



Optimalisasi Geometri Lereng Tambang Nikel Menggunakan Metode Probabilistik Pada Hill Pit 05, PT Vale Indonesia Tbk, Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan

Masagus Ahmad Azizi^{1}, Romla Noor Hakim², Aldi Dwi Nugraha¹*

- 1. Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Universitas Trisakti, Indonesia*
 - 2. Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Indonesia*
- *masagus.azizi@trisakti.ac.id*

SARI

PT Vale Indonesia Tbk melakukan evaluasi disain lereng awal dalam upaya memastikan lereng dalam kondisi stabil dan tidak berpotensi longsor dengan cara melakukan optimalisasi geometri lereng tunggal dan keseluruhan. Adapun metode yang digunakan mencakup metode uji baik suai untuk mengkarakterisasi data, metode kesetimbangan batas "Bishop Disederhanakan" untuk menentukan nilai faktor keamanan (FK), serta metode Probabilistik dengan menggunakan metode *Sampling* Monte Carlo untuk memperbanyak data serta menentukan nilai probabilitas kelongsoran (PK). Hasil uji baik suai didapatkan untuk batuan limonit, jenis distribusi yang paling baik untuk bobot isi adalah lognormal, kohesi adalah gamma dan sudut gesek dalam adalah normal. Sedangkan pada batuan saprolit, jenis distribusi yang paling baik untuk bobot isi adalah normal, kohesi adalah gamma dan sudut gesek dalam adalah normal. Hasil optimalisasi geometri lereng tunggal dengan tinggi lereng 10 meter dengan sudut lereng 60°, menghasilkan nilai FK 1,52 dan PK 23,9%. Hasil evaluasi disain awal lereng keseluruhan section I – I' didapatkan tinggi lereng 58,6 meter dengan sudut lereng 22° menghasilkan nilai FK 1,09 dan PK 52,7%. Setelah dilakukan redisain didapatkan tinggi lereng 57,7 meter dengan sudut lereng 19° menghasilkan nilai FK 1,36 dan PK 14,5%.

Kata kunci: Kestabilan Lereng; Metode Kesetimbangan Batas Bishop Disederhanakan; Tambang Nikel

ABSTRACT

PT Vale Indonesia Tbk evaluates the initial slope design in an effort to ensure the slope is stable and has no potential for landslides by optimizing the single and overall slope geometry. The method used includes a good test method to characterize data, the "Bishop Simplified" border equilibrium method for determining the safety factor value (SoF),

How to Cite: 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(2): 92-100.

Published By:

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Muslim Indonesia

Address:

Jl. Urip Sumoharjo Km. 05
Makassar, Sulawesi Selatan

Email:

geomine@umi.ac.id

Article History:

Submited 12 Juni 2019
Received from 16 Juni 2019
Accepted 02 Agustus 2019

Lisensec By:

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



and the Probabilistic method using the Monte Carlo Sampling method to multiply data and determine the probability of sliding (PoS). Good test results were obtained for limonite rocks, the best type of distribution for content weights is lognormal, cohesion is gamma and the internal friction angle is normal. Whereas in saprolite rocks, the best type of distribution for fill weight is normal, cohesion is gamma and the inner friction angle is normal. The results of the optimization of a single slope geometry with a slope height of 10 meters with a slope angle of 60 °, resulting in a FK value of 1.52 and a PK of 23.9%. The evaluation results of the initial design of the overall slope of section I - I' obtained a height of 58.6 meters slope with a slope angle of 22 ° resulting in a FK value of 1.09 and PK of 52.7%. After redesigning it was found that the slope height was 57.7 meters with a slope angle of 190 resulting in a FK value of 1.36 and a PK of 14.5%.

Keywords: Slope stability, "Bishop Simplified" Boundary Equilibrium Method, Nickel Mine.

PENDAHULUAN

PT Vale Indonesia Tbk merupakan perusahaan tambang penghasil bijih nikel terbesar di Indonesia, yang terletak di daerah Sorowako, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Sistem penambangan terbuka yang diterapkan adalah sistem konvensional (truk dan *shovel*) dengan menggunakan metode *Open Cast Mining*, yakni dengan cara memotong bagian sisi bukit dari puncak menuju ke bawah sesuai dengan garis konturnya dengan kedalaman penggalian dangkal (maksimum 20-30 meter). Pengupasan atau pemotongan bukit dibuat dalam bentuk jenjang (*bench*). Agar jenjang-jenjang tersebut dapat dipastikan dalam kondisi stabil, maka perlu dianalisis agar tidak terjadi longsoran saat kegiatan operasi penambangan berlangsung.

Cara yang paling sering dilakukan untuk menganalisa kestabilan lereng adalah dengan perhitungan Faktor Keamanan (FK), yang dapat ditentukan menggunakan sejumlah metode seperti metode kesetimbangan batas (MKB) dan metode numerik (MN). MKB terdiri atas beberapa metode turunan, antara lain: ordinary, Janbu, Bishop Disederhanakan, Spencer, Sarma, Morgenster-Price, dan lain-lain. Penelitian ini menggunakan metode kesetimbangan batas "Bishop Disederhanakan" mengingat material lereng yang dikaji merupakan bijih nikel yang kekuatannya hampir mendekati sifat tanah.

Perkembangan penggunaan metode probabilistik yang cukup pesat dalam 10 tahun terakhir juga turut mendukung bagi para ahli geoteknik dalam memberikan rekomendasi kestabilan suatu lereng, yakni dengan menambahkan probabilitas kelongsoran (PK) sebagai indikator kestabilan lereng selain FK. Selain itu juga ada tambahan analisis sensitivitas yang sangat membantu para ahli geoteknik dalam melakukan mitigasi pengelolaan lereng. Konsep probabilistik didasarkan adanya variasi data secara aktual.

Mengingat data parameter masukan berupa data sifat fisik dan mekanik batuan bijih nikel bervariasi, maka data tersebut dilakukan proses karakterisasi untuk mendapatkan nilai yang representatif yang digunakan dalam disain lereng. Secara prinsip data memiliki karakter yang diwakili oleh jenis distribusi. Pemilihan jenis distribusi yang tidak tepat, maka dapat menyebabkan kesalahan dalam rancangan disain lereng. Oleh sebab itu parameter data yang bervariasi harus dilakukan uji baik suai (*fitting test*) guna memberikan gambaran mengenai tingkat ketidakpastian data dan keterwakilannya.

METODOLOGI

Faktor Keamanan

Faktor Keamanan (FK) lereng adalah rasio antara resultan gaya-gaya penahan terhadap gaya-gaya penggerak, yang dapat dijabarkan dalam persamaan berikut:

$$FK = \frac{s}{\tau} = \frac{\text{Gaya penahan}}{\text{Gaya penggerak}} \quad (1)$$

Secara teoritis, nilai FK lereng dalam kondisi stabil jika $FK > 1$, kritis jika $FK = 1$, dan tidak stabil jika $FK < 1$.

Metode Bishop Disederhanakan

Metode Bishop Disederhanakan merupakan salah satu metode kesetimbangan batas yang digunakan untuk menghitung nilai FK pada analisis kestabilan lereng. Metode ini menggunakan prinsip kesetimbangan momen dan tidak memperhitungkan kesetimbangan gaya, juga memperhitungkan gaya normal antar irisan namun tidak memperhitungkan gaya geser antar irisan. Rumus Bishop disederhanakan adalah:

$$FK = \frac{\sum [C b + (W_n - U b n) \cdot \tan \phi] \frac{\sec \alpha n}{1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha n}{FK}}}{\sum W_n \sin \alpha} \quad (2)$$

Keterangan:

- FK = Faktor Keamanan
- C = Kohesi material batuan
- b = Lebar irisan
- W = Gaya yang diberikan oleh beban tanah
- u = Tekanan air pori
- ϕ = Sudut gesek dalam
- α = Sudut antara bidang dasar irisan terhadap bidang horizontal
- n = Jumlah irisan

Pendekatan Probabilistik

Metode Probabilistik merupakan suatu cara menganalisa kestabilan lereng dengan pendekatan yang mempertimbangkan setiap variasi yang ada pada parameter geoteknik, sehingga setiap parameter tersebut mempunyai peluang yang sama untuk mempengaruhi nilai Faktor Keamanan (FK).

Banyaknya variasi nilai parameter masukan juga menghasilkan variasi nilai FK, sehingga dari hasil analisis kestabilan lereng ada 2 nilai FK yaitu FK deterministik dan FK rata-rata. Bila parameter masukan memiliki jenis distribusi yang berbeda, maka menilai kestabilan lereng lebih tepat menggunakan nilai FK rata-rata. Konsep probabilitas (PK) didasarkan adanya variasi nilai FK. Konsep PK dapat dibaca lebih rinci pada tulisan Hoek (2007), Steffen, dkk (2008), dan Azizi (2014).

Dalam konsep probabilistik, lereng dinyatakan stabil bila memenuhi kriteria ambang batas (*acceptance criteria*) FK dan PK. Wesseloo & Stacey (2009) telah membuat kriteria ambang batas kestabilan lereng tambang terbuka dengan ketentuan sebagai berikut:

- Lereng terbagi atas 3 kategori, yakni lereng tunggal, *interramp*, dan keseluruhan.
- Kestabilan lereng dipertimbangkan dari 3 faktor, yakni faktor dampak, nilai FK & PK.
- Faktor dampak terdiri atas 3 level, yakni rendah, sedang dan tinggi. Lereng dinyatakan memiliki dampak tinggi bila di atas lereng terdapat fasilitas yang memungkinkan orang banyak berkumpul, dan/atau ada data historikal lereng yang menunjukkan deformasi yang tinggi

Selanjutnya kriteria ambang batas kestabilan lereng Wesseloo & Stacey (2009) diadopsi dalam Lampiran II Kepmen ESDM RI nomor 1827 tahun 2018 tentang Pedoman Pengelolaan Teknis Pertambangan. Dalam penelitian ini, faktor dampak lereng adalah rendah. Untuk lereng tunggal menggunakan FK minimum 1,1 dan PK maksimum 25%, sedangkan lereng keseluruhan menggunakan FK minimum 1,3 dan PK maksimum 15%.

Uji Baik Suai (Fitting Test)

Uji baik Suai merupakan proses pengkarakterisasian data guna mendapatkan jenis distribusi teoritis yang paling cocok dengan data empirik. Prinsip uji baik suai adalah

menentukan selisih jarak paling kecil antara frekuensi data empirik dengan distribusi teoritis. Pada penelitian ini digunakan metode *Chi-Squared*, yakni dengan membuat distribusi data dalam bentuk selang atau diagram batang, dan selanjutnya menentukan selisih jarak terkecil dengan sejumlah distribusi teoritis. Berikut perhitungan nilai parameter *Chi-Squared*:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(N_i - E_i)^2}{E_i} \quad (3)$$

Keterangan:

K = Jumlah Bin atau selang

N_i = Jumlah sampel observasi dalam bin ke- i

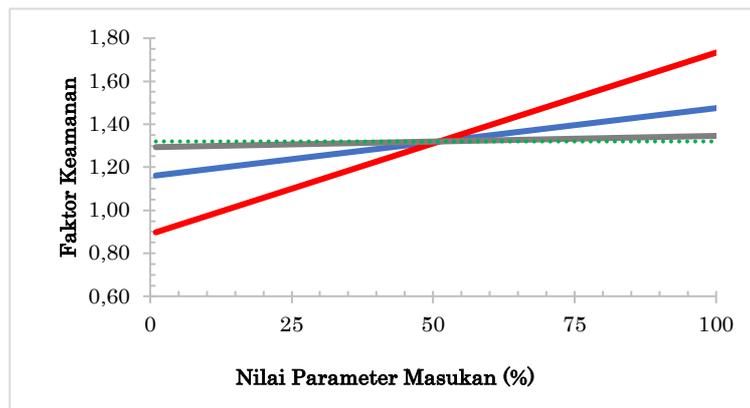
E_i = Jumlah sampel ekspektasi dalam bin ke- i

Penelitian mengenai uji baik suai sudah dilakukan dalam penelitian terdahulu oleh Azizi dkk (2011) dan Azizi dkk (2013).

Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas merupakan salah satu perangkat penting dalam konsep probabilistik, yang digunakan untuk mengidentifikasi parameter masukan yang berperan penting dalam menurunkan nilai FK atau parameter yang paling sensitif.

Identifikasi tersebut dilakukan dengan cara mengkonversikan semua nilai parameter dalam persen, dan menggambarkan dalam grafik hubungan antara persen nilai parameter terhadap nilai parameter masukan.



Gambar 1. Konsep Analisis Sensitivitas

HASIL DAN DISKUSI

Parameter Masukan

Terdapat tiga material pada daerah *Nickel Hill 05*, yaitu limonit, saprolit dan batuan dasar (*bedrock*). Limonit dan saprolit merupakan material yang mengandung bijih nikel yang memiliki kekuatan hampir mendekati tanah (lunak), sedangkan *bedrock* merupakan batuan dasar yang sangat keras.

Mengingat data sifat fisik dan mekanik dari material limonit dan saprolit bervariasi, maka terlebih dahulu dilakukan uji baik suai (*fitting test*) menggunakan metode *Chi-squared* untuk mendapatkan jenis distribusi yang paling sesuai dengan data empirik. Setelah variasi data digambarkan dalam bentuk diagram batang (*histogram*), maka diperoleh 3 jenis distribusi yang paling mungkin sesuai dengan data empirik, yakni distribusi normal, lognormal, dan gamma. Proses uji baik suai dilakukan menggunakan aplikasi *mathlab*.

Hasil Uji Baik Suai

Hasil uji baik suai pada material Limonit didapatkan jenis distribusi yang paling sesuai untuk bobot isi, kohesi dan sudut gesek dalam masing-masing adalah lognormal,

gamma dan normal. Sedangkan pada material saprolit didapatkan jenis distribusi yang paling sesuai untuk bobot, kohesi dan sudut gesek dalam masing-masing isi adalah normal, gamma dan normal.

Namun menjadi persoalan saat data hasil uji baik suai tersebut dimasukkan ke dalam aplikasi Geostudio 2007 yang menerapkan konsep probabilistik, yang terbatas hanya ada 2 jenis distribusi yang tersedia dalam aplikasi tersebut, yakni distribusi normal dan lognormal. Pada hasil uji baik suai terdapat 2 parameter yang menghasilkan jenis distribusi Gamma, yaitu kohesi dari Limonit dan Kohesi dari Saprolit. Berdasarkan hasil uji baik suai, pada jenis distribusi kohesi dari limonit didapatkan jenis distribusi terbaik ke-2 yaitu jenis distribusi lognormal, dan pada kohesi dari saprolit yaitu jenis distribusi normal.

Setelah mendapatkan jenis distribusi terbaik untuk seluruh parameter baik pada batuan limonit dan saprolit, maka secara otomatis masing-masing batuan memiliki nilai rata-rata, varians, nilai minimum serta maksimum. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai standar deviasi, koefisien variasi (KV) dan penentuan tingkat ketidakpastian data. Menurut Hoek (2007), nilai KV dibawah 10% mengindikasikan tingkat ketidakpastian data rendah, nilai KV antara 5%-25% mengindikasikan tingkat ketidakpastian data sedang, dan nilai KV di atas 25% mengindikasikan tingkat ketidakpastian data tinggi. Lebih rinci mengenai uji baik suai bisa dibaca di Azizi dkk (2013) dan Azizi (2014).

Tabel 1. Parameter Masukan Material Limonit

Parameter	Bobot Isi (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	ϕ (Derajat)
Jenis Distribusi	Lognormal	Lognormal	Normal
Rata-rata	17,19	41,14	15,7
Varians	4,93	712,25	20,4
Standar Deviasi	2,22	26,69	4,5
Minimum	12,86	8,83	7,8
Maksimum	22,22	89,53	24,7
KV	13%	65%	29%
Tingkat Ketidakpastian	Sedang	Tinggi	Sedang

Tabel 2. Parameter Masukan Material Saprolit

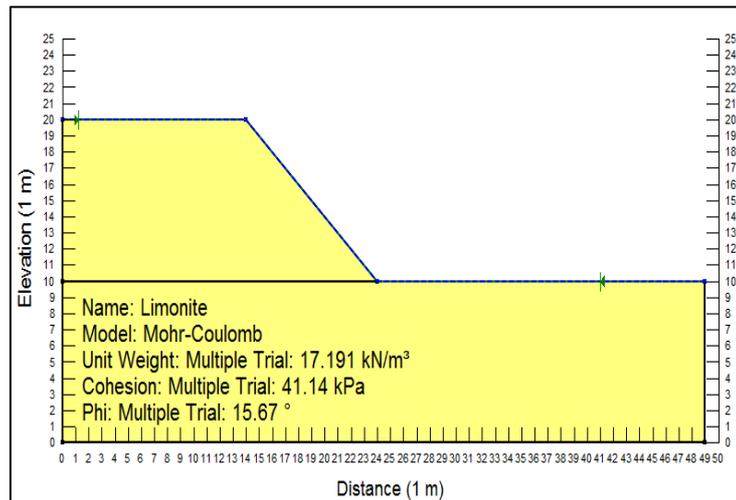
Parameter	Bobot Isi (kN/m ³)	Kohesi (kPa)	ϕ (Derajat)
Distribusi	Normal	Lognormal	Normal
Rata-rata	15,77	38,06	12,6
Varians	1,03	1396,19	10,2
Standar Deviasi	1,01	37,37	3,2
Minimum	13,76	6,86	7,3
Maksimum	18,26	75,51	19,4
KV	6%	98%	25%
Tingkat Ketidakpastian	Rendah	Tinggi	Sedang

Tabel 1 dan 2 merupakan parameter masukan batuan limonit dan saprolit berdasarkan hasil uji baik suai yang digunakan untuk disain lereng tunggal dan keseluruhan.

Analisis Disain Lereng Tunggal

Analisis disain lereng tunggal dilakukan untuk menentukan nilai FK dan PK lereng tunggal baik pada batuan limonit maupun saprolit. Namun pada penelitian ini, analisis disain lereng tunggal hanya dilakukan pada material limonit, karena dianggap sebagai material yang paling dominan dan paling kritis pada lereng keseluruhan, sehingga bisa juga dianggap sebagai acuan dalam penentuan geometri lereng untuk material saprolit. Lereng

tunggal ini dibuat sebagai acuan untuk lereng keseluruhan. Simulasi disain lereng tunggal menggunakan variasi sudut lereng 40°, 45°, 50°, 56°, 60° dan 65° dengan tinggi lereng 10 meter. Simulasi dilakukan dengan bantuan aplikasi Geostudio 2007 yang menggunakan prinsip metode kesetimbangan batas “Bishop Disederhanakan” (Gambar 2 menggambarkan contoh disain lereng tunggal).



Gambar 2. Desain Lereng Tunggal

Tabel 3 menjelaskan hasil analisis kestabilan lereng tunggal dengan variasi sudut lereng 35 hingga 60° dengan ketinggian lereng tetap yakni 10 meter. Lereng stabil pada sudut lereng sama dengan atau di bawah 37° yang mengacu pada kriteria ambang batas Kepmen ESDM RI no 1827 tahun 2018. Sudut dan tinggi lereng tunggal yang optimal adalah 37° dan 20 meter dengan nilai FK dan PK masing-masing adalah 1,58 dan 23,6°. Selanjutnya hasil disain lereng tunggal ini digunakan untuk merancang lereng keseluruhan.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Lereng Tunggal

Sudut Lereng (°)	Tinggi Lereng (m)	FK	PK (%)
60	10	1,09	58,2
56	10	1,18	51,4
50	10	1,33	39,3
45	10	1,39	36,6
40	10	1,53	27,9
38	10	1,57	26,4
37	10	1,58	23,6
35	10	1,64	20,6

Penampang Kritis

Data penampang kritis diperoleh dari hasil sayatan aplikasi Vulcan 7.5, yang memperlihatkan kenampakan perlapisan material *Nickel Hill Pit 05* secara aktual serta plan-nya. Penentuan lokasi sayatan ini ditentukan berdasarkan tingkat kedalaman yang paling besar dari permukaan tanah. Untuk selanjutnya penampang kritis ini dinamakan penampang I-I' (Gambar 3).

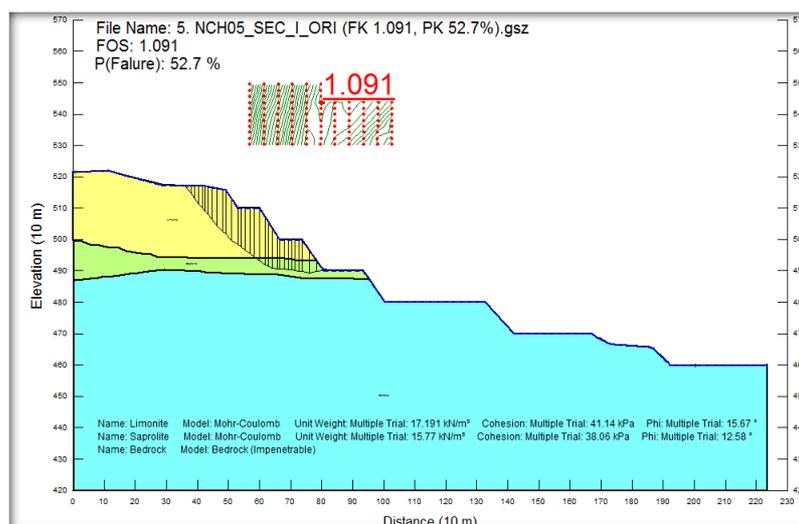


Gambar 3. Lokasi Penampang Kritis (Tampak Atas)

Analisis Disain Lereng Keseluruhan Penampang I – I'

Analisis disain lereng keseluruhan dilakukan dengan cara melakukan evaluasi terhadap disain lereng awal menggunakan metode kesetimbangan batas “Bishop Disederhanakan” dengan bantuan aplikasi Geostudio 2007, yang dibuat dengan cara mentransformasi penampang hasil dari *software* Vulcan 7.5 menjadi *region*. Setelah itu dilakukan pemasukan nilai sifat fisik dan mekanik material hasil uji baik suai.

Desain lereng yang dinyatakan stabil adalah desain yang memenuhi kriteria ambang batas Kepmen ESDM RI no 1827 tahun 2018. Mengingat pada lokasi lereng ini tidak terdapat fasilitas kantor atau tempat berkumpulnya karyawan tambang dan tidak ada riwayat kejadian longsor, sehingga kategori konsekuensi kegagalan yang digunakan adalah rendah. Nilai FK dan PK ambang batas yang digunakan masing-masing adalah FK minimum 1,3 dan PK maksimum 15%. Hasil analisis lereng keseluruhan pada penampang I-I' memberikan nilai FK dan PK masing-masing adalah 1,09 dan 52,7% atau dengan kata lain lereng dalam kondisi tidak stabil, sehingga perlu dilakukan redisain (Gambar 4).



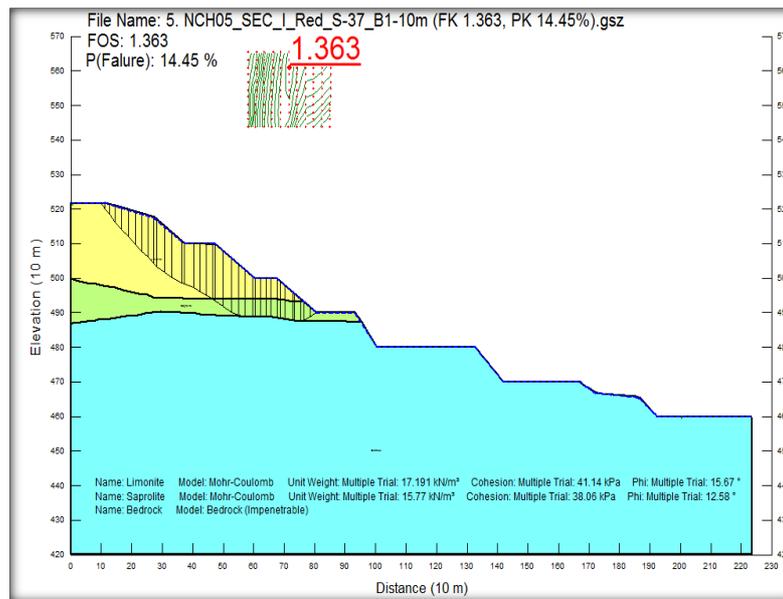
Gambar 4. Desain Lereng Awal Penampang I-I'

Upaya modifikasi disain lereng pada penampang I-I' dilakukan dengan tahapan berikut:

1. Melandaikan semua sudut lereng dari 56° menjadi 37° pada *Bench* 1 yang berada di level +520 mdpl hingga +510 mdpl sampai dengan *Bench* 3 yang berada di level +500 mdpl hingga +490 mdpl.

- Memperpanjang lebar *berm* dari 7 meter menjadi 17 meter pada *Bench* 1 yang berada di level +510 mdpl.

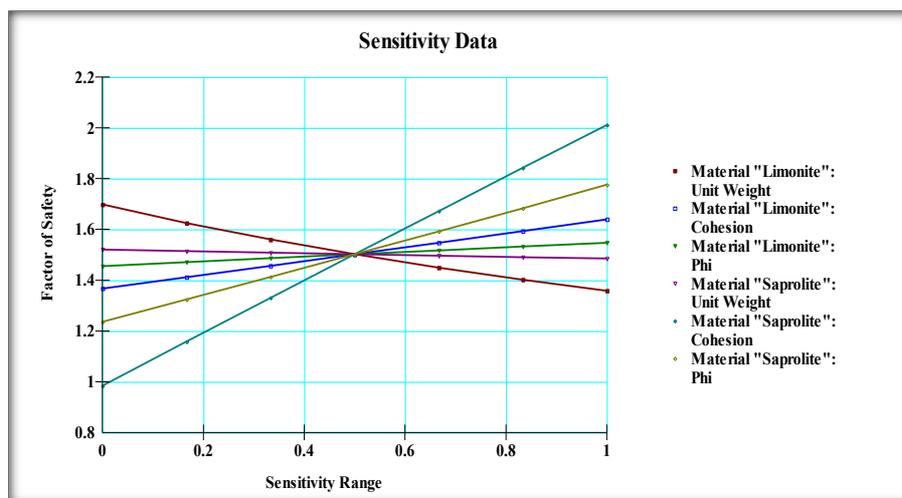
Hasil redisain lereng keseluruhan penampang I-I' menghasilkan nilai FK dan PK masing-masing adalah 1,36 dan 14,5% atau dengan kata lain lereng sudah dalam kondisi stabil (Gambar 5).



Gambar 5. Hasil Redisain Lereng *Section I-I'*

Analisis Sensitivitas *Section I – I'*

Penentuan parameter mana yang paling berpengaruh dilakukan dengan cara melihat garis parameter yang paling curam terhadap garis horizontal, analisis sensitivitas ini dilakukan pada desain yang sudah direkomendasikan atau sudah memenuhi kriteria ambang batas, hasil dari analisis sensitivitas akan dipaparkan Gambar 6 berikut:



Gambar 6. Analisis Sensitivitas *Section I-I'*

Gambar 6 menjelaskan hasil analisis sensitivitas lereng pada section I – I' memperlihatkan parameter kohesi saprolit merupakan parameter yang paling sensitif dalam menurunkan nilai FK. Hal ini berarti data parameter kohesi saprolit harus dapat dipastikan sudah optimal baik dari sisi kecukupan data maupun pengolahan datanya.

KESIMPULAN

- Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian sebagai berikut:
- Geometri lereng tunggal yang paling optimal adalah tinggi 10 meter dan sudut lereng 37° yang memberikan nilai FK dan PK masing-masing sebesar 1,58 dan 23,6%.
 - Hasil analisis desain awal pada penampang I – I' menunjukkan lereng dalam kondisi tidak stabil, sehingga perlu dilakukan Redesain.
 - Hasil analisis kestabilan lereng keseluruhan redesain pada penampang I-I' memberikan nilai FK 1,36 dan PK 14,5% dengan tinggi lereng 57,7 meter, dan sudut lereng keseluruhan 19° .
 - Hasil Analisis Sensitifitas penampang I – I' menunjukkan parameter kestabilan lereng yang paling berpengaruh adalah kohesi saprolit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Vale Indonesia yang telah memfasilitasi tim peneliti dalam pengambilan data.

PUSTAKA

- Azizi, M.A, Handayani, Harminuke. 2011. Karakterisasi Parameter Masukan Untuk Analisis Kestabilan Lereng Tunggal (Studi Kasus di PT Bukit Asam Persero, Tbk). Seminar Nasional AVOER ke-3, Palembang.
- Azizi, M.A., Kramadibrata, S., Wattimena, R.K., Sidi, Indra., Adriansyah, Yan. (2012). Analisis Risiko Kestabilan Lereng Tambang Terbuka (Studi Kasus Tambang Mineral X) Geotechnical Superintendent PT Newmont Nusa Tenggara.
- Azizi, M. A., Kramadibrata, S., Wattimena, R. K., Sidi, I. D. (2013, January 1). Characterization of the Distribution of Physical and Mechanical Properties of Rocks at the Tutupan Coal Mine, South Kalimantan, Indonesia. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.
- Azizi, M.A. 2014. Pengembangan Metode Penentuan Reliabilitas Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Batubara di Indonesia. *Disertasi*. Institut Teknologi Bandung.
- Hoek, E. 2007. *Practical Rock Engineering, Course Notes & Books*, Rocscience corner, <https://www.rocscience.com/learning/hoeks-corner/course-notes-books>
- Hoek, E. & J. W. Bray. 1981. *Rock Slope Engineering, Revised Third Edition*, The Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Lampiran II (Pedoman Pengelolaan Teknis Pertambangan). 2018. Kepmen ESDM RI Nomor 1827 K/30/MEM/2018 Tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik.
- Steffen, O. K. H., Contreras, L. F., Terbrugge, P. J., & Venter, J. (2008, January 1). A Risk Evaluation Approach for Pit Slope Design. American Rock Mechanics Association
- Wesseloo & Stacey. P. 2009. *Open Pit Slope Design*. CSIRO Publishing, Australia.