

## Rekomendasi Geometri Lereng Penambangan Optimum Pada Tambang Batugamping PT Citatih Putra Sukabumi

Zainal Abidin, A.A. Inung Arie Adnyano, Shilvyanora Aprilia Rande

Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Korespondensi: Inungarie@itny.ac.id

### ABSTRAK

PT. Citatih Putra Sukabumi melakukan penambangan batugamping dengan Metode kuari. Dalam perencanaan tambang metode kuari, geometri lereng menjadi suatu faktor yang sangat penting untuk dikaji. Geometri lereng yang tidak optimum akan memberikan dampak kerugian yang cukup besar bagi perusahaan, kerugian yang dimaksud berupa terjadinya longsor atau sumberdaya yang ada tidak dimanfaatkan secara optimal. Metode elemen hingga adalah metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini, input data yang diperlukan antara lain adalah nilai kohesi, sudut geser dalam, densitas batuan, nisbah poisson, modulus elastisitas dan tinggi muka air tanah. Pengkajian yang dilakukan terhadap geometri lereng penambangan PT. CPS dengan melakukan simulasi terhadap beberapa variasi ketinggian dan kemiringan lereng, sehingga didapatkan geometri lereng optimal pada FK statis = 1.1 untuk lereng tunggal dan FK dinamis = 1 untuk lereng keseluruhan. Berdasarkan hasil analisis Geometri lereng optimum pada lereng tunggal dapat diketahui dengan persamaan  $y = 0.1845x^2 - 5.4139x + 114.94$  sedangkan untuk lereng keseluruhan dengan tinggi lereng tunggal 8,10 dan 12 meter persamaannya berturut-turut adalah  $y = 0.0061x^2 - 0.961x + 89.723$ ,  $y = -0.0002x^2 - 0.1353x + 64.765$  dan  $y = -0.0002x^2 - 0.0721x + 57.649$  dimana nilai  $x$  merupakan ketinggian yang diinginkan dan  $y$  merupakan sudut optimal yang dapat direalisasikan.

**Kata kunci:** Geometri Lereng Optimum, Lereng Tunggal, Lereng Keseluruhan,

### ABSTRACT

*PT. Citatih Putra Sukabumi mining limestone using the quarry method. In mine planning quarry method, slope geometry becomes a very important factor to be studied. Slope geometry that is not optimal will have a large enough loss impact for the company, the loss referred to in the form of landslides or the existing resources are not used optimally. The finite element method is the analytical method used in this study, the input data required include the value of cohesion, internal shear angle, rock density, poisson ratio, modulus of elasticity and groundwater level. The study conducted on the geometry of the mining slopes of PT. CPS by simulating several variations of slope height and slope, so that the optimal slope geometry is obtained at static  $FK = 1.1$  for single slopes and dynamic  $FK = 1$  for overall slopes. Based on the results of the analysis of the optimum slope geometry on a single slope, it can be seen by the equation  $y = 0.1845x^2 - 5.4139x + 114.94$  while for the overall slope with a single slope of 8.10 and 12 meters the equation is  $y = 0.0061x^2 - 0.961x + 89.723$ ,  $y = -0.0002x^2 - 0.1353x + 64.765$  and  $y = -0.0002x^2 - 0.0721x + 57.649$  where the value of  $x$  is the desired height and  $y$  is the optimal angle that can be realized*

**Keywords :** Optimum Slope Geometry, Single Slope, Overall Slope,

### 1. PENDAHULUAN

PT. Citatih Putra Sukabumi (CPS) merupakan salah satu perusahaan pertambangan yang berlokasi di Kecamatan Gunung Puyuh, Kota Sukabumi Provinsi Jawa Barat. PT. Citatih Putra Sukabumi resmi berdiri pada 11 Februari 2008 dan bergerak dalam bidang penambangan dan pengolahan Batugamping (Batukapur), dengan kapasitas produksi mencapai 50.000 ton per bulan.

PT. CPS menambang Batugamping menggunakan metode penambangan Kuari (Quarry Mining). Dalam proses perencanaan penambangan dengan metode kuari, terdapat beberapa faktor yang harus diperhatikan, salah satunya adalah geometri lereng. Geometri lereng harus didesain dengan optimal agar dapat meningkatkan potensi batugamping yang dapat diambil namun tetap memperhatikan kestabilan lereng. Lereng merupakan suatu bidang yang memiliki kemiringan tertentu dan ber-potensi terjadi kelongsoran apabila berada dalam kondisi yang tidak stabil [2]. Kestabilan lereng harus diperhatikan karena berkaitan dengan keselamatan dalam proses penambangan, Lereng yang tidak stabil akan berpotensi longsor sehingga mengganggu keselamatan pekerja/karyawan, peralatan dan produktifitas proses penambangan [7]. Lereng penambangan yang direncanakan harus didesain dengan geometri yang aman untuk mencegah terjadinya potensi ketidakstabilan.

Berdasarkan uraian di atas penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kestabilan lereng penambangan PT. Citatih Putra Sukabumi agar dapat dievaluasi dan memberikan rekomendasi geometri lereng yang optimal. Pada penelitian ini analisis kestabilan lereng dilakukan dengan metode elemen hingga. Metode elemen hingga dipilih dalam penelitian ini karena metode tersebut dapat mengestimasi nilai faktor keamanan lereng dengan asumsi yang lebih sedikit daripada metode kesetimbangan batas. Kelebihan metode elemen hingga adalah bidang gelincir pada saat terjadinya kelongsoran tidak perlu diasumsikan sehingga kesalahan asumsi terhadap bidang gelincir dapat dihindari [4-5]. Metode elemen hingga menerapkan perhitungan metode numerik, metode ini dapat menyelesaikan masalah tegangan-regangan dalam mekanika batuan, merepresentasikan vektor tegangan dan perpindahan baik secara global maupun situasional [6].

## 2. METODE PENELITIAN

Dalam melaksanakan penelitian ini, terdapat beberapa rangkaian proses yang dilakukan antara lain adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur
2. Pengambilan data lapangan yang meliputi:
  - a. Klasifikasi massa batuan RMR dan GSI
  - b. Data struktur
  - c. Data geometri dan orientasi lereng
3. Uji sifat fisik dan sifat mekanik batuan
4. Analisis kestabilan lereng
5. Simulasi geometri lereng penambangan optimum
6. Pemodelan parameter geoteknik

Studi literatur dilakukan untuk menambah referensi terkait metode analisis dan langkah pengambilan data lapangan. Pengambilan data lapangan banyak di fokuskan untuk mengetahui kondisi massa batuan. Uji sifat fisik dan sifat mekanik dilakukan untuk mendapatkan parameter kohesi, sudut geser dalam, nisbah poisson, modulus elastisitas dan berat jenis batuan. Analisis kestabilan lereng dilakuakn dengan bantuan perangkat lunak dan hasilnya diolah dengan Microsoft excel, sehingga hasil akhir dari analisis yang dilakukan adalah berupa kurva korelasi.

## 3. HASIL DAN ANALISIS

### 3.1. Faktor Yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

#### 1. Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Berdasarkan Kepmen ESDM 1827/K/30/MEM 2018, pengujian conto batuan dalam penyelidikan geoteknik meliputi uji sifat fisik dan sifat mekanik. Secara khusus untuk analisis stabilitas lereng parameter sifat fisik dan mekanik batuan yang diperlukan antara lain:

##### a. Kuat Geser

Kuat geser batuan merupakan perlawanan internal batuan terhadap tegangan yang bekerja sepanjang bidang geser dalam batuan tersebut, yang dipengaruhi oleh karakteristik massa batuan dan faktor eksternal. Kuat geser batuan sangat berguna sebagai parameter rancangan kestabilan lereng. Kuat geser batuan dapat dicari dengan parameter sudut geser dalam ( $\phi$ ) dan kohesi ( $c$ ) pada tegangan normal tertentu yang didapatkan dari hasil uji kuat geser di laboratorium mekanika batuan.

Kohesi adalah gaya tarik menarik antara partikel dalam batuan, dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Kohesi batuan akan semakin besar jika kekuatan gesernya makin besar. Nilai kohesi ( $c$ ) diperoleh dari pengujian laboratorium yaitu pengujian kuat geser langsung (*direct shear strength test*) dan pengujian triaksial (*triaxial test*).

Sudut geser dalam merupakan sudut yang dibentuk dari hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser di dalam material tanah atau batuan. Sudut geser dalam adalah sudut rekahan yang dibentuk jika suatu material dikenai tegangan atau gaya terhadapnya yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan terhadapnya.

##### b. Berat Isi

Berat isi diperlukan untuk perhitungan beban guna analisis stabilitas lereng. Berat isi dibedakan menjadi berat isi asli (*natural*), berat isi jenuh, dan berat isi kering yang penggunaannya tergantung kondisi lapangan. Berat isi adalah rasio massa batuan dengan volume total batuan. Batuan umumnya tersusun oleh massa padat, air dan udara. Massa air dan udara umumnya mengisi ruang kosong yang ada pada batuan yang berupa *void* dan rekahan. Pada kondisi *natural* specimen batuan yang padat biasanya mengandung air dan udara. Pada kondisi jenuh, udara pada specimen batuan dihilangkan dan ruang kosong diisi oleh air, sehingga specimen batuan yang padat diharapkan hanya mengandung air. Apabila specimen batuan jenuh tersebut ditimbang di dalam air dalam keadaan tergantung maka akan didapat nilai berat gantung dari spesimen

batuan. Specimen batuan yang kering, kandungan air dihilangkan dengan cara dipanaskan di dalam oven dengan proses penguapan. Diharapkan setelah proses tersebut specimen batuan yang padat hanya mengandung udara saja.

c. Nisbah Poisson

Nisbah Poisson ( $\nu$ ) adalah nilai mutlak dari perbandingan antara regangan lateral dan regangan aksial. Jika suatu material diregangkan pada satu arah, maka material tersebut cenderung mengkerut. Sebaliknya, jika suatu material ditekan, maka material tersebut akan mengembang. Dalam deformasi elastik mekanik, kecenderungan material untuk mengkerut atau mengembang dalam arah tegak lurus terhadap arah pembebanan dikenal sebagai efek Poisson.

Nisbah Poisson sangat bergantung pada tingkat tegangan dan dipengaruhi oleh pembukaan dan penutupan rekahan dalam batuan saat pengujian dilakukan. Nisbah Poisson nilainya bervariasi sesuai dengan deformasi yang dialami batuan [2]. Persamaan Nisbah Poisson adalah sebagai berikut:

$$\nu = \frac{\text{regangan lateral}}{\text{regangan aksial}}$$

d. Modulus Young

Menurut Astawa Rai *et al* (2013) modulus young atau modulus elastisitas adalah kemampuan batuan untuk mempertahankan kondisi elastisnya. Pada uji kuat tekan uniaksial, contoh batuan yang diberi tekanan akan mengalami beberapa tahap deformasi yakni deformasi elastik dan deformasi plastik. Nilai Modulus Young diturunkan dari kemiringan kurva tegangan-regangan pada bagian yang linear karena pada saat inilah contoh mengalami deformasi elastis. Persamaan untuk mencari nilai Modulus Young adalah :

$$E = \frac{\Delta \text{tegangan}}{\Delta \text{regangan aksial}}$$

## 2. Faktor Eksternal

Terdapat beberapa faktor eksternal yang dapat mempengaruhi kestabilan lereng, diantara faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut:

a. Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari bawah permukaan secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gempa bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak bumi atau lempeng bumi. Selain itu gempa bumi juga bisa disebabkan oleh letusan gunung api. Getaran gempa yang merambat di permukaan bumi dapat diukur dalam skala richter.

Namun pada saat terjadi gempa, dampak gempa yang terjadi disetiap daerah berbeda-beda. Hal ini disebabkan getaran gempa merambat pada jenis material yang berbeda-beda. Amplitudo gelombang diukur dengan *peak ground acceleration* (PGA). PGA bekerja dalam dua arah, yaitu vertikal dan horizontal [8].

*Peak Ground Acceleration* (PGA) adalah nilai percepatan getaran tanah yang terbesar yang pernah terjadi disuatu tempat yang diakibatkan oleh gempa bumi. Semakin besar nilai PGA yang pernah terjadi disuatu tempat, semakin besar bahaya dan resiko gempa bumi yang mungkin terjadi (Putri R *et al*, 2017)

Untuk memperhitungkan pengaruh gravitasi akibat gempa, hal yang sering dilakukan dalam analisis stabilitas lereng adalah dengan menggunakan konstanta numerik yang disebut koefisien gempa/seismik. Koefisien ini diberikan dalam persen gravitasi, jadi gaya-gaya dinamis dianggap sebagai gaya statis, yang kadang-kadang disebut *pseudostatic analysis*. Analisis Stabilitas Lereng yang paling sederhana adalah analisis pendekatan Pseudostatik, dimana efek dari gempa di-gantikan akselerasi horizontal atau vertikal konstan. Bentuk yang paling umum dari analisis Pseudostatik adalah dengan mengganti gaya percepatan gempa horizontal dan vertikal menjadi gaya Statis [8]. koefisien seismic ( $K_h$ ) diperoleh dengan persamaan berikut:

$$K_h = 0,5 (ad/g)$$

Dimana :

$K_h$  = koefisien gempa horizontal;

$ad$  = percepatan gempa terkoreksi (gal)

$g$  = gal

b. Kondisi Air Tanah

Air tanah merupakan salah satu faktor yang penting dalam kemantapan lereng. Air tanah dapat mempengaruhi kemantapan lereng dengan cara mengurangi kekuatan batuan atau tanah, mengubah unsur mineral dalam batuan melalui reaksi kimia dan pelarutan, mengubah densitas batuan atau tanah, menyebabkan terjadinya erosi [9]. Keberadaan air tanah dalam suatu lereng akan menyebabkan adanya tekanan air pori dalam massa batuan sehingga akan berpengaruh terhadap besarnya kekuatan geser batuan [1].

### Metode Elemen Hingga

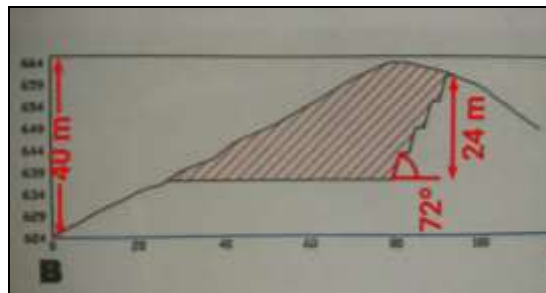
Metode elemen hingga menerapkan perhitungan metode numerik. Prinsip dasar analisis dengan metode ini adalah menentukan besarnya perpindahan yang terjadi pada setiap bagian lereng sehubungan dengan kondisi pembebanan [6].

Pada metode elemen hingga, domain dari daerah yang akan dianalisis dibagi kedalam sejumlah zona yang lebih kecil yang dinamakan elemen. Elemen-elemen tersebut dianggap saling berkaitan pada sejumlah titik simpul. Perpindahan pada setiap titik simpul dihitung terlebih dahulu, kemudian dengan sejumlah fungsi interpolasi yang diasumsikan, perpindahan pada sembarang titik dapat dihitung berdasarkan nilai perpindahan pada titik-titik simpul. Selanjutnya regangan yang terjadi pada setiap elemen dihitung berdasarkan besarnya perpindahan pada masing-masing titik simpul. Berdasarkan nilai regangan dapat dihitung tegangan yang bekerja pada setiap elemen [1]. Proses pembagian daerah yang akan di analisis menjadi beberapa elemen disebut meshing.

### 3.2. Orientasi dan Geometri Lereng Penambangan

Geometri lereng yang meliputi kemiringan dan tinggi lereng merupakan salah satu faktor yang memiliki pengaruh besar terhadap kestabilan lereng. Perubahan tinggi akan mengakibatkan perubahan kestabilan dari lereng yang bersangkutan karena berat material lereng yang harus ditahan oleh kuat geser batuan atau tanah semakin besar, begitu pula sudut kemiringan lereng yang besar akan memberikan volume material yang besar, sehingga beban material pada lereng juga akan semakin besar [9]. Orientasi lereng akan mempengaruhi jenis potensi longsoran yang mungkin terjadi pada lereng, karena pada dasarnya potensi longsoran dapat diketahui melalui orientasi bidang ketidak-menerusan pada suatu massa batuan yang kemudian disesuaikan dengan orientasi lereng.

Pengamatan dilakukan di lereng bagian barat-laut pada pit penambangan PT. Citatih Putra Sukabumi. Berdasarkan pengamatan di lapangan lereng penambangan sementara memiliki orientasi berupa *dip direction* kearah  $233^\circ$  dengan kemiringan  $87^\circ$  dan tinggi lereng 20 meter. Orientasi dan geometri lereng penambangan final didapatkan dari data rencana perusahaan dimana terdapat beberapa orientasi lereng, namun pada penelitian ini pengamatan hanya dilakukan pada lokasi lereng bagian Barat-Laut dengan orientasi kearah  $233^\circ$  dan geometri lereng tunggal dan keseluruhan seperti pada gambar berikut.

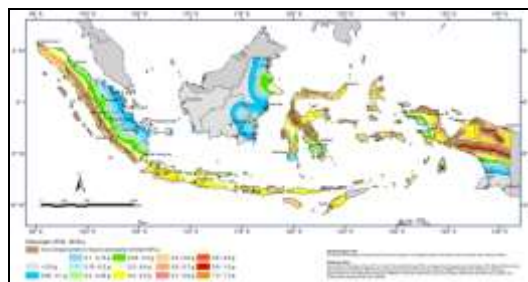


Gambar 1 Data Section Rencana Lereng Penambangan Tahun 2021

Berdasarkan data section diatas diketahui bahwa ketinggian lereng tunggal sebesar 6 meter dengan kemiringan  $72^\circ$  serta lebar jenjang 2 meter dan 24 meter tinggi lereng keseluruhan.

### 3.3. Beban Gempa

Gempa merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng dengan meningkatkan nilai gaya penggerakannya, oleh karenanya beban gempa harus dimasukkan sebagai salah variabel dalam upaya analisa kestabilan lereng. Parameter yang digunakan untuk mewakili beban gempa adalah nilai *peak ground acceleration* (PGA), dimana nilai PGA pada setiap daerah di Indonesia sudah ditetapkan dalam SNI 1726:2012.



Gambar 2 Nilai *peak ground acceleration* (PGA) berbagai wilayah di Indonesia

Pada gambar 2 di atas dapat dilihat nilai PGA berbagai daerah di Indonesia. Untuk kecamatan Gunungpuyuh sendiri memiliki nilai PGA berkisar 0.5-0.6 gal dalam penelitian ini penulis mengambil nilai PGA maksimum, yaitu 0.6 gal. Nilai koefisien gempa yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$K_h = 0.5 \frac{ad}{g}$$

$$K_h = 0.5 \frac{0.6 \text{ gal}}{\text{gal}}$$

$$K_h = 0.3$$

### 3.4. Kondisi Air Tanah

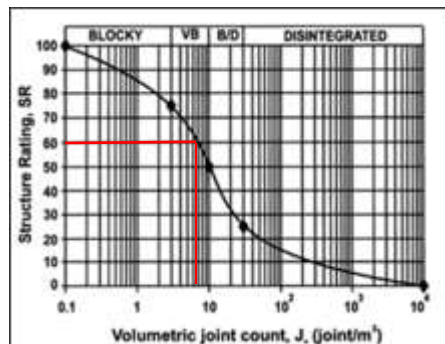
Dalam penelitian ini, kondisi air tanah pada lereng diasumsikan berada pada keadaan jenuh. ini dapat terjadi dengan banyak faktor luar yang mempengaruhinya, salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kondisi air tanah adalah intensitas curah hujan pada daerah penelitian.

### 3.5. Klasifikasi Massa Batuan GSI

Klasifikasi massa batuan dengan *geological strenght index* dilakukan dengan mempertimbangkan 2 parameter yaitu *structure rating* (SR) dan *surface condition rating* (SCR).

#### a. *Structure Rating* (SR)

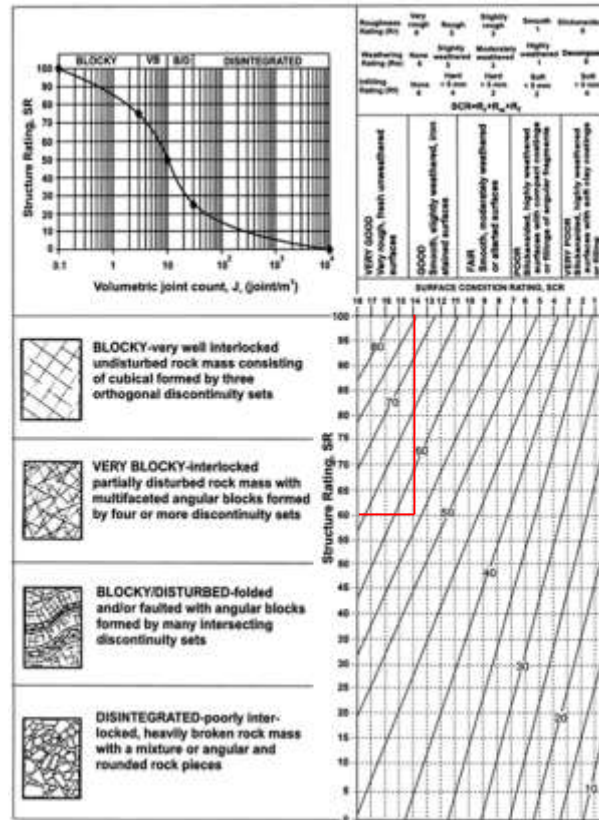
Dalam penilaian struktur, penulis melakukan penilaian berdasarkan pendekatan nilai *Volumetric Joint Count* ( $J_v$ ) yang diusulkan oleh palmstorm (1975). Berdasarkan inventarisasi struktur geologi (dapat dilihat pada lampiran) didapatkan bahwa sepanjang  $\pm 15$  meter lereng terdapat setidaknya 93 struktur yang terbagi kedalam 3 keluarga, dengan nilai  $J_v$  sebesar 7.125. Nilai SR didapatkan sebesar 60 dapat dilihat pada kurva berikut.

Gambar 3 Kurva Hubungan  $J_v$  dan *Structure Rating* [3]

#### b. *Surface Condition Rating* (SCR)

Nilai SCR didapatkan melalui penjumlahan bobot penilaian dari 3 parameter yang merepresentasikan kondisi permukaan bidang diskontinu, parameter tersebut antara lain adalah tingkat kekasaran permukaan, tingkat pelapukan dan material pengisi. Berdasarkan pengamatan di lapangan didapatkan bahwa permukaan bidang diskontinu kasar (bobot 5), tingkat pelapukan agak lapuk (bobot 5) dan material pengisi berupa mineral kwarsa yang kasar dengan ukuran material  $< 5$ mm (bobot 4). Berdasarkan bobot dari tiga parameter tersebut maka nilai SCR adalah sebesar 14.

Bobot dari parameter *structure rating* (SR) dan *surface condition rating* (SCR) didapatkan masing-masing sebesar 60 dan 14. Berdasarkan hasil tersebut maka nilai *geological strength index* sebesar 57 dapat dilihat pada kurva berikut.



Gambar 4 Hasil Pembobotan GSI

**3.6. Kekuatan Massa Batuan**

Kekuatan massa batuan ditentukan secara empiris menggunakan data uji kekuatan batuan utuh, seperti uji kuat tekan uniaksial dan uji triaksial serta pertimbangan kondisi lapangan seperti faktor ketergangguhan [3-4], tinggi lereng keseluruhan yang direncanakan dan klasifikasi massa batuan berdasarkan *geological strength index* (GSI).

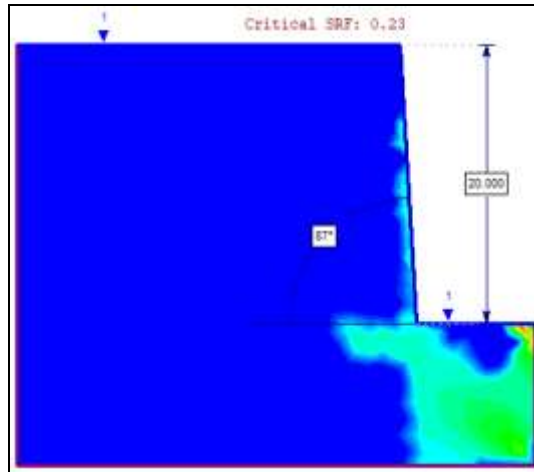
Dalam memprediksi kekuatan massa batuan, penulis memanfaatkan bantuan *software* untuk melakukan *computing* nilai kekuatan massa batuan berdasarkan parameter yang telah dimasukkan. Hasil prediksi kekuatan massa batuan dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1 Kekuatan Massa Batuan

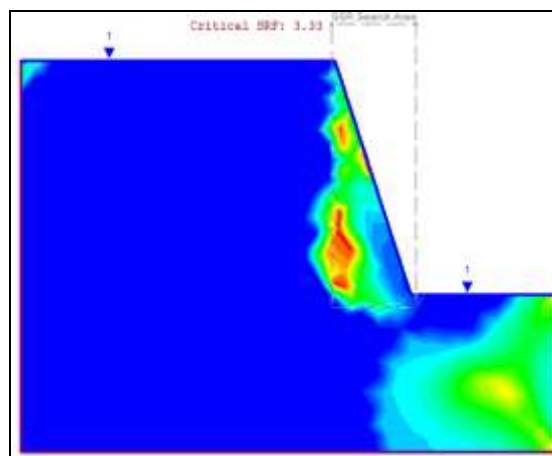
No	Kuat Tekan (Mpa)	GSI	Kohesi (Mpa)	Sudut Geser Dalam (°)	Kuat Tarik (Mpa)
1	48.45667	57	0.767	51.28	0.033
2	48.45667	57	0.809	52.87	0.027
3	48.45667	57	0.692	47.75	0.051
Mean	48.45667	57	0.756	50.63	0.037

**3.7. Analisa Kestabilan Lereng**

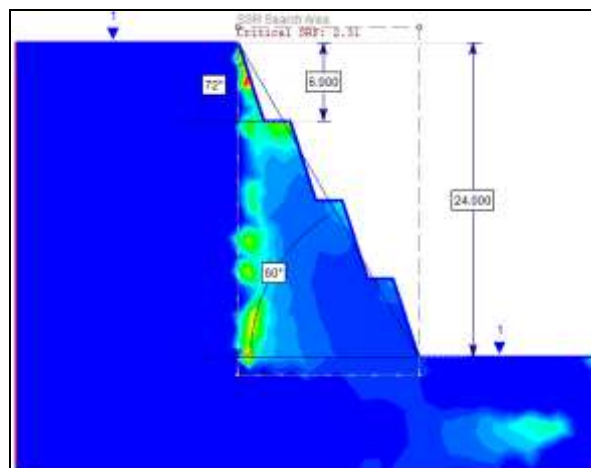
Analisa kestabilan lereng penambangan dengan metode elemen hingga dilakukan pada berbagai jenis lereng yang ada yaitu lereng sementara, lereng tunggal dan lereng keseluruhan yang telah direalisasikan maupun yang belum (sudah direncanakan). Berikut hasil analisa kestabilan lereng penambangan PT. Citatih Putra Sukabumi.



Gambar 5 Analisis Kestabilan Lereng Sementara



Gambar 6 Analisis Kestabilan Lereng Tetap



Gambar 7 Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan

Analisis kestabilan lereng penambangan menunjukkan bahwa tingkat kestabilan lereng penambangan sementara berada pada kondisi tidak stabil dengan FK sebesar 0.23, sedangkan untuk lereng tetap dan keseluruhan berada pada kondisi stabil dengan FK masing-masing sebesar 3.33 dan 2.31 dengan angka tersebut menunjukkan bahwa geometri lereng masih dapat dioptimalkan hingga  $FK=1.1$  untuk lereng tetap dan  $FK=1$  untuk lereng keseluruhan.



**3.8. Simulasi Geometri Lereng Penambangan Optimum**

**1. Simulasi Geometri Lereng Tunggal**

Terdapat beberapa tinggi lereng yang disimulasikan antara lain 8, 10, dan 12 meter dengan beberapa nilai kemiringan lereng yaitu 70°, 75°, 80° dan 85°. Berikut merupakan gambar hasil simulasi dengan menggunakan metode elemen hingga. Berdasarkan hasil simulasi beberapa kemungkinan geometri lereng tunggal dengan menggunakan metode elemen hingga didapatkan nilai faktor keamanan (FK) yang berbeda beda. Faktor keamanan terbesar (2.62) terjadi ketika geometri lereng tunggal dirancang dengan ketinggian 8 meter dan kemiringan 70°, sedangkan FK terkecil (0.55) terjadi ketika rancangan geometri lereng tunggal dirancang dengan ketinggian 12 meter dan kemiringan 85°. Rekapitulasi nilai FK dari berbagai rancangan simulasi geometri lereng tunggal dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2 Rekapitulasi Nilai FK Simulasi Geometri Lereng Tunggal

Tinggi Lereng tunggal	FK			
	70°	75°	80°	85°
8	2.62	1.85	1.32	1.01
10	2	1.38	1.1	0.72
12	1.8	1.22	0.86	0.55

Berdasarkan rekapitulasi nilai FK diatas kemudian dibuat kurva pemodelan parameter geoteknik untuk geometri lereng tunggal memanfaatkan bantuan perangkat lunak *spreadsheet* dengan nilai FK lereng tunggal sebesar 1.1.



Gambar 8 Korelasi Tinggi Lereng Terhadap Kemiringan Lereng Tunggal Pada FK 1.1

**2. Simulasi Geometri Lereng Keseluruhan**

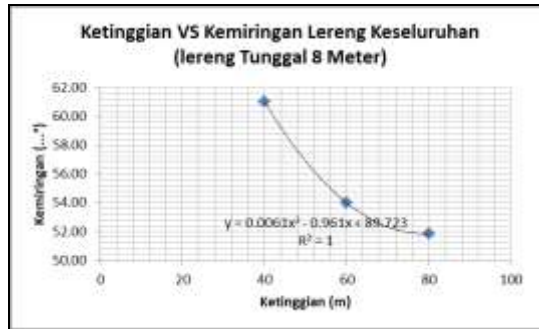
Simulasi geometri lereng keseluruhan dilakukan dengan tinggi lereng tunggal yang beragam (8,10 dan 12 meter) serta sudut kemiringan lereng keseluruhan yang berbeda untuk setiap analisisnya. Sudut yang di bentuk pada geometri lereng keseluruhan juga tergantung pada lebar jenjang dari desain jenjang keseluruhan. Berikut merupakan hasil analisa kestabilan lereng keseluruhan untuk berbagai geomteri. Berdasarkan hasil simulasi beberapa kemungkinan geometri lereng keseluruhan dengan ketinggian lereng tunggal 8 meter menggunakan metode elemen hingga didapatkan beberapa nilai faktor keamanan, dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3 Nilai FK Simulasi Geometri Lereng Keseluruhan untuk Lereng Tunggal 8 Meter

Tinggi Lereng Keseluruhan	Parameter	Nilai				optimal
40	lebar jenjang (m)	3	4	5	6	4.11
	sudut (...°)	67	62	58	54	61.04
	FK	0.44	0.93	1.31	1.92	1.00
60	lebar jenjang (m)	3	4	5	6	5.17
	sudut (...°)	65	59	55	51	54.01
	FK	0.48	0.59	0.74	1.47	1.00
80	lebar jenjang (m)	3	4	5	6	5.83
	sudut (...°)	65	60	56	51	51.87
	FK	0.31	0.48	0.69	1.16	1.00

Berdasarkan rekapitulasi nilai FK diatas kemudian dibuat kurva pemodelan parameter geoteknik untuk geometri lereng keseluruhan untuk ketinggian lereng tunggal 8 meter memanfaatkan bantuan perangkat lunak *spreadsheet* dengan nilai FK lereng keseluruhan sebesar 1.





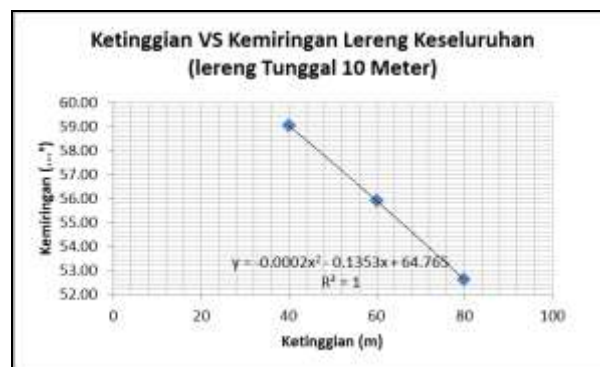
Gambar 9 Korelasi Tinggi Lereng Terhadap Kemiringan Lereng

Berdasarkan hasil simulasi beberapa kemungkinan geometri lereng keseluruhan dengan ketinggian lereng tunggal 10 meter menggunakan metode elemen hingga didapatkan beberapa nilai faktor keamanan, dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4 Nilai FK Simulasi Geometri Lereng Keseluruhan untuk Lereng Tunggal 10 Meter

Tinggi Lereng Keseluruhan	Parameter	Nilai					Optimal
40	lebar jenjang (m)	3	4	5	6	5.67	
	sudut (...°)	68	65	61	58	59.02	
	FK	0.36	0.58	0.74	1.41	1.00	
60	lebar jenjang (m)	3	4	5	6	6.03	
	sudut (...°)	67	63	59	56	55.89	
	FK	0.35	0.46	0.67	0.92	1.00	
80	lebar jenjang (m)	4	5	6	7	6.71	
	sudut (...°)	62	58	55	52	52.59	
	FK	0.43	0.54	0.67	1.15	1.00	

Berdasarkan rekapitulasi nilai FK diatas kemudian dibuat kurva pemodelan geoteknik untuk geometri lereng keseluruhan untuk ketinggian lereng tunggal 10 meter memanfaatkan bantuan perangkat lunak *spreadsheet* dengan nilai FK lereng keseluruhan sebesar 1.



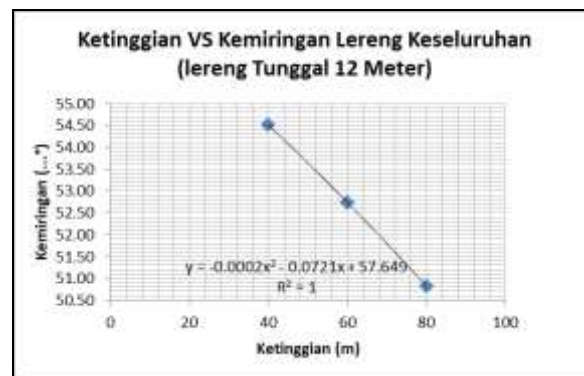
Gambar 10 Korelasi Tinggi Lereng Terhadap Kemiringan Lereng Keseluruhan dengan Tinggi Lereng Tunggal 10 Meter Pada FK 1

Berdasarkan hasil simulasi beberapa kemungkinan geometri lereng keseluruhan dengan ketinggian lereng tunggal 12 meter menggunakan metode elemen hingga didapatkan beberapa nilai faktor keamanan, dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5 Nilai FK Simulasi Geometri Lereng Keseluruhan untuk Lereng Tunggal 12 Meter

Tinggi Lereng Keseluruhan	Parameter	Nilai					Optimal
40	lebar jenjang (m)	3	4	5	6	6.11	
	sudut (...°)	65	61	58	55	54.50	
	FK	0.6	0.73	0.8	0.97	1.00	
60	lebar jenjang (m)	3	4	5	6	7.42	
	sudut (...°)	66	63	60	57	52.73	
	FK	0.39	0.4	0.6	0.66	1.00	
80	lebar jenjang (m)	4	5	6	7	7.39	
	sudut (...°)	61	58	55	52	50.83	
	FK	0.31	0.5	0.75	0.9	1.00	

Berdasarkan rekapitulasi nilai FK diatas kemudian dibuat kurva pemodelan parameter geoteknik untuk geometri lereng keseluruhan untuk ketinggian lereng tunggal 10 meter memanfaatkan bantuan perangkat lunak *spreadsheet* dengan nilai FK lereng keseluruhan sebesar 1.



Gambar 11 Korelasi Tinggi Lereng Terhadap Kemiringan Lereng Keseluruhan dengan Tinggi Lereng Tunggal 12 Meter Pada FK 1

#### 4. KESIMPULAN

- Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng yang dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga didapatkan bahwa lereng berada pada kondisi tidak stabil ( $FK=0.26$ ). Lereng tunggal dan lereng keseluruhan yang dianalisis dengan metode elemen hingga diketahui berada pada kondisi yang stabil dengan  $FK$  masing-masing sebesar 3.33 dan 2.31.
- Hasil simulasi geometri lereng optimal menunjukkan bahwa geometri lereng tunggal optimal bisa didapatkan pada beberapa ketinggian lereng dan kemiringan diantaranya adalah untuk tinggi lereng tunggal 8 meter maka kemiringan lerengnya adalah  $83^\circ$ , dengan ketinggian lereng 10 meter maka kemiringan lerengnya adalah  $80^\circ$  sedangkan untuk ketinggian lereng 12 meter kemiringan lerengnya adalah  $76^\circ$ . Geometri optimal untuk lereng keseluruhan dengan berbagai geometri lereng tunggal dan ketinggian lereng keseluruhan didapatkan bahwa untuk lereng tunggal 8, 10 dan 12 meter pada ketinggian 40 meter, masing-masing nilai kemiringannya adalah  $61^\circ$ ,  $59^\circ$  dan  $54.5^\circ$ , pada ketinggian 60 meter, masing-masing nilai kemiringannya adalah  $54^\circ$ ,  $56^\circ$  dan  $53^\circ$ , pada ketinggian 80 meter, masing-masing nilai kemiringannya adalah  $52^\circ$ ,  $53^\circ$  dan  $51^\circ$ .
- Geometri lereng panambangan sementara PT. Citatih Sukabumi berada pada kondisi yang tidak stabil ( $FK < 1$ ), sedangkan lereng tunggal dan keseluruhan berada pada kondisi stabil namun masih dapat dioptimalkan sehingga perlu dilakukan evaluasi dan perbaikan. Pada penelitian ini penulis merekomendasikan geometri lereng tunggal dengan menggunakan persamaan  $y=0.1845x^2 - 5.4139x + 114.94$  untuk lereng tunggal, dimana nilai  $x$  merupakan ketinggian yang diinginkan dan  $y$  merupakan sudut optimal yang dapat direalisasikan pada  $FK=1.1$ . Untuk lereng keseluruhan dengan tinggi lereng tunggal 8,10 dan 12 meter persamaannya berturut-turut adalah  $y = 0.0061x^2 - 0.961x + 89.723$ ,  $y = -0.0002x^2 - 0.1353x + 64.765$  dan  $y = -0.0002x^2 - 0.0721x + 57.649$  dimana nilai  $x$  merupakan ketinggian yang diinginkan dan  $y$  merupakan sudut optimal yang dapat direalisasikan pada  $FK=1$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

*Rekomendasi Geometri Lereng Penambangan Optimum Pada Tambang Batugamping (Zainal Abidin)*

- [1]. Arif, Irwandy., Geoteknik Tambang (Mewujudkan Produksi Tambang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng). Gramedia Pustaka. Jakarta. 2016
- [2]. Astawa Rai, Made., Suseno Kramadibrata., Ridho Kresna Wattimena. Mekanika Batuan. Institut Teknologi Bandung (ITB). Bandung. 2013
- [3]. Marinos, V. I. I. I.; Marinos, P.; Hoek, Evert. The Geological Strength Index: Applications And Limitations. Bulletin Of Engineering Geology And The Environment, 2005, 64.1: 55-65.
- [4]. Jacob, F., T. Belytschko. *A First Course in Finite Elements*. West Sussex, England. John Wiley & Sons Ltd. 2007.
- [5]. Kramer, Steven L, 1996, *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice-Hall. Inc., United States of America. 1996
- [6]. Novrinda, Riza ., Irfan Saputra., Analisis Kemantapan Lereng Kuari Batugamping di Tuban II PT. United Tractors Semen Gresik Tuban Jawa Timur. Prosiding Seminar Nasional XI “Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi. Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta. 2016
- [7]. Syaifuddin, Ahmad Syahal., Optimasi Produksi penambangan Dari Aspek Perancangan geometri Lereng Kuari Tanah Liat Mliwang Barat PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. Kabupaten Tuban, Jawa Timur. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta. 2019
- [8]. Wardana., I G. N. Pengaruh Perubahan Muka Air Tanah Dan Terasering Terhadap Perubahan Kestabilan Lereng. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil. Universitas Udayana. Denpasar. 2011