

## PEMODELAN PARAMETER GEOTEKNIK DALAM MERESPON PERUBAHAN DESAIN TAMBANG BATUBARA DENGAN SISTEM TAMBANG TERBUKA

Supandi

Jurusan Teknik Pertambangan, STTNAS  
Jalan Babarsari, Catur Tunggal, Depok, Sleman  
Email : supandisttnas@gmail.com

### ABSTRAK

Dalam perencanaan tambang terbuka, disamping faktor cadangan, teknis penambangan, ekonomi dan lingkungan, faktor kestabilan lereng menjadi faktor penting yang harus diperhitungkan dengan seksama. Perubahan harga komoditas tambang yang terjadi dua tahun terakhir ini, mendorong dilakukan efisiensi dalam operasi penambangan dimana biaya tertinggi pada pemindahan tanah penutup sehingga harus dilakukan efisiensi. Efisiensi banyak dilakukan dengan menurunkan "Stripping Ratio" sehingga jumlah batuan akan lebih kecil dimana untuk hal ini dapat dilakukan mengurangi kedalaman pit. Perubahan kedalaman pit akan berdampak pada perubahan geometri lereng dimana ujungnya akan berdampak pada nilai lereng keseluruhan.

Dengan dasar tersebut maka perlu dilakukan sebuah parameter geoteknik yang mampu merespon perubahan perencanaan tambang sehingga setiap perencanaan tambang yang dibuat sudah mempertimbangkan faktor geoteknik. Analisa dilakukan dengan memperhatikan kondisi geologi material penyusun lereng dan faktor stabilitas lereng sehingga dengan memperlakukan suatu kondisi geologi yang sama. Proses awal pemodelan diawali dengan melakukan analisa ketinggian tertentu pada beberapa nilai lereng keseluruhan yang berbeda-beda sehingga dapat diperoleh nilai ketinggian lereng dan nilai lereng keseluruhan optimum. Untuk membangun model parameter dilakukan dengan melakukan hal yang sama pada ketinggian yang berbeda. Parameter geoteknik optimum ini diperoleh dari penurunan analisa berdasarkan stabilitas optimum pada sebuah nilai faktor keamanan.

Dengan parameter geoteknik optimum tersebut maka dapat dipergunakan sebagai pedoman saat perencanaan tambang sehingga ketika parameter geoteknik dilakukan dengan sebuah model maka akan sangat membantu dalam merespon perubahan perencanaan tambang. Hasil akhir yang diharapkan adalah kegiatan penambangan dapat memaksimalkan sumberdaya dengan memperhatikan semua aspek.

*Key words: slope stability, parameter geoteknik, desain tambang, lereng keseluruhan.*

### PENDAHULUAN

Kestabilan lereng merupakan faktor vital dalam perencanaan dan operasional tambang terbuka dan kuari. Dalam penyusunan suatu rencana tambang, di samping faktor cadangan, teknis penambangan, ekonomi dan lingkungan, faktor kestabilan lereng menjadi faktor penting yang harus diperhitungkan dengan seksama. Desain dari lereng yang stabil dan tepat akan mempunyai dampak yang besar terhadap keekonomian tambang serta kontinuitas produksi tambang. Dengan melaksanakan kajian kemantapan lereng yang baik maka akan dapat disusun suatu rencana penambangan yang lengkap.

Pada kegiatan penambangan besar bisa sudah team geoteknik yang dapat setiap saat melakukan studi geoteknik dan memberikan rekomendasi setiap perubahan desain. Namun untuk tambang kecil biasanya menggunakan jasa pihak ketiga dalam melakukan kajian geoteknik. Dalam beberapa kasus kajian geoteknik yang dilakukan oleh konsultan sebatas informasi saat itu yang diperlukan dan belum menyentuh jika ada perubahan desain. Dengan perubahan desain maka seharusnya parameter yang diberikan juga harus mampu merespon desain baru tersebut. Dalam geometri lereng tambang terdapat beberapa bagian yaitu kaki lereng

(*toe*), bibir lereng (*crest*), permukaan lereng (*bench*), lereng keseluruhan (*overall slope*), dan lereng antara jalan (*interamp slope angle*) dan lereng individu (*Bench Face angle*). Salah satu parameter geoteknik yang berhubungan signifikan dengan stabilitas lereng adalah besarnya nilai lereng keseluruhan (*overall slope*).

Mengacu pada kondisi ini maka perubahan desain lereng harus tetap mengacu pada parameter geoteknik. Pemodelan parameter geoteknik sangat diperlukan untuk merespon perubahan desain sehingga saat ada perubahan desain masih dapat dijadikan pedoman.

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan dengan serangkaian pekerjaan geoteknik dari penyelidikan geoteknik sampai dengan pemodelan. Adapun tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian ini adalah;

1. Studi pustaka.
2. Penyelidikan lapangan, yang meliputi
  - a. Stratigrafi batuan
  - b. Pengambilan sample
  - c. Pengukuran muka air tanah
3. Uji sifat fisik dan mekanik batuan
4. Analisa stabilitas lereng
5. Pemodelan stabilitas lereng

## 6. Pemodelan parameter geoteknik

Studi pustaka dilakukan untuk mengetahui variasi batuan, pola struktur, informasi lain yang terkait dengan perencanaan penyelidikan lapangan. Penyelidikan lapangan difokuskan dengan pekerjaan pemboran inti yang dapat memberikan informasi detail variasi batuan penyusun lereng dan dari conto batuan dilakukan pengujian geomekanik. Uji sifat fisik dan mekanik difokuskan untuk mendapatkan parameter kohesi, sudut geser dalam dan berat volume. Analisa stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak dan dari hasil analisa diproses dalam menggunakan microsoft excel untuk pemodelan stabilitas lereng dan pemodelan parameter geoteknik sehingga hasil akhir yang diperoleh ada chart korelasi.

## DATA - PEMBAHASAN

Lereng merupakan suatu permukaan tanah atau batuan yang miring dan memiliki suatu sudut tertentu terhadap bidang horisontal. Lereng pada umumnya dapat terbentuk secara alamiah maupun secara buatan. Kemantapan suatu lereng tergantung terhadap besarnya gaya penahan dan gaya penggerak yang terdapat pada bidang gelincir tersebut. Gaya penahan merupakan gaya yang menahan terjadinya suatu longsor sedangkan gaya penggerak merupakan gaya yang menyebabkan terjadinya suatu longsor. Kemantapan suatu lereng dapat dinyatakan dengan suatu nilai faktor keamanan (FK) yang merupakan perbandingan antara gaya penahan dengan gaya penggerak. Apabila besarnya gaya penggerak lebih besar daripada gaya penahan maka lereng akan mengalami longsor, dan sebaliknya bila besarnya gaya penahan lebih besar daripada gaya penggerak maka lereng tersebut akan stabil atau tidak mengalami longsor.

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam menganalisis kemantapan suatu lereng adalah sebagai berikut:

### 1. Penyebaran Batuan

Aspek yang perlu diketahui untuk mempelajari penyebaran batuan adalah macam batuan atau tanah yang terdapat di daerah penyelidikan, penyebaran dan hubungan antar batuan. Sifat-sifat fisik dan mekanik suatu batuan berbeda dengan batuan yang lain sehingga kekuatan menahan beban berbeda pula. Sifat fisik dan sifat mekanik tanah atau batuan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kestabilan dari lereng karena berhubungan dengan besar kecilnya nilai kuat geser. Adapun sifat fisik dan sifat mekanik tanah dan batuan yang diperlukan dalam melakukan analisis kestabilan lereng adalah bobot isi, sudut geser dalam dan kohesi. Bobot isi merupakan perbandingan antara berat material dengan volume material yang dinyatakan dalam satuan berat per volume. Semakin besar bobot isi

batuan, maka gaya penggerak yang akan menyebabkan kelongsoran juga semakin besar. Sudut geser dalam merupakan sudut yang terbentuk dari hubungan tegangan normal dan tegangan geser didalam material batuan. Sudut geser dalam adalah sudut rekahan yang terbentuk jika suatu batuan dikenakan tegangan yang melebihi tegangan gesernya. Semakin besar sudut geser dalam suatu material, maka material tersebut akan lebih tahan menerima tegangan luar yang dikenakan. Kohesi adalah kekuatan tarik menarik antara butiran batuan yang dinyatakan dalam satuan berat per satuan luas. Bila kekuatan geser semakin besar, maka semakin besar pula harga kohesi dari material batuan. Batuan dengan kohesi yang besar dapat dibuat lereng dengan kemiringan yang besar pada nilai keamanan yang sama.

### 2. Geometri Lereng

Geometri lereng mencakup tinggi lereng dan sudut kemiringan 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. Sudut kemiringan lereng yang besar akan memberikan volume material yang besar, sehingga beban material pada lereng juga akan semakin besar.

Oleh karena itu apabila terjadi penambahan tinggi lereng maka harus diikuti dengan pengurangan kemiringan lereng, demikian juga apabila terjadi penambahan sudut kemiringan lereng harus disertai dengan pengurangan tinggi lereng. Semakin besar tinggi lereng dan juga sudut kemiringan lereng akan mengakibatkan berkurangnya kemantapan lereng tersebut sehingga mudah mengalami kelongsoran.

### 3. 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.

Kehadiran air tanah dalam tubuh lereng biasanya menjadi masalah bagi kestabilan lereng. Kondisi ini tidak lepas dari pengaruh luar, yaitu iklim (diwakili oleh curah hujan) yang dapat meningkatkan kadar air tanah, derajat kejenuhan atau muka air tanah. Kehadiran air tanah akan menurunkan sifat fisik dan sifat mekanik tanah. Kenaikan muka air tanah meningkatkan tekanan air pori, yang berarti memperkecil ketahanan geser dari massa lereng, terutama pada material tanah (*soil*).

Tiga parameter diatas maka pembuatan desain tambang ditujukan untuk optimalisasi geometri lereng berdasarkan kondisi sifat material penyusun

lereng dan muka air tanah. Faktor geometri adalah faktor yang mudah dilakukan rekayasa perubahan sehingga analisa ditekankan pada perubahan geometri lereng dengan mengasumsikan kesamaan kondisi geologi dan muka air tanah.

Dari penyelidikan dengan menggunakan pemboran ini diperoleh profil stratigrafi material penyusun lereng. Dari hasil deskripsi batuan diperoleh variasi litologi berupa batu lempung, batupasir, batuserpih dan batubara. Dari hasil uji geomekanik terhadap beberapa conto untuk memperoleh sifat fisik dan mekanik batuan seperti **table 1**.

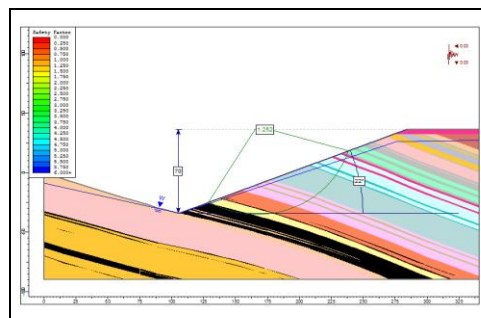
Table1. Sifat fisik – mekanik batuan

Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (MPa)	$\phi$ (L <sup>o</sup> )	Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (MPa)	$\phi$ (L <sup>o</sup> )
Batu Lempung1	18,50	0,14	21,30	softclay LW	18,00	0,00	20,00
Batu Lempung2	18,60	0,16	24,50	Batu Lempung LW	18,00	0,09	22,00
Batu Lempung3	19,00	0,20	25,00	Batu Pasir LW	20,00	0,00	23,00
Batu Lempung4	19,00	0,20	25,30	Bedding shear	13,00	0,00	12,00
Batu Lempung5	18,20	0,14	20,80	Tanah	17,00	0,02	17,00
Batu Lempung6	19,00	0,21	24,30	Quarter	18,90	0,11	23,03
Batu Lempung7	18,90	0,16	26,80	Batu Serpih	20,20	0,09	29,84
Batu Lempung8	18,80	0,19	25,20	Siltsand	20,80	0,04	31,64
Batu Lempung9	18,80	0,19	25,20	Carbonaceous	20,20	0,10	33,41
Batu Lempung10	18,90	0,18	24,40	Batu Sepih Pasiran	20,60	0,11	31,07
Batu Pasir1	18,00	0,15	22,90	Carbonaceous	20,10	0,05	19,36
Batu Pasir2	17,80	0,15	21,50	Batu Serpih	20,60	0,14	27,22
Batu Pasir3	18,90	0,15	22,80	Batu Pasir	20,50	0,11	25,24
Batu Pasir4	19,00	0,16	26,50	Batu Serpih	20,30	0,09	24,30
Batu Pasir5	18,10	0,16	21,50	Batu Sepih Pasiran	20,20	0,08	23,16
Batu Pasir6	18,90	0,25	26,50	Batu Lempung Pasiran	20,30	0,05	29,57
Batu Pasir7	13,00	0,15	24,80	Batu Sepih Pasiran	20,10	0,06	19,71
Batu Pasir8	19,00	0,25	26,50	Claystone	20,60	0,16	24,57
Batubara1	19,00	0,25	26,50	Batu Lempung	18,00	87,50	22,00
Batubara2	13,00	0,15	24,80	Batubara	14,00	189,00	34,53
Batubara3	13,00	0,15	24,80	Shear Above Batubara	13,00	0,00	13,00
Batubara LW	14,00	0,19	34,53	Sand	19,50	4,90	20,80

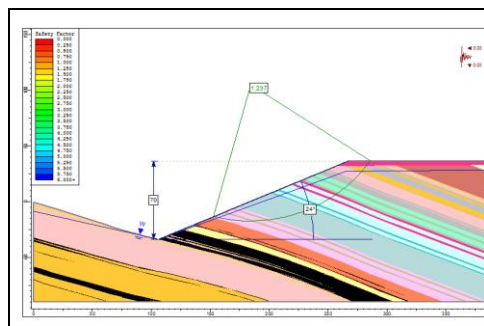
Muka air tanah pada daerah telitian relatif dangkal dengan rata-rata sekitar 3m dari permukaan. Kondisi ini sesuai dengan lingkungan pengendapan pada *forearc basin* dengan lingkungan pengendapan transisi dan delta. Kondisi muka air tanah yang tinggi terlihat dengan banyaknya *seepage* pada permukaan lereng.

Analisa stabilitas lereng dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Slide 6.025 dengan metode kesetimbangan batas. Data-data sifat fisik mekanik dan data muka air tanah menjadi dasar dalam analisa sehingga proses analisa dilakukan dengan mengoptimalkan sumberdaya yang ada. Penentuan geometri lereng awal dilakukan berdasarkan sifat fisik - mekanik batuan dan kedudukan sumberdaya yang ada. Dengan kedudukan sumberdaya pada kedalaman tertentu maka dilakukan analisa stabilitas lereng dengan menggunakan beberapa asumsi kelerengan optimum berdasarkan perilaku sifat fisik – mekanik. Dari kedalaman tertentu dilakukan analisa untuk memperoleh sudut lereng optimum. Sudut optimum diperoleh pada nilai faktor keamanan lereng 1.2.

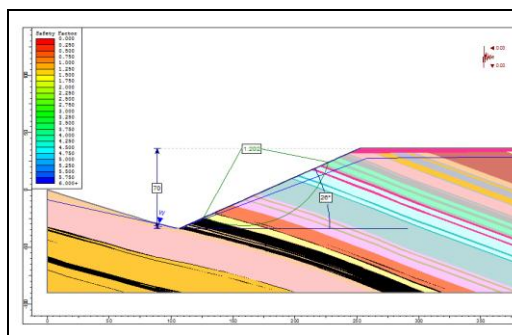
Dari satu buah titik kedalaman dilakukan analisa dengan menggunakan minimum 3 nilai lereng keseluruhan yang berbeda sehingga hasil akhir dapat ditarik dalam korelasi. Pada salah satu bagian dari analisa adalah pada ketinggian 70m. Pada ketinggian 70m dilakukan analisa pada nilai lereng keseluruhan sebesar 22<sup>o</sup>, 24<sup>o</sup>, 26<sup>o</sup>, 28<sup>o</sup> dan 30<sup>o</sup>. Dari masing-masing lereng keseluruhan diperoleh nilai faktor keamanan dari lereng terkecil berturut-turut adalah 1.252, 1.237, 1.202, 1.168, 1,247 (gambar 1 – 6).



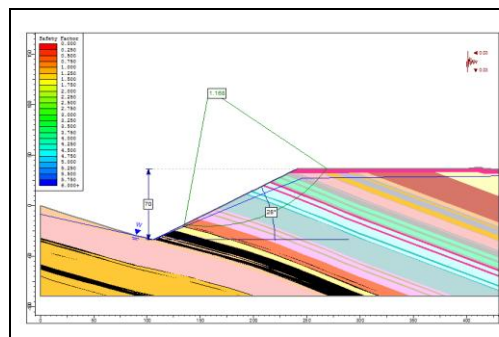
Gambar 1. Analisa pada ketinggian lereng 70m dan lereng keseluruhan 22derajat. FK 1.252



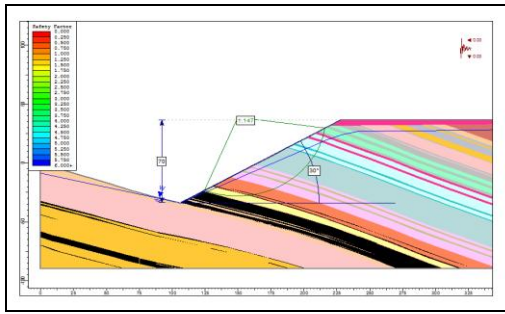
Gambar 2. Analisa pada ketinggian lereng 70m dan lereng keseluruhan 24derajat. FK 1.237



Gambar 3. Analisa pada ketinggian lereng 70m dan lereng keseluruhan 26derajat. FK 1.202

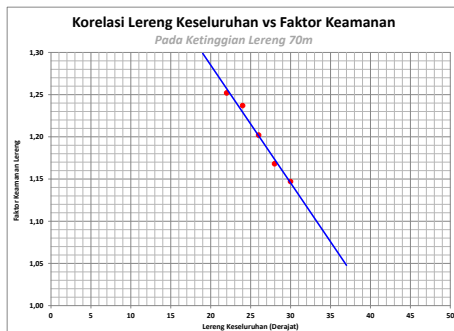


Gambar 4. Analisa pada ketinggian lereng 70m dan lereng keseluruhan 28derajat. FK 1.168



Gambar 5. Analisa pada ketinggian lereng 70m dan lereng keseluruhan 30derajat. FK 1.137

Proses analisa yang memperhatikan besaran lereng keseluruhan menghasilkan nilai faktor keamanan lereng sehingga dari dua angka tersebut dapat dibuat sebuah korelasi lereng keseluruhan dan nilai faktor keamanan lereng (*gambar 6*).



Gambar 6. Korelasi lereng keseluruhan terhadap faktor keamanan lereng pada ketinggian lereng 70m

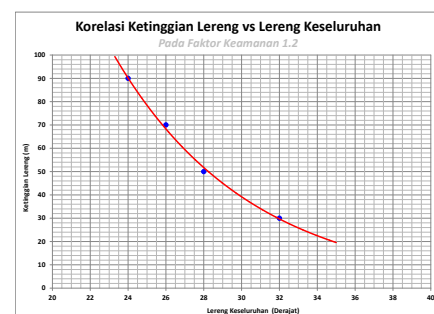
Gambar diatas menginformasikan besaran lereng keseluruhan berada pada bagian X dan faktor keamanan pada bagian Y. Titik-titik hasil korelasi dapat dilihat pada titik warna merah pada gambar 6 dimana terlihat dengan semakin besar nilai lereng keseluruhan maka akan diperoleh nilai faktor keamanan lereng yang menurun. Dari titik-titik merah pada gambar terlihat pola linier antara ketinggian lereng dan lereng keseluruhan sehingga dapat ditarik sebuah garis interpretasi berdasarkan hasil analisa (garis biru). Setiap kenaikan nilai lereng keseluruhan akan selalu diikuti oleh penurunan faktor keamanan lereng.

Dari hasil persamaan dalam gambar 6 diatas maka dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa nilai optimum untuk lereng keseluruhan pada ketinggian lereng 70m. Penentuan lereng optimum berdasarkan pada nilai faktor keamanan lereng optimum. Pada penelitian ini nilai faktor keamanan lereng optimum ditentukan pada nilai 1.2. Untuk memperoleh kelerengan optimum pada ketinggian lereng 70m dapat dilakukan dengan menarik garis dari sisi Y sebesar 1.2 dan dipotongkan dengan garis persamaan dan ditarik ke sumbu X sehingga diperoleh besaran lereng keseluruhan optimum. Dari gambar 2 diperoleh informasi bahwa dengan

ketinggian 70m nilai lereng keseluruhan optimum pada 26derajat. Dari data ini maka dapat menjadi dasar dalam membuat desain tambang.

Kegiatan penambangan tidak akan lepas dari harga komoditas sehingga proses kegiatan penambangan juga sejalan dengan harga pasar. Pada saat harga turun maka efisiensi harus dilakukan maka salah satu hal yang dapat dilakukan adalah mengurangi biaya operasional dalam hal ini biaya pengupasan batuan penutup. Menurunkan biaya operasional batuan penutup dapat dilakukan dengan mengurangi jumlah OB dengan menaikkan kedalaman tambang. Dengan kedalaman yang berkurang maka ketinggian lereng akan berkurang dan seharusnya akan mempengaruhi stabilitas lereng dimana lereng keseluruhan dapat lebih tegak.

Berdasarkan kondisi ini maka perlu dilakukan analisa untuk setiap ketinggian yang berbeda sehingga dapat merespon kondisi lapangan. Salah satu hal yang dapat dilakukan adalah melakukan analisa dengan ketinggian lereng yang berbeda dimana dalam penelitian ini dilakukan pada ketinggian 90m, 70m, 50m dan 30m. Dari masing-masing ketinggian dilakukan analisa yang sama seperti penjelasan diatas sampai menghasilkan gambar 6 dimana satu titik ketinggian dilakukan analisa terhadap berbagai macam nilai lereng keseluruhan yang berbeda sehingga dapat diperoleh nilai lereng keseluruhan optimum. Dengan analisa ini maka setiap ketinggian akan diperoleh suatu nilai lereng keseluruhan optimum sehingga dapat ditarik korelasi nilai ketinggian terhadap nilai lereng keseluruhan optimum pada nilai faktor keamanan optimum dimana dalam hal ini 1.2. dari hasil analisa dapat diperoleh sebuah korelasi seperti pada gambar 7. Pada sisi X menginformasikan nilai lereng keseluruhan dan sisi Y menginformasikan ketinggian lereng. Titik-titik warna biru menginformasikan sebuah nilai hasil korelasi dan garis merah merupakan perilaku sebuah korelasi untuk dipergunakan dalam memprediksi kondisi lain namun masih dalam satu kondisi. Dari gambar tersebut dapat diperoleh informasi bahwa semakin tinggi lereng maka akan semakin landai nilai lereng keseluruhan optimum dan begitu sebaliknya.



Gambar 7. Korelasi lereng keseluruhan terhadap ketinggian lereng pada faktor keamanan lereng 1.2

Pemodelan parameter geoteknik dapat membantu perencanaan tambang dengan baik sehingga mampu merespon perubahan desain dengan berbagai alasan. Dinamika kegiatan penambangan yang dinamis perlu mendapatkan dukungan salah satunya dari sisi geoteknik sehingga semua kegiatan penambangan mampu dilakukan dengan baik dan optimalisasi sumberdaya dapat tercapai.

#### KESIMPULAN

Dalam penyusunan suatu rencana tambang, disamping faktor cadangan, teknis, ekonomi, dan lingkungan, faktor kestabilan lereng menjadi faktor penting yang harus diperhitungkan dengan seksama. Parameter geoteknik yang disampaikan juga harus lebih fleksible dalam merespon isu-isu kegiatan operasional penambangan sehingga parameter geoteknik harus aplikatif. Perubahan geometri lereng harus diimbangi dengan perubahan parameter geoteknik dalam hal ini nilai lereng keseluruhan sehingga desain tambang dapat dilakukan dengan optimum.

Proses analisa pemodelan parameter geoteknik diawali dengan analisa ketinggian lereng pada nilai lereng keseluruhan yang berbeda sehingga dapat diperoleh sebuah nilai faktor keamanan lereng. Dari analisa dapat diperoleh sebuah korelasi dimana semakin besar nilai lereng keseluruhan pada ketinggian lereng tertentu akan diperoleh nilai faktor keamanan lereng yang lebih kecil. Dengan ditentukannya faktor keamanan lereng optimum maka setiap ketinggian lereng akan memperoleh satu nilai lereng keseluruhan optimum.

Dengan dilakukan pada ketinggian yang berbeda maka dapat diperoleh nilai korelasi ketinggian lereng dan nilai lereng keseluruhan optimum pada sebuah nilai faktor keamanan optimum. Jika nilai faktor keamanan dikeluarkan dari dalam persamaan maka dapat diperoleh korelasi antara ketinggian dan lereng keseluruhan optimum. Semakin besar nilai lereng keseluruhan maka ketinggian lereng akan semakin berkurang.

Dengan perubahan desain tambang maka model parameter ini masih dapat mengikuti perubahan yang ada. Parameter geoteknik berupa model akan sangat membantu dalam perencanaan tambang

dengan lebih fleksible dengan tetap memperhatikan kestabilan lereng.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Bieniawski, Z.T. 1975. The point load test in geotechnical practice. *Engineering Geology*, Vol. 9, 1975, p 1 – 11.
2. Deere, D.U. 1964. Technical description of rock cores for engineering, *Rock Mechanics & Engineering Geology*, Vol. 1, No. 1, 1964, p. 17 - 22.
3. Hoek, E dan Bray, J.W., 1981. *Rock slope engineering*, Institute of Mining & Metallurgy, p. 358
4. Priest, S.D. dan Hudson, J.A. 1976. Discontinuity spacing in rock. *Int. Journal rock Mechanics Mineral & Science*, Vol. 13, 1976, p. 135 – 148.
5. Abramson, L.W., Lee, S.T., Sharma, S., Boyce, G.M. (1995). *Slope Stability And Stabilization Methods*, John Willey & Sons, inc, New York
6. DAS, M Braja (1993). *Principles of Geotechnical Engineering*, Third Edition, PWS Publishing Company, Boston, Amerika Serikat.
7. Dunn, I.S., Anderson, L.R., Kiefer, F.W. (1980). *Fundamentals of Geotechnical Analysis*, John Willey & Sons, inc, New York
8. Geo Slope, "Block Slip Surfaces", GEO-SLOPE International Ltd, Calgary, Alberta, Canada.
9. Rocscience, 2002, *Critical Slip Surface Search Methods in SLIDE*, Rocscience Inc, Canada