

**OPTIMISASI LERENG *HIGHWALL* TAMBANG BATUBARA TERBUKA SIKUI  
PROJECT AREA BERDASARKAN METODE KESETIMBANGAN BATAS  
MORGENSTERN PRICE**Hilfi Taufiqul Rahman<sup>1</sup>, Zufaldi Zakaria<sup>1</sup>, Ismawan<sup>1</sup>, Wawan Gunawan<sup>2</sup><sup>1</sup>Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, Bandung,<sup>2</sup>PT Mega Multi Energi., Barito Utara

\*Korespondensi: hilfitaufik@gmail.com

**ABSTRAK**

Pada kegiatan pertambangan, aspek yang perlu diperhatikan diantaranya adalah keselamatan dan produksi. Masalah yang sering timbul dalam proses penambangan metode tambang terbuka yaitu longsor. Rekayasa geoteknik diperlukan sebagai salah satu instrumen terlaksananya kedua aspek tersebut. Oleh karena itu, dilakukan analisis kestabilan lereng pada lereng *highwall* Pit X untuk mengoptimisasi kondisi aktual lereng apabila masih dalam kondisi stabil. Optimisasi ini bertujuan untuk meningkatkan produksi batubara dengan faktor keamanan yang stabil. Lokasi penelitian berada di Sikui, Kecamatan Teweh Baru, Kabupaten Barito Utara, Kalimantan Tengah. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode kesetimbangan batas Morgenstern – Price. Kriteria keruntuhan yang digunakan adalah *Mohr – Coloumb* dan *Generalized Hoek – Brown*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lereng *highwall* pada *section A – A'* dan *B – B'* dapat dilakukan optimisasi dengan melakukan penambahan *bench* serta perubahan sudut dan tinggi pada *bench* yang ada. Optimisasi dilakukan dengan menaikkan sudut dan ketinggian lereng pada setiap kondisi lereng yang dapat dilakukan optimisasi dengan acuan nilai faktor keamanan yang dihasilkan mendekati 1,25 dan berada dalam kondisi stabil sehingga dijadikan sebagai desain optimisasi lereng.

**Kata Kunci:** Kestabilan Lereng, Optimisasi, Faktor Keamanan, *Highwall*.**ABSTRACT**

*In mining activities, there are several aspects that need to be considered. This includes safety hazard and production. One of safety problems that might occur during open pit mining is landslide. This hazard would pose a risk to Employees safety and hinder mining production therefore, geotechnical engineering becomes necessary as a measure to these two considerations. Slope stability analysis was carried on Highwall of Pit X to optimize the actual slope condition to a safe, stable state. This optimization aims to increase coal production within the steady safety factor. This research placed in Sikui, Teweh Baru, North Barito, Central Kalimantan Province. The method in this research is limit equilibrium Morgenstern-Price with Mohr-Coloumb and Generalized Hoek-Brown failure criteria. Result shows that highwall slope of A – A` and B – B` section can be optimized by adding benches and changing the angle and height of the existing bench. Optimization was done by increasing the angle and height of the slope on every possible slope condition in consideration to the standard Safety Factor of 1,25 that indicates a stable and safe slope design.*

**Keywords:** Slope Stability, Optimization, Factor of Safety, *Highwall*

## 1. PENDAHULUAN

Menurut Pantelidis (2009) ketidakstabilan lereng merupakan salah satu potensi bahaya yang dapat terjadi di daerah pertambangan batubara terbuka. Lereng akan menjadi tidak stabil akibat sifat dari massa batuan dan faktor eksternal yang mempengaruhinya. Semakin dalam kegiatan penambangan dilakukan, maka akan mempengaruhi massa batuan pada lereng akibat kestabilannya berkurang sehingga dapat menyebabkan terjadinya tanah longsor.

Analisis kesetimbangan batas (*limit equilibrium*) merupakan salah satu cara yang dapat digunakan untuk mempelajari mengenai stabilitas lereng. Menurut Renani *et al* (2019), analisis kesetimbangan batas didasarkan pada keseimbangan gaya dalam massa batuan. Dari analisis tersebut potensi longsor pada lereng pertambangan dapat dikuantifikasi berdasarkan nilai faktor keamanan (FK) dari sebuah lereng (Chu *et al*, 2019).

Terdapat beberapa metode perhitungan yang dapat digunakan untuk menghitung faktor keamanan pada suatu lereng, salah satu metode yang digunakan yaitu metode kesetimbangan batas oleh Morgenstern Price (1965). Metode ini mempertimbangkan momen gaya dan gaya normal yang bekerja pada setiap irisan lereng. Dari nilai faktor keamanan pada sebuah lereng, peneliti dapat mengetahui apakah desain dari sebuah tambang yang dibuat dapat mendukung aktivitas kegiatan penambangan.

Informasi mengenai faktor keamanan sebuah lereng, dapat digunakan sebagai dasar untuk memberikan rekomendasi desain optimisasi pada lereng. Menurut Contreras (2015) desain lereng tambang yang optimal merupakan desain tambang yang dibuat seekonomis mungkin dalam perancangannya untuk mengurangi jumlah material yang tidak diinginkan (*waste*) dalam proses operasi penambangan.

Dengan berubahnya nilai komoditas batubara seiring waktu dan meningkatnya biaya penambangan, optimisasi lereng tambang menjadi kegiatan yang dinilai semakin penting (Evin *et al*, 2015).

Daerah penelitian terletak pada Tambang Sikui *Project Area* Pit "X", Kabupaten Barito Utara, Provinsi Kalimantan Tengah. Pada area tambang ini belum dilakukan kegiatan optimisasi lereng. Oleh karena itu, pada studi ini peneliti akan melakukan optimisasi berdasarkan data litologi pengeboran yang didukung oleh data hasil pemetaan lapangan. Dari data – data tersebut, peneliti membuat sebuah model penampang berdasarkan kondisi topografi aktual yang dapat dianalisis kestabilan lerengnya, lalu peneliti akan membuat rekomendasi optimisasi berdasarkan data yang telah ada.

## 2. GEOLOGI REGIONAL

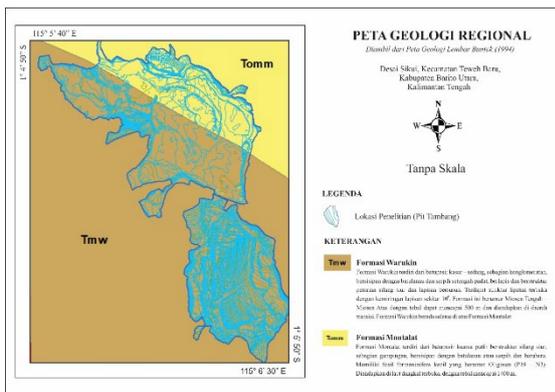
### a. Fisiografi

Lokasi penelitian secara geologi terletak di Cekungan Barito, Kalimantan Tengah, yang termasuk ke dalam Lembar Buntok dalam Peta Geologi Regional Indonesia. Secara tektonik Cekungan Barito berada pada batas bagian tenggara dari Schawaner *Shield*, Kalimantan Selatan. Cekungan ini dibatasi oleh Tinggian Meratus pada bagian timur dan pada bagian utara terpisah dengan Cekungan Kutai, ke selatan dibatasi Laut Jawa dan ke barat dibatasi oleh Paparan Sunda (Kusuma dan Nafi, 1986)

Cekungan Barito merupakan cekungan asimetrik, memiliki cekungan depan (*foredeep*) pada bagian paling Timur dan berupa platform pada bagian Barat. Cekungan Barito mulai terbentuk pada Kapur Akhir, setelah tumbukan (*collision*) antara *microcontinent* Paternoster dan Baratdaya Kalimantan (Metcalf, 1996; Satyana, 1996).

## b. Stratigrafi Regional

Pembagian stratigrafi regional dapat memberikan informasi mengenai urutan pembentukan formasi pada daerah penelitian. Penyajian stratigrafi regional biasanya diurutkan dari yang umur yang paling tua ke umur yang paling muda. Berdasarkan geologi regional lembar Buntok (Soetrisno *et al*, 1994). Daerah penelitian memiliki beberapa formasi dengan urutan tua ke muda yaitu Formasi Montalat dan Formasi Warukin.



Gambar 1. Geologi Regional Daerah Penelitian (Soetrisno *et al*, 1994)

Formasi Montalat (Tomm) terdiri dari batupasir kuarsa putih berstruktur silang siur, sebagian gampingan, bersisipan dengan batulanau atau serpih dan batubara. Memiliki fosil foramanifera kecil antara lain, *Globergerina venezuelana*, *Globigerina tripartita*, *Globigerina selli*, *Globigerina praebulloides*, *Globergerina angustumbilicata*, *Globigerina officinalis suboptima*, *Globigerina sp*, *Globigerina spp*, *Globorotalia opima*, *Globorotalianana* dan *Casigerinella chipolensis* yang berumur Oligosen (P19 – N3). Diendapkan di laut dangkal terbuka, dengan tebal mencapai 1400 m. Formasi ini menjemari Formasi Berai dan selaras diatas Formasi Tanjung. Memiliki jenis lipatan yang mirip dengan Formasi Tanjung tetapi sedikit lebih terbuka. Sebaranya menempati morfologi perbukitan (Soetrisno *et al*, 1994).

Formasi Warukin (Tmw) terdiri dari batupasir kasar – sedang, sebagian

konglomeratan, bersisipan dengan batulanau dan serpih setengah padat, berlapis dan berstruktur perarian silang siur dan lapisan bersusun. Terdapat struktur lipatan terbuka dengan kemiringan lapisan sekitar 10<sup>0</sup>. Formasi ini berumur Miosen Tengah – Miosen Atas dengan tebal dapat mencapai 500 m dan diendapkan di daerah transisi (Soetrisno *et al*, 1994).

Table 1. Kolom Stratigrafi Lembar Buntok (Soetrisno *et al*, 1994)

Masa	Zaman	Kala	Endapan Permukaan	Batuan Sedimen	Batuan Gunungapi	Batuan Terobosan				
Keneozoikum	Kuartar	Holosen	Qa	TQd						
			Pliosen				Akhir			
							Tengah			
		Awal								
		Tersier	Miosen				Akhir	Tmw		
							Tengah			
	Awal									
	Oligosen		Tomm							
	Mesozoikum	Kapur	Akhir		Kap	Kvh	Kgr			
								Awal		
			Paleosen		Tet					

Keterangan:

= Stratigrafi Daerah Penelitian

## 3. TINJAUAN PUSTAKA

Kestabilan lereng dapat didefinisikan sebagai ketahanan blok di atas suatu permukaan miring (diukur dari garis horisontal) terhadap runtuh (*collapsing*) dan gelinciran (*slidding*) (Kliche, 1999). Dalam hal ini permukaan tanah yang memiliki kemiringan terhadap garis horisontal disebut lereng, baik alami maupun buatan manusia. Karena lereng tidak horisontal, melainkan membentuk sudut, akan timbul suatu gaya penggerak akibat adanya gravitasi dan cenderung membuat blok di atas permukaan miring tersebut bergerak menuruni lereng. Jika gaya penggerak tersebut sangat besar dan kekuatan geser dari material penyusun lereng relatif kecil dapat terjadi longsoran (Terzaghi dan Peck, 1967).

Dalam Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia No 1827 K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik, Analisis Kestabilan Lereng dilakukan berdasarkan lampiran II poin 4 yang berkaitan dengan Pemanfaatan Teknologi, Kemampuan Rekayasa, Rancang Bangun, Pengembangan dan Penerapan Teknologi Pertambangan, No 25 mengenai Lereng Penambangan yang menyatakan “Dalam hal ditemukan kondisi geologi yang belum teridentifikasi dalam kajian geoteknik sebelumnya maka perlu dilakukan :

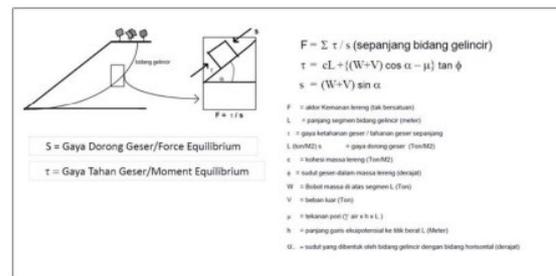
- Langkah pengamanan terhadap lereng.
- Meningkatkan intensitas pemantauan pergerakan lereng
- Memastikan kestabilan lereng dan tindak lanjut hasil pemantauan
- Membuat kajian geoteknik lanjutan yang sewaktu – waktu dapat diperiksa oleh Inspektur Tambang.”

Oleh karena itu, diperlukan kajian analisis kestabilan lereng pada setiap proses penambangan. Analisis kestabilan lereng yang dilakukan dapat memberikan nilai *safety factor* atau faktor keamanan (FK) dan Probabilitas Kelongsoran (PK) dari berbagai parameter dan metode yang digunakan. Hasil analisis dapat memberikan acuan mengenai kondisi lereng tambang yang aman dan layak untuk dilakukan proses penambangan dan dilakukan optimisasi pada lereng.

**a. Metode Kesetimbangan Batas**

Metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) merupakan metode yang sering digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng tipe rotasional dan translasional. Pada metode ini faktor keamanan dapat dihitung dengan menggunakan kesetimbangan gaya, kesetimbangan momen atau menggunakan kedua kondisi kesetimbangan tersebut, tergantung dengan metode perhitungan yang dipakai.

Konsep dasar dari metode LEM adalah menghitung rasio perbandingan antara gaya penahan (*moment equilibrium*) dan gaya pendorong (*force equilibrium*). Kondisi kesetimbangan (*equilibrium*) didapat ketika rasio nilai perbandingan tersebut adalah 1. Jika nilainya kurang dari 1, maka gaya pendorong lebih besar daripada gaya penahan, sedangkan jika nilai lebih dari 1 maka gaya penahan lebih besar daripada gaya pendorong.



**Gambar 2.** Perhitungan Dasar Nilai Faktor Keamanan Lereng (Zakaria, 2010)

Rasio nilai perbandingan tersebut kemudian menjadi acuan untuk menilai kestabilan suatu lereng, yang dikenal dengan *Safety Factor* / Faktor Keamanan (FK). Nilai FK digunakan untuk mengetahui apakah lereng tersebut bersifat stabil, kritis atau labil.

**Tabel 2.** Nilai Faktor Keamanan Lereng (Modifikasi Bowles, 1989 dalam Zakaria, 2011)

Nilai Faktor Keamanan	Kejadian / Intensitas Longsor
FK < 1.07	Longsor Terjadi Biasa / Sering (Labil)
1.07 < FK < 1.25	Longsor Pernah Terjadi (Kritis)
FK > 1.25	Longsor Jarang Terjadi (Stabil)

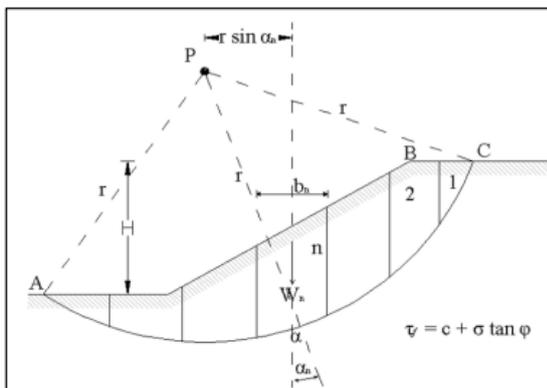
Rumus perhitungan LEM pertama kali dikenalkan dalam perhitungan metode Fellenius (*Ordinary*), yang kemudian berkembang terus sehingga terdapat beberapa metode, diantaranya metode Janbu, metode Bishop, metode Spencer, metode Morgenstern-Price, dan lainnya. Perbedaan-perbedaan yang terdapat pada tiap metode adalah pada rumus-rumus yang berpengaruh terhadap detail gaya yang dihitung. Metode yang peneliti pilih dalam penelitian ini adalah metode Morgenstern-Price.

• **Metode Morgenstren – Price**

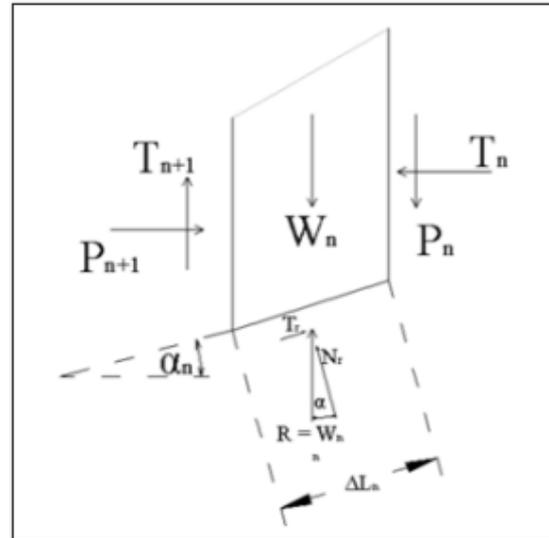
Metode Morgenstern-Price merupakan metode LEM yang memperhitungkan gaya penahan (*moment equilibrium*) dan gaya pendorong (*force equilibrium*). Untuk gaya *interslice*, metode ini memperhitungkan normal dan *shear interslice force*. Metode Morgenstern Price merupakan metode yang mempertimbangkan semua aspek *equilibrium* dan gaya *interslice*, sehingga dinilai sebagai metode yang paling teliti dan akurat dalam melakukan analisis kestabilan lereng (Malkawi *et al.*, 2000).

Dalam menganalisis stabilitas lereng menggunakan metode kesetimbangan batas Morgenstern – Price diperlukan metode irisan untuk mendapatkan hasil faktor keamanan lereng. Berdasarkan kondisi kesetimbangan yang dapat dipenuhi, metode irisan dapat dikelompokkan menjadi dua kategori, diantaranya:

1. Metode yang tidak memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan momen antara lain Metode Irisan Biasa, Metode Bishop yang Disederhanakan dan Metode Janbu yang Disederhanakan
2. Metode yang memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan momen antara lain Metode Spencer, Metode Mosgenstern – Price dan Metode Kesetimbangan Batas.



Gambar 3. Ilustrasi Irisan Untuk Metode Morgenstren – Price



Gambar 4. Ilustrasi Gaya yang Bekerja Pada Metode Morgenstren – Price

Metode irisan dapat dijelaskan pada Gambar 3, dimana AC adalah busur lingkaran yang mewakili gambaran percobaan permukaan gelincir. Material diatas permukaan gelincir dibagi menjadi beberapa irisan tegak. Lebar dari masing – masing irisan tidak perlu sama. Satuan panjang dari irisan harus tegak lurus dengan penampang yang ditunjukkan, gaya yang bekerja pada setiap irisan (irisan ke-n) ditunjukkan pada Gambar 4.  $W_n$  adalah berat dari irisan.  $\Delta L_n$  adalah selisih panjang irisan. Masing – masing gaya  $N_r$  dan  $T_r$  adalah gaya normal dan tangensial dari hasil reaksi  $R$ .  $P_n$  dan  $P_{n+1}$  adalah gaya normal yang bekerja pada sisi – sisi irisan. Demikian pula  $T_n$  dan  $T_{n+1}$  merupakan gaya geser yang bekerja pada sisi–sisi irisan. Untuk menyederhanakan, tekanan air pori diasumsikan nol, untuk menentukan gaya  $P_n$ ,  $P_{n+1}$ ,  $T_n$ , dan  $T_{n+1}$  kita dapat membuat perkiraan asumsi bahwa hasil dari gaya  $P_n$  dan  $T_n$  adalah sama dengan besaran hasil dari  $P_{n+1}$  dan  $T_{n+1}$  (Das, 2002).

**4. METODE PENELITIAN**

Pada penelitian ini, objek penelitian yaitu kondisi aktual lereng *highwall* Pit “X” dan variabel yang berpengaruh terhadap kestabilan lereng tersebut, meliputi geometri, sifat fisik dan mekanik,

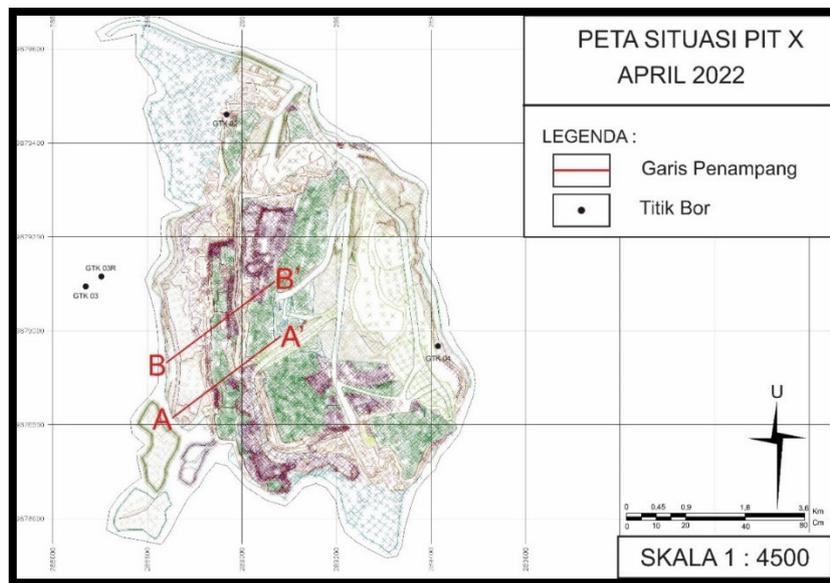
serta kondisi hidrogeologi daerah penelitian. Data yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas data pengamatan lapangan, topografi aktual, *material properties* batuan dan lokasi titik bor serta pengukuran muka air tanah.

Analisis kestabilan lereng yang dilakukan menggunakan metode kesetimbangan batas / *Limit Equilibrium* terhadap kondisi lereng aktual *highwall* Pit “X”. Nilai *material properties* yang beragam disesuaikan dengan jenis dan karakteristik material penyusun lereng. Setelah dilakukan analisis dengan metode ini, barulah dapat ditentukan nilai faktor keamanan (FK) lereng dan dapat dilakukan perancangan desain lereng yang optimal.

Analisis kestabilan lereng merupakan hasil dari keseluruhan tahapan yang telah dilakukan, menghasilkan desain lereng yang memenuhi kriteria nilai  $FK > 1.25$  (stabil) (Modifikasi Bowles, 1989 dalam Zakaria, 2011).

### 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan dengan menganalisis kestabilan model berdasarkan topografi aktual Pit “X”. Gambar 5 menunjukkan peta situasi progress Pit “X” per April tahun 2022 serta garis penampang yang dinamakan sebagai *Section A – A’* dan *Section B – B’*. Kedua penampang ini merupakan lokasi dilakukannya analisis kestabilan lereng pada zona *highwall*.



Gambar 5. Peta Situasi Pit “X” serta Penampang A – A’ dan B – B’

#### Section A – A’

Kondisi aktual lereng *highwall section* A – A’ memiliki ketinggian lereng 32,5 meter dengan sudut lereng keseluruhan sebesar  $15^{\circ}$ . Terbagi menjadi 3 *bench*, *bench* pertama memiliki sudut sebesar  $41^{\circ}$  dengan tinggi lereng 19 meter. *Bench* kedua memiliki sudut  $37^{\circ}$  dengan tinggi

lereng 10,5 meter. *Bench* ketiga memiliki sudut  $30^{\circ}$  dengan tinggi lereng 9 meter. Perhitungan kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas Morgenstren – Price menghasilkan nilai FK pesimis lereng sebesar 2,637 pada *section* A – A’.

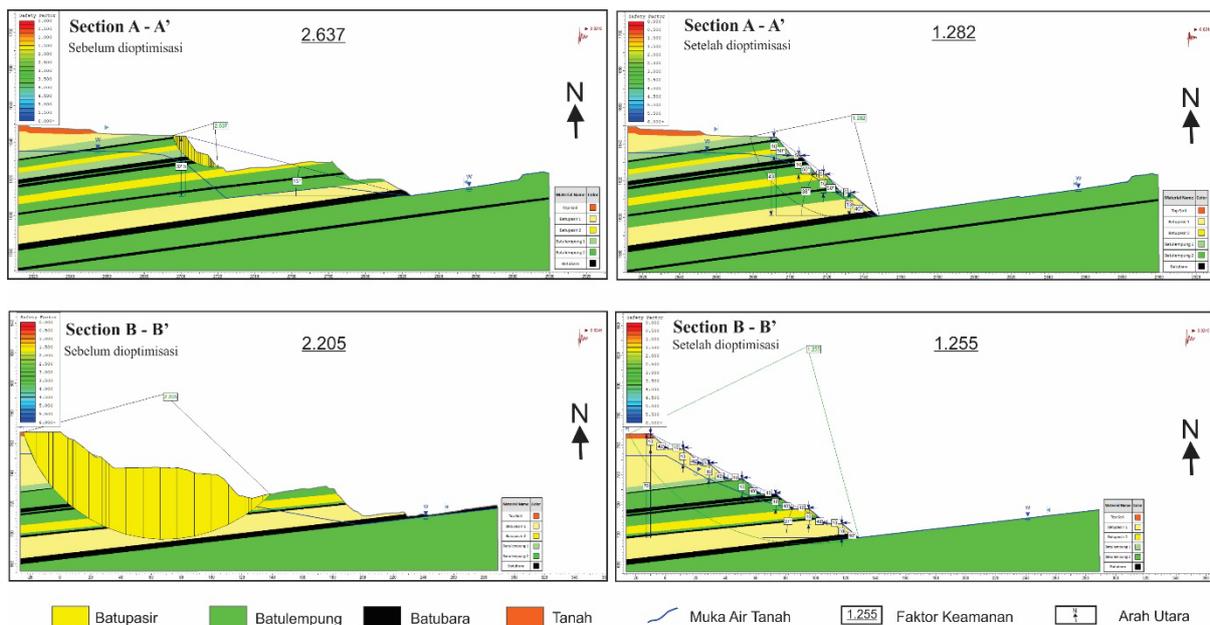
Proses optimisasi pada lereng *highwall* section A – A’ dilakukan dengan menambah *bench* pada lereng menjadi 4 *bench* yang memiliki *single slope* 50° pada *bench* pertama sampai ketiga dan 40° pada *bench* terakhir. Tinggi *bench* dibuat 10 meter untuk *bench* pertama sampai ketiga dan 13 meter untuk *bench* terakhir. Lebar *bench* yang digunakan yaitu 5 meter sehingga menghasilkan lereng dengan nilai FK sebesar 1,282. Pengoptimisasian ini menghasilkan ketinggian lereng sebesar 43 meter dengan sudut lereng keseluruhan setelah dioptimisasi lebih tegak dibanding sudut kondisi aktual, dimana sudut sebelumnya memiliki nilai 15° berubah menjadi 38° setelah dioptimisasi. Hasil analisis dapat dilihat pada gambar 6.

### Section B – B’

Kondisi aktual lereng *highwall* section B – B’ memiliki ketinggian lereng 56 meter dengan sudut lereng keseluruhan sebesar 14°. Terbagi menjadi 3 *bench*, *bench* pertama memiliki sudut sebesar 35° dengan tinggi lereng 24 meter. *Bench*

kedua memiliki sudut 33° dengan tinggi lereng 16 meter. *Bench* ketiga memiliki sudut 39° dengan tinggi lereng 20 meter. Perhitungan kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas Morgenstren – Price menghasilkan nilai FK pesimis lereng sebesar 2,205 pada section B – B’.

Proses optimisasi pada lereng *highwall* section B – B’ dilakukan dengan menambah *bench* pada lereng menjadi 7 *bench* yang memiliki *single slope* 40° pada semua *bench*. Seluruh *bench* memiliki tinggi *bench* 10 m dan lebar *bench* umumnya 10 m. Namun terdapat satu *bench* yang dibuat dengan lebar *bench* 5 m. Nilai FK yang dihasilkan sebesar 1,255. Pengoptimisasian ini menghasilkan ketinggian lereng sebesar 70 meter dengan sudut lereng keseluruhan setelah dioptimisasi lebih tegak dibanding sudut kondisi aktual, dimana sudut sebelumnya memiliki nilai 14° berubah menjadi 27° setelah dioptimisasi. Hasil analisis dapat dilihat pada gambar 6.



**Gambar 6.** Kondisi Lereng Sebelum Dioptimisasi (Kiri) dan Setelah Dioptimisasi (Kanan). Nilai Faktor Keamanan (FK) Setelah Dioptimisasi Masih Dikategorikan Stabil Berdasarkan Bowles (1989), yaitu >1,25.

## KESIMPULAN

Nilai faktor keamanan lereng pada *section* A – A' sebelum dioptimisasi adalah 2,637 dan pada *section* B – B' 2,205. Kedua nilai faktor keamanan dari tiap lereng dinilai stabil dan nilai faktor keamanan masih cukup jauh dari standar Bowles (1989) ( $>1,25$ ) sehingga penulis dapat mengoptimisasi kembali desain lereng. Optimisasi yang di rekomendasikan adalah membuat 4 *bench* yang memiliki *single slope*  $50^{\circ}$  pada *bench* pertama sampai ketiga dan  $40^{\circ}$  pada *bench* terakhir. Tinggi *bench* dibuat 10 meter untuk *bench* pertama sampai ketiga dan 13 meter untuk *bench* terakhir dengan lebar *bench* yang digunakan yaitu 5 meter untuk *section* A – A'. Pada desain ini menghasilkan pengekan sudut menjadi  $23^{\circ}$  lebih tegak, namun masih dikategorikan stabil berdasarkan Bowles (1989). Untuk *section* B – B' optimisasi yang di rekomendasikan adalah membuat 7 *bench* yang memiliki *single slope*  $40^{\circ}$  pada semua *bench*. Seluruh *bench* memiliki tinggi *bench* 10 m dan lebar *bench* umumnya 10 m. Namun terdapat satu *bench* yang dibuat dengan lebar *bench* 5 m. Pada desain ini menghasilkan pengekan sudut menjadi  $13^{\circ}$  lebih tegak, namun masih dikategorikan stabil berdasarkan Bowles (1989). Dengan melakukan optimisasi melalui penegakan lereng, jumlah material tak diinginkan yang terambil akan berkurang. Berkurangnya material yang tidak diinginkan akan membuat desain lereng memiliki nilai ekonomis yang lebih dikarenakan pengupasan tidak dilakukan sebanyak kondisi lereng sebelumnya.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada pihak PT Mega Multi Energi, khususnya kepada Bapak Wawan Gunawan yang telah mengizinkan untuk penggunaan data pada penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E. 1989. *Physical and Geotechnical Properties of Soils 2*. New York : McGraw-Hill Book Company, hal 576.
- Contreras, L. F. (2015). An economic risk evaluation approach for pit slope optimization. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 115(7), 607–622. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2015/v115n7a7>.
- Chu, Xuesong., Li, Liang., Cheng, Yungming. (2019). Risk Assessment of Slope Failure Using Assumption of Maximum Area of Sliding Mass and Factor of Safety Equal to Unit. *Advances in Civil Engineering*, vol. 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/6268079>
- Das, Braja. 2002. *Soil mechanics laboratory manual*. 6<sup>th</sup> Edition. Oxford University Press, 277 p.
- Evin, G., Henriquez, F., & Ugorets, V. 2015. Pit slope optimization based on hydrogeologic inputs. *Proceedings of the 24th International Mining Congress of Turkey, IMCET 2015*, 588–597
- Kementerian ESDM. 2018. Kepmen 1827/K/30/MEM/2018. *Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan*. Jakarta
- Kliche, Charles. A. 1999. *Rock Slope Stability*. The Society for Mining, Metallurgy. London. England.
- Kusuma, M.I. dan Nafi, A.N. 1986. Prospek hidrokarbon Formasi Warukin di Cekungan Barito Kalimantan. *Kumpulan Makalah Pertemuan Ilmiah Tahunan XIV IAGI, Jakarta*. p.105 – 124.

- Malkawi, A., Hassan, W., & Abdulla, F. 2000. *Uncertainty and reliability analysis applied to slope stability*. Structural Safety Volume 22 Issue 2, 161-187.
- Metcalf, I., 1996. *Pre-Cretaceous evolution of S.E. Asian terranes*. In: Hall, R., Blundell, D. (Eds.). *Tectonic evolution of Southeast Asia*. Geological Society of London Special Publication 106, pp. 97-122.
- Pantelidis, L. 2009. Rock slope stability assessment through rock mass classification systems. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46(2), 315–325. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2008.06.003>
- Renani, H.R., & Martin, C. D. 2019. Slope Stability Analysis using Equivalent Mohr–Coulomb and Hoek–Brown criteria. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s00603-019-01889-3>
- Satyana, A.H., Idris, R., 1996. Chronology and intensity of the Baritoupilits, S.E. Kalimantan: a geochemical constraint and windows of opportunity. *Proceedings of the Indonesian Petroleum Association, 25<sup>th</sup> Annual Convention, Jakarta, p. 207*
- Soetrisno, Supriatna, S., Rustandi, E., Sanyoto, P., Hasan, K. 1994. *Peta Geologi Lembar Buntok, Kalimantan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Terzaghi, K. And Peck, R.B. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley and Sons. Inc. USA 2<sup>nd</sup> Edition.
- Zakaria, Z. 2011. *Analisis Kestabilan Lereng Tanah*. Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, 40 hal.