

## Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Bishop di *Pit* ALC-14 Tambang Batubara PT. Equalindo Makmur Alam Sejahtera Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur

**Saldi Muhamad, Masri\*, Hasria**

*Jurusan Teknik Geologi, Universitas Halu Oleo, Kendari*

*\*masri@uho.ac.id*

### SARI

Proses penambangan batubara khususnya pada tahap produksi harus memperhatikan tingkat kestabilan lereng. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kestabilan lereng tambang dengan metode kesetimbangan batas. Analisis ini juga mencakup pengaruh geometri lereng, sifat fisik, dan mekanik material penyusun lereng terhadap nilai faktor keamanan lereng tambang *lowwall* dan *highwall* PT. Equalindo Makmur Alam Sejahtera Kalimantan Timur. Metode kesetimbangan batas yang digunakan adalah Metode Bishop yang menggunakan prinsip kesetimbangan momen dengan memperhitungkan gaya normal antar irisan. Geomorfologi lereng tambang tergolong dalam satuan perbukitan dengan kemiringan hingga 70% yang tersusun atas perselingan batupasir dan batulempung dengan sisipan batubara. Hasil analisis menunjukkan tingkat kestabilan lereng *lowwall* dan *highwall* cukup bervariasi dengan nilai FK rendah dijumpai pada *lowwall*, seperti pada lereng sayatan B-B' dan C-C'. Bidang gelincir pada lereng yang tidak stabil berupa bidang kontak antara batupasir dan batulempung, meskipun analisis lereng tunggal juga menunjukkan bidang gelincir berupa bidang kontak batulempung dan batubara. Rendahnya nilai FK pada lereng *lowwall* dipengaruhi oleh kemiringan lapisan batuan yang searah dengan kemiringan lereng, didukung dengan tingginya kemiringan lereng keseluruhan pada *lowwall*, dan rendahnya sudut geser dalam batulempung. Rekomendasi desain lereng dilakukan dengan resloping dan memperbesar lebar *bench*. Dijumpainya *tension crack* dan *mudcrack* pada muka lereng yang tidak stabil menunjukkan perlunya pemantauan lereng.

**Kata kunci:** lereng; faktor keamanan; metode bishop; batubara.

### ABSTRACT

*The coal mining, especially at the production stage, must pay attention to the slope stability. This study aims to determine the factor of safety (FoS) of the mine slope with the limit equilibrium method. This analysis also includes the influence of the slope geometry, physical and mechanical properties of the slope materials of PT. Equalindo Makmur Alam Sejahtera, East Kalimantan.*

**How to Cite:** Muhamad, S., Masri, Hasria., 2020. Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Bishop di *Pit* ALC-14 Tambang Batubara PT. Equalindo Makmur Alam Sejahtera Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur. Jurnal Geomine, 8(2): 162-170.

#### Published By:

Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Muslim Indonesia

#### Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05  
Makassar, Sulawesi Selatan

#### Email:

[geomine@umi.ac.id](mailto:geomine@umi.ac.id)

#### Article History:

Submitte 25 Juli 2020  
Received in from 29 Juli 2020  
Accepted 28 Agustus 2020

#### Lisencse By:

[Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



*The limit equilibrium method used is the Bishop Method, which uses the principle of moment equilibrium by calculating the normal force between slices. The geomorphology unit classified as hilly units with 70% angle of slope face, composed by sandstone and claystone intercalations with coal. The results of the analysis show the stability level of lowwall, and highwall slopes are quite varied with low FoS values found on the lowwall, such as the slopes in the incision B-B 'and C-C'. The slip failure on the unstable slope is in the contact area between sandstone and claystone, although single slope analysis also shows the slip failure in the form of claystone and coal contact. The low FoS value on the lowwall slope is influenced by the dip of the rock layer in the parallel direction of the slope face, supported by the higher slope face angle of the overall-slope on the lowwall, and the lower internal friction angle in the claystone. The slope design recommendations are carried out by re-sloping and enlarging the width of the bench. The presence of tension cracks and mud cracks on unstable slope faces shows the need for slope monitoring.*

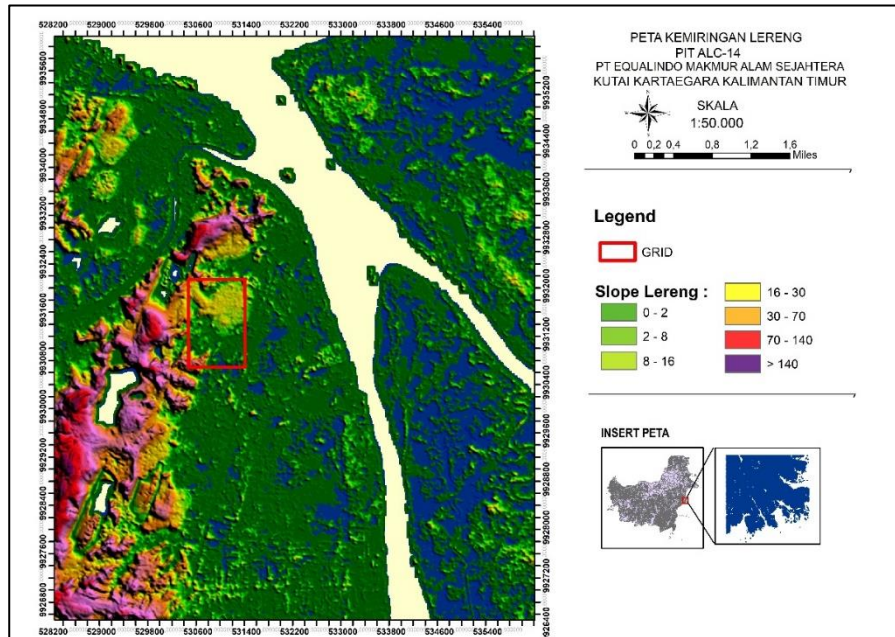
**Keyword:** slope, factor of safety, Bishop method, coal.

## PENDAHULUAN

PT. Equalindo Makmur Alam Sejahtera merupakan perusahaan operasional tambang batubara dengan sistem penambangan terbuka. Sistem penambangan ini berupa pemotongan bukit dari puncak menuju kaki bukit sesuai garis kontur dalam bentuk lereng berjenjang (*bench*) dengan kedalaman dangkal. Lokasi penambangan berada pada daerah rawa dan perbukitan bergelombang dengan kemiringan hingga >70% (Gambar 1). Lokasi ini berada pada Cekungan Kutai Formasi Balikpapan (Tmbp) yang tersusun atas perselingan batupasir dan batulempung (Sudirman dan Hidayat, 2015; Supriatna dkk., 1995). Kondisi daerah yang merupakan wilayah rawa dan perbukitan sangat beresiko menyebabkan terjadinya longsor (Zakaria dan Muslim, 2012). Untuk itu, perlu dipastikan kondisi lereng tetap stabil saat operasi penambangan berlangsung, khususnya pada dinding lereng *lowwall* dan *highwall Pit* lokasi penambangan.

Faktor keamanan (FK) adalah salah satu parameter dalam menganalisis kestabilan lereng. FK dapat ditentukan baik dengan metode kesetimbangan batas maupun dengan metode numerik (Huang, 2014). Metode kesetimbangan batas pada dasarnya adalah menentukan besar gaya penahan dan penggerak pada lereng berdasarkan kesetimbangan gaya dan/atau kesetimbangan momen. Metode yang cukup populer adalah Metode Bishop. Metode Bishop menggunakan prinsip kesetimbangan momen dengan memperhitungkan gaya normal antar irisan (Syafar dkk., 2017). Metode Bishop menghasilkan FK yang akurat dengan perhitungan yang lebih sederhana (Wesley, 2012, 2010) dan hasil perhitungan FK pada lereng di tambang batubara juga menghasilkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan metode lain yang turut memperhitungkan gaya geser antar irisan, seperti Metode Spencer dan Metode Morgenstern-Price (Azizi, 2014).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai FK pada lereng tambang *lowwall* dan *highwall Pit* ALC-14 dengan mengacu pada kriteria FK lereng stabil oleh Steffen dkk. (2008) dan Kepmen ESDM RI (2018) pada FK statis minimum. Parameter geometri lereng, sifat fisis dan sifat mekanik batuan penyusun lereng digunakan dalam perhitungan nilai FK. Desain lereng optimal akan diberikan pada FK lereng yang tidak memenuhi kriteria FK statis minimum.

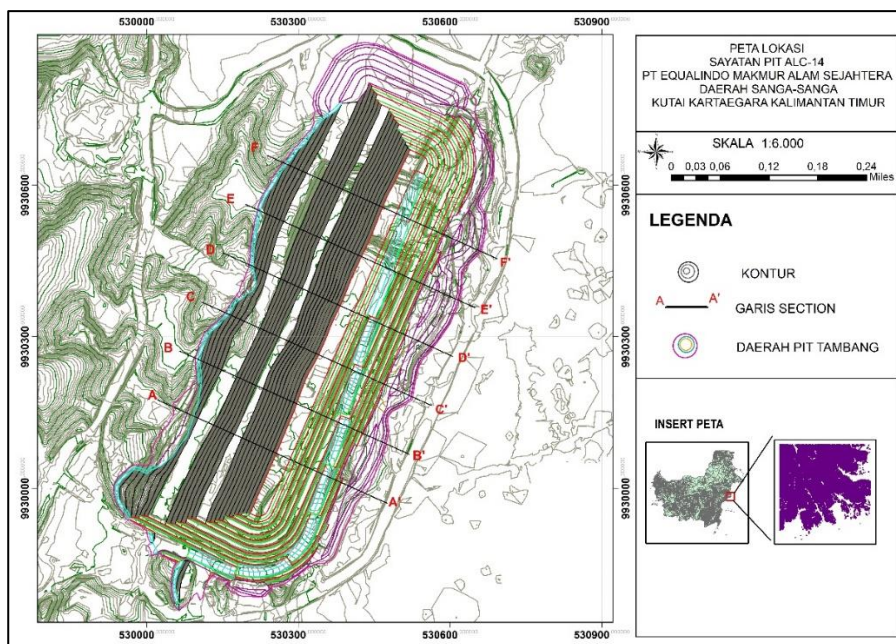


Gambar 1 Peta kelas lereng lokasi penambangan *Pit* ALC-14

## METODE PENELITIAN

### Tahapan Desain lereng dan deskripsi batuan penyusun lereng

Desain lereng dihasilkan melalui pembuatan sayatan yang mewakili kondisi aktual dinding lereng pada area *Pit* ALC-14. Sayatan dilakukan berarah Baratlaut-Tenggara memotong lereng *highwall* dan *lowwall* (Gambar 2). Data geometri lereng mencakup lebar *bench*, tinggi slope lereng, sudut kemiringan *single-slope* dan *overall-slope*.



Gambar 2 Sayatan lereng *Pit* ALC-14 pada lokasi penambangan

### Tahapan penentuan sifat fisik dan mekanik batuan penyusun lereng

Lapisan batubara pada lokasi penambangan hadir sebagai sisipan di antara perselingan batupasir dan batulempung. Kedudukan per lapisan berarah tenggara dengan kemiringan hingga 50°. Pada permukaan juga dijumpai tanah pucuk dengan ketebalan bervariasi hingga beberapa meter. Sifat fisik dan mekanik material penyusun lereng mencakup batuan dan tanah penutup yang mencakup kadar air, berat isi kering dan basah, serta kuat geser residual (Tabel 1). Kuat geser residual digunakan dengan asumsi kondisi lereng telah dipengaruhi oleh aktivitas penambangan.

**Tabel 1.** Sifat fisik dan mekanik batuan penyusun lereng

Lithology	Bobot isi		Kuat geser residual	
	Kering (kN/m <sup>3</sup> )	Basah (kN/m <sup>3</sup> )	φ (°)	C (kPa)
Tanah pucuk	20	21,79	27	20
Batubara	16	20,34	33	423,29
Batulempung	20	25	13,2	75
Batupasir	22	25	21,2	120

### Tahapan penentuan nilai FK lereng tambang

Perhitungan nilai FK dengan Metode Bishop didasarkan atas prinsip keseimbangan batas umum. Metode Bishop menggunakan prinsip kesetimbangan momen dengan mengabaikan perhitungan pada kesetimbangan gaya. Metode Bishop hanya memperhitungkan gaya normal antar irisan. Perhitungan ini menghasilkan fungsi FK yang tidak linear, sehingga solusi persamaan berupa fungsi iterasi (Azizi dkk., 2019). Persamaan FK pada Metode Bishop pada irisan ke-n dapat dinyatakan dalam bentuk berikut (Bishop, 1955; Wyllie, 2017):

$$f(FK) = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \alpha} (\sum (c \cdot b + (W - u \cdot b) \tan \varphi) \frac{\sec \alpha}{1 + \tan \alpha \cdot \tan \alpha / F}$$

Keterangan:

- FK : faktor keamanan
- c : kohesi material penyusun lereng
- b : lebar irisan
- W : gaya oleh berat material lereng
- u : tekanan air pori
- φ : sudut geser dalam material lereng
- α : sudut dasar irisan terhadap horizontal

## HASIL PENELITIAN

### Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng dilakukan pada keenam sayatan lereng (A-A' hingga F-F). Faktor Keamanan (FK) ditentukan dengan Metode Bishop dengan parameter utama berupa geometri lereng, bobot isi saat jenuh, dan parameter kuat geser residual material penyusun lereng. Lereng tersusun atas perselingan batupasir-batulempung dengan sisipan batubara. Pada permukaan juga dijumpai lapisan tipis tanah pucuk. Hasil rekapitulasi perhitungan (Tabel 2) menunjukkan keseluruhan lereng baik lereng *highwall* maupun *lowwall* cenderung stabil, khususnya pada lereng *highwall*. Lereng yang tidak stabil dijumpai setempat pada sayatan B-B' dan C-C', khususnya pada lereng *lowwall*. FK lereng *lowwall* pada sayatan B-B'



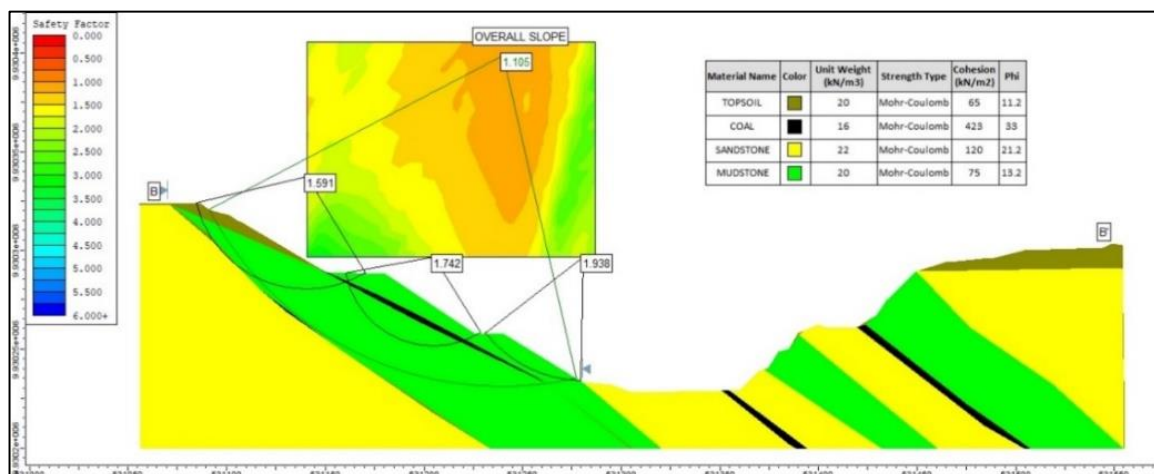
dan C-C' bernilai di bawah nilai ambang FK statis *overall slope* dengan resiko longsor rendah (Kepmen ESDM RI, 2018) dan tidak memenuhi batas ambang kriteria longsor (Steffen dkk., 2008). Untuk itu kedua lereng *lowwall* pada sayatan tersebut memerlukan desain lereng optimal.

**Tabel 2** Rekapitulasi Nilai FK statis aktual pada sayatan sepanjang *highwall-lowwall*

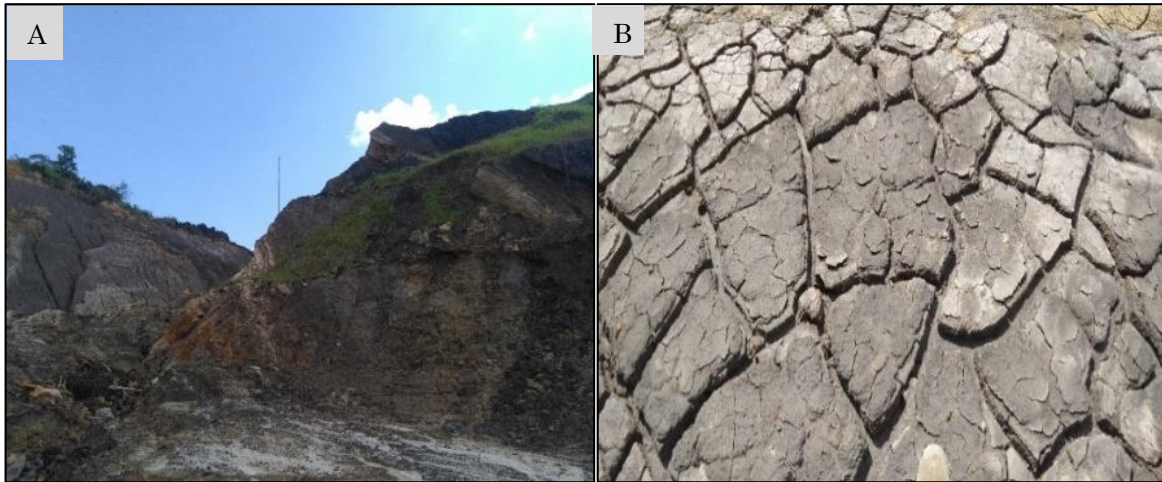
No	Sayatan	Nilai FK statis <i>Highwall</i>	Nilai FK statis <i>Lowwall</i>
1	A-A'	1.62	1.68
2	B-B'	1.44	1.10
3	C-C'	1.83	1.20
4	D-D'	1.70	1.73
5	E-E'	1.61	1.27
6	F-F'	3.69	1.53

### Sayatan B-B' sisi *lowwall*

Perhitungan FK pada ketiga lereng tunggal menunjukkan nilai pada kisaran 1,59 hingga 1,93. Bidang gelincir pada lereng tunggal berupa kontak perlapisan batubara-batulempung dan batupasir-batulempung (Gambar 3). Nilai FK rendah diperoleh pada analisis lereng keseluruhan sebesar 1,10. Tipe longsor yang berpotensi terjadi adalah longsor dalam berbentuk busur dengan bidang gelincir di sepanjang kontak batupasir-batulempung. Hal ini terjadi karena kontras nilai kuat geser pada kedua lapisan dan orientasi perlapisan yang searah dengan arah muka lereng. Hasil perhitungan juga didukung oleh kondisi muka lereng yang menunjukkan gradasi pelapukan dan *mudcrack* pada batulempung. Dijumpainya *mudcrack* pada batulempung juga mengindikasikan rendahnya durabilitas batuan dan mudahnya batulempung terdisintegrasi (Misbahudin dan Sadisun, 2019).



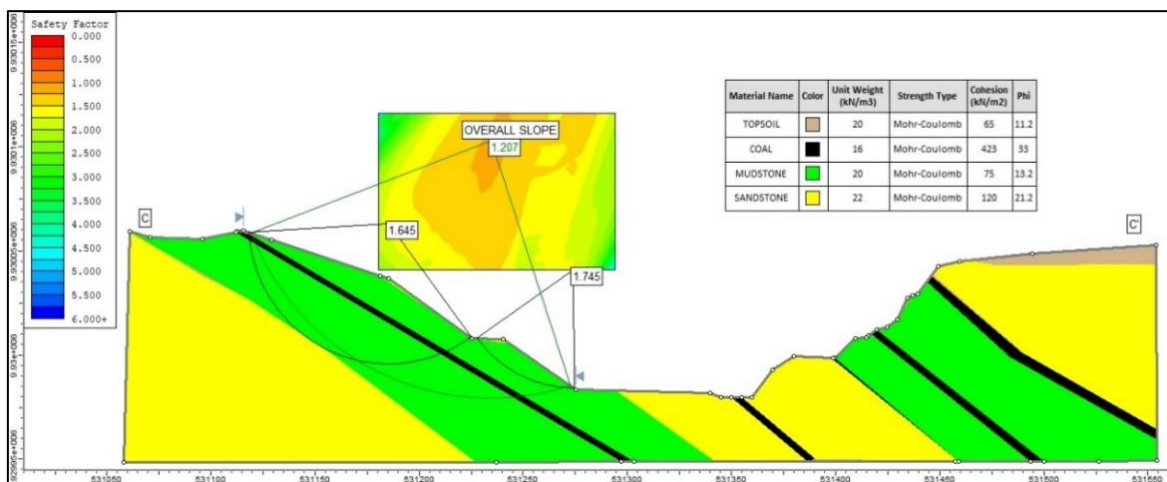
**Gambar 3** Hasil perhitungan FK pada lereng tunggal dan lereng keseluruhan pada sayatan B-B' sisi *lowwall*.



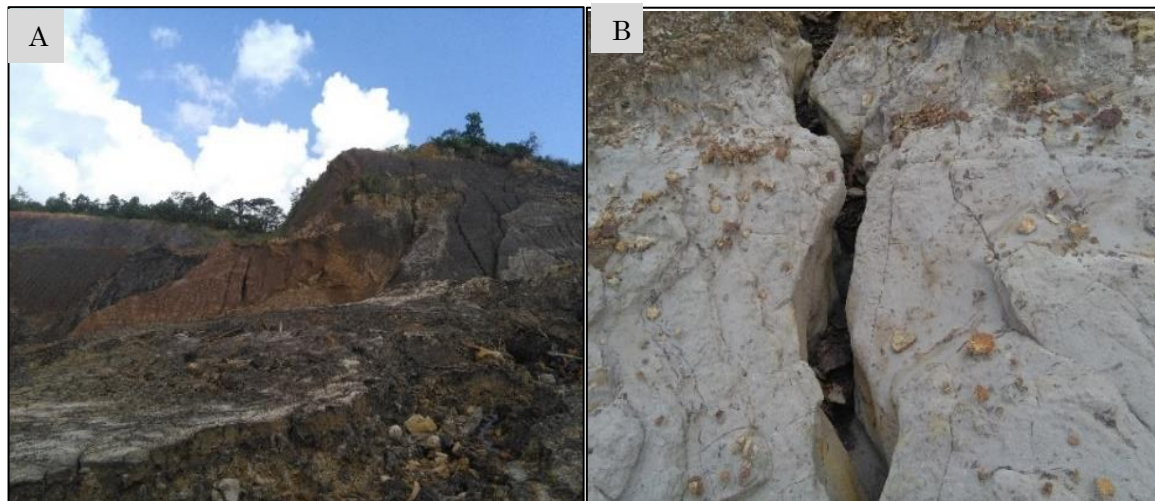
**Gambar 4** Singkapan dinding lereng *lowwall* pada sayatan B-B' yang menunjukkan kondisi *moderately weathered* (A), Rekahan *mudcrack* pada permukaan jenjang lereng yang tersusun atas batulempung (B).

#### Sayatan C-C' Sisi *Lowwall*

Seperti halnya pada lereng *lowwall* sayatan B-B', nilai FK pada ketiga lereng tunggal pada kisaran 1,64 hingga 1,74 dalam kategori stabil. Bidang gelincir pada lereng tunggal berupa kontak perlapisan batubara-batulempung. Pada analisis kestabilan lereng keseluruhan diperoleh nilai FK sebesar 1,20 (Gambar 5). Tipe longoran yang berpotensi terjadi adalah tipe longoran dalam berbentuk busur dengan bidang gelincir pada kontak batupasir-batulempung dengan orientasi perlapisan searah muka lereng. Selain geometri lereng dan orientasi perlapisan, kontras kuat geser batuan juga mempengaruhi rendahnya nilai FK pada lereng *lowwall* sayatan C-C'. Pada muka lereng juga banyak dijumpai rekahan, bahkan di beberapa titik di jenjang lereng dijumpai rekahan dengan *aperture* besar (Gambar 6).



**Gambar 5** Hasil perhitungan FK pada lereng tunggal dan lereng keseluruhan pada sayatan C-C' sisi *lowwall*.



**Gambar 6** Singkapan dinding lereng *lowwall* pada sayatan C-C' yang menunjukkan kondisi *moderately weathered* (A), Rekahan pada permukaan jenjang lereng yang tersusun atas batulempung (B).

### Optimalisasi Kestabilan Lereng *Lowwall*

Rendahnya nilai FK pada lereng *lowwall* sayatan B-B' dan C-C' menunjukkan ketidakstabilan lereng, sehingga perlu penanganan agar lereng menjadi stabil. Optimasi lereng dapat dilakukan dengan mengubah geometri lereng atau memberi perkuatan dan penyangga pada lereng (Arif, 2016). Pada lereng tambang, agar memastikan efisiensi proses penambangan, optimasi yang dilakukan dapat berupa perubahan geometri lereng (Azizi dkk., 2019)

Optimalisasi pada lereng *lowwall* sayatan B-B' dan C-C' dilakukan dengan mengubah kemiringan lereng pada tiap jenjang dan memperbesar lebar *bench*. Pada lereng *lowwall* sayatan B-B' perubahan geometri dilakukan pada kemiringan lereng tunggal dan lereng keseluruhan, sedangkan pada lereng *lowwall* sayatan C-C' perubahan geometri dilakukan dengan memperbesar lebar *bench* dan memperkecil kemiringan lereng keseluruhan (**Tabel 3**).

**Tabel 3** Perbandingan geometri lereng aktual dan desain pada lereng *lowwall*

Section	Geometri	Lebar Bench	Sudut Single Slope	Panjang Overall Slope	Sudut Overall Slope	FKstatis
B-B'	Aktual	20	32	109	33	1,10
C-C'		19	44	81	32	1,20
B-B'	Desain	29	37	135	20	1,74
C-C'		41	30	133	24	1,53

Hasil perhitungan menunjukkan nilai FK pada geometri desain lebih tinggi dibandingkan geometri lereng aktual dan telah memenuhi syarat batas FK statis yang diperuntukkan. Selama proses desain geometri lereng, perlu dilakukan pemantauan terhadap lereng *lowwall* pada sayatan B-B' dan C-C'. Pemantauan diperlukan karena dijumpainya *mudcrack* dan rekahan terbuka pada muka lereng. Selain itu, massa batuan penyusun lereng secara umum dalam kategori *moderately wheatered*.



## KESIMPULAN

Kestabilan lereng pada Pit ALC-14 tambang batubara PT. Equalindo Makmur Alam Sejahtera dikontrol oleh perlapisan batuan sedimen yang searah muka lereng dan kontras kuat geser pada kontak perlapisan batupasir dan batulempung. Nilai FK pada kestabilan lereng tunggal dalam kategori stabil, namun pada analisis lereng keseluruhan, nilai FK yang rendah dijumpai pada lereng *lowwall* sayatan B-B' dan C-C'. Optimalisasi desain geometri lereng dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan lereng agar memenuhi syarat FK statis minimum. Selain itu, pemantaun lereng juga diperlukan karena kehadiran *mudcrack* dan rekahan pada batulempung. Agar memenuhi standar FK minimum yang lebih komprehensif, diperlukan analisis FK dinamis dan uji statistik parameter input agar diperoleh probabilitas kelongsoran.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Irwan Topansari selaku Kepala Teknik Tambang PT. Equalindo dan Ibu Asri Pararak selaku Geologist PT. Equalindo, atas bantuan dalam mengumpulkan dan menganalisis data, serta skesediaan waktu untuk berdiskusi.

## PUSTAKA

- Arif, I., 2016. *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Azizi, M.A., 2014. *Pengembangan Metode Penentuan Reliabilitas Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara di Indonesia*. Disertasi, Institut Teknologi Bandung.
- Azizi, M.A., Hakim, R.N., Nugraha, A.D., 2019. *Optimalisasi geometri lereng tambang nikel menggunakan metode probabilistik pada Hill Pit 05 PT. Vale Indonesia Tbk, Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan*. Jurnal Geomine 7, 92–100. <https://doi.org/10.33536/jg.v7i2.344>
- Bishop, A.W., 1955. *The use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes*. Géotechnique 5, 7–17. <https://doi.org/10.1680/geot.1955.5.1.7>
- Huang, Y.H., 2014. *Slope Stability Analysis by the Limit Equilibrium Method: Fundamentals and Methods*. ASCE Press, Virginia. <https://doi.org/10.1061/9780784412886>
- Kepmen ESDM RI Nomor 1827 K/30/MEM/2018, Lampiran II (Pedoman Pengelolaan Teknis Pertambangan). Tentang Pedoman pelaksanaan kaidah teknik pertambangan yang baik.
- Misbahudin, Sadisun, I.A., 2019. *Karakterisasi Durabilitas Batulempung Menggunakan Uji Indeks Disintegrasi; Studi Kasus pada Lokasi Rencana Jalan Tol Cisumdawu di Daerah Ujungjaya, Sumedang, Jawa Barat*. Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi 10. <https://doi.org/10.34126/jlbg.v10i2.187>
- Steffen, O.K.H., Contretas, L.F., Terbrugge, P.J., Venter, J., 2008. *A Risk Evaluation Approach for Pit Slope Design*, in: 42nd U.S. Rock Mechanics - 2nd U.S.-Canada Rock Mechanics Symposium.
- Sudirman, M.R., Hidayat, R., 2015. *Studi Provenance Dan Granulometri Pada Singkapan Batupasir Formasi Balikpapan Pada Daerah Palaran Dan Sanga-Sanga, Cekungan Kutai, Kalimantan Timur*. Proceeding, Seminar Nasional Kebumihan 8, 727–743.
- Supriatna, S., Sukardi, Rustandi, E., 1995. *Peta Geologi Lembar Samarinda, Kalimantan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Syafar, Z., Djamaluddin, Anshariah, 2017. *Analisis kestabilan lereng dengan Metode Bishop pada penambangan nikel*. Jurnal Geomine 4, 90–93. <https://doi.org/10.33536/jg.v4i3.70>
- Wesley, L.D., 2012. *Mekanika Tanah: untuk tanah endapan dan residu*, 1 ed. Penerbit Andi, Yogyakarta.



- Wesley, L.D., 2010. *Geotechnical Engineering in Residual Soils*, 1 ed, Geotechnical Engineering in Residual Soils. John Wiley & Sons, New Jersey. <https://doi.org/10.1002/9780470943113>
- Wyllie, D.C., 2017. *Rock Slope Engineering*, 5 ed. CRC Press, Vancouver, Kanada. <https://doi.org/10.4324/9781315154039>
- Zakaria, Z., Muslim, D., 2012. *Koreksi SMR pada desain lereng tambang terbuka batubara pada Formasi Balikpapan dan Formasi Kampungbaru, Sangasanga, Kalimantan Timur*. Buletin Sumber Daya Geologi 7, 147–157. <https://doi.org/10.47599/bsdg.v7i3.115>