

RELIABILITAS ANALISIS BALIK KELONGSORAN LERENG LOWWALL DENGAN PENDUGAAN PARAMETER GEOTEKNIK DAN REMEDIASI LERENG MENGUNAKAN METODE BEDA HINGGA

Novandri Kusuma Wardana^{1*}, Dian Eka Aryanti², Rochsyid Anggara³

¹ Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

² Balai Diklat Tambang Bawah Tanah, Badan Pengembangan Sumberdaya Manusia, Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral

³ Program Studi Teknologi Pertambangan, Politeknik Energi & Pertambangan, Bandung

*Korespondensi : novandri.kusuma@itny.ac.id

Abstrak

Faktor ketidakpastian dan parameter variabilitas spasial batuan menjadi faktor penting dalam konsep menganalisis kestabilan lereng. Karakteristik massa batuan yang menunjukkan sifat acak (random) menghasilkan pola distribusi tertentu. Masalah keandalan dalam beberapa segment dapat menggunakan metode tradisional seperti metode kesetimbangan batas (LEM). Sedangkan, untuk metode numerik yang lebih detail dalam perhitungan menggunakan Metode Finite Difference. Finite Difference Methods (FDM) merupakan sebuah metode numerik untuk menganalisis reliabilitas lereng batuan yang menggabungkan teori analisis batas plastis, elemen kaku dan teori pemrograman matematika metode Monte Carlo. Kemiringan batuan dipisahkan menjadi blok antarmuka (interface) menggunakan metode beda hingga untuk menetapkan medan tegangan statis. Selain dari itu, model pemrograman stokastik untuk melakukan analisis reliabilitas lereng batuan yang ditetapkan sesuai FK berdasarkan parameter kekuatan geser interface variabel acak. Dalam Perhitungan FK menggunakan metode sampling Point Estimate Methods dalam penentuan Probabilitas Kelongsoran. Hasil Analisis menunjukkan bahwa analisis reliabilitas lereng sangat dipengaruhi oleh variabilitas yang melekat pada sudut lereng (friction angle) dan kondisi hidrogeologi pada batuan.

Kata kunci: Finite Difference Method, Back Analysis, Point Estimate Method, Reliabilitas, Shear Strength Interface

Abstract

Uncertainty factor and spatial variability parameters of rocks are important factor in the concept analyzing of slope stability. Characteristics of the rock mass show random nature resulting in the patterns of some particular distribution. This reliability problem any segment can use by traditional method, such as limit equilibrium method (LEM). Furthermore, for numerical methods more detailed in calculations using Finite Difference Method. Finite Difference Method (FDM) a numerical method for performing reliability analysis of rock slope is proposed by combining the plastic limit analysis theory, rigid finite element discretization, mathematical programming theory and Monte Carlo method. The rock slope is discretized into rock blocks and interfaces using finite difference method to establish static admissible stress fields. Additionally, stochastic programming models for performing reliability analysis of rock slopes are established according to the factor of safety (FoS) based on the shear strength parameters of the interfaces random variable. This calculation FoS (factor of safety), using sampling method Point Estimate Method (PEM) to determined Probability of Failure. The result showed that the slope reliability analysis is strongly influenced by the inherent variability of friction angle and hydrogeological conditions.

Keywords: Finite Difference Method, Back analysis, Point Estimate Method, Reliability, Shear Strength Interface

1. Pendahuluan

Potensi masalah yang diakibatkan oleh peningkatan produksi disertai dengan perubahan faktor cuaca sehingga menyebabkan adanya ketidakpastian tanah dan batuan. Objek utama dalam analisis kestabilan bukaan penambangan ditunjukkan dengan adanya kondisi stabilitas tanah dan batuan, mekanisme potensi longsoran, kriteria sensitivitas kestabilan lereng dan atau kriteria keamanan penerimaan desain optimum dari sudut kemiringan lereng. Secara sistematis, kriteria kestabilan lereng dipengaruhi oleh 2 faktor, yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Kategori internal adalah sifat material, sifat fisik material (bobot isi, porositas dan permeabilitas), serta sifat mekanik statik dan dinamik (poisson ratio, kohesi, sudut gesek dalam dan ultrasonic velocity), kondisi airtanah, geometri lereng. Sedangkan untuk faktor eksternal adalah dengan adanya gempa bumi, getaran seismik (blasting), temporary load (beban sementara lereng), serta intensitas curah hujan.

Analisis stabilitas dalam lereng penambangan akan berdampak besar terhadap mekanisme produksi bahan galian dari Pit Penambangan. Ada beberapa metode yang tersedia dalam menganalisis kestabilan lereng dengan mempergunakan metode beda hingga (*finite difference methods*), dimana hasil perhitungan numerik yang mempergunakan differensial. Perhitungan ketidakpastian kestabilan lereng diketahui dengan baik, bahwa variabilitas lereng batuan berpengaruh signifikan terhadap stabilitas lereng. Namun dalam praktiknya, variabilitas tidak dipertimbangkan secara tepat dalam analisis stabilitas lereng. Secara tradisional, penggunaan metode rekayasa geoteknik yang berkaitan dengan menerapkan faktor keamanan dan atau mempertimbangkan rasio stabilitas yang diizinkan yang relatif besar [1].

Meskipun dalam praktiknya memiliki keterbatasan metode desain tradisional dari faktor keamanan, namun metode yang umum digunakan adalah deterministik tidak mampu mensimulasikan dengan derajat variabilitas batuan. Metode alternatif yang didasarkan metode probabilistik dapat digunakan untuk menilai indeks reliabilitas desain kestabilan lereng. Pada praktek pertambangan di Indonesia sekarang, banyak data yang dipergunakan secara optimal dikarenakan output yang belum mempertimbangkan faktor ketidakpastian bawah permukaan terhadap nilai FK. Variasi data yang ada pada batuan memerlukan uji baik suai (*fitting test*) untuk memperoleh karakteristik distribusi data dan mempresentasikan tingkat ketidakpastian data dalam optimasi desain lereng.

Desain lereng merupakan seni dalam menentukan keseimbangan antara kemiringan lereng dan keuntungan bagi perusahaan. Lereng yang semakin curam akan memaksimalkan perolehan penambangan, namun meningkatkan resiko kestabilan lereng. Sebaliknya lereng yang semakin landai akan memperoleh penambangan, namun akan menurunkan resiko kestabilan lereng.

Penentuan sudut kemiringan lereng yang dapat diterima (*acceptable angle of slope*) adalah suatu parameter yang paling penting dalam perencanaan tambang terbuka. Namun kriteria reliabilitas yang digunakan masih belum optimal dalam penentuan geometri lereng tambang terbuka, sifat fisik dan mekanik (statik dan dinamik), kondisi beban gaya dan reliabilitas model mengakibatkan proses pemilihan sudut kemiringan lereng yang sesuai menjadi lebih sulit.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menyesuaikan dengan masalah dan tujuan penelitian, dimana pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

2.1 Studi Pustaka

Studi pustaka dijadikan pedoman dasar dalam kegiatan penelitian dan menentukan langkah kerja yang akan dilakukan dengan bersumber pada literatur yang relevan dan berhubungan dengan topik analisis balik lereng berdasarkan aspek reliabilitas model yang disajikan dalam perhitungan numerik dan metode tradisional kesetimbangan batas.

2.2 Pengujian Laboratorium

Pengujian laboratrouim yang dilakukan di PT. Geomine Bara Studio digunakan dalam menganalisis balik kelongsoran lereng yang terjadi dengan menguji sifat fisik dan sifat mekanik batuan atau tanah.

2.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang diperoleh ada data primer dan data sekunder.

2.3.1 Data Primer

Data Primer yang diperoleh dari survey dan *site investigation* adalah:

- a. Koordinat lokasi pengambilan sample
- b. Sample tanah/batuan
- c. Pengukuran muka airtanah
- d. Pengambilan Topografi pasca longsor

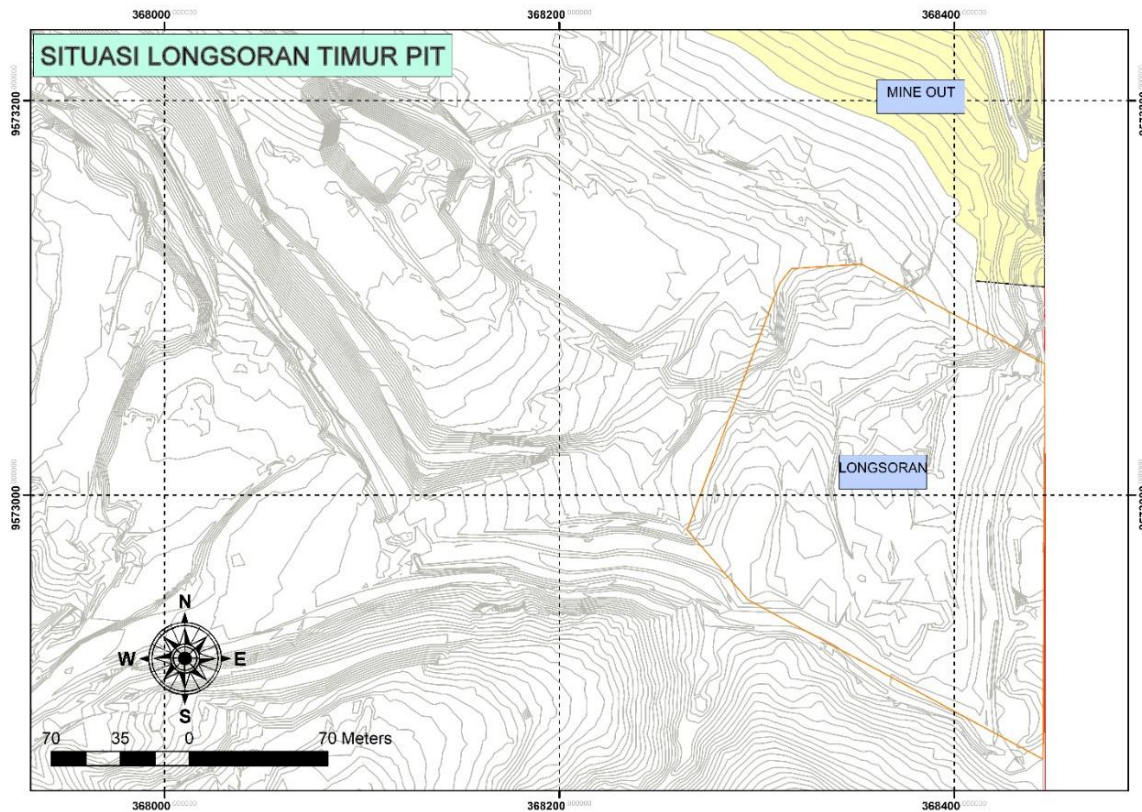
2.3.2 Data Sekunder

- a. Stratigrafi Batuan
- b. Peta Geologi lokasi penelitian
- c. Peta Topografi lokasi penambangan
- d. Data Airtanah

Tabel 1 dan Gambar 1 menyajikan nilai variasi distribusi variable acak probabilitas dan lokasi area longsoran yang terjadi di PT. SBP PIT Timur area *lowwall*.

Tabel 1. Variasi Nilai Distribusi Probabilitas

Material	Subject	Distribusi Probabilitas
Batupasir	Lereng PIT <i>Lowwall</i>	Normal
Batulempung	Lereng PIT <i>Lowwall</i>	Lognormal
Batulanau	Lereng PIT <i>Lowwall</i>	Normal



Gambar 1. Peta Situasi Longsoran di daerah penelitian PT. Sriwijaya Bara Priharum, Sumatera Selatan

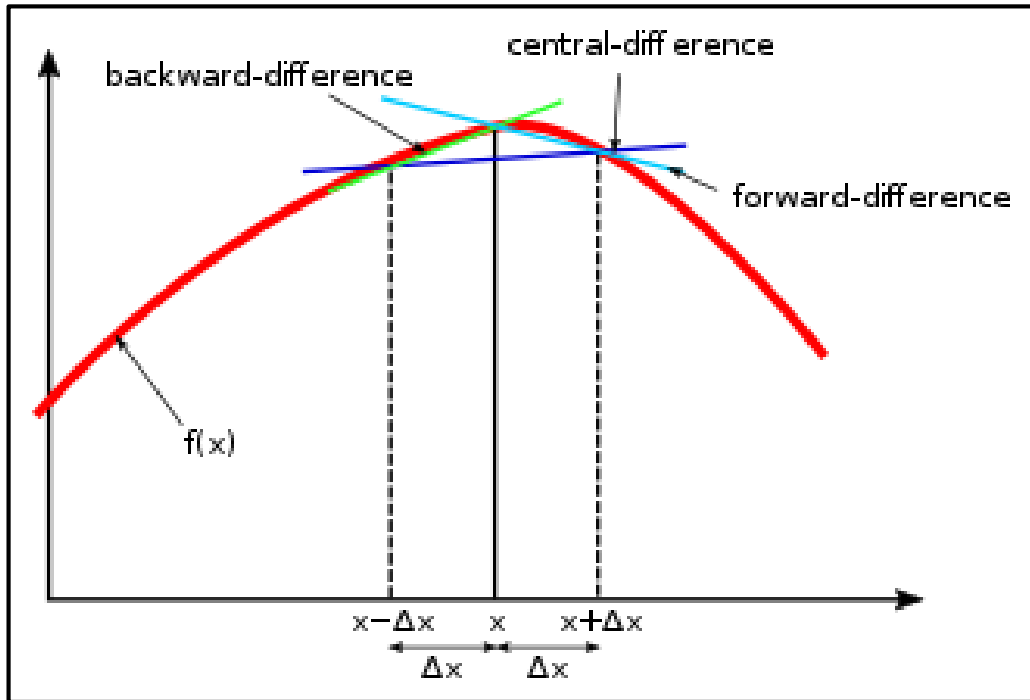


Gambar 2. Pengambilan sample longsoran di area penelitian

Material longsoran berupa campuran *overburden* yang menutupi *seam* batubara dibawahnya, sehingga diperlukan rancangan desain geometri yang sesuai dengan kondisi aktual di lapangan.

2.4 Metode Numerik Beda Hingga

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. Cara yang terbaik dalam *finite difference* adalah dengan cara *central difference*.



Gambar 3. Pendekatan nilai ordinat menurut *central difference*

Cara Cara differensial dilakukan dengan penurunan (f_x/dx) kurva/fungsi f untuk mendapatkan nilai y_i . Syarat utama adalah fungsi f diketahui. Menurut persamaan (1)

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

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

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

Definisi $y'_{i+\frac{1}{2}} = \frac{(y_{i+1} - y_i)}{\Delta x}$ dan $y'_{i-\frac{1}{2}} = \frac{(y_i - y_{i-1})}{(\Delta x)}$ sehingga didapat:

$$y''_i = \frac{(y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1})}{(\Delta x)^2} \tag{3}$$

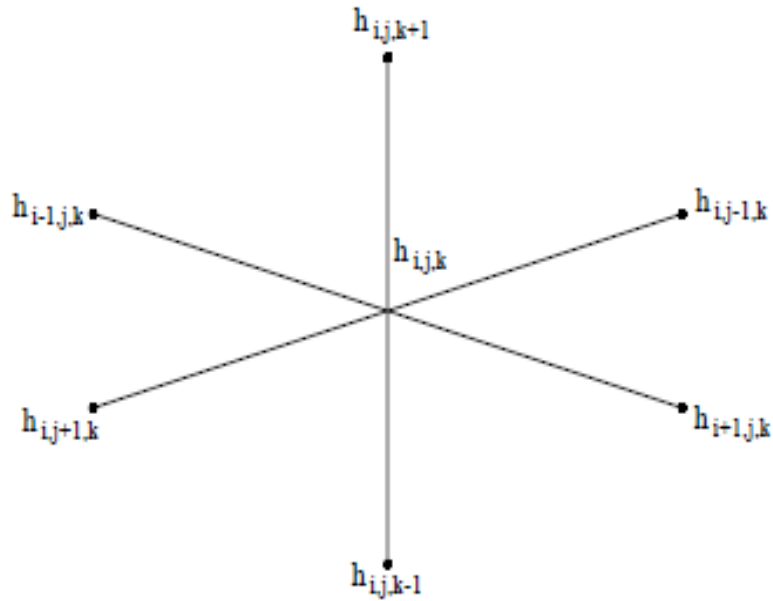
Ini adalah bentuk dari $\nabla^2 f$ atau *Laplacian*. Untuk kondisi *steady state/equilibrium* maka $\nabla^2 f = 0$. Untuk kasus tiga dimensi, maka bentuknya menjadi:

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} = 0 \tag{4}$$

$$\nabla^2 f = \frac{(h_{i+1,j,k} - 2h_{i,j,k} + h_{i-1,j,k})}{(\Delta x)^2} + \frac{(h_{i+1,j,k} - 2h_{i,j,k} + h_{i-1,j,k})}{(\Delta y)^2} + \frac{(h_{i+1,j,k} - 2h_{i,j,k} + h_{i-1,j,k})}{(\Delta z)^2} \tag{5}$$

Jika $\Delta x = \Delta y = \Delta z$, maka:

$$h_{i,j,k} = \frac{1}{6} (h_{i+1,j,k} + h_{i-1,j,k} + h_{i,j+1,k} + h_{i,j-1,k} + h_{i,j,k+1} + h_{i,j,k-1}) \tag{6}$$

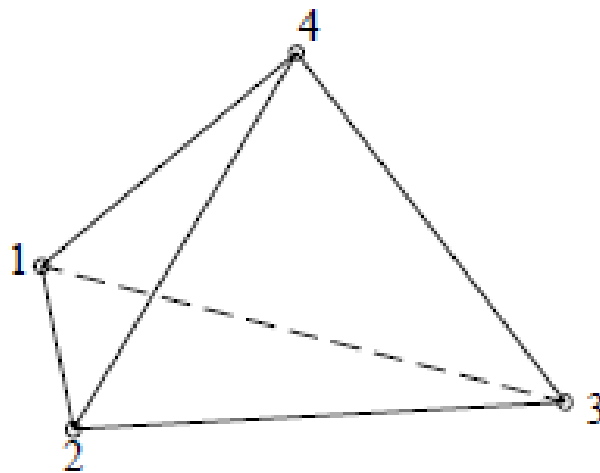


Gambar 4. Posisi titik – titik pada *finite difference*

Pada suatu *boundary condition*, di lokasi paling ujung dari wilayah tujuan, misal pada sumbu x berlaku hubungan:

$$\frac{df}{dn} = \frac{h_{i+1,j,k} - h_{i-1,j,k}}{2(\Delta x)} \tag{7}$$

Pada suatu bangun tetrahedron seperti Gambar 5. dikenakan suatu pengaruh luar terhadap keseluruhan volumenya, maka pemecahannya dapat dilakukan dengan Gauss *divergence* (bentuk tetrahedron ini dipakai dalam FLAC sebagai bentuk *mesh* pada perhitungan).



Gambar 5. Grid dalam FLAC

Dengan *Gauss divergence* pada tetrahedron seperti pada gambar 5. dengan virtual kecepatan pada tiap titik, dapat ditulis:

$$\int_v v_{i,j} dv = \int_s v_i n_j ds \tag{8}$$

Dengan adanya empat permukaan pada tetrahedron diambil rata – rata kecepatan pada arah i.

$$v_{i,j} V = \sum_{f=1}^4 \bar{v}^f n_j^f S^f \tag{9}$$

Dengan:

$$\bar{v}^f = \frac{1}{3} \sum_{f=1}^4 \bar{v}'_i \quad (10)$$

Jadi:

$$v_{i,j} V = \frac{1}{3} \sum_{f=1}^4 \bar{v}'_i \sum_{f=1, f \neq i}^4 n_j^f S^f \quad (11)$$

Karena:

$$\sum_{f=1}^4 n_j^f S^f = 0 \quad (12)$$

Maka:

$$v_{i,j} = -\frac{1}{3V} \sum_{f=1}^4 \bar{v}'_i n_j^{(1)} S^{(1)} \quad (13)$$

Menurut Lagrangian *strain relationship*:

$$\varepsilon_t = -\frac{1}{6V} \sum_{f=1}^4 (v_i^1 n_f^{(1)} + v_j^1 n_i^1) S^1 \quad (14)$$

Nilai regangan ini dimasukkan pada perhitungan untuk mendapatkan tensor tegangan.

2.5 Point Estimate Method (PEM)

Point estimate method dikembangkan oleh [6] 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 *Harr* [2], dan *Hoek* [3] menggunakannya dalam analisis kestabilan tambang bawah tanah sedangkan *Pine* [4] 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:

$$F = g(X, Y) \quad (15)$$

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

$$\begin{aligned} F_{++} &= g[(\mu_x + \sigma_x), (\mu_y + \sigma_y)] \\ F_{+-} &= g[(\mu_x + \sigma_x), (\mu_y - \sigma_y)] \\ F_{-+} &= g[(\mu_x - \sigma_x), (\mu_y + \sigma_y)] \\ F_{--} &= g[(\mu_x - \sigma_x), (\mu_y - \sigma_y)] \end{aligned} \quad (16)$$

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

$$E[F] = \mu_F = \sum x_i p(x_i) \quad (17)$$

Sedangkan nilai varians adalah sebagai berikut:

$$Var [F] = E[F^2] - (E[F])^2 \quad (18)$$

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.

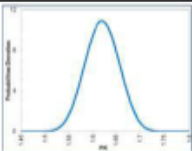
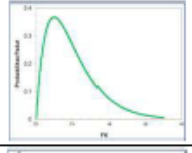


Perhitungan probabilitas kelongsoran berdasarkan nilai rata-rata (μ) dan standar deviasi (σ) dari nilai FK yang diasumsikan berdistribusi normal, menurut menurut [5] adalah sebagai berikut:

$$Reliability Index = \beta = \frac{\mu - 1}{\sigma} \quad (19)$$

$$Probability Kelongsoran = PK = 1 - \Phi[\beta] \quad (20)$$

3 Hasil dan Analisis

Mekanisme analisis kestabilan lereng berdasarkan aspek probabilitas kelongsoran lereng, dapat dihubungkan dalam karakteristik nilai FK dan PK [6]. 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).

Distribution	Probability Density Function	Rata ²	Varians	Bentuk
Normal	$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$ $-\infty < x < \infty$	μ	σ^2	
Lognormal	$f_x(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2}$ $x > 0$	$e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2}$	$e^{2\mu + \sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1)$	
Beta	$f(x) = \frac{x^{\alpha_1-1} (1-x)^{\alpha_2-1}}{B(\alpha_1, \alpha_2)}$; $0 \leq x \leq 1$ $f(x) = 0$, x others	$\frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2}$	$\frac{\alpha_1 \alpha_2}{(\alpha_1 + \alpha_2)^2 (\alpha_1 + \alpha_2 + 1)^2}$	
Gamma	$f(x) = \frac{x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)}$; $x > 0$ $f(x) = 0$, x others	$\alpha\beta$	$\alpha\beta^2$	

Gambar 6. Fungsi Padat Probabilitas [7]

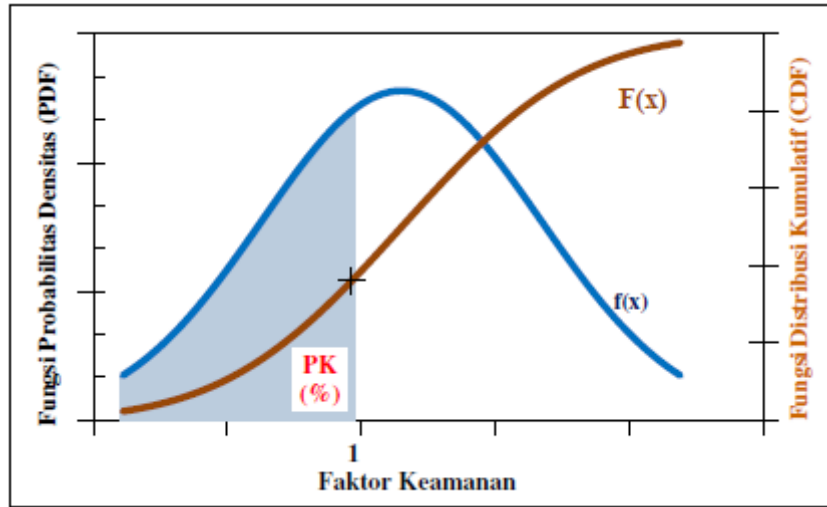
3.1. Hasil Karakterisasi Variabel Acak

Proses karakterisasi variabel acak adalah suatu proses penentuan fungsi distribusi probabilitik teoritik pada variabel acak yang menjadi input pada analisis balik kestabilan lereng. Data hasil propertis batuan sedimen hasil uji laboratorium diambil parameter seperti disajikan Tabel 2. Menurut [8], nilai FK merupakan hasil ketidakpastian yang dihubungkan dengan suatu variabel acak dan distribusi variable dari setiap batuan yang akan menghasilkan nilai Probabilitas Kelongsoran.

Tabel 2. Hasil Karakterisasi Variabel Acak Analisis Balik

Parameter Batuan	Jumlah data (n)	Parameter Statistik	Input	Hasil Karakterisasi		Unit
				Fungsi PDF	Parameter	
Kohesi (c)	38	Minimum	22,85	Normal	$-\infty$	(kPa)
		Maksimum	48,2		$+\infty$	
		Rata – rata	20,55		20,55	
		Stand. Dev	28,57		28,57	
ϕ (phi)	42	Minimum	17,40	Log normal	17,40	(kPa)
		Maksimum	34,63		$+\infty$	
		Rata – rata	27,28		27,88	
		Stand. Dev	24,63		24,63	
Poisson's Ratio (v)	39	Minimum	0,02	Beta	-0,03	-
		Maksimum	0,86		5,02	
		Rata – rata	0,29		0,28	
		Stand. Dev	0,15		0,14	
γ natural	40	Minimum	17,95	Normal	17,95	gr/cc
		Maksimum	23,11		$+\infty$	
		Rata – rata	20,15		13,15	
		Stand. Dev	19,98		3,98	

Terlihat bahwa variabel acak bobot isi natural memiliki beberapa kemungkinan fungsi kerapatan probabilitas, maka penentuan distribusi teoritis yang digunakan adalah didasarkan pada sedekat mungkin dengan bentuk distribusi empirik dan berdasarkan nilai *chi-kuadrat* serta nilai koefisien variasi (*COV*) terkecil, ini menandakan bahwa fungsi yang dipilih memberikan tingkat distribusi data yang lebih homogen jika dibandingkan dengan distribusi empirisnya.



Gambar 7. Fungsi Probabilitas & Konsep Probabilitas Kelongsoran

3.2. Estimasi dan Karakteristik massa batuan

Hasil perhitungan nilai PK dan FK menggunakan *Finite Difference Method* dan *Limit Equilibrium Method* didapatkan hasil lereng dengan kondisi saat longsor, setelah longsor dan hasil remediasi atau redesain analisis balik perhitungan lereng *lowwall* PIT Timur adalah pada Tabel 3 dan Tabel 4. *Finite Difference Method* dan *Shear Strength Reduction* menggunakan pendekatan *Point Estimate Method*. Hasil perhitungan probabilitas telah dikembangkan oleh [9]. Prinsip dasar dalam perhitungan dengan menggunakan iterasi analisis FDM – SSR, sedangkan penentuan probabilitasnya dari pendugaan variasi variable acak distribusi statistik, masing – masing variable acak yaitu kohesi, sudut gesek dalam, *Poisson's ratio* dan *Young Modulus* ditentukan berdasarkan prinsip persamaan (21).

$$Point\ estimate = mean \pm SD \tag{21}$$

Finite Difference Method untuk menganalisis kemungkinan perubahan tegangan yang terjadi pada area lereng dan sekitarnya, sehingga bisa dilakukan analisis balik perhitungan kestabilan lereng.

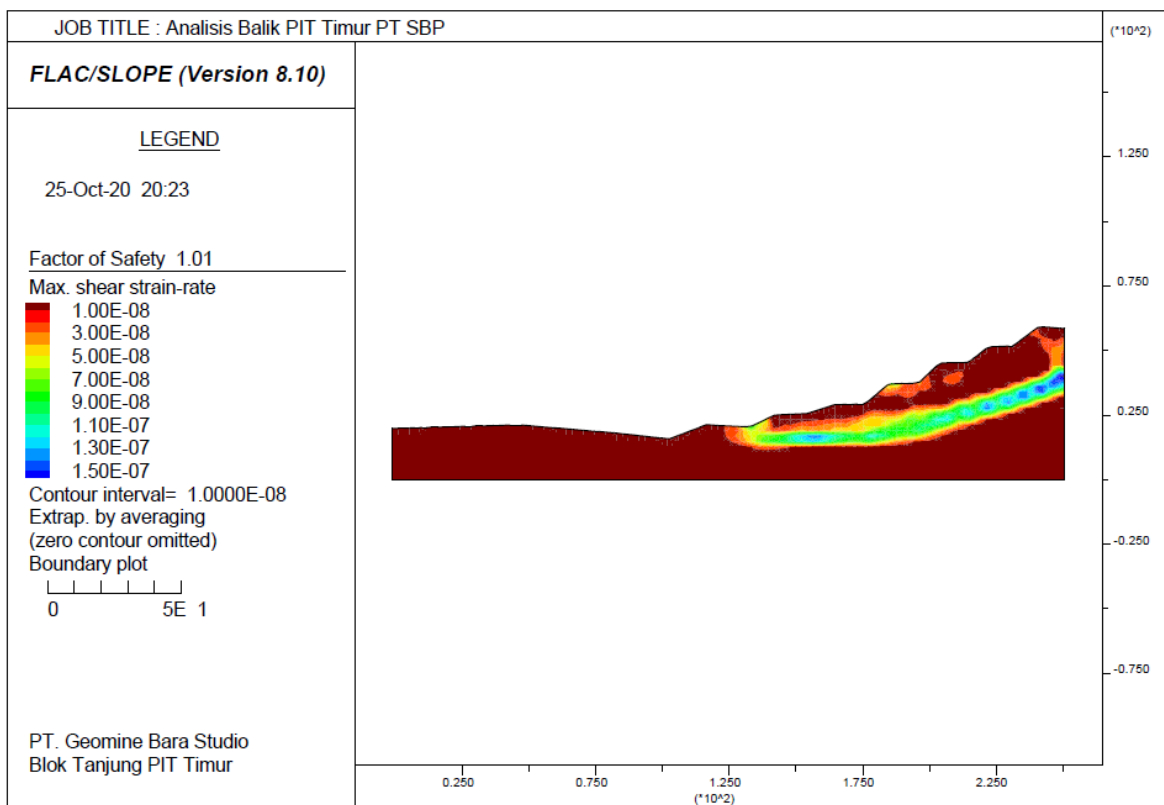
Tabel 3. Hasil karakterisasi parameter Geoteknik Lereng *Lowwall* PIT Timur LEM

Parameter Batuan	Jumlah data (n)	Metode Analisis	Parameter Statistik	Hasil Distribusi & Karakterisasi		Unit
				Fungsi PDF	Nilai Rata – rata	
Kohesi	25	Metode Kesetimbangan Batas (LEM)	Sebelum	Normal	92.8	(kPa)
			Saat longsor		32.45	
			Analisis balik		75.5	
angle of friction (φ)	25	Metode Kesetimbangan Batas (LEM)	Sebelum	Log normal	29.45	(°)
			Saat longsor		17.20	
			Analisis balik		27.5	
Poisson's Ratio (ν)	25	Metode Kesetimbangan Batas (LEM)	Sebelum	Beta	0.389	(-)
			Saat longsor		0.318	
			Analisis balik		0.348	
Young's Modulus	25	Metode Kesetimbangan Batas (LEM)	Sebelum	Normal	82.49	(MPa)
			Saat longsor		48.35	
			Analisis Balik		72.66	

Tabel 4. Hasil karakterisasi parameter Geoteknik Lereng *Lowwall* PIT Timur FDM

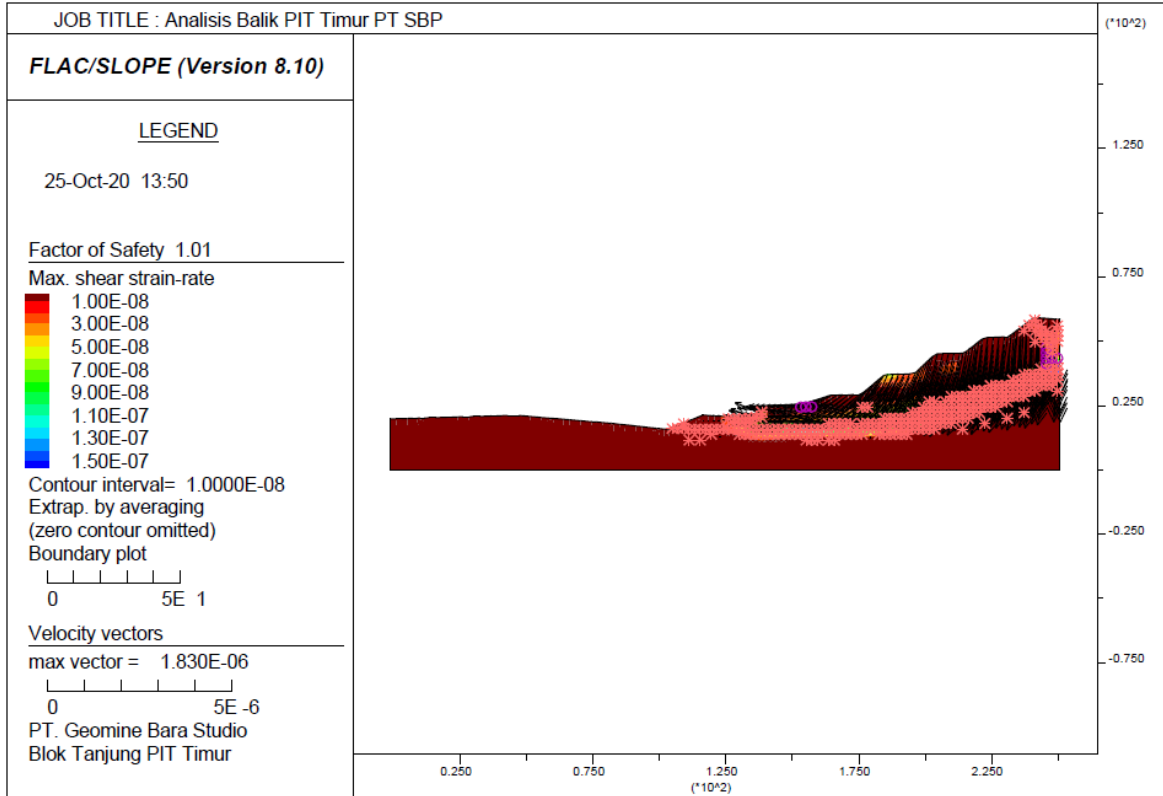
Parameter Batuan	Jumlah data (n)	Metode Analisis	Parameter Statistik	Hasil Distribusi & Karakterisasi		Unit
				Fungsi PDF	Nilai Rata – rata	
Kohesi	25		Sebelum	Normal	93.2	(kPa)
			Saat longsor		33.15	
			Analisis balik		76.1	
angle of friction (ϕ)	25	Metode Beda Hingga (FDM)	Sebelum	Log normal	29.45	(°)
			Saat longsor		18.02	
			Analisis balik		28.25	
Poisson's Ratio (ν)	25		Sebelum	Exponential	0.379	(-)
			Saat longsor		0.321	
			Analisis balik		0.337	
Young's Modulus	25		Sebelum	Normal	81.99	(MPa)
			Saat longsor		43.18	
			Analisis Balik		76.26	

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 [10].

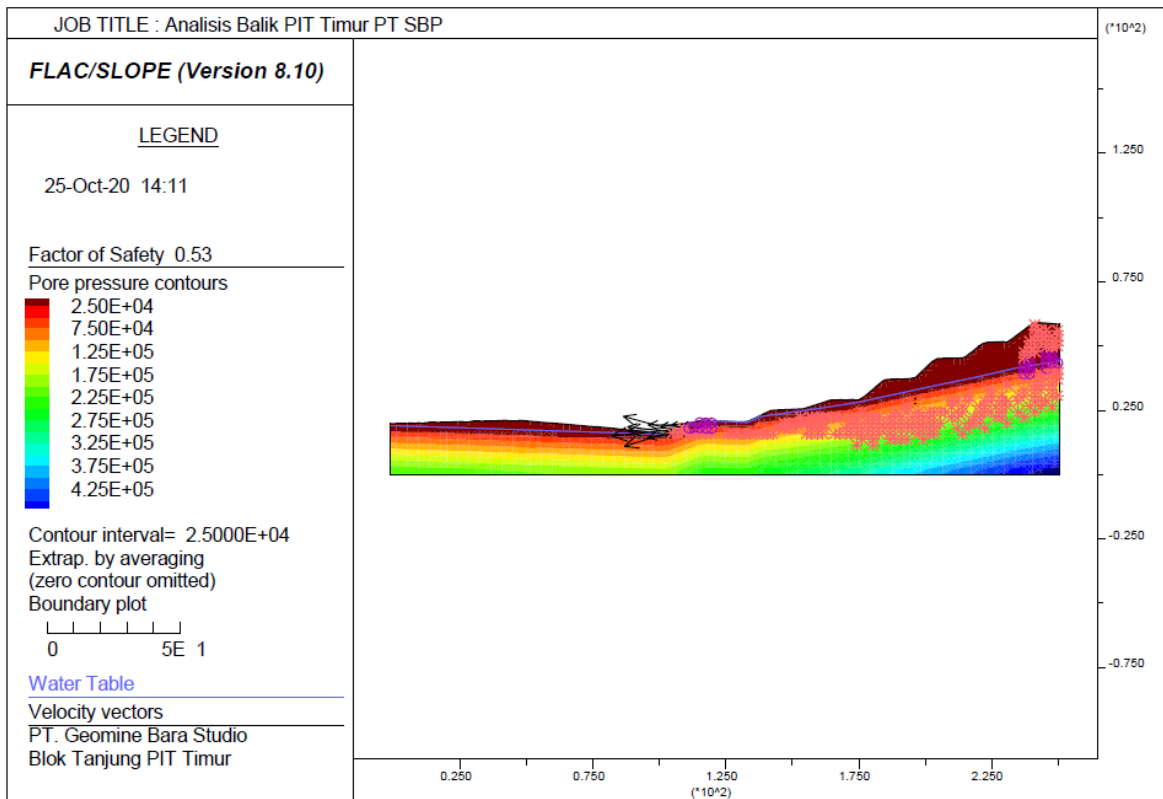


Gambar 8. Kondisi lereng *lowwall* saat longsor

Cala dkk. [11][12] 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.



Gambar 9. Tensor tegangan ketidakstabilan lereng saat longsor



Gambar 10. Kondisi Tekanan air pori (*pore pressure*) pada lereng *lowwall*

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dan pemodelan yang dilakukan dengan menggunakan analisis/metode beda hingga, dapat disimpulkan bahwa:

- a. Proses karakterisasi hasil perhitungan analisis balik didapatkan nilai sudut gesek dalam adalah 28.25° sedangkan nilai kohesinya adalah 76.10 kPa.
- b. Parameter pendugaan geoteknik yang digunakan adalah nilai kohesi, *angle of friction*, *Poisson's ratio* dan *Young's Modulus*, karena nilai tersebut merupakan parameter yang mempunyai nilai COV (*Coefficient of Varians*) yang lebih besar.
- c. Metode *Point Estimate* yang digunakan mendapatkan hasil rata – rata nilai Probabilitas kelongsoran dengan menggunakan metode *Finite Difference* adalah 5.25 % - 11.35 %.
- d. Distribusi hasil karakterisasi variable acak diperoleh Distribusi Normal, Log Normal, Beta dan Eksponensial.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Manajemen PT. SBP atas *supportnya* dalam memberikan keleluasaan pengambilan data dan penanganan longsoran di area PIT Timur, manajemen PT. Sriwijaya Bangkit Energi yang telah memberikan sumbangan pendanaan dalam penelitian dan saran untuk penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 3rd Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- [2] Harr, M.E. 1996. "*Reliability-Based design in Civil Engineering*". Dover Publication, Inc, Mineola, New York .
- [3] Hoek, E. *Reliability of Hoek – Brown Estimate of Rock Mass Properties and their Impact on Design*. International Journal Rock Mechanics Mineral and Science. 1998; Vol.8: 287 – 295
- [4] Pine. R.J. 1992. Risk analysis design applications in mining geomechanics. Trans.Inst. Min.Metall. (Sect.A) 101, 149-158.
- [5] *Baecher, G.B., And Christian, J.T. 2003." Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering". Wiley, Chichester, UK.*
- [6] Wardana, N.K. dkk. 2017. Aplikasi Pendekatan Probabilistik dalam analisis kestabilan lereng pada daerah ketidakstabilan dinding *Lowwall* PT. Amman Minerals Nusa Tenggara. Seminar Nasional Geomekanika IV. Makassar.
- [7] Azizi, M.A. 2014. PENGEMBANGAN METODE PENENTUAN RELIABILITAS KESTABILAN LERENG TAMBANG TERBUKA BATUBARA DI INDONESIA. Disertasi Doktoral. Tidak dipublikasikan
- [8] Tapia, A., Contreras, L.F., Jefferies. M.G., and Steffen, O.2007. "*Risk Evaluation of Slope Failure at Chuquicamata Mine. Proc. Int. Symp. Rock Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering, Perth. Australia.*
- [9] E. Rosenblueth. 1981. *Two Point Estimates in Probabilities*. J. Applied Mathematical Modelling. 5(5): Mexico. 329-335.
- [10] Hammah R.E., Yacoub, T.E. *Probabilistic Slope Analysis with the Finite Element Method*. America Rock Mechanics Association. Canada. 2008; 4th; 487-495.
- [11] 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 Ge-omechanics – 2001*, Proceedings of the 2nd International Symposium, Lyon, France, 29-31 October. pp. 111-114. Lisse: A.A. Balkema.
- [12] Cala, M. & Flisiak, J. 2003. *Complex geology slope stability analysis by shear strength reduction*. In Brummer, An-drieux, Detournay & Hart (eds.) *FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics – 2003*, Proceedings of the 3rd International Symposium, Sudbury, Ontario, Canada, 21-24 October. pp. 99-102. Lisse: A.A. Balkema.

