



Optimalisasi Faktor Keamanan Lereng Deterministik dengan Menggunakan *Critical Failure Surface* pada Slide 6.0

Optimalization of Deterministic Safety Factor Using Critical Failure Surface in Slide 6.0

Hifni Satria Muwaffaqi

¹Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, KESDM
Email: muwaffaqis@yahoo.com

INFO ARTIKEL

Kata Kunci:

Kestabilan lereng, model statis, faktor keamanan, bidang gelincir.

ABSTRAK

Salah satu tujuan dari analisis kestabilan lereng tambang adalah untuk membuat lereng tambang yang aman pada saat proses penambangan. Hasil dari analisis kestabilan lereng umumnya dinyatakan dalam indeks faktor keamanan (*Safety Factor*) dan probabilitas kelongsoran (PK). Untuk menghitung faktor keamanan (FK) lereng menggunakan Metode Keseimbangan Batas yang memerlukan berbagai asumsi, salah satunya adalah letak bidang gelincir pada lereng. Bidang gelincir tersebut akan dibagi menjadi beberapa irisan yang kemudian dihitung faktor keamanannya. Lereng yang akan dianalisis memiliki geometri lebar jenjang 6.6 meter, tinggi 10 meter, dan sudut kemiringan jenjang 50° . Terdapat *ramp* dengan lebar 30.384 meter, tinggi *ramp* 10 meter, dan kemiringan jenjang *ramp* 50° . Didapatkan tinggi *overall slope* 173.454 meter. Permasalahannya adalah hasil analisis yang tidak mewakili lereng keseluruhan sehingga perlu adanya optimasi penentuan bidang gelincir melalui penambahan irisan hingga 45 irisan dalam satu bidang gelincir. Dari hasil optimasi luas bidang gelincir didapatkan $FK = 1.141$ dan $PK = 7\%$.

Keywords:

Slope stability, static model, factor of safety, slip surface.

One of the objectives of mine slope stability analysis is to create a safe mine slope during the mining process. The results of slope stability analysis are generally expressed in the factor of safety index and the probability of failure (PoF). Calculating the safety factor (FoS) for slopes using the Limit Equilibrium Method requires various assumptions, one of which is the location of the slip surface on the slope. The slip surface area will be divided into several slices and then the safety factor will be calculated. The slope that will be analysed has a geometric bench width of 6.6 meters, a bench height of 10 meters, and a slope angle of 50°. There is a ramp with a width of 30,384 meters, a ramp height of 10 meters, and a ramp slope of 50°. The overall slope height is 173,454 meters. The problem is that the analysis results do not represent the overall slope, so it is necessary to optimize the determination of the slip surface failure by adding slices of up to 45 slices in one slip surface. From the results of the optimization of the slip surface area, $FoS = 1,141$ and $PoF = 7\%$.

1. PENDAHULUAN**1.1. Latar Belakang**

Salah satu tujuan dari analisis kestabilan lereng tambang adalah untuk membuat lereng tambang yang aman pada saat proses penambangan. Hasil dari analisis kestabilan lereng umumnya dinyatakan dalam indeks faktor keamanan (*factor of safety*) dan probabilitas kelongsoran (Duncan, *et al.*, 2014). Penambahan beban pada lereng dan perubahan kekuatan geser material sewaktu-waktu dapat menyebabkan perubahan nilai faktor keamanan

lereng (Duncan, *et al.*, 2014). Faktor keamanan lereng dihitung berdasarkan jumlah gaya penahan dibagi dengan jumlah gaya pendorong (Duncan, *et al.*, 2014). Apabila nilai $FK > 1$, maka jumlah gaya penahan lebih banyak daripada gaya pendorong sehingga lereng dinyatakan stabil. Sedangkan, jika nilai $FK < 1$, maka jumlah gaya pendorong lebih besar daripada gaya penahan yang mengakibatkan lereng longsor (Arif, 2016). Menurut Pratama *et al* (2014), rancangan geoteknik lereng biasanya dinyatakan dalam bentuk parameter-parameter

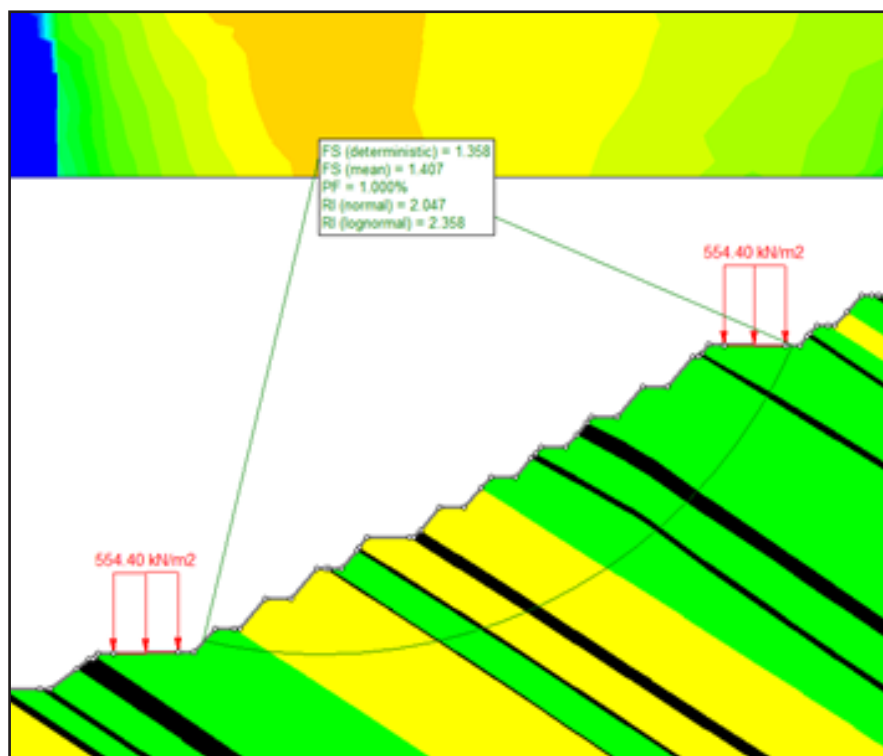
di antaranya:

- Lereng yang terlalu tinggi cenderung mudah longsor dibanding lereng yang tidak terlalu tinggi dengan jenis material yang sama.
- Semakin besar sudut kemiringan lerengnya maka lereng tersebut semakin tidak stabil.
- Semakin lebar *berm*, maka lereng akan semakin stabil.

Faktor-faktor tersebut perlu dipertimbangkan untuk meminimalisir kemungkinan kelongsoran. Longsor dapat terjadi karena terganggunya *state of equilibrium* lereng akibat pengaruh gaya-gaya yang berasal

dari dalam lereng seperti gaya gravitasi bumi, tekanan air pori dalam tanah atau lereng, dan gaya dari luar lereng seperti *ground vibration* dan beban kendaraan (Amri, *et al.*, 2021). Oleh karena itu, faktor-faktor ini perlu mendapatkan perhatian agar kondisi lereng dapat dijaga kestabilannya (Arif, 2016).

Dalam melakukan analisis kestabilan lereng, umumnya digunakan Metode Kestimbangan Batas (*limit equilibrium method*) yang mengasumsikan lereng tidak mengalami deformasi dan *displacement*, sehingga untuk mendapatkan nilai faktor

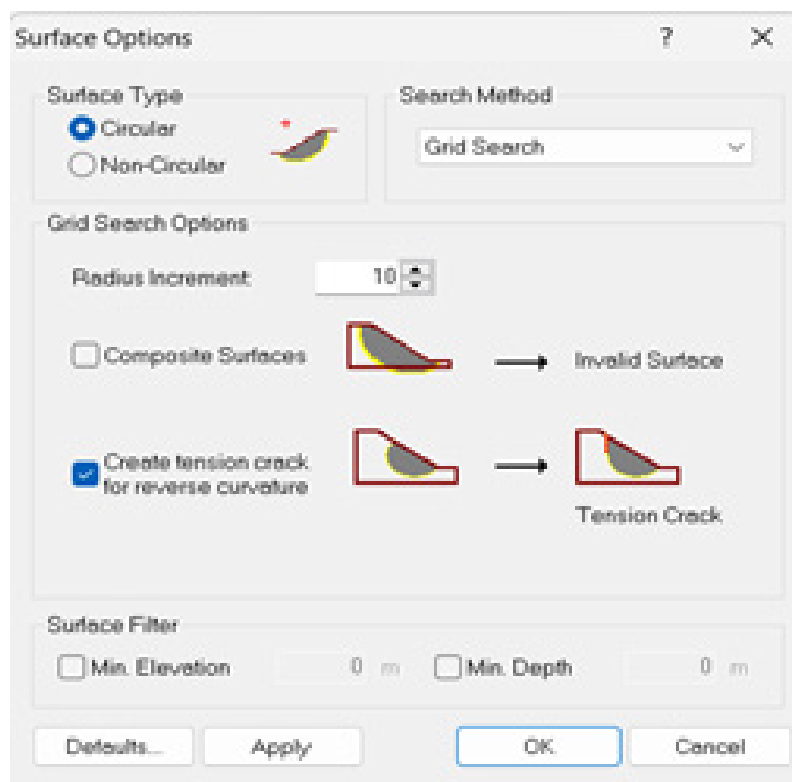


Gambar 1.1 Circular Grid Slip Surface Pada Software SLIDE v6.0

keamanan lereng tidak diperlukan faktor gaya tegangan dan regangan material (Matthews, *et al.*, 2014). Pada Metode Kesetimbangan Batas, diperlukan asumsi bentuk bidang gelincir (*slip surface*) pada lereng untuk mencari nilai faktor keamanan yang paling kritis. Tanpa adanya bidang gelincir, maka tidak akan diketahui faktor keamanan lereng. Berbagai *software* yang tersedia seperti SLIDE yang dikembangkan oleh Rocscience untuk analisis kestabilan lereng mampu mengidentifikasi bidang gelincir dan menghitung nilai faktor keamanan secara cepat dan mudah. Namun,

pada saat melakukan analisis, umumnya *software* masih menggunakan pengaturan secara *default* dalam mencari bidang gelincir untuk menghitung nilai faktor keamanan lereng. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil analisis bidang gelincir yang telah dioptimasi dengan bidang gelincir *default* pada *software* SLIDE v6.0.

Pada Gambar 1.1, merupakan hasil analisis kestabilan lereng dengan bidang gelincir *circular*, adapun litologi yang menyusun lereng pada hasil analisis tersebut adalah *sandstone* dengan warna litologi kuning, *claystone* dengan



Gambar 1.2 *Surface Options* pada *Software* Rocscience SLIDE v6.0 (Dok. Pribadi)

warna litologi hijau, dan *coal* dengan warna litologi hitam. Adapun pada lereng tersebut diberi pembebanan alat berat dengan notasi panah berwarna merah sebesar 554.40 kN/m².

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membahas dasar-dasar pemilihan dan cara optimasi bidang gelincir dengan pencarian *grid* agar mendapatkan FK yang optimal pada Metode Kesetimbangan Batas di *software* Rocscience SLIDE 6.0. Pembahasan hanya berfokus pada tipe bidang gelincir *circular* (*circular surface type*) dengan metode pencarian “*Grid Search*” seperti pada Gambar 1.2.

Penelitian kali ini dilakukan pada desain lereng yang materialnya dominan tersusun atas batuan sedimen, seperti batubara dengan litologi yang berwarna hitam, batupasir dengan litologi berwarna kuning, batulanau dengan litologi berwarna hijau tua, dan batulempung dengan litologi berwarna hijau muda. Adapun kondisi yang digunakan pada pengujian kali ini adalah:

1. Lereng dianalisis dengan kondisi *surface water 8x slope height*.
2. Lereng dikenai beban peralatan mekanis dan getaran (*seismic*).
3. Perhitungan Probabilitas Kelongsoran (PK) bersifat *default*

2. METODOLOGI

2.1. Tahap Pengumpulan Data

Dalam tahapan ini, data yang dikumpulkan dibedakan menjadi data primer dan data sekunder dengan rincian sebagai berikut.

1. Data Primer adalah sebuah data yang langsung didapatkan dari sumber dan diberi kepada pengumpul data atau peneliti (Sugiyono, 2016). Adapun cara untuk mendapatkan data tersebut dapat melalui wawancara dengan subjek penelitian baik secara observasi ataupun pengamatan langsung. Berdasarkan pengertian tersebut, data primer dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Geometri lereng
- b. Desain lereng
- c. Data sifat fisik berupa bobot isi material (γ) dan sifat mekanik material penyusun lereng berupa kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ)
- d. Data Sekunder adalah data yang sudah diolah terlebih dahulu dan baru didapatkan oleh peneliti dari sumber di luar instansi yang sedang diteliti, seperti dari jurnal, publikasi, atau dokumen standarisasi. Adapun data sekunder dalam penelitian ini adalah data geologi lokasi penambangan

2.2. Tahap Analisis dan Pengolahan Data

Tahap pengolahan data terlebih dahulu

dimulai dengan mengklasifikasikan faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng dan dilanjutkan dengan menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhinya. Kemudian dilanjutkan dengan membuat model penampang lereng, pemilihan bidang gelincir (*slip surface*), dan pemilihan metode analisis kestabilan lereng berupa *Morgenstern-Price*. Dalam metode ini, terdapat hubungan rasio antara gaya geser antar irisan dengan gaya normal antar irisan yang didapatkan dari fungsi tertentu (Morgenstern & Price, 1965). Pada metode ini analisis faktor keamanan dilakukan dengan dua prinsip yaitu Kesetimbangan Momen (F_m) dan Kesetimbangan Gaya (F_p). Pada proses iterasi pertama, gaya geser di sekitar irisan diasumsikan nol. Kemudian gaya geser tersebut dihitung dengan mengasumsikan nilai λ dan $f(x)$ (Abramson, Lee, Sharma, & Boyce, 2004).

Setelah pemodelan lereng selesai, dilanjutkan penambahan *material properties* yang telah dikelompokkan. Data material penyusun lereng yang ada di pemodelan Gambar 1.1. dibedakan menjadi *sandstone*, *siltstone*, *claystone*, dan *coal*. Dari data material tersebut akan dibedakan dengan fitur *material boundary* yang berada di *software* SLIDE untuk selanjutnya dilakukan komputasi dan interpretasi sehingga mendapatkan nilai faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran lereng.

Hasil dari analisis kestabilan lereng berupa

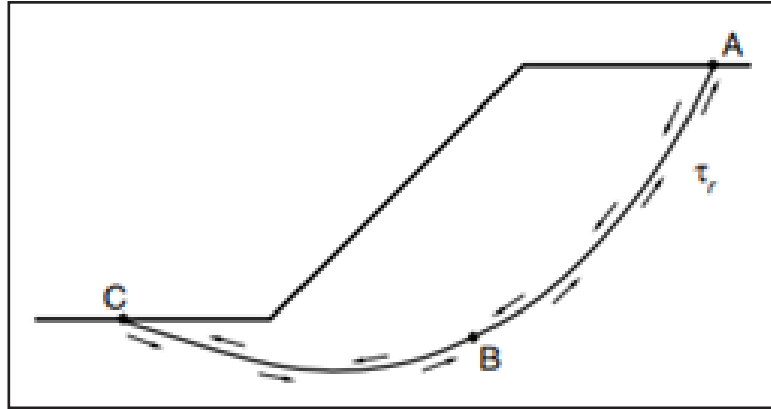
nilai faktor keamanan deterministic dan mean (FK) serta probabilitas kelongsoran (PK) yang digunakan sebagai basis untuk menilai kondisi dari desain lereng. Apabila nilai FK dan PK lereng tidak sesuai dengan standar yang ada, yaitu pada Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827K/30/MEM/2018 yang terletak pada Lampiran II tentang Pedoman Pengelolaan Teknis Pertambangan di halaman 57, maka dilakukan usaha untuk meningkatkan nilai faktor keamanan lereng dengan memberikan rekomendasi geoteknik.

Pada metode analisis secara deterministik, terdapat ketidakpastian dalam estimasi faktor keamanan (Giani, 1992). Ketidakpastian yang pertama disebabkan oleh variabilitas spasial dari material penyusun lereng dan ketidakpastian dalam pengukuran *material properties* (*properties measurement*). Ketidakpastian berikutnya terkait dengan tingkat kepercayaan (*reliability*) dari hipotesis yang digunakan dalam pemodelan lereng (Duncan, 2001).

Adapun untuk menyelesaikan masalah pada penelitian ini akan dibantu dengan berbagai perangkat lunak seperti *SLIDE* sebagai *software* untuk menganalisis kestabilan lereng,

2.3. Penentuan Bidang Gelincir Longsoran (*Failure Slip Surface*)

Salah satu aspek terpenting dalam analisis kestabilan lereng dengan metode kesetimbangan



Gambar 2.2 Bidang Gelincir Lereng Berbentuk Busur pada Analisis Kesetimbangan Batas (Das & Sobhan, 2018)

batas adalah menentukan permukaan bidang gelincir kritis yang memiliki faktor keamanan terendah. Tetapi, *setting* dan metodologi dalam *software* sering kali tidak dioptimalkan untuk melakukan pencarian permukaan bidang gelincir kritis seperti yang seharusnya. Menurut hasil riset pengembang *software* Rocscience (2016), untuk mencegah terjadinya salah interpretasi, Rocscience (2016) menyatakan bahwa perlu adanya peninjauan ulang pada saat melakukan pencarian bidang gelincir agar tidak terjadi kesalahan dalam hasil perhitungan nantinya.

Secara metodologi, menurut Krahn (2022), untuk melakukan analisis kestabilan lereng dengan metode kesetimbangan batas, terdapat berbagai asumsi yang digunakan seperti:

1. Untuk menghitung faktor keamanan lereng diperlukan asumsi letak *slip surface* yang membentuk bidang longsoran pada lereng,

2. Bidang gelincir akan dibagi menjadi beberapa irisan dan masing-masing irisan memiliki nilai faktor keamanan yang sama,
3. Seluruh tipe longsoran diasumsikan mengalami longsoran geser yang bergerak di sepanjang *slip surface* seperti pada Gambar 2.2.

Masing-masing irisan diasumsikan mengalami gaya normal dan gaya geser yang bekerja antar irisan (Wyllie & Mah, 2018). Untuk sistematika pembuatan irisan dilakukan secara otomatis oleh *software*.

Pada analisis kestabilan lereng dengan Metode Kesetimbangan Batas kali ini akan berfokus pada bidang gelincir yang berbentuk busur seperti pada Gambar 2.2, pada bagian A merupakan *entry slip surface*, di mana diasumsikan bidang gelincir pada bagian *crest* mulai terbentuk, sedangkan pada bagian B merupakan titik di mana bidang gelincir

akan menggeser berlawanan arah dengan arah tahanan geser material, dan pada bagian C merupakan *exit slip surface* di mana akhir dari bidang gelincir yang terbentuk pada lereng. Adapun cara kerja dari *software* ini adalah dengan cara melakukan pencarian secara otomatis pada lereng untuk menentukan area lereng yang memiliki bidang gelincir dengan FK paling rendah (Duncan, Wright, & Brandon, Soil Strength and Slope Stability, 2014). Pada dasarnya, bidang gelincir yang terbentuk pada lereng melalui pemodelan *software* bukanlah bidang longsor absolut yang sifatnya pasti akan terjadi longsor di area tersebut. Sebaliknya, hasil dari bidang gelincir tersebut perlu diverifikasi dengan mengoptimasi pencarian bidang gelincir dan mengobservasi lereng secara kontinu di lapangan.

2.4. Metode Kesetimbangan Batas

Untuk menghitung faktor keamanan lereng menggunakan Metode Kesetimbangan Batas, perlu menentukan letak area bidang gelincir (*slip surface*) terlebih dahulu pada lereng yang akan dianalisis seperti pada Gambar 2.2. Apabila menggunakan *software*, letak bidang gelincir akan ditentukan secara *iteration* hingga ribuan kali, artinya *software* akan melakukan perhitungan berulang pada lereng hingga mendapatkan letak bidang gelincir dengan FK terendah (Rocscience, 2016). Pada bidang gelincir akan dibagi menjadi beberapa irisan

yang mengisi area lereng tersebut. Masing-masing irisan pada bidang gelincir tersebut akan dihitung nilai faktor keamanannya berdasarkan kekuatan geser material dan gaya-gaya yang bekerja pada lereng tersebut.

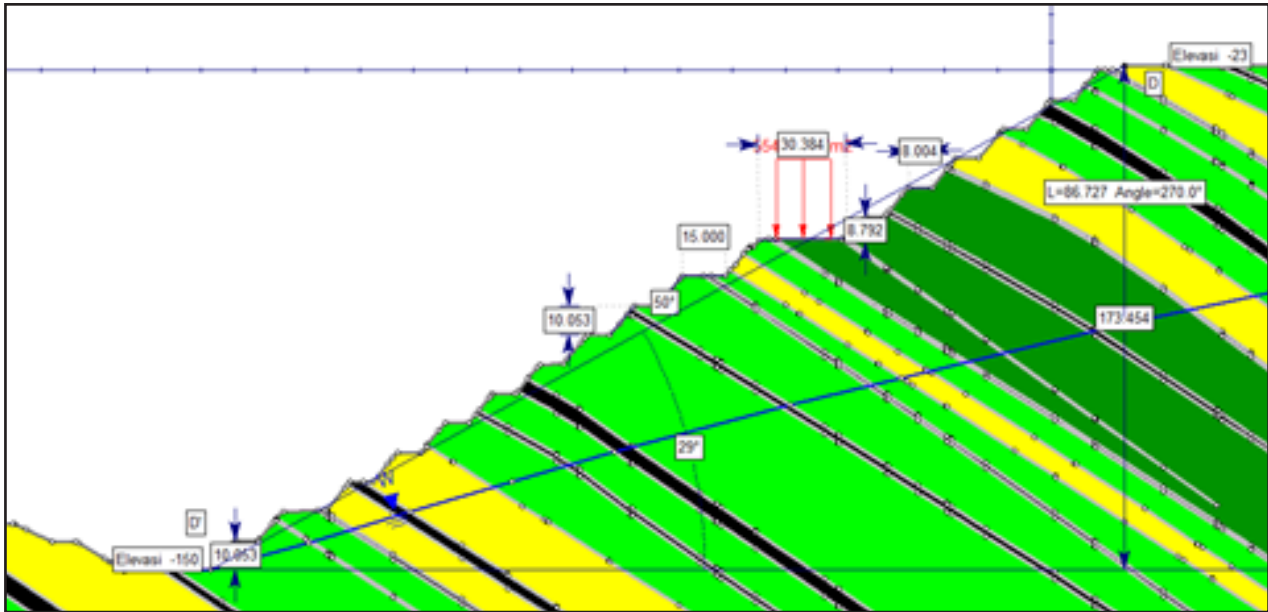
Pada metode ini, nilai FK masing-masing irisan dianggap sama dan akan menjadi nilai yang merepresentasikan seluruh irisan atau seluruh area bidang gelincir sehingga disebut dengan analisis deterministik. Untuk memperbesar luasan area bidang gelincir dapat dilakukan penambahan jumlah irisan pada pengaturan *software* daripada menggunakan pengaturan secara *default* yang biasanya kurang efektif dalam menganalisis *large-scale slope model*.

3. HASIL

3.1. Geometri Lereng

Pengujian *default grid slip surface* dengan *optimized grid slip surface* kali ini dilakukan pada lereng *highwall*. Lereng *highwall* merupakan bagian lereng pada tambang terbuka yang kemiringannya didesain memotong secara tegak lurus (*perpendicular*) atau berlawanan arah dengan kemiringan bidang perlapisan batuan Model lereng yang digunakan untuk pengujian kali ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Penjelasan litologi pada Gambar 3.1 dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Model Lereng Rencana

Tabel 3.1 Keterangan Litologi Model Lereng

Material	Warna	Parameter	Nilai <i>Material Properties</i>
<i>Claystone</i>		Kohesi (kPa)	116.47
		Sudut Geser Dalam (°)	21.62
		<i>Unit Weight</i> (kN/m ³)	14.14
<i>Coal</i>		Kohesi (kPa)	168.75
		Sudut Geser Dalam (°)	24.85
		<i>Unit Weight</i> (kN/m ³)	17.63
<i>Siltstone</i>		Kohesi (kPa)	117.14
		Sudut Geser Dalam (°)	26.10
		<i>Unit Weight</i> (kN/m ³)	14.95
<i>Sandstone</i>		Kohesi (kPa)	136.12
		Sudut Geser Dalam (°)	19.45
		<i>Unit Weight</i> (kN/m ³)	14.14

Tabel 3.2 Geometri Model Lereng Rencana

<i>Section</i>	Lokasi Lereng	Bagian Lereng	Sudut (°)	Lebar (m)	Tinggi (m)
<i>Section A-A'</i>	<i>High Wall</i>	<i>Bench</i>	50	6.6	10
		<i>Wider Bench</i>	50	15	10
		<i>Ramp</i>	50	30.384	10
		<i>Overall Slope</i>	29	-	173.454

Adapun rincian geometri lereng tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.2.

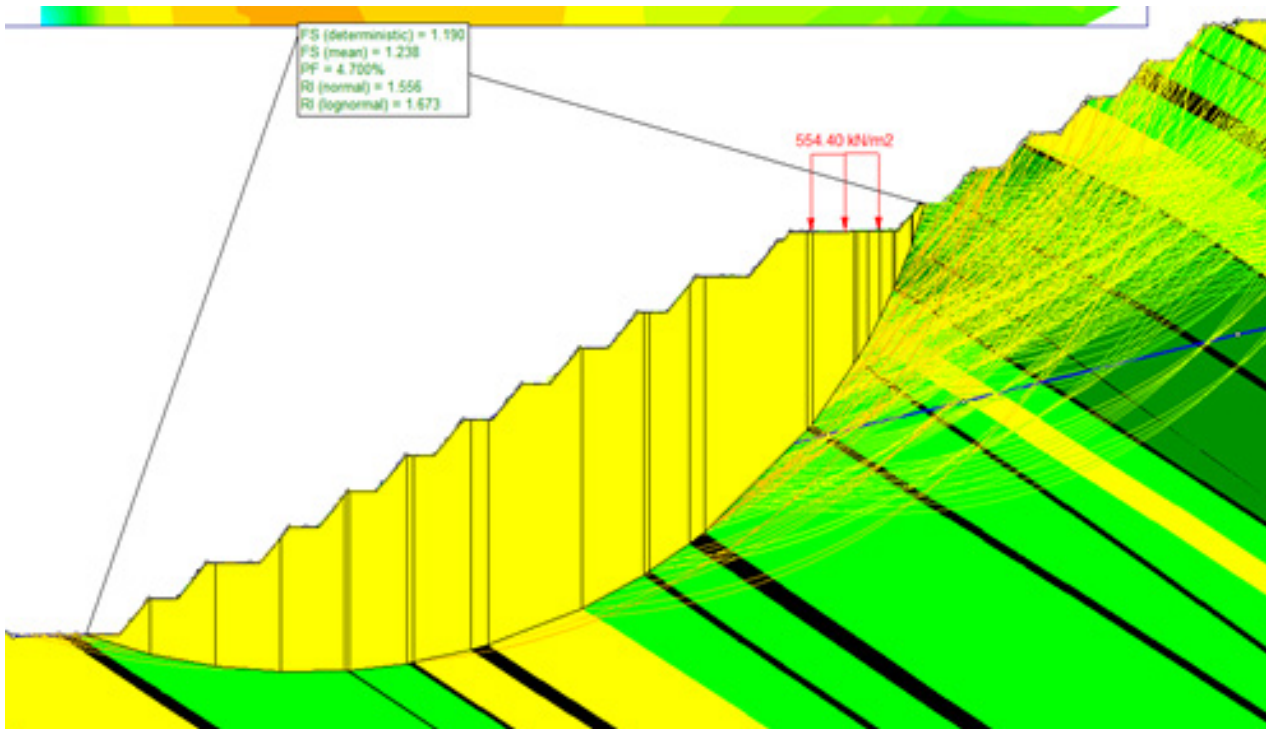
3.2. Faktor Keamanan (FK) Lereng dengan *Default Slip Surface*

Pada percobaan pertama, lereng dianalisis menggunakan Metode Kesetimbangan Batas *Morgenstern-Price*. Metode ini menghitung faktor keamanan lereng dengan memperhatikan kesetimbangan gaya horizontal dan gaya vertikal serta kesetimbangan momen. Lereng

yang dianalisis dominan terdiri dari material batuan sedimen dan tanpa mempertimbangkan geologi struktur yang ada, sehingga menggunakan *circular slip surface*. Adapun konfigurasi bidang gelincirnya menggunakan aturan *default by system*. Hasil perhitungan Faktor Keamanan lereng secara deterministik dengan menggunakan *default circular slip surface* dapat dilihat pada Tabel 3.3. Sedangkan untuk hasil analisis model dapat dilihat pada Gambar 3.2.

Tabel 3.3 Hasil Perhitungan FK dengan *Default Circular Slip Surface*

Tipe Longsoran	Jumlah Irisan	Model Lereng	Kondisi Water Table	FK	PK (%)
Circular Slip Surface	25	Highwall	Surface Water 8x Slope Height	1.190	4.7



Gambar 3.2 Hasil Analisis Lereng dengan *Default Circular Slip Surface*

Pada Gambar 3.2 dapat dilihat balok (warna kuning) yang tegak lurus dengan arah bidang perlapisan batuan berjumlah 25 irisan. Hal ini mengindikasikan bahwa hasil analisis untuk percobaan pertama menggunakan *default setting* menghasilkan bidang gelincir yang dibagi menjadi 25 irisan. Adapun garis-garis berwarna yang bentuknya seperti lengkungan busur adalah bidang gelincir yang telah dihitung dengan cara *iteration* atau perhitungan ulang.

3.3. Faktor Keamanan (FK) Lereng dengan *Optimized Slip Surface*

Pada percobaan kedua, lereng dianalisis menggunakan *optimized circular slip surface* dengan metode perhitungan yang sama. Adapun untuk menentukan letak bidang gelincirnya menggunakan *setting* yang dimodifikasi dengan menambahkan jumlah irisan untuk mendapatkan letak bidang gelincir yang optimal. Jumlah irisan pada bidang gelincir

Tabel 3.4 Hasil Perhitungan FK dengan *Optimized Circular Slip Surface*

Tipe Longsoran	Jumlah Irisan	Model Lereng	Kondisi	FK	PK (%)
<i>Circular Slip Surface</i>	30	<i>Highwall</i>	<i>Surface Water 8x Slope Height</i>	1.185	5.2
<i>Circular Slip Surface</i>	35	<i>Highwall</i>	<i>Surface Water 8x Slope Height</i>	1.155	6.6
<i>Circular Slip Surface</i>	40	<i>Highwall</i>	<i>Surface Water 8x Slope Height</i>	1.141	7
<i>Circular Slip Surface</i>	45	<i>Highwall</i>	<i>Surface Water 8x Slope Height</i>	1.141	7
<i>Circular Slip Surface</i>	50	<i>Highwall</i>	<i>Surface Water 8x Slope Height</i>	1.141	7

akan ditambah sebanyak kelipatan 5 hingga letak bidang gelincir mampu merepresentasikan *overall slope*. Hasil perhitungan Faktor Keamanan lereng secara deterministik dengan menggunakan *optimized circular slip surface* dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa semakin bertambah jumlah irisan, maka nilai Faktor Keamanan (FK) berangsur-angsur menurun dan menyebabkan bertambahnya probabilitas kelongsoran secara eksponen. Hal ini disebabkan karena bidang gelincir yang terbentuk semakin luas mewakili *overall slope*, sehingga menyebabkan perhitungan gaya-gaya yang bekerja pada lereng semakin besar.

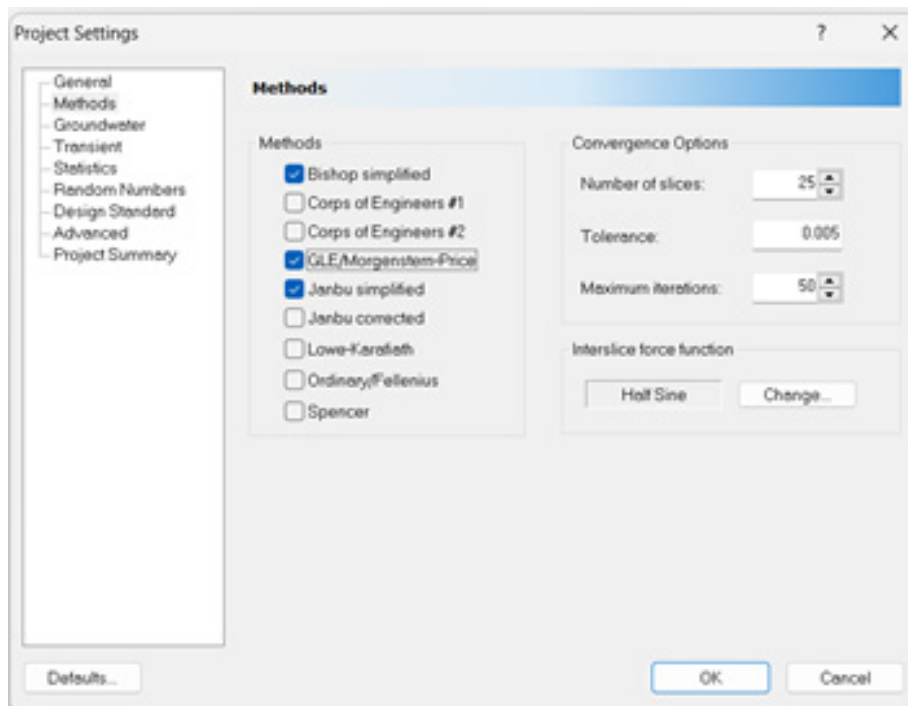
4. PEMBAHASAN

Bidang gelincir pada Metode Kesetimbangan Batas dibagi menjadi beberapa irisan yang masing-masing dihitung nilai faktor keamanannya. Semakin banyak jumlah irisan, maka semakin besar bidang gelincir yang terbentuk untuk menghitung faktor keamanan lereng keseluruhan (*overall slope*). Apabila akan menganalisis lereng keseluruhan yang terdiri dari beberapa jenjang (*multi bench*) dengan dimensi yang sangat luas, maka perlu memperhatikan jumlah irisan dan bidang gelincir yang terbentuk hingga keseluruhan lereng dapat dihitung kestabilannya. Seperti pada Gambar 3.2, bidang gelincir yang

Tabel 4.1 Nilai Faktor Keamanan dan Probabilitas Longsor Lereng Tambang

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (<i>Consequences of Failure/CoF</i>)	Kriteria dapat diterima (<i>Acceptance Criteria</i>)		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (Min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (Min)	Probabilitas Longsor (<i>Probability of Failure</i>) (maks) PoF (FK≤1)
Lereng Tunggal	Rendah s.d. Tinggi	1.1	Tidak ada	25-50%
Inter-ramp	Rendah	1.15-1.2	1.0	25%
	Menengah	1.2-1.3	1.0	20%
	Tinggi	1.2-1.3	1.1	10%
Lereng Keseluruhan	Rendah	1.2-1.3	1.0	15-20%
	Menengah	1.3	1.05	10%
	Tinggi	1.3-1.5	1.1	5%

(Sumber: Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018, 2018, hlm. 57).



Gambar 4.1 Menambah Jumlah Irisan pada *Software* SLIDE

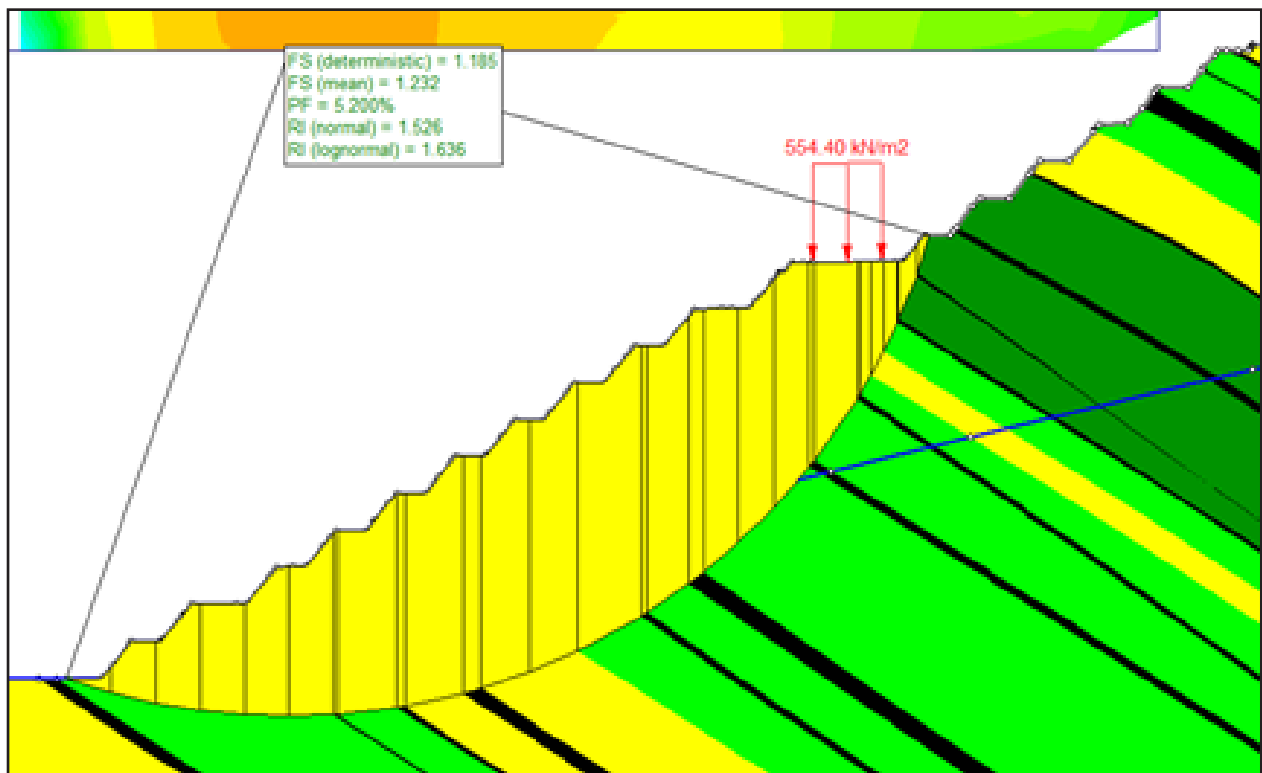
teridentifikasi hanya pada bagian jenjang lereng (*bench*) dengan jumlah irisan 25 bagian. Sedangkan pada analisis lereng skala besar, diperlukan kestabilan hingga lereng keseluruhan dengan standar nilai faktor keamanan lereng seperti pada Tabel 4.1 yang mengacu pada Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik

Prosedur untuk menambah irisan pada bidang gelincir melalui *software* SLIDE

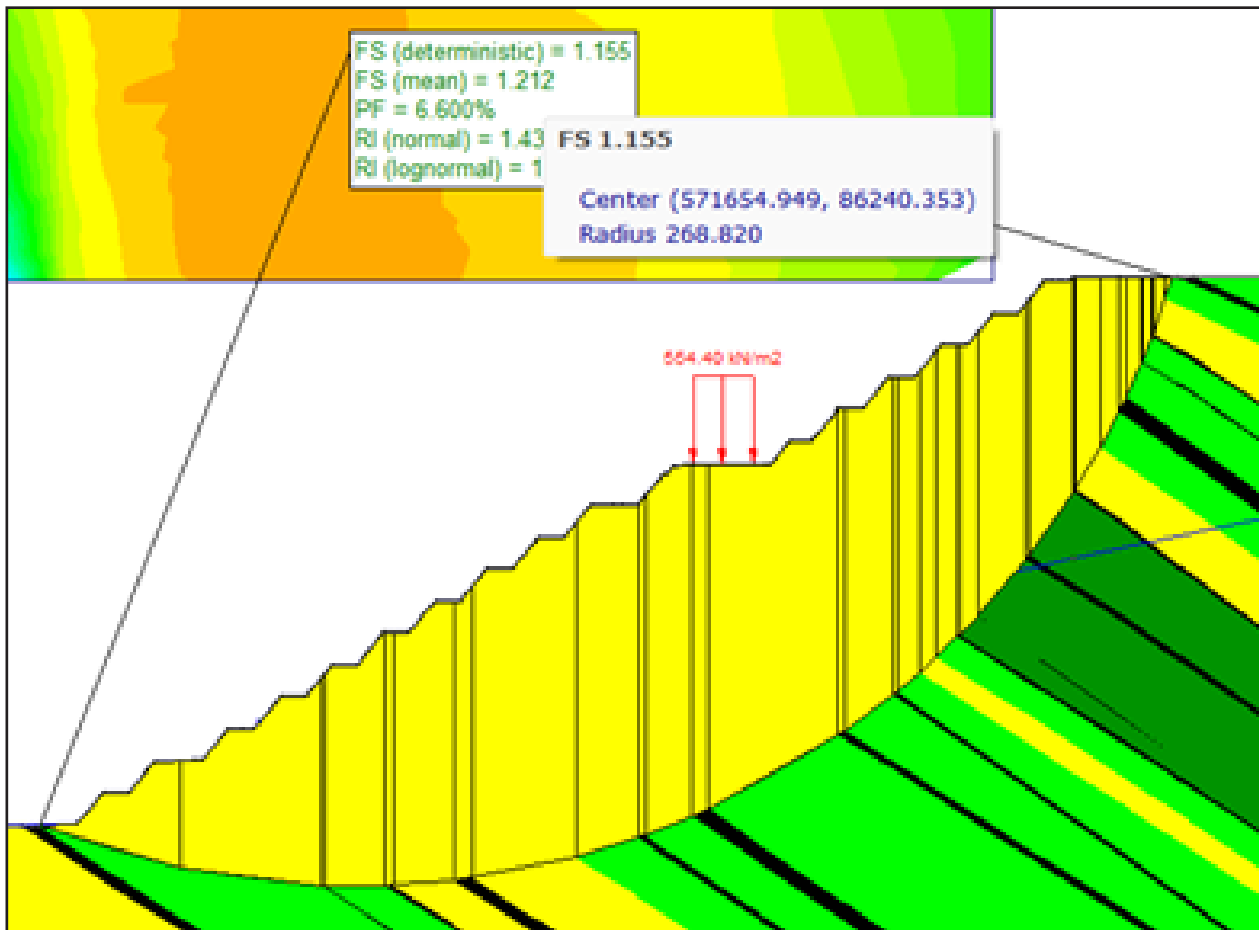
6.0 dapat dilihat pada Gambar 4.1. Sebagai *default setting*, jumlah irisan (*number of slices*) sebanyak 25 bagian. Pada kolom tersebut akan diubah dengan kelipatan 5 angka hingga mencapai letak bidang gelincir yang optimal.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, diperlukan optimasi pencarian bidang gelincir dengan cara menambah jumlah irisan setiap kali menganalisis lereng skala besar. Hasil dari penambahan jumlah irisan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2 hingga Gambar 4.5

. Pada Gambar 4.2 jumlah irisan diubah



Gambar 4.2 Hasil Analisis Optimasi Bidang Gelincir dengan 30 Irisan



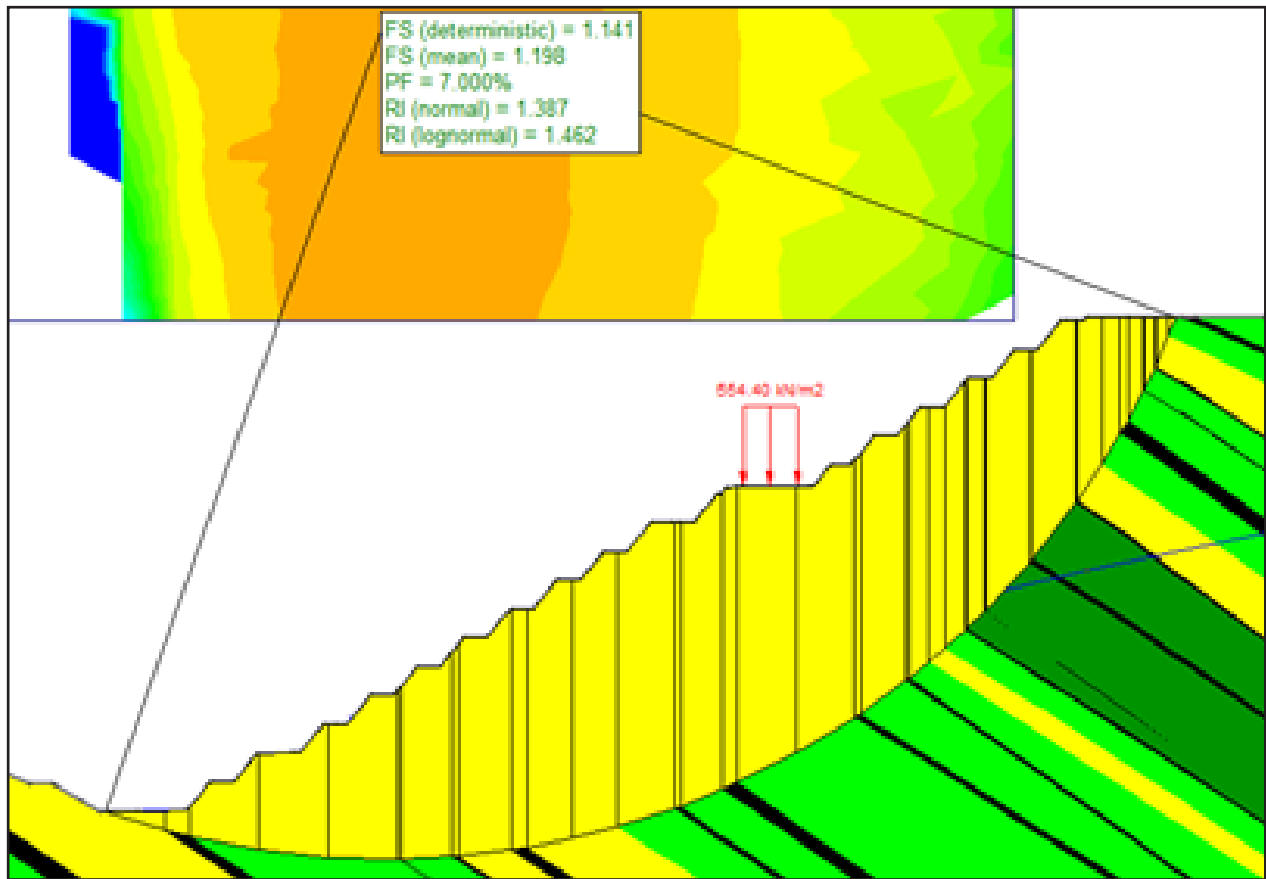
Gambar 4.3 Hasil Analisis Optimasi Bidang Gelincir dengan 35 Irisan

menjadi 30 bagian. Namun, tidak ada perubahan bentuk bidang gelincir dikarenakan masih belum optimal.

Pada Gambar 4.3 jumlah irisan diubah menjadi 35 bagian. Jumlah tersebut telah berhasil mengidentifikasi bidang gelincir lereng secara keseluruhan dengan nilai faktor keamanan terendah. Namun proses analisis

tidak berhenti pada 35 irisan. Hal ini perlu dilanjutkan hingga didapatkan nilai faktor keamanan yang konstan atau telah ditemukan bidang gelincir yang paling kritis.

Pada Gambar 4.4 jumlah irisan diubah menjadi 40 bagian. Jumlah tersebut telah berhasil mengidentifikasi bidang gelincir lereng secara keseluruhan dengan nilai faktor



Gambar 4.4 Hasil Analisis Optimasi Bidang Gelincir dengan 40 Irisan

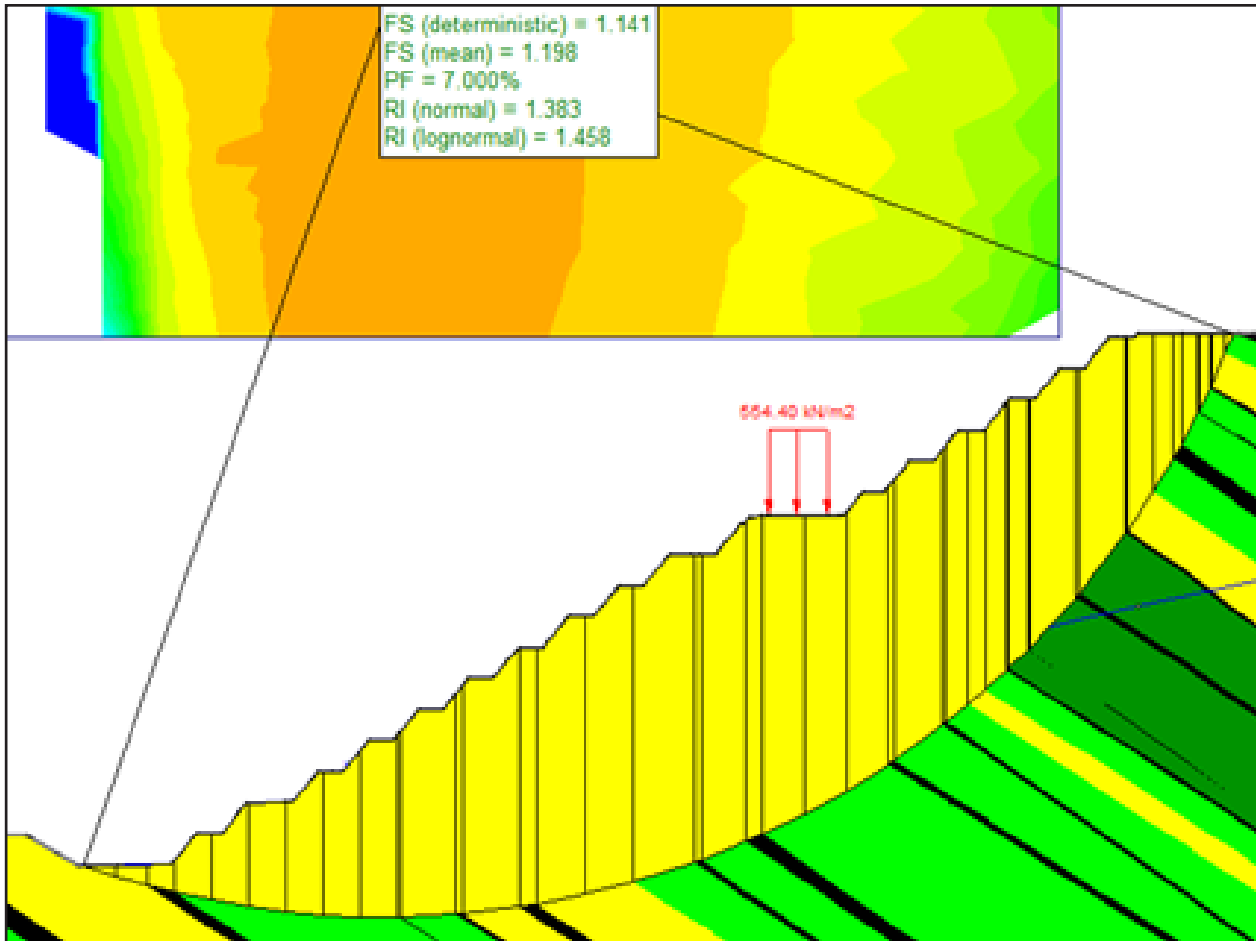
keamanan terendah. Untuk mengetahui kemungkinan lebih lanjut tentang penurunan nilai faktor keamanan, maka akan ditambah lagi menjadi 45 irisan seperti pada Gambar 4.5.

Pada Gambar 4.5 jumlah irisan diubah menjadi 45 bagian. Dari hasil analisis tersebut, tidak ditemukan adanya penurunan nilai faktor keamanan dan peningkatan nilai probabilitas kelongsoran. Hal ini mengindikasikan bahwa bidang gelincir dengan 45 irisan menjadi bidang

gelincir yang optimal untuk lereng secara keseluruhan. Dengan tidak adanya penurunan faktor keamanan secara signifikan, maka dapat dipastikan hasil analisis telah mencapai titik optimal.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian optimalisasi perhitungan faktor keamanan lereng menggunakan bidang gelincir *circular*



Gambar 4.5 Hasil Analisis Optimasi Bidang Gelincir dengan 45 Irisan

didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Untuk menganalisis lereng skala besar diperlukan bidang gelincir yang mewakili lereng keseluruhan guna mendapatkan nilai faktor keamanan terendah sebagai upaya mencegah terjadinya kesalahan analisis.
2. Untuk memperbesar area bidang gelincir pada saat analisis kestabilan lereng skala besar dengan Metode Kestimbangan Batas dapat dilakukan dengan cara menambah jumlah irisan.

3. Hasil analisis menunjukkan bahwa bidang gelincir yang telah dioptimalisasi memiliki nilai faktor keamanan terendah yaitu 1.141 dan probabilitas kelongsoran sebesar 7% dengan jumlah irisan sebanyak 45 bagian.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S., & Boyce, G. M. (2004). *Slope Stability and Stabilization Methods*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Amri, N., Dharmawansyah, D., & Hermansyah, H. (2021). Perbandingan Metode Bishop dan Janbu dalam Analisis Stabilitas Lereng pada Oprit Jembatan Labu Sawo Sumbawa. *Journal of Civil Engineering and Planning (JCEP)*, 20-33.
- Arif, I. (2016). *Geoteknik Tambang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). *Principles of Geotechnical Engineering*. United States of America: Cengage Learning.
- Duncan, J. M. (2001). Factors of Safety and Reliability in Geotechnical Engineering. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Volume 126*, 307-316.
- Duncan, J. M., Wright, S. G., & Brandon, T. L. (2014). *Soil Strength and Slope Stability*. Canada: John Wiley & Sons.
- Giani, G. P. (1992). *Rock Slope Stability Analysis*. CRC Press.
- Helm, A. P., Carol, M., & Farook, Z. (2014). Slope Stability Analysis - Limit Equilibrium or The Finite Element Method? *Newcastle University Ground Engineering*, 1-7.
- Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 1827K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. (2018). Jakarta: Indonesia.
- Krahn, J. (2022). *Stability Modelling with SLOPE/W. An Engineering Methodology*. GeoSlope International.
- Morgenstern, N. R., & Price, V. E. (1965). The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces. *Geotechnique*, 15:79-93.
- Pratama, R. B., Muhibbi, I. M., Atmanto, I. D., & Hardiyati, S. (2014). ANALISIS STABILITAS LERENG DAN ALTERNATIF PENANGANANNYA (STUDI KASUS LONGSORAN JALAN ALTERNATIF TAWANGMANGU STA 3+150 – STA 3+200, KARANGANYAR).

Volume 3.

Rocscience. (2016). Critical Slip Surface Search Methods in Slide 7.0. *Rocscience*, 1-28.

Sugiyono. (2016). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D.*

Bandung: PT Alfabet.

Wyllie, D. C., & Mah, C. (2018). *Rock Slope Engineering Civil Applications Fifth Edition*. New York: Taylor & Francis Group.