hack et al. 2007; Hamza and Raghuvanshi 2017; Raghuvanshi et al. 2014)). Longsor merupakan fenomena alam yang biasanya terjadi akibat perubahan keseimbangan kestabilan lereng. Dari segi teknik, terjadinya longsor karena gaya dorong lebih besar dari gaya ikat sehingga nilai $FK > 1.07$ (Menurut Bowless, 1991). Secara umum ada 4 (empat) jenis longsor di areal tambang terbuka (Gambar 1) menurut Hoek and Bray (1981), yaitu:

a. Longsor memutar (*Circular Sliding Failure*).

Keruntuhan memutar adalah jenis longsor/kerusakan yang terutama terjadi pada lereng batuan yang lapuk atau sangat rusak dan lereng timbunan

b. Longsor Geser (*Plane Sliding Failure*).

Keruntuhan bidang dapat terjadi dengan bidang gelincir tunggal atau punset bidang gelincir. Kondisi-kondisi yang dapat menyebabkan kelongsoran tipe ini adalah:

- Kemiringan lereng lebih besar dari pada kemiringan bidang gelincirnya
- Bidang gelincir memiliki jurus yang sejajar atau hampir sejajar (maksimal 20°) dengan jurus permukaan lerengnya.
- Kemiringan bidang gelincir lebih besar dari pada sudut geser dalamnya.

c. Longsor baji atau gunting (*Wedge Sliding Failure*)

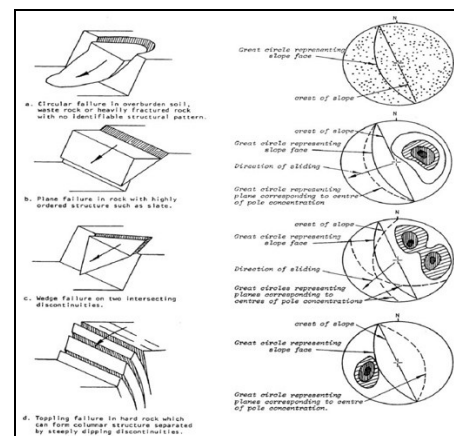
Keruntuhan geser baji bisa terjadi bila terdapat dua bidang diskontinuitas atau lebih yang berpotongan sehingga membentuk baji terhadap lerengnya. Markland (1972) mengusulkan suatu metode yang biasanya digunakan untuk menganalisis potensi kegagalan baji. Menurut metode tersebut, jika lingkaran gesekan dan bidang lereng digambar dalam bidang stereonet, maka akan terbentuk daerah bulan sabit yang tidak stabil dari perpotongan keduanya. Kondisi lain yang menyebabkan kelongsoran baji antara lain:

- Arah garis perpotongan kedua bidang diskontinuitas harus mendekati arah kemiringan muka lereng
- Sudut lereng lebih besar dari pada sudut garis potong kedua bidang diskontinuitas
- Garis perpotongan dua bidang diskontinuitas harus menembus permukaan lereng

- Plunge dari garis perpotongan kedua bidang diskontinuitas lebih besar dari pada sudut geser dalamnya.

d. Longsor Guling (*Toppling Failure*).

Longsor guling umumnya terjadi pada massa batuan yang memiliki kemiringan pada bidang diskontinuitas yang berlawanan arah dengan kemiringan lereng. Toppling failure merupakan ketidakstabilan yang signifikan dan sering terjadi pada lereng batuan alami dan buatan. Jenis ketidakstabilan ini diklasifikasikan sebagai *flexural*, *blocky*, dan *block-flexure* (Hoek dan Bray 1981). Dalam sejarah kasus nyata, kasus sempurna yang disebutkan di atas jarang ditemukan dan toppling failure sebagian besar bersifat *blockflexure nature*. Jenis ketidakstabilan ini merupakan kombinasi dari mode flexural toppling failure (Amini et al. 2012). Bidang diskontinuitas tersebut membentuk kolom-kolom yang akan mengguling bila bidang diskontinuitas yang menghubungkan antar kolom menggelincir.



Gambar 1. Jenis Longsor menurut (Hoek and Bray, 1981)

Faktor Keamanan Lereng.

Dilihat dari nilai FK (Faktor Keamanan) yang tinggi, dapat ditentukan bahwa kondisi lereng akan lebih stabil daripada nilai FK yang rendah. Faktor keamanan lereng tersebut memiliki nilai tergantung pada besaran ketahanan geser dan tegangan geser, dimana kedua hal tersebut akan saling berlawanan sepanjang bidang gelincir yang menyebabkan bidang tersebut terletak pada zona terlemah didalam tubuh lereng. Jika nilai $FK = 1,07$ maka kelongsoran kemungkinan berhenti jika ketahanan geser pada material penyusunnya mampu menopang geometri lereng yang lebih

dan nilai FK nya menjadi lebih tinggi (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai FK berdasarkan intensitas kelongsoran (Bowles, 1991)

Nilai Faktor Keamanan (FK)	Kejadian / Intensitas Longsor
FK < 1,07	Longsoran terjadi biasa/sering (kelas labil)
FK antara 1,07 – 1,25	Longsoran pernah terjadi (kelas kritis)
FK > 1,25	Longsoran jarang terjadi (kelas stabil)

Kestabilan lereng pertambangan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti geometri lereng, struktur batuan, sifat fisik dan mekanik batuan serta gaya-gaya luar yang bekerja pada lereng. Metode yang biasa digunakan untuk menyatakan kestabilan lereng penambangan adalah faktor keamanan. Faktor ini merupakan perbandingan antara gaya penahan yang menjaga kestabilan lereng dengan gaya pendorong yang menyebabkan terjadinya longsor. Faktor keamanan (FK) kemiringan tanah dapat dihitung dengan berbagai cara. Tanah longsor dan longsor, dapat dihitung menurut metode sayatan Felleneus atau Bishop. Untuk lereng dengan penampang yang sama, metode Fellinius dapat dibandingkan dengan nilai faktor keamanan menggunakan metode Bishop. Data yang diperlukan untuk mencari nilai FK adalah:

- Data lereng atau geometri lereng (terutama diperlukan untuk membuat penampang lereng).
- Data mekanika tanah yang diperlukan berupa sudut geser dalam (ϕ), bobot isi tanah atau batuan (γ), kohesi (c).

METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode survei serta deskriptif kuantitatif. Metode survei dan deskriptif kuantitatif dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan. Berikut adalah penjelasan mengenai tahapan/cara yang dilakukan dalam kedua metode tersebut yang dijelaskan di bagian Metode Penelitian:

Metode Survei:

- Perencanaan dan Studi Pustaka: Tahap awal melibatkan studi literatur untuk mengumpulkan data dan informasi yang relevan dari peta geologi regional serta penelitian terdahulu.
- Pengumpulan Data Lapangan: Mengumpulkan data lapangan melalui pengukuran kekar pada batuan serta

interpretasi dari jurus dan kemiringan batuan. Pengukuran ini dilakukan untuk mendapatkan informasi geologi yang akurat tentang struktur dan kondisi fisik area penelitian.

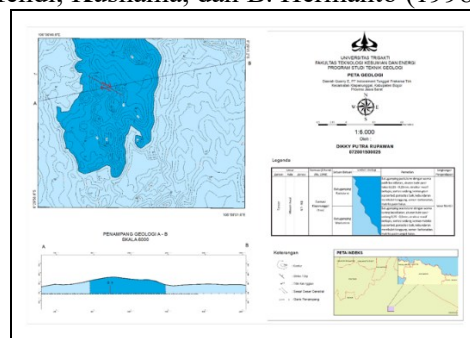
- Analisis Geologi: Data yang diperoleh dari lapangan kemudian dianalisis untuk menentukan struktur geologi di daerah penelitian, termasuk identifikasi sesar geser yang dominan.

Metode Deskriptif Kuantitatif:

- Pengumpulan Data Kuantitatif: Mengumpulkan data kuantitatif mengenai parameter-parameter mekanika batuan seperti nilai UCS (Unconfined Compressive Strength), kohesi, sudut geser dalam (ϕ), dan bobot isi material.
- Analisis Data: Data kuantitatif tersebut dianalisis menggunakan software khusus (seperti Slide 6.0 dan Dips 7.0) untuk menentukan nilai faktor keamanan lereng dan kemungkinan tipe longsoran yang terjadi.
- Simulasi dan Pemodelan: Melakukan simulasi pada berbagai kemiringan lereng (aktual, landai, terjal) untuk mengidentifikasi faktor keamanan dan potensi longsoran dengan menggunakan metode kesetimbangan batas (Limit Equilibrium Method).

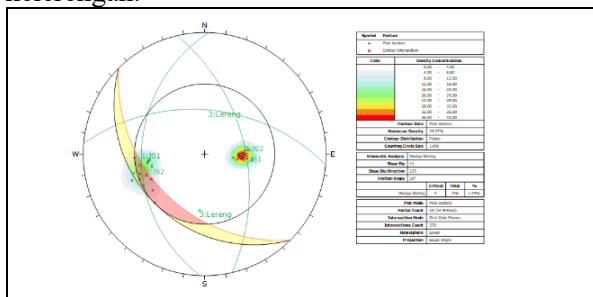
Melalui tahapan-tahapan ini, penelitian mampu memberikan rekomendasi lereng produksi yang optimal dengan mempertimbangkan faktor keamanan dan kestabilan lereng berdasarkan analisis kinematika dan kuantitatif.

Penelitian meliputi tahap perencanaan, pada tahap ini dilakukan studi pustaka dengan mencari studi literatur yang berkaitan dengan data berada dalam wilayah peta geologi regional Lembar Bogor yang dimuat oleh A.C Effendi, Kusnama, dan B. Hermanto (1998).



Gambar 3. Peta Geologi Daerah Penelitian (Rupawan, 2019).

Menurut Rupawan (2019) hasil pemetaan detail skala 1 : 6000 , struktur geologi pada daerah penelitian dapat ditentukan berdasarkan data lapangan dalam bentuk berupa bukti-bukti berupa pengukuran kekar pada batuan, dan hasil interpretasi dari jurus dan kemiringan batuan. Bukti-bukti tersebut disesuaikan dengan pola penyebaran kontur pada peta topografi dengan skala 1:6000. Dengan interpretasi pola kontur pada peta topografi skala 1:6000 serta penafsiran dari data-data di lapangan, maka pada daerah penelitian terdapat satu patahan yaitu sesar geser manganan (Dekstral slip fault) Struktur patahan di daerah penelitian adalah sesar geser manganan (*Right slip fault*) (Rickard, 1971), struktur sesar ini terletak di bagian utara daerah penelitian yang mempunyai satuan batugamping packstone Dengan menggunakan data nilai UCS, keberadaan struktur akan memunculkan beberapa rekahan pada kelerengan.



Gambar 4. Analisis Stereografis Sesar menggunakan *software Dips 7.0*

Pada daerah penelitian, tidak ada keberadaan CAT (Cekungan Airtanah) pada daerah penelitian (*ESDM One Map*). Sehingga tampak dengan jelas bahwa tipe kelongsoran yang dapat terjadi pada daerah penelitian adalah tipe *wedge* dan *toppling*, sebab kedua tipe longsoran ini cenderung terjadi pada lereng dengan litologi dengan kekerasan yang cukup keras karena tidak adanya rembesan air yang menjadi penyebab utama terjadinya kelongsoran tipe *circullar* dan *planar* yang cenderung terjadi karena

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Faktor Keamanan

Pada analisis faktor keamanan menggunakan metode kesetimbangan batas dengan batuan *software Slide 6.0*. Analisis

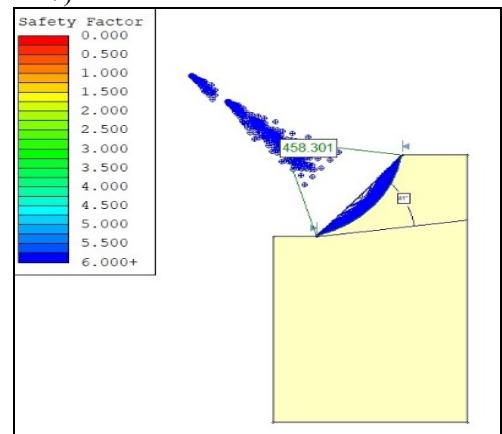
Optimalisasi Lereng Produksi

dilakukan menggunakan material properti seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.

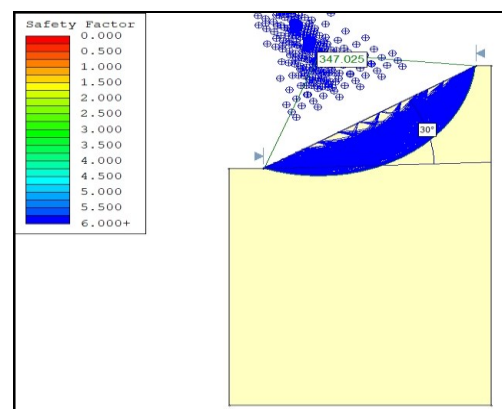
Tabel 2 Analisis material properti yang digunakan.

Nama Material	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Kohesi (kPa)	Phi ϕ
Batugamping	20,91	Mohr-Coulomb	6190	30,14

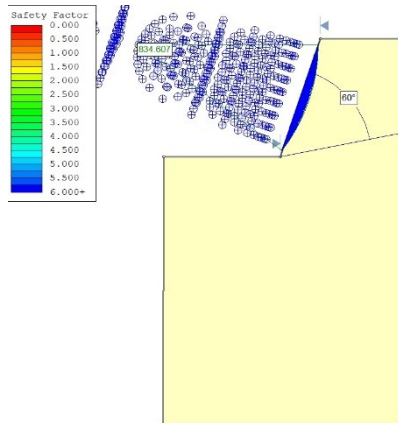
Pada lereng aktual dengan *slope* 41°, nilai faktor keamanan yang didapatkan sebesar 458.301 menggunakan metode *Bishop* (Gambar 5). Pada simulasi lereng dengan *slope* 30°, nilai faktor keamanan yang didapatkan sebesar 347.025 menggunakan metode *Bishop* (Gambar 6). Pada simulasi lereng dengan *slope* 60°, nilai faktor keamanan yang didapatkan menggunakan metode *Bishop* sebesar 834.607 (Gambar 7).



Gambar 5. Simulasi Kelerengan pada *Slope* 41°.



Gambar 6. Simulasi Kelerengan pada *Slope* 30°.

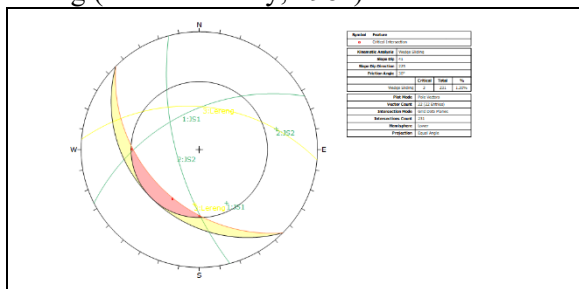


Gambar 7. Simulasi Kelerengan pada Slope 60°.

Angka ini bersifat wajar mengingat nilai batugamping yang tinggi dan termasuk dalam klasifikasi *hardrock*. Dengan nilai faktor keamanan yang tinggi, sudah sangat jelas bahwa litologi batugamping dapat bersifat aman untuk pengelolaan penambangan.

Analisis Kinematika Lereng

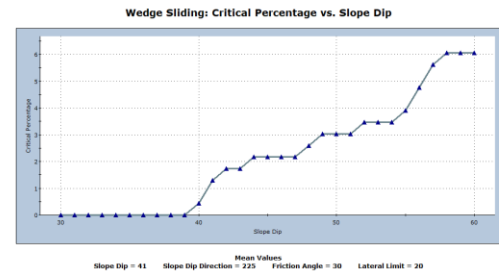
Identifikasi tipe kelongsoran yang paling mungkin terjadi adalah tipe kelongsoran *Wedge Sliding Failure* dan *Toppling Failure*. Pada umumnya kelongsoran pada tipe *Wedge Sliding Failure* terjadi bila terdapat dua bidang lemah atau lebih berpotongan sedemikian rupa sehingga membentuk baji terhadap lereng (gambar dibawah). Longsoran baji ini dapat dibedakan menjadi dua tipe longsoran yaitu longsoran tunggal (*single sliding*) dan longsoran ganda (*double sliding*). Untuk longsoran tunggal, luncuran terjadi pada salah satu bidang, sedangkan untuk longsoran ganda luncuran terjadi pada perpotongan kedua bidang (Hoek and Bray, 1981).



Gambar 8. Analisis Stereografis *Wedge Sliding Failure* menggunakan software *Dips 7.0*

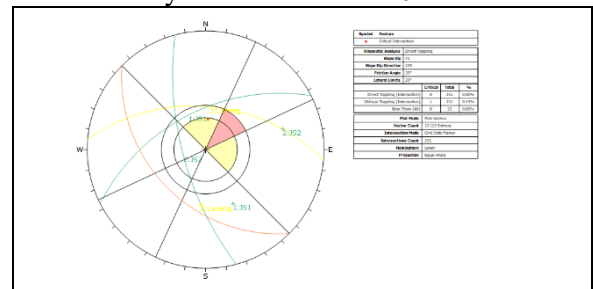
Sedangkan pada tipe kelongsoran *Toppling Failure* pada umumnya terjadi pada lereng yang terjal dan pada batuan yang keras dimana struktur bidang lemahnya berbentuk kolom. Longsoran jenis ini terjadi apabila bidang-bidang lemah yang ada

berlawanan dengan kemiringan lereng (Hoek and Bray, 1981).

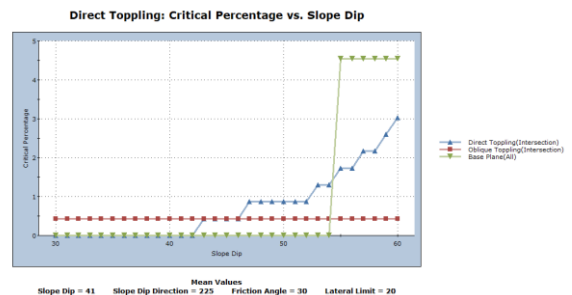


Gambar 9. *Wedge Sliding: Critical Percentage vs. Slope Dip*

Setelah dilakukan sensitivity analisis pada tipe kelongsoran wedge, terjadi kenaikan Persentase Keruntuhan (*Critical Percentage*) 1,3% pada *slope actual*. Berdasarkan hasil analisis, dapat diketahui bahwa persentase keruntuhan akan naik pada tipe *wedge* jika lereng diterjalkan kurang lebih pada sudut lereng 54°-58° sebesar 3,4-6%. Namun nilai persentase keruntuhan ini masih dianggap kecil karena nilainya masih dibawah 10%.



Gambar 10. Analisis Stereografis *Toppling Failure* menggunakan software *Dips 7.0*



Gambar 11. *Direct Toppling: Critical Percentage vs. Slope Dip*

Pada tipe kelongsoran toppling, terjadi kenaikan Persentase Keruntuhan (*Critical Percentage*) kelongsoran sebesar 0% pada *slope actual*. Persentase keruntuhan akan naik pada tipe *wedge* jika lereng diterjalkan kurang lebih pada sudut lereng 58°-60° sebesar 2,2-3%.

Berdasarkan hasil kedua metode, direkomendasikan sudut lereng penambangan diterjalkan sampai 60° sehingga produksi

penambangan batugamping meningkat sesuai dengan faktor keamanan dan kestabilan lerengnya.

Korelasi Analisis Faktor Keamanan dengan Stereografi

Berdasarkan hasil analisis tipe longsor menggunakan parameter mekanika batuan dan *software Dips 7.0* serta *Slide 6.0*, Nilai Faktor Keamanan yang diperoleh pada daerah penelitian memiliki rata-rata nilai 402663 dengan metode Bishop pada lereng aktual, terjal, dan landai, 521.976 dengan metode Fellenius pada lereng aktual, landai, dan terjal dengan kemungkinan jenis longsor yang terjadi adalah tipe *Wedge* dan tipe *Toppling* yang keduanya memiliki nilai *critical percentage* dibawah 10 (Tabel 3).

Tabel 3. Analisis tipe kelongsoran.

Tipe kelongsoran	Analisis Kestabilan Lereng	Hasil Analisis
Circular	LEM (Limit Equilibrium Method)	Nilai Faktor Keamanan (FK) > 1.3 menurut klasifikasi Bowless (1991) dengan nilai FK
		Critical Percentage = 0% (slope aktual) nilai critical percentage kelongsoran meningkat 2,2-3% jika slope = 58°-60°
Toppling	Analisis Stereografis	Critical Percentage = 1,3% (slope aktual), nilai critical percentage kelongsoran meningkat 3,4-6% jika slope = 54°-58°
Wedge	Analisis Stereografis	Critical Percentage = 1,3% (slope aktual), nilai critical percentage kelongsoran meningkat 3,4-6% jika slope = 54°-58°

Sehingga penulis memberikan rekomendasi berdasarkan parameter-parameter berupa jenis material, geologi teknik (kohesi, sudut geser dalam, dan bobot isi), serta analisis *software* dan nilai faktor keamanan yang dinyatakan secara kualitatif dan kuantitatif bahwa baik pada kemiringan lereng aktual (41°), landai (30°), dan terjal (60°) memiliki potensi terjadinya longsor dengan tipe *wedge* dan *toppling*. Namun kemungkinan

Optimalisasi Lereng Produksi

kelongsoran dapat terjadinya pada daerah penelitian baik dengan kemiringan aktual, landai dan terjal sangatlah kecil, sehingga tetap dapat dilakukan penambangan pada daerah penelitian ini dalam bentuk lereng yang direkomendasikan yaitu kemiringan terjal dengan sudut lereng 60° karena memiliki nilai keruntuhan yang kecil sehingga potensi kelongsoran lebih rendah

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dari analisis kestabilan lereng dengan menggunakan analisis kinematika dan analisis faktor keamanan didapatkan bahwa rekomendasi lereng diberikan pada kemiringan lereng aktual, landai, dan terjal karena pada kelereng tersebut memiliki potensi yang sangat kecil untuk terjadinya longsor, sehingga rekomendasi dapat diberikan dan aktivitas penambangan dapat dilakukan dengan baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah membantu serta turut memberikan arahan, dan nasihat dalam pengerjaan paper ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik

1. Ucapan syukur dan terima kasih kepada Allah SWT yang telah memberikan karunia dan berkahnya selalu kepada penulis.
2. Terimakasih kepada sdr. Dikky Putra Rupawan yang telah membantu kami dalam pengambilan data di lapangan.
3. Terima Kasih kepada sdr. Arthur G.P. Nayoan yang selalu membimbing kami dengan sabar dan selalu meluangkan waktunya di sela - sela jadwal yang padat

DAFTAR PUSTAKA

- Hoek, E., Bray, J., 1981, *Rock Slope Engineering, Civil and Mining 4th Edition*, Duncan C. Wyllie and Christopher W. Mah, London and New York.
- T. Madiadipoera. Bahan galian industri di Indonesia. Direktorat Jenderal Sumber Daya Mineral RI (1990)
- Rickard, M. (1972). Fault Classification-Discussion. Geol. Soc. Am. Bull. 83, (hal. 2545-2546).
- Amini M, Majdi A, Veshadi MA (2012) Stability analysis of rock slopes against block-flexure toppling failure. Rock Mech Rock Eng 45(4): 519-532.

- <https://doi.org/10.1007/s00603-012-0220-7>
- Canal A, Akin M (2016) Assessment of rock slope stability by probabilistic-based Slope Stability Probability Classification method along highway cut slopes in Adilcevaz-Bitlis (Turkey). *J Mt Sci* 13:1893-909.
<https://doi.org/10.1007/s11629-016-3954-y>
- Effendi, A.C., Kusnama, dan Hermanto, B., 1998, *Peta Geologi Lembar Bogor, Jawa*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Uromeihy A, Mahdavifar MR (2000) Landslide hazard zonation of the Khorshrostan area, Iran. *Bull Eng Geol Environ* 58(3): 207-213.
<https://doi.org/10.1007/s100640050076>
- Rupawan, Dikky P. 2019. Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Janbu di Daerah Lulut, Kecamatan Klapanunggal, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. Universitas Trisakti.
- Bowless, J.E., 1991. Sifat - Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Jakarta: Erlangga.
- Arif. I. (2016): Geoteknik Tambang, Penerbit Institut Teknologi Bandung.
- Bandy., O.L., 1967, Distribution of Foraminifera, Radiolaria, and Diatoms in the Sediments of the Gulf of California : Micropaleontology, vol. 7, No. 1, p 126, 14 text-figs., 5pls.
- Bemmelen, R.W.Van. (1949): The Geology of Indonesia, Martinus Nyhoff, The Haque, Nederland.
- Bieniawski, Z.T. (1979): The Geomechanics Classification In Rock Engineering Applications. Proceedings of the 4th Congress of the International Society of Rock Mechanics, vol. 2, Montreux, Switzerland. Rotterdam: A.A. Balkema; Hal 49-97
- Blow, W.H., 1969, Late Middle Eocene to Recent Planktonic Foraminiferal Biostratigraphy : International Conference Planktonic Microfossils 1st, Proceedings of The First International Conference On Planktonic Microfossils, Geneva 1967, Proc.Leiden, E.J. Bull. V.1. 422 p.
- Fellunius W (1936) Calculations of the Stability of Earth Dams. Proceedings of the Second Congress of Large Dams, Washington DC. 4: 445-63.
- Liu CH, Jaksa MB, Meyers AG (2010) Toppling mechanisms of rock slopes considering stabilization from the underlying rock mass. *Int. J Rock Mech Min Sci* 47(2): 348-54.
<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2009.11.008>
- Anbalagan R (1992) Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Eng Geol* 32(4): 269-277. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(92\)90053-2](https://doi.org/10.1016/0013-7952(92)90053-2)
- Budi Brahmantyo dan Bandono. 2006. Klasifikasi Bentuk Muka Bumi (Landform) untuk Pemetaan Geomorfologi pada Skala 1:25.000 dan Aplikasinya untuk Penataan Ruang. *Jurnal Geoaplika* 1(2).
- Raghuvanshi TK (2017) Plane failure in rock slopes-A review on stability analysis techniques. *J King Saud Univ Sci* 31(1): 101-109.
<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2017.06.004>
- Raghuvanshi TK, Ibrahim J, Ayalew D (2014) Slope stability susceptibility evaluation parameter (SSEP) rating scheme-an approach for landslide hazard zonation. *J Afr Earth Sci* 99: 595-612.
<https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.05.004>
- Kumar M, Rana S, Pant PD, Patel RC (2017) Slope stability analysis of Balia Nala landslide, Kumaun Lesser Himalaya, Nainital, Uttarakhand, India. *J Rock Mech Geotech Eng* 9(1): 150-158.
<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2016.05.009>
- Dunham, R.J., 1962, Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture, dalam: Classification of Carbonate Rocks (ed. W.E.Ham), pp 108-121. Mem. Am. Ass. Petrol. Geol. (1) Tulsa, USA.
- Goodman, R. E., & Bray, J. W. (1976). Toppling of rock slopes. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 8(1), 1-9. doi:10.1007/BF01261801
- Markland, J. T. (1972). A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge slide type of failure is expected. *Imperial College*

- Rock Mechanics Research Report*, 19, 10-16. doi:10.1007/978-3-642-86626-5_2
- Ulusay R (2019) Harmonizing Engineering Geology With Rock Engineering For Assessing Rock Slope Stability: A Review Of Current Practice. geoteknika.ba
- Sharma S, Raghuvanshi TK, Anbalagan R (1995) Plane failure analysis of rock slopes. *Geotech Geol Eng* 13(2): 105-111.
<https://doi.org/10.1007/BF00421876>
- Price DG (2008) *Engineering geology: principles and practice*. Springer Science & Business Media.
- Hack R, Alkema D, Kruse GAM, LuciaLuzi NL (2007) Influence of earthquakes on the stability of slopes. *Eng Geol* 91: 4-15.
<https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.12.016>
- Hamza T, Raghuvanshi TK (2017) GIS based landslide hazard evaluation and zonation-A case from Jeldu District, Central Ethiopia. *J King Saud Univ Sci* 29(2): 151-165.
- Stacey, P. F. (2005). Stress-induced fracturing around a deep-level gold mine stope and its effect on strata control. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 105(4), 241-246. doi:10.17159/2411-9717/2005/v105n4a2

Sekar Ayu, Kevin Febri, Marojahan Benedict Efrata, Widya Spalanzani

Submitted: **dd/mm/yyyy**; Revised: **dd/mm/yyyy**; Accepted: **dd/mm/yyyy**; Published: **dd/mm/yyyy**