

Analisis Rekah Tarik Lereng *Sidewall* Penambangan Blok Menyango Berdasarkan Reliabilitas Kemantapan Lereng Menggunakan Metode *Finite Difference*

(*Slope Tensile Fracture Analysis of Menyango Block Mining Based on Slope Stability Reliability Using the Finite Difference Method*)

Novandri Kusuma Wardana^{1*}, Meda Rusdiana Ipmawati², Noviana Pratiwi³

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral ITNY

²PPSDM Geominerba Bandung

³Program Studi Statistika, Fakultas Sains Terapan, IST Akprind Yogyakarta

* Korespondensi E-mail: novandri.kusuma@itny.ac.id

Abstrak

Analisis probabilitas yang digunakan dalam parameter geoteknik merupakan metode yang signifikan dalam menyelesaikan permasalahan tingkat kestabilan lereng penambangan. Metode probabilitas kelongsoran yang mendasarkan distribusi nilai parameter dengan tipe data hasil uji laboratorium dan hasil investigasi lapangan sebagai analisis balik lereng penambangan. Lereng *sidewall* yang mengalami pergeseran bidang akibat adanya rekah tarik selebar 18 cm dengan panjang 150 meter menjadikan potensi longsor, sehingga diperlukan analisis balik kestabilan lereng. Kondisi ketidakpastian dari batuan pembentuk lereng pada saat tingkat kejenuhan naik 23 % sehingga memberikan tekanan airpori yang lebih besar. Lereng dengan geometri tinggi 10 m dan sudut lereng tunggal 50° diperlukan redesain tinggi 7 meter dan sudut lereng tunggal 42°. Hasil perhitungan FK didapatkan untuk lereng *IRA* adalah 1.376 dengan probabilitas kelongsoran nilai 23,12% dan *overall slope* dengan FK sebesar 1,40 dengan *probability of failure (PoF)* sebesar 18,27%. Hasil distribusi variabel acak menggunakan *Chi – Square* didapatkan distribusi Normal dan Lognormal untuk batupasir, distribusi Normal dan Eksponensial untuk batulempung, dan distribusi Lognormal untuk batulanau.

Kata kunci: Reliabilitas, kestabilan lereng, longsor, penambangan

Abstract

Probability analysis is method in geotechnical parameter to solve problem on the stability of the mining slope. It explains values of distribution parameters based on data type of laboratory test results and field investigations result as a back analysis of the mining slope. Sidewall slopes had sliding plane due to tension crack as wide as 18 cm with a length of 150 meters had potential failure, so back analysis of slope stability is needed. Condition of uncertainty the rock of the slope when the increase saturation level 23% so that it gives a greater water pore pressure. Slopes with a geometry of sidewall 10 m high and a single slope angle of 50 ° require redesign of a height of 7 meters and a single slope angle of 42 °. The results of FK calculations obtained for the *IRA* slope were 1.24 with a probability of failure of 23.12% and the overall slope with FK 1.31 with a probability of failure of 18.27%. The results of the distribution of random variables using Chi - Square obtained Normal and Lognormal distributions for sandstones, Normal and Exponential distribution for claystone, and Lognormal distribution for siltstone.

Keywords: Reliability, stability of sidewall, failure, mining

1. Pendahuluan

Metode Probabilitas yang sering dipergunakan untuk merepresentasikan kondisi ketidakpastian dari rekayasa geoteknik. Area lereng jenjang penambangan batuan yang cenderung terjadi perubahan tegangan yang besar. Hal ini dikarenakan adanya perubahan tegangan mula yang menunjukkan pergeseran perpindahan tegangan, sehingga hal ini menyebabkan kondisi ketidakstabilan pada

lereng. Karakteristik massa batuan yang cenderung bersifat *weak rock* serta dipengaruhi oleh adanya kenaikan tingkat kejenuhan pada batuan karena curah hujan yang tinggi, sehingga menjadikan lereng cenderung tidak stabil. Contreras et al. (2018) menyatakan deskripsi perbedaan antara 2 pendekatan dalam parameter inferensial untuk desain lereng tambang, sehingga disajikan kemudahan dan

keuntungan menggunakan Metode Bayesian atau *Bayesian Information Criteria*.

Berdasarkan kondisi lereng, kelongsoran lereng menyiratkan bahwa nilai faktor keamanan merupakan satu kesatuan. Pendekatan ini didasarkan pada interpretasi probabilitas tertentu dan *framework* yang memadai untuk penanganan ketidakpastian dalam rekayasa geoteknik, Pendekatan Bayesian ini telah dilakukan untuk metode probabilitas dalam rekayasa geoteknik (Miranda, et al (2009), Brown (2012), Bozorgzadeh and Harrison (2014), Feng and Jimenez (2015) dan Wang, et al (2016).

Dalam rekayasa geoteknik kestabilan lereng Wardana, N.K. (2019) perubahan tegangan geser diakibatkan oleh adanya perubahan kandungan air sehingga menyebabkan adanya ketidakstabilan lereng. Dalam penelitian tersebut karakteristik massa batuan, didasarkan parameter geser hasil uji kuat geser dan uji sifat fisik bobot isi jenuh.

Keberadaan air yang berlebih, atau curah hujan menyebabkan adanya *run off* atau air limpasan yang berada di permukaan, mengisi area rekahan tarik (*tension crack*) sehingga menyebabkan pergeseran batuan yang menjadikan potensi longsor bidang pada area blok penambangan lereng *sidewall*.

2. Metode

Lokasi pengambilan sample berasal dari PT. MARUNDA GRAHAMINERALS, Kecamatan Laung Tuhup, Kabupaten Murung Raya, Provinsi Kalimantan Tengah yang dilakukan pada bulan Februari sampai bulan Mei 2020 dengan melakukan Pemboran Geoteknik. Lokasi penelitian berada di area lereng *sidewall* blok Menyango (Gambar 3). Secara administrasi wilayah PKP2B PT. MARUNDA GRAHAMINERAL terletak pada 0°17'31" LS sampai 0°35'12" LS dan 114°43'27" BT sampai 114°47'23" BT.

Untuk mengetahui kondisi aktual serta memperkirakan kekuatan massa batuan yang akan digunakan untuk mendesain analisis balik suatu lereng tambang, perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu berupa pengujian laboratorium dan investigasi lapangan berupa pemetaan geoteknik di lapangan.

a. Pengujian sifat fisik

Uji sifat fisik dilakukan untuk mendapatkan sifat – sifat fisik batuan yaitu bobot isi asli (*natural density*), bobot isi kering (*dry density*), bobot isi jenuh (*saturated density*), kandungan air asli (*natural water content*), derajat kejenuhan (*degree of saturation*), porositas (*porosity*) dan angka pori (*void ratio*).

b. Pengujian Kuat Geser

Dengan melakukan pengujian kuat geser akan didapatkan hasil kohesi (*cohesion*) dan

sudut gesek dalam serta nilai Tegangan normal dan tegangan geser (τ). Hasil pengujian yang didapatkan berupa hasil uji geser puncak dan residu.

c. Pengujian Permeabilitas

Pengujian Permeabilitas dimaksudkan untuk mengetahui tingkat permeabilitas batuan terhadap kondisi air permukaan yang menyebabkan ketidakstabilan lereng.

d. Pemetaan geoteknik

Dilakukan pemetaan kondisi aktual di lapangan berdasarkan bidang gelincir yang terjadi, pengukuran kedalaman rekah tarik, pengukuran lebar rekah tarik, jarak rekah tarik terhadap muka lereng.

Point estimate method dikembangkan Rosenblueth (1981) dimana distribusi kerapatan probabilitas (PDF) dari variabel acak disimulasikan dengan "point" massa dengan lokasi plus atau minus satu standard deviasi (σ) dari nilai tengahnya (μ). Metode ini memberikan hasil yang akurat dan cepat, dan metode ini dibahas secara detail oleh E. Hoek (1997) menggunakannya dalam analisis kestabilan tambang bawah tanah, sedangkan Patton (1967) mengaplikasikannya pada permasalahan kestabilan lereng. Seperti telah dibahas sebelumnya bahwa faktor keamanan ($FK = F$) suatu lereng merupakan fungsi dari dua variabel acak bebas yaitu komponen gaya penahan ($r = X$) dan gaya pendorong ($d = Y$), dimana fungsi tersebut dapat dinyatakan dengan :

$$F = g(X, Y) \quad (1)$$

Dengan dua variabel acak bebas, maka perhitungan (FK) sebagai kombinasi dari variabel acak sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F_{+++} &= g[(\mu_x + \sigma_x), (\mu_y + \sigma_y)] \\ F_{+-} &= g[(\mu_x + \sigma_x), (\mu_y - \sigma_y)] \\ F_{-+} &= g[(\mu_x - \sigma_x), (\mu_y + \sigma_y)] \\ F_{--} &= g[(\mu_x - \sigma_x), (\mu_y - \sigma_y)] \end{aligned} \quad (2)$$

Rata – rata maupun nilai varians didapatkan dengan mengembangkan persamaan nilai varians adalah sebagai berikut :

$$E[F] = \mu_F = \sum x_i p(x_i) \quad (3)$$

$$\text{Var}[F] = E[F^2] - (E[F])^2 \quad (4)$$

Salah satu keuntungan dari penggunaan metode *Point estimate method* selain karena kepraktisannya dengan cukup parameter statistik (nilai rata-rata dan varians) adalah bahwa metode ini tidak membutuhkan adanya fungsi distribusi probabilitas yang lebih lanjut.

Perhitungan probabilitas kelongsoran berdasarkan nilai rata-rata (μ) dan standar deviasi (σ) dari nilai FK yang diasumsikan berdistribusi normal sebagai berikut :

$$Reliability\ Index = \beta = \frac{\mu-1}{\sigma} \quad (5)$$

Reliabilitas ketidakpastian dikaitkan dengan berbagai konsep seperti ketidakpastian, ketidaktepatan, dan variabilitas. Pada tingkat dasar, ini dapat dikategorikan menjadi ketidakpastian aleatory atau epistemic. Ketidakpastian Aleatory dikaitkan dengan variasi dikurangi dengan pengumpulan data tambahan atau dengan menyempurnakan model berdasarkan pemahaman yang lebih baik dari entitas yang diwakili. Di sisi lain, variasi natural tidak dapat dikurangi dengan ketersediaan lebih banyak informasi yang hanya akan berfungsi untuk memberikan representasi yang lebih baik dari jenis ketidakpastian ini.

Pada metode ini dilakukan perhitungan kuantitatif dengan dasar prinsip mekanika. Metode beda hingga merupakan salah satu teknik yang digunakan dalam menganalisis numerik untuk menyelesaikan persoalan – persoalan rekayasa geoteknik dan mekanika batuan. Metode *finite difference* dilakukan untuk mencari nilai suatu titik dengan melihat perbedaan nilai dengan titik – titik disekitarnya. Metode Beda Hingga (*finite difference method*)

acak, dalam variabilitas alami memiliki karakter eksternal, sedangkan ketidakpastian epistemic dikaitkan dengan yang tidak diketahui, berasal dari kurangnya pengetahuan, terjadi dalam pikiran atau memiliki karakter internal, seperti yang dibahas oleh Baecher dan Christian (2003). Oleh karena itu, ketidakpastian epistemic dapat

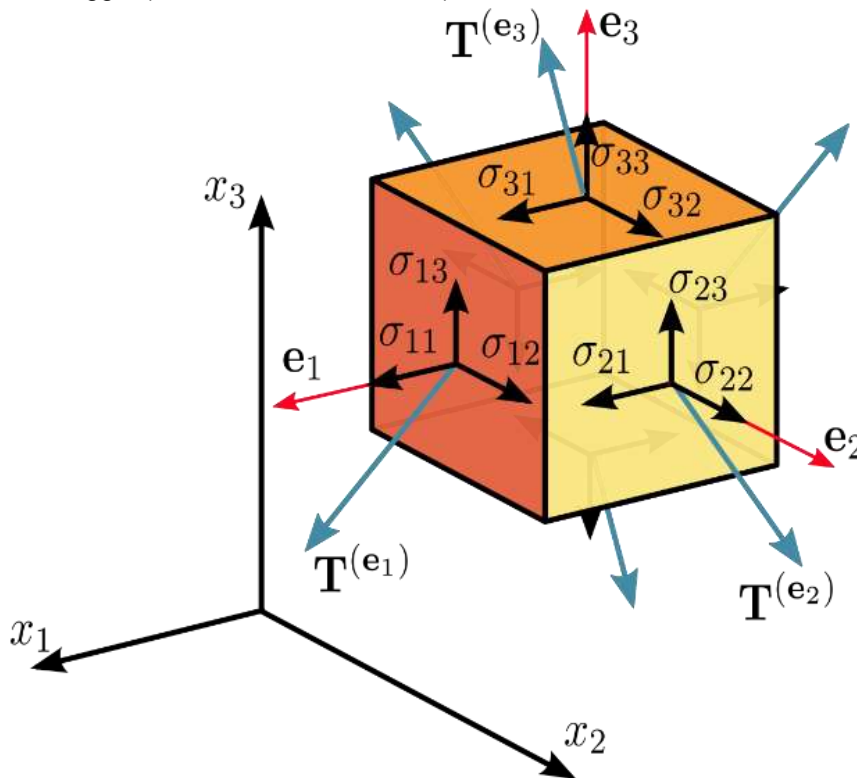
merupakan bentuk ekspresi matematik dari bentuk $f(x + b) - f(x + a)$. Apabila *finite difference* dibagi oleh $b - a$, Cara yang terbaik dalam *finite difference* adalah dengan cara *central difference*.

Cara differensial dilakukan dengan penurunan $(f(x)/dx)$ kurva/fungsi f untuk mendapatkan nilai y_i . Syarat utama adalah fungsi f diketahui.

$$y'_i = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2(\Delta x)} \quad (6)$$

Untuk pendekatan yang lebih dekat dibuat turunan kedua dengan selisih nilai y pada posisi yang lebih dekat, yaitu $i + \frac{1}{2}$ didefinisikan sebagai :

$$y''_i = \frac{(y'_{i+\frac{1}{2}} - y'_{i-\frac{1}{2}})}{(\Delta x)} \quad (7)$$



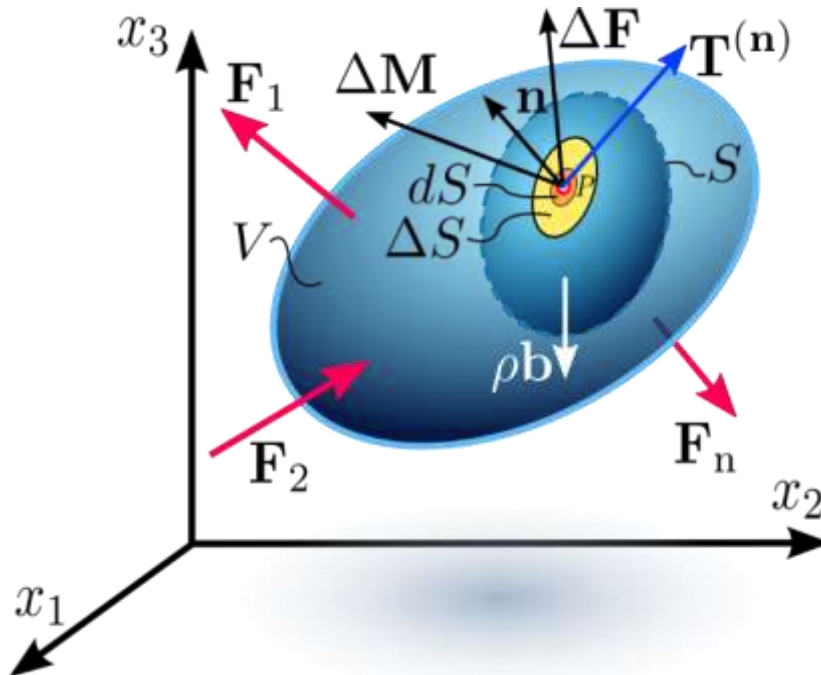
Gambar 1. Stress Tensor dalam Element

Secara kuantitatif, Tegangan diekspresikan oleh vektor traksi Cauchy yang didefinisikan sebagai gaya traksi F di antara bagian-bagian material yang berdekatan di seluruh permukaan pemisah imajiner S , dibagi oleh area S . Dengan demikian keadaan stres materi harus dijelaskan oleh tensor, yang

disebut tensor stres (Cauchy), yang merupakan fungsi linear yang menghubungkan vektor normal n dari permukaan S dengan stres T di S . Sehubungan dengan sistem koordinat yang dipilih, tensor stres Cauchy dapat diwakili sebagai matriks simetris 3x3 angka riil. Bahkan dalam tubuh yang

homogen, tensor stres dapat bervariasi dari satu tempat ke tempat lain, dan dapat berubah

dari waktu ke waktu.



Gambar 2. External Forces dalam Continuum mechanics

3. Hasil dan Pembahasan

Mekanisme analisis kestabilan lereng berdasarkan aspek probabilitas kelongsoran lereng, dapat dihubungkan dalam karakteristik nilai FK dan PK (Wardana, N.K dkk. (2017). Kurva distribusi probabilitas di deskripsikan menjadi densitas probabilitas (*PDF*) dan fungsi kumulatif (*CDF*). Fungsi densitas probabilitas mendeskripsikan daerah kemungkinan relatif dimana suatu bilangan acak dapat diasumsikan sebagai suatu nilai unik dibandingkan nilai lainnya. Pada kurva distribusi faktor keamanan, luas kurva yang diarsir merupakan probabilitas kelongsoran lereng (PK).

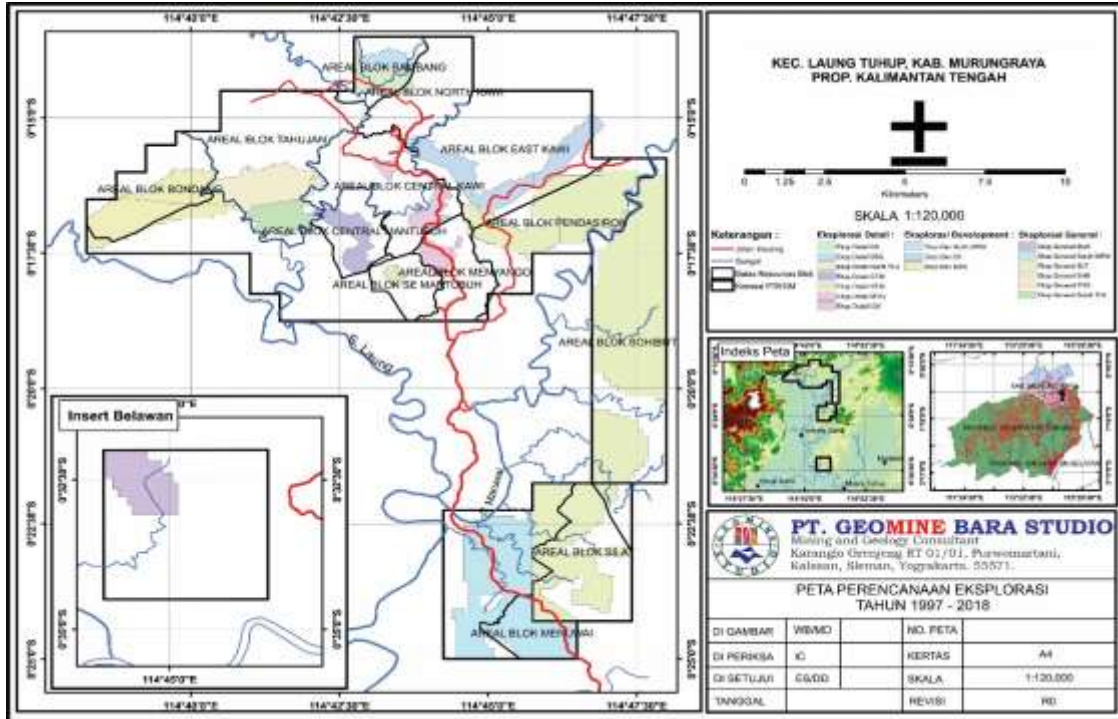
Proses karakterisasi variabel acak adalah suatu proses penentuan fungsi distribusi probabilistik teoritik pada variabel acak yang menjadi input pada analisis balik kestabilan lereng. Data hasil propertis batuan sedimen hasil uji laboratorium diambil parameter geoteknik. Menurut *Tapia, et al* (2007) nilai FK merupakan hasil ketidakpastian yang dihubungkan dengan suatu variabel acak (*spatial variability*) dan distribusi variabel (*variability distribution* dari setiap batuan yang akan menghasilkan nilai Probabilitas Kelongsoran.

3.1 Karakteristik Variabilitas Spasial

Hasil perhitungan nilai PK dan FK menggunakan *Finite Difference Method* didapatkan hasil lereng dengan kondisi aktual di area penelitian, kondisi lereng pasca terjadi rekah tarik dan hasil redesain analisis balik perhitungan lereng *sidewall* blok Menyango. *Finite Difference Method* dan *Shear Strength Reduction* menggunakan pendekatan *Point Estimate Method*. Hasil perhitungan probabilitas telah dikembangkan oleh *E. Rosenblueth* (1981) Prinsip dasar dalam perhitungan dengan menggunakan iterasi analisis FDM – SSR, sedangkan penentuan probabilitasnya dari pendugaan variasi variabel acak distribusi statistik, masing – masing variabel acak yaitu kohesi, sudut gesek dalam, *Poisson's ratio* dan *Young Modulus*.

3.2 Hasil Perhitungan Variabel Acak

Proses karakterisasi variabel acak adalah suatu proses penentuan fungsi distribusi probabilistik teoritik pada variabel acak yang menjadi input pada analisis balik kestabilan lereng (Andini, D., 2019) Data hasil propertis batuan sedimen hasil uji laboratorium diambil parameter seperti disajikan tabel 1.



Gambar 3. Lokasi penelitian lereng *sidewall* blok Menyango



Gambar 4. Kondisi batuan : (a) lereng *sidewall* yang mengalami rekah tarik, dan (b) *slope cut* di *sidewall*

Tabel 1. Data Analisis Karakteristik Variabel Acak

No	Parameter Batuan	Parameter Statistik	Input	Reliability Index Minimum	Reliability Index Minimum	Fungsi Probabilistik
1	Kohesi (c)	Minimum	22.35	21.25	28.36	FK = f(z _w , H _w , γ, c, φ, H)
		Maksimum	96.45			
		Mean	59.4			
		Std. Deviasi	1.48			
2	φ (phi)	Minimum	17.40	18.45	15.35	FK = f(z _w , H _w , γ, c, φ, H)
		Maksimum	42.63			
		Mean	27.28			
		Std. Deviasi	4.63			
3	Tinggi Muka airtanah (H _w)	Maksimum	85.47	27.33	84.35	FK = f(z _w , H _w , γ, c, φ, H)
		Mean	59.63			
		Std. Deviasi	2.38			
4	Kedalaman air (z _w)	Minimum	14.18	6.48	30.25	FK = f(z _w , H _w , γ, c, φ, H)

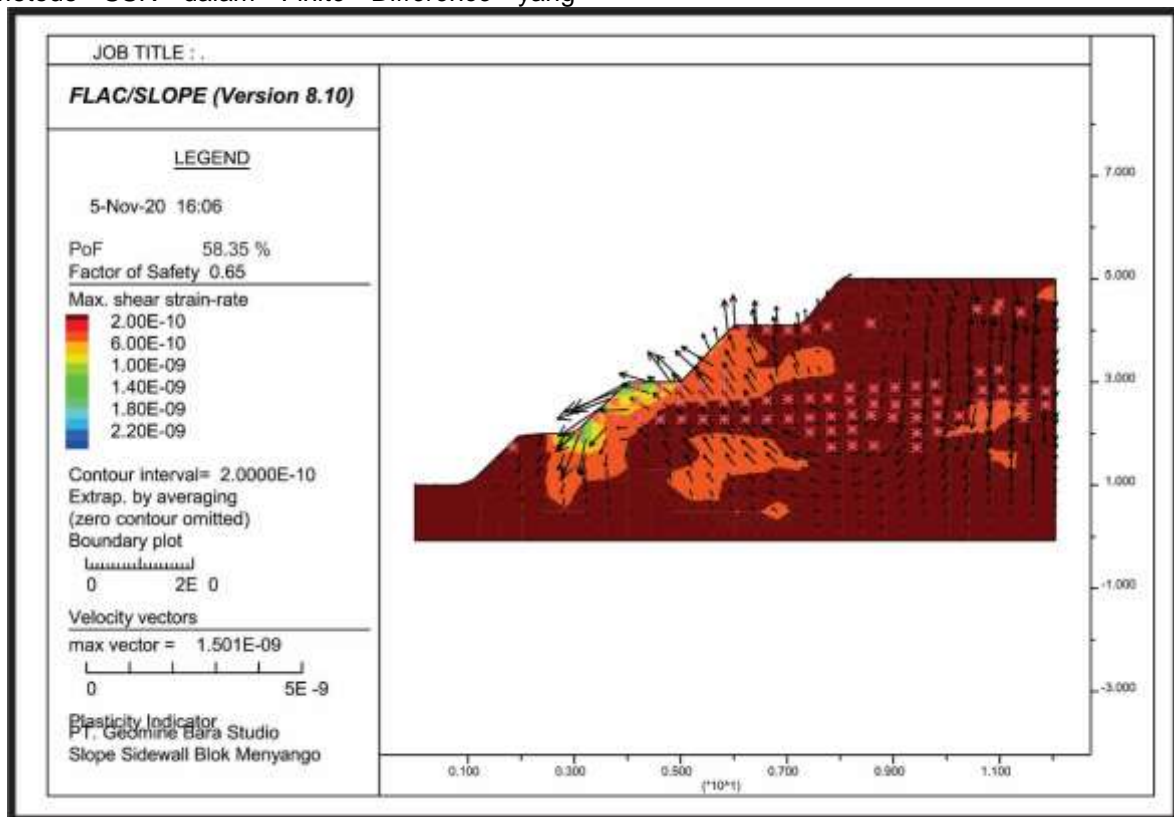
		Maksimum	35.47		
		Mean	21.73		
		Std. Deviasi	4.38		
		Minimum	24.68		
5	Bobot Isi Jenuh (γ_s)	Maksimum	29.35	2.48	27.09
		Mean	27.35		
		Std. Deviasi	1.24		
		Minimum	7		
6	Tinggi Lereng	Maksimum	15	8	14.5
		Mean	8		
		Std. Deviasi	0.5		

Jika sistem model multi material dalam batuan penyusun lereng, *Young Modulus* dan *Poisson's ratio* dijaga konstan untuk setiap metode analisis, sehingga akan didapatkan nilai kohesi dan sudut gesek dalam saat terjadi longsor dan diperhitungkan kembali untuk hasil analisis balik (Hammah, et al., 2008). Ketika jumlah variabel yang akan diperbarui banyak, menghitung distribusi posterior dari variabel-variabel ini tidaklah mudah, yang membuat masalah karakterisasi ketidakpastian model menjadi sulit (Zhang, J., et al. 2012).

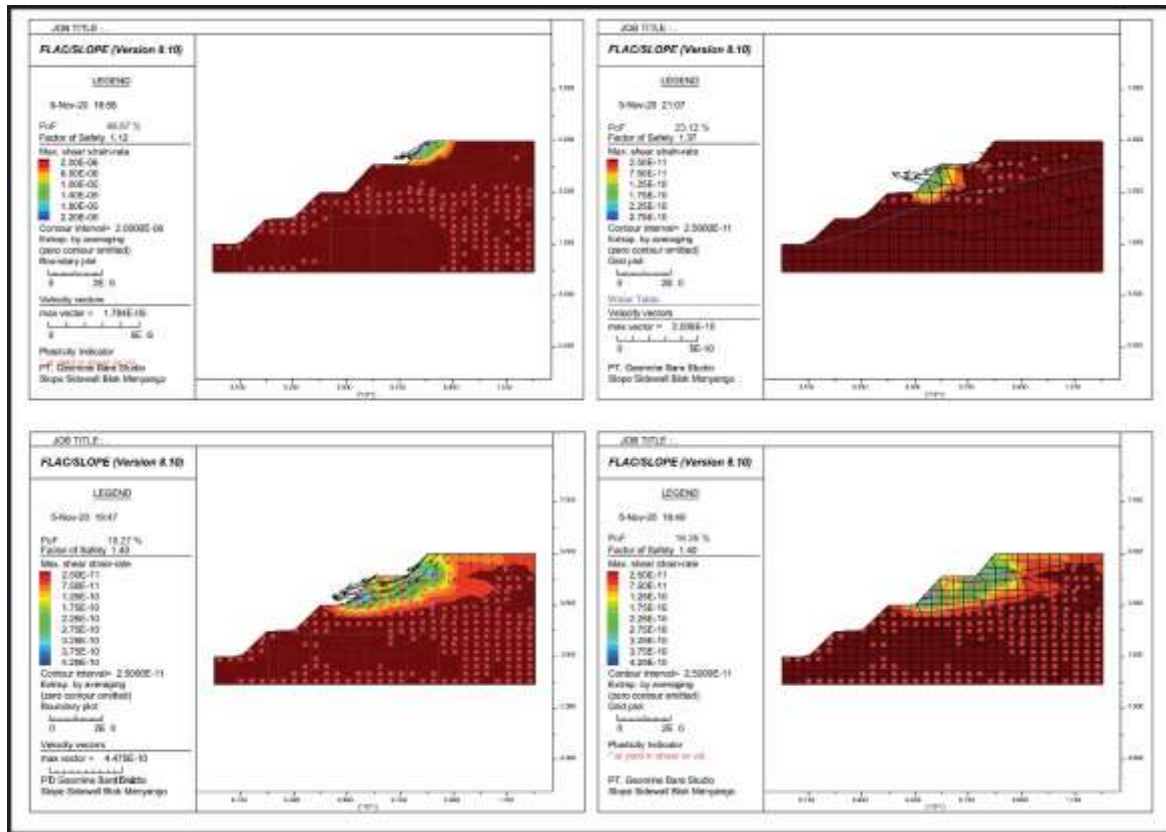
Cala, M., et al (2001, 2003) menggunakan metode SSR dalam *Finite Difference* yang

disandingkan dengan metode kesetimbangan batas dalam memodelkan multi material, sehingga didapatkan hasil analisis kestabilan lereng hasil model numerik tersebut. Hasil dari pemodelan memberikan nilai FK yang signifikan berbeda dari kedua model tersebut. Komputasi numerik FDM lebih akurat mengikuti litologi material aktual.

Pemodelan numerik berdasarkan metode *finite difference* terdapat pergerakan lereng karena area plastis seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Hasil Pemodelan tegangan pada lereng dengan adanya rekah tarik



Gambar 6. Perubahan arah tegangan akibat rekah tarik (*tension crack*) saat redesain

Akibat adanya rekah tarik (*tension crack*) menyebabkan area ketidakstabilan lereng penambangan *sidewall*, sehingga menyebabkan perubahan tegangan mengarah ke bidang lemah, yaitu lereng penambangan. Lereng tersebut terjadi pergeseran/perpindahan sebesar 0.000038 m, yang menyebabkan penurunan FK menjadi 0.65 dengan tingkat probabilitas kelongsoran sebesar 45.35%.

Hasil analisis dan perhitungan nilai FK dan PK berdasarkan parameter nilai kohesi, kedalaman air, tinggi muka air, sudut gesek dalam, Tinggi lereng dan bobot isi jenuh adalah 1.38 dan PK 12.03%.

4. Kesimpulan

Proses karakterisasi hasil perhitungan analisis balik menggunakan reliabilitas kestabilan lereng, didapatkan parameter hasil nilai kohesi (*cohesion*), sudut gesek dalam, kedalaman airtanah (z_w), tinggi airtanah (H_w), tinggi lereng (H), dan nilai bobot isi jenuh material (γ_s), nilai FK akhir didapatkan adalah 1,4 dengan PK 18.23% dengan kemiringan lereng tunggal 42° dan lereng keseluruhan adalah 30° dan tinggi lereng 58,75 meter. Hasil distribusi variabel acak menggunakan *Chi – Square* didapatkan distribusi Normal dan Lognormal untuk batupasir, distribusi Normal dan Ekspensial untuk batulempung, dan distribusi Lognormal untuk batulanau.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Manajemen PT. GEOMINE BARA STUDIO atas *supportnya* dalam memberikan keleluasaan pengambilan data dan penanganan analisis balik di area Sidewall PT. Marunda Grahamineral, dan pengujian laboratorium.

Daftar Pustaka

- Andhini, D., Ramadhanti, F., Koesnaryo, S. 2019. Analisis Balik Kestabilan Lereng Studi Kasus Tambang Batubara PT. X Menggunakan Analisis Probabilitik Monte Carlo. Seminar Nasional Teknologi Kebumihan dan Kelautan. ITATS. Surabaya. hal. 125 – 132.
- Baecher, G.B., Christian, J.T., 2003. Reliability and statistics in geotechnical engineering. John Wiley and Sons, New York.
- Bozorgzadeh, N., Harrison, J.P., 2014. Characterizing uniaxial compressive strength using Bayesian updating. Proceedings of the 48th US rock mechanics/geomechanics symposium, American Rock Mechanics Association (ARMA), Minneapolis, USA (2014). paper 7194.
- Brown, E.T., 2012., Risk assessment and management in underground rock engineering – an overview. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 4 (3), pp. 193-204.

- Cala, M. & Flisiak, J. 2001. *Slope stability analysis with FLAC and limit equilibrium methods*. In Billaux, Rachez, Detour-nay & Hart (eds.) *FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics – 2001*, Proceedings of the 2nd
- Contreras, L.F., Brown, E.T., Ruest, M., 2018. Bayesian data analysis to quantify the uncertainty of intact rock strength. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 10 (1) (2018), pp. 11-31.
- E. Hoek, E.T. Brown. 1997. Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. pp. 1165-1186.
- Feng, X., Jimenez, R., 2015., Estimation of deformation modulus of rock masses based on Bayesian model selection and Bayesian updating approach. *Engineering Geology*, vol. 199 , pp. 19-27.
- Hammah R.E., Yacoub, T.E. *Probabilistic Slope Analysis with the Finite Element Method*. America Rock Mechanics Association. Canada. 2008; 4th; 487-495.
- Miranda, T., Correia, A.G., Sousa, L.R., 2009. Bayesian methodology for updating geomechanical parameters and uncertainty quantification *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46 (7). pp. 1144-1153.
- Wang, Y., Cao, Z., Li, D., 2016. Bayesian perspective on geotechnical variability and site characterization. *Journal of Engineering Geology*, vol. 203, pp. 117 – 125.
- Wardana, N.K., 2017. Aplikasi Pendekatan Probabilistik dalam analisis kestabilan lereng pada daerah ketidakstabilan dinding *Lowwall* PT. Amman Minerals Nusa Tenggara: Seminar Nasional Geomekanika IV, hal 67 - 73, 2017. Padang.
- Wardana, N.K. 2017. Aplikasi Uji Kuat Geser Dalam remediasi Lereng Tambang Aspal di PT. Karunia Alam Indonesia, Kec. Lasalimu, Kab. Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Promine Jurnal*. Vol. 5 (1) pg. 20 – 26.
- Wardana, N.K., 2019. Analisis Kestabilan Lereng berdasarkan Kekuatan Geser Massa batuan Terhadap Perubahan Kandungan Air Pada Tambang Batubara di Area Blok Menyango. *PROMINE*. 7 (2). Hal. 71 – 77.
- Zhang, J., Zhang, L.M., Tang, W.H., 2009. Bayesian framework for characterizing geotechnical model uncertainty. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135 (7), pp. 932-940.
- Zhang.J., Tang, W.H., Zhang, L.M., Huang, H.W., 2012. Characterising geotechnical model uncertainty by hybrid Markov chain Monte Carlo simulation. *Computers and Geotechnics*, vol. 43, pp. 26-36