

TMK-4

KARAKTERISASI PARAMETER MASUKAN UNTUK ANALISIS KESTABILAN LERENG TUNGGAL (STUDI KASUS DI PT. TAMBANG BATUBARA BUKIT ASAM TBK. TANJUNG ENIM, SUMATERA SELATAN)

Masagus Ahmad Azizi¹⁾, Rr Harminuke Eko Handayani²⁾,

*¹⁾Jurusan Teknik Pertambangan FTKE Universitas Trisakti & Mahasiswa
Program Doktor Program Studi Rekayasa Pertambangan ITB*

²⁾Jurusan Teknik Pertambangan FT universitas Sriwijaya

*Koresponensi Pembicara. Phone: +62 81380537611, +628127800007

Email: masagus70@yahoo.com dan harminuke@yahoo.co.id

ABSTRAK

Kestabilan lereng penambangan ditentukan oleh parameter geoteknik antara lain : sifat fisik & mekanik batuan, tinggi muka air tanah, getaran peledakan/gempa bumi, ground pressure alat-alat berat, struktur massa batuan, dan sebagainya.

Akibat adanya ketidakpastian nilai parameter geoteknik yang digunakan dalam disain lereng tersebut menyebabkan lereng menjadi tidak stabil, sehingga diperlukan verifikasi terhadap parameter-parameter tersebut.

Probabilistik adalah suatu cara untuk menentukan nilai faktor keamanan suatu sistem rekayasa dengan memperlakukan nilai masukan sebagai variabel acak, dengan demikian nilai faktor keamanan sebagai rasio antara gaya penahan dan gaya penggerak merupakan juga variabel acak. Pada proses ini nilai parameter masukan dan faktor keamanan akan dikarakterisasi distribusi nilai masing-masing. Di samping itu juga pendekatan ini dapat melihat faktor yang paling mempengaruhi kestabilan lereng melalui analisis sensitivitas perubahan nilai setiap parameter masukan terhadap nilai faktor keamanan.

Tulisan ini menggambarkan proses karakterisasi parameter geoteknik untuk analisis kestabilan lereng tunggal lapisan interburden B2C (Batupasir) lokasi Curug Pangkul (TAL Selatan) PTBA Tanjung Enim menggunakan metode sampling Monte Carlo dan Metode Pencocokan Chi-Square. Adapun parameter yang akan dikarakterisasi adalah kohesi, sudut gesek dalam, dan densitas basah.

Hasil penelitian menunjukkan distribusi fungsi kohesi dan sudut gesek dalam adalah seragam, distribusi fungsi densitas adalah beta, serta distribusi fungsi factor keamanan adalah seragam. Hingga ketinggian lereng 40 meter dan sudut kemiringan lereng 600, lereng masih stabil (probabilitas kelongsoran lereng nol).

Kata Kunci : *Batubara , Geoteknik , Lereng penambangan , Probabilitas kelongsoran.*

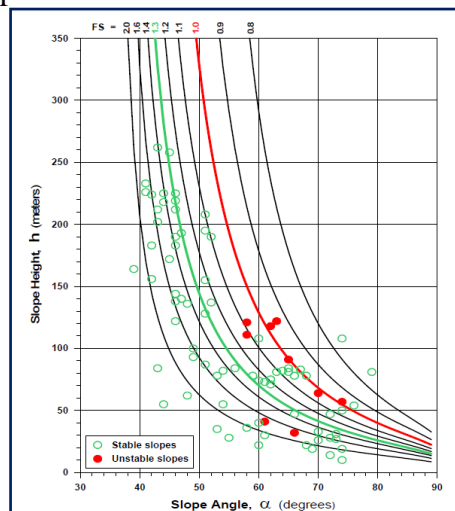
A. PENDAHULUAN

Probabilistik adalah suatu cara untuk menentukan nilai faktor keamanan suatu sistem rekayasa dengan memperlakukan nilai masukan sebagai variabel acak, dengan demikian nilai faktor keamanan sebagai rasio antara gaya penahan dan gaya penggerak merupakan juga variabel acak. Pada proses ini nilai parameter masukan

dan faktor keamanan akan dikarakterisasi distribusi nilai masing-masing. Di samping itu juga pendekatan ini dapat melihat faktor yang paling mempengaruhi kestabilan lereng melalui analisis sensitivitas perubahan nilai setiap parameter masukan terhadap nilai faktor keamanan.

Penentuan sudut kemiringan lereng yang dapat diterima (*acceptable angle of slope*) adalah suatu parameter paling penting dalam perencanaan tambang terbuka. Namun ketidakpastian yang terkait dengan geometri lereng, sifat fisik dan mekanik batuan, kondisi pembebanan dan reliabilitas model mengakibatkan proses pemilihan sudut kemiringan lereng yang sesuai menjadi lebih sulit.

Biasanya analisis kestabilan lereng tambang terbuka didasarkan nilai faktor keamanan (FK) saja, yakni rasio gaya penahan nominal dan gaya penggerak nominal. Secara teoritis metode kesetimbangan batas menyatakan batas kritis lereng aman bila $FK = 1$, di mana lereng akan longsor bila $FK < 1$ dan lereng akan aman bila $FK > 1$. Namun kelemahan pendekatan FK tersebut untuk disain lereng adalah hanya bersifat kasuistis dan tidak dapat diberlakukan untuk kondisi lereng yang lain. Berdasarkan gambar 1, kriteria nilai kemampooterimaan faktor keamanan untuk disain lereng yang ditetapkan 1.3. Kriteria ini berdasarkan hasil analisis balik dari beberapa lereng yang diteliti oleh Hoek & Bray 1974. Namun dari grafik tersebut terlihat bahwa masih ada lereng batuan yang longsor di atas kriteria faktor keamanan yang dapat diterima, sehingga criteria ini tidak dapat diberlakukan secara umum dan bersifat kasuistis.



Gambar 1. Kasus Kestabilan Lereng Batuan (Hoek & Bray, 1974; Steffen et al., 2008)

Suatu alternatif selain pendekatan FK untuk disain lereng adalah metode probabilistik yang didasarkan pada perhitungan probabilitas kelongsoran (PK) lereng. Pada metode ini, nilai faktor keamanan digambarkan sebagai variabel acak yang mempunyai fungsi distribusi dengan parameter yang diperlakukan seperti nilai rata-rata dan standar deviasi. Dengan mengkombinasikan distribusi ini dalam model deterministik yang digunakan dalam menghitung nilai FK, maka PK lereng dapat diestimasi.

Hal menarik dari metode probabilistik adalah representasi yang eksplisit dari ketidakpastian dalam kajian stabilitas lereng. Nilai faktor keamanan disain lereng dapat dioptimasi dengan nilai probabilitas kelongsoran sehingga dapat memberikan tingkat keyakinan terhadap disain tersebut.

Tulisan ini menggambarkan secara rinci analisis probabilistik kestabilan lereng tunggal menggunakan metode kesetimbangan batas pada lapisan Interburden B2C (batupasir) lokasi Curug Pangkul (TAL Selatan) PTBA Tanjung Enim.

B. DASAR TEORI

B.1. Metode Kesetimbangan Batas

Kemantapan suatu lereng tergantung pada gaya-gaya penggerak dan gaya penahan yang ada pada lereng tersebut. Gaya-gaya penggerak berupa gaya berat, gaya tiris atau muatan, sedangkan gaya-gaya penahan berupa gaya gesekan atau geseran, kohesi dan kuat geser. Apabila gaya penggerak lebih besar dibandingkan dengan gaya penahan maka akan menyebabkan terjadinya kelongsoran. Tetapi bila gaya penahan ini lebih besar dari gaya penggerak, maka lereng tersebut tidak akan mengalami kelongsoran atau lereng dalam keadaan stabil.

Kestabilan lereng biasa dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FK) yang didefinisikan sebagai berikut:

$$FK = \frac{\text{GayaPenahan}}{\text{GayaPenggerak}}$$

Di mana:

- FK > 1.0 : lereng dianggap stabil**
- FK = 1.0 : lereng dalam keadaan seimbang dan siap untuk bergerak apabila ada sedikit gangguan**
- FK < 1.0 : lereng dianggap tidak stabil**

Metode kesetimbangan batas merupakan metode yang sangat populer, relatif sederhana, mudah digunakan serta telah terbukti keandalannya dalam praktek rekayasa geoteknik selama bertahun-tahun.

Dalam perhitungan analisis kestabilan lereng dengan metode ini hanya digunakan kondisi kesetimbangan statik saja serta mengabaikan adanya hubungan regangan-tegangan yang ada dalam lereng. Asumsi lainnya yaitu geometri dari bentuk bidang runtuh harus diketahui atau ditentukan terlebih dahulu.

Kondisi kestabilan lereng dalam metode kesetimbangan batas dinyatakan dalam indeks Faktor Keamanan (FK). FK dihitung menggunakan kesetimbangan gaya atau kesetimbangan momen, atau menggunakan kedua kondisi kesetimbangan tersebut tergantung dari metode perhitungan yang dipakai.

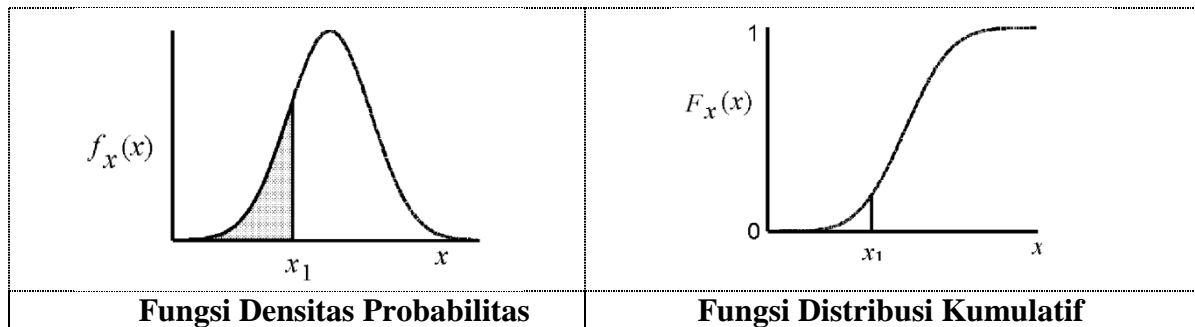
B.2. Analisis Probabilitas

B.2.1. Fungsi Distribusi Probabilitas

Fungsi distribusi probabilitas menggambarkan penyebaran suatu variabel acak yang digunakan untuk memperkirakan nilai probabilitas kemunculan suatu parameter. Fungsi distribusi probabilitas memiliki sifat-sifat penyebaran yang khas dan unik yang menjadikan fungsi yang satu akan berbeda dengan fungsi yang lainnya. Tetapi hal ini tidak menutup kemungkinan bahwa suatu fungsi distribusi merupakan turunan dari fungsi yang lainnya. Sebagai contoh, fungsi distribusi eksponensial merupakan bentuk khusus dari fungsi distribusi gamma yang memiliki parameter bentuk (a) bernilai 1.

Gambar 2 menggambarkan fungsi distribusi probabilitas dideskripsikan menjadi fungsi densitas probabilitas (PDF, *Probability Density Function*) dan fungsi distribusi kumulatif (CDF, *Cumulative Distribution Function*). Fungsi densitas probabilitas mendeskripsikan daerah kemungkinan relatif dimana suatu bilangan acak dapat diasumsikan sebagai suatu nilai unik dibandingkan nilai lainnya. Untuk kurva

distribusi faktor keamanan, maka luas kurva yang diarsir merupakan probabilitas kelongsoran lereng.



Gambar 2. Fungsi Distribusi Probabilitas

B.2.2. Simulasi Monte Carlo

Simulasi Monte Carlo adalah suatu nama kode algoritma yang ditemukan oleh John von Neumann (1946) atas perintah Stanislaw Ulam (Pathak et.al, 2006).

Tahapan yang dilakukan dalam metode ini sebagai berikut :

1. Definisikan domain (daerah asal) dari masukan data yang memungkinkan
2. Munculkan masukan secara acak dari domain yang sudah ditentukan menggunakan distribusi probabilitas tertentu
3. Lakukan perhitungan secara deterministic menggunakan data masukan
4. Gabungkan hasil dari setiap perhitungan individual kepada hasil akhir.

Algoritma ini digunakan sebagai landasan simulasi bilangan acak untuk menentukan fungsi distribusi probabilitas yang sesuai.

Beberapa keuntungan metode Monte Carlo yakni sederhana, lebih fleksibel dalam menggabungkan suatu varietas distribusi probabilitas yang cukup besar tanpa banyak penafsiran, dan kemampuan untuk memodelkan korelasi di antara *variable* dengan mudah (Hammah and Yacoub, 2009). Umumnya analisis stabilitas lereng dengan metode kesetimbangan batas menggunakan simulasi Monte Carlo untuk menghitung probabilitas kelongsoran.

Hasil analisis statistik dari masing-masing nilai parameter masukan (nilai minimum, maksimum, rata-rata, standar deviasi) dicocokkan ke dalam 7 fungsi asumsi yang akan dipilih (Pada program SLIDE ada 7 fungsi : normal, seragam, triangular, beta, eksponensial, lognormal, gamma). Menggunakan metode Monte Carlo maka akan memperbanyak data secara acak mengikuti fungsi yang ditentukan. Untuk menentukan fungsi yang cocok, maka dapat ditentukan dari hasil proses pencocokan.

1. Pencocokan (Fitting) Fungsi Probabilitas

Ada beberapa metode dalam melakukan proses pencocokan terhadap fungsi distribusi parameter masukan, antara lain : *Chi-Squared* (C-S), *Kolmogorov-Smirnov* (K-S), dan *Anderson-Darling* (A-D). Masing-masing metode ini akan menghasilkan nilai parameter statistik. Nilai parameter yang paling kecil mencerminkan fungsi distribusi terbaik.

Pada penelitian ini hanya menggunakan metode *Chi-Squared*. Metode ini merupakan metode pencocokan terbaik, yang dapat digunakan baik untuk sampel data

kontinyu maupun diskret. Untuk menghitung nilai parameter *chi-squared*, maka langkah pertama memecah nilai sumbu x menjadi beberapa *bin*.

Formulasi untuk menghitung nilai parameter *chi-squared* yakni :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(N_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2)$$

Di mana :

K = Jumlah *bin*

N_i = Jumlah sampel observasi dalam bin ke- i

E_i = Jumlah sampel ekspektasi dalam bin ke-i

C. LOKASI PENELITIAN

Lokasi Tambang PT. Bukit Asam (Persero) Tbk., kurang lebih berjarak 190 km di sebelah baratdaya ibukota propinsi Sumatera Selatan/Palembang dan dapat ditempuh melalui jalur darat sekitar 4 – 5 jam.

Tambang batubara Air Laya dengan luas wilayah Kontrak Penambangan (KP) 7.700 Ha., terletak di wilayah Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim Propinsi Sumatera Selatan. Lokasi tambang ini merupakan area penambangan dengan dimensi bukaan terbesar dan produksi terbesar pula yang dimiliki PTBA saat ini. Selain Tambang Air Laya, juga terdapat Tambang Banko, Muara Tiga Besar dan Bukit Kendi



Gambar 3. Lokasi Penelitian

D. LITHOLOGI DAERAH PENELITIAN

Selain Formasi Muaraenim, pada area penelitian yang sangat mencolok adalah adanya intrusi batuan beku (andesit) yang berbentuk dike, sill dan tubuh batholite. Menurut Pudjobroto, A. (2000), wilayah tambang Air Laya setidaknya memiliki tiga tubuh intrusi yang utama, yaitu Bukit asam *dike*, Suban *sill* dan Air Laya *parasitic cone*. Bukit Asam *dike* merupakan tubuh intrusi terbesar dan dimungkinkan sebagai sumber magma dari seluruh intrusi yang terdapat pada area ini. Di lapangan terlihat bahwa kekuatan intrusi ini menyebabkan terjadinya breksiasi pada daerah sekitar intrusi dan adanya hubungan menjari yang kacau antara batuan sedimen dan batuan beku di dekat area intrusi.

Pada area Curug Pangkul, terlihat intrusi berasosiasi dengan menurunnya ketebalan batubara dan inter/overburden-nya. Pada bagian selatan intrusi, interval antara seam A1 dan B2 hanya 8 meter, seharusnya dalam kondisi normal ketebalannya mencapai 40 m. Pada bagian timur dan utara Bukit Asam terbentuk zona breksiasi pada

batulempung dengan lebar kira-kira 30-50 m. Batuan sedimen lain juga menunjukkan efek bakar (*backing effect*) terutama terlihat pada bagian utara intrusi Bukit Asam, dikenal dengan nama batulempung hitam dengan fragmen-fragmen batupasir dalam batulempung tersebut.

E. SIFAT FISIK BATUAN

Dari hasil uji sifat fisik batuan hasil pemboran pada area Curug pangkul, maka perlapisan batuan area ini dapat dikelompokkan sebagai berikut:

a. Lapisan/Stratigrafi Overburden A1

Lapisan/stratigrafi overburden Overburden A1 terdapat pada titik seri bor LBG 38, LBG 39 dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 1 Statistik Deskriptik Karakteristik Fisik Lapisan Overburden A₁

Parameter Statistik	Kadar Air	Berat	Bobot Isi		Batas	Koefisien Kelulusan Air	
	W _n %	G _s	γ_w kN/m ³	γ_d kN/m ³	WP %	WL %	k m/s
Data	9	11	11	11	7	7	4
Minimum	12.99	2.66	16.95	12.67	21.00	43.00	0.0000
Maximum	20.23	2.80	22.13	19.46	33.00	75.00	0.0000
Average	16.19	2.73	20.54	17.57	24.71	55.14	0.0000
Std. Deviasi	2.52	0.06	1.42	1.90	4.39	11.13	0.0000

b. Lapisan/Stratigrafi Interburden A1-A2

Lapisan/stratigrafi Interburden A1-A2 terdapat pada titik seri bor LBG 38, LBG 39 dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 2. Statistik Deskriptik Karakteristik Fisik Lapisan Interburden A1-A2

Parameter Statistik	Kadar Air	Berat Jenis	Bobot Isi		Batas Plasti	Batas Cair	Koefisien k m/s
	W _n %	G _s	γ_w kN/m ³	γ_d kN/m ³	WP %	WL %	
Data Amount	3	3	3	3	1	1	1
Minimum	8.30	2.63	19.88	17.02	25.00	42.00	0.0000142
Maximum	16.84	2.80	22.37	20.66	25.00	42.00	0.0000142
Average	12.37	2.69	21.08	18.81	25.00	42.00	0.0000142
Std. Deviasi	4.28	0.10	1.25	1.82	-	-	-

c. Lapisan/Stratigrafi Interburden A2-B1

Lapisan/stratigrafi Interburden A2-B1 terdapat pada titik seri bor LBG dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 3 Statistik Deskriptik Karakteristik Fisik Lapisan Interburden A2-B1

Parameter Statistik	Kadar Air	Berat Jenis	Bobot Isi		Batas Plasti	Batas Cair	Koefisien k m/s
	W _n %	G _s	γ_w kN/m ³	γ_d kN/m ³	WP %	WL %	

Data Amount	7	7	6	6	4	4	4
Minimum	7.79	2.63	18.88	16.08	19.00	40.00	0.0000111
Maximum	17.66	2.75	21.88	19.68	25.00	67.00	0.0000140
Average	13.20	2.69	20.74	18.20	22.00	48.25	0.0000124
Std. Deviasi	3.60	0.05	1.03	1.30	2.58	12.58	0.0000013

d. Lapisan/Stratigrafi Interburden B1-B2

Lapisan/stratigrafi Interburden B1-B2 terdapat pada titik seri bor LBG 39 dan ALB. 73 dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 4 Statistik Deskriptik Karakteristik Fisik Lapisan Interburden B1-B2

Parameter Statistik	Kadar Air Wn %	Berat Jenis Gs	Bobot Isi		Batas Plastis WP %	Batas Cair WL %	Koefisien k m/s
			γ_w kN/m ³	γ_d kN/m ³			
Data Amount	2	2	2	2	-	-	2
Minimum	10.74	2.72	21.90	19.52	-	-	0.0000117
Maximum	12.19	2.72	22.70	20.49	-	-	0.0000127
Average	11.47	2.72	22.30	20.01	-	-	0.0000122
Std. Deviasi	-	-	-	-	-	-	-

e. Lapisan/Stratigrafi Interburden B2-C

Lapisan/stratigrafi Interburden B2-C terdapat pada titik seri bor LBG 38 dan LBG. 40 dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 5. Statistik Deskriptik Karakteristik Fisik Lapisan Interburden B2-C

Parameter Statistik	Kadar Air Wn %	Berat Jenis Gs	Bobot Isi		Batas Plastis WP %	Batas Cair WL %	Koefisien k m/s
			γ_w kN/m ³	γ_d kN/m ³			
Data Amount	7	7	7	7	-	-	1
Minimum	7.32	2.73	21.86	19.38	-	-	0.0000112
Maximum	12.79	2.81	23.52	21.92	-	-	0.0000112
Average	9.34	2.78	22.87	20.95	-	-	0.0000112
Std. Deviasi	2.06	0.03	0.71	1.01	-	-	-

F. SIFAT MEKANIK BATUAN

Dari hasil evaluasi pengujian sifat mekanik batuan di lokasi penelitian dikelompokkan berdasarkan stratigrafi/Lapisan batuan dengan hasil sebagai berikut:

a. Lapisan/Stratigrafi Overburden A1

Lapisan/stratigrafi overburden Overburden A1 terdapat pada titik seri bor LBG37, LBG. 38 dan LBG. 39 dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 6 Statistik Deskriptik Karakteristik Fisik Lapisan Interburden B2-C

Parameter Statistik	DIRECT SHEAR				TRIAxIAL			
	C _p	φ _p	C _r	φ _r	C _p	φ _p	C _r	φ _r
	kPa	deg	kPa	deg	kPa	deg	kPa	deg
DataAmount	7	7	7	7	3	3	3	3
Minimum	17.54	26.07	14.77	21.89	14.06	18.10	11.00	14.55
Maximum	69.14	28.02	67.61	26.75	51.17	26.01	39.99	20.83
Average	49.85	27.36	40.68	23.45	32.17	22.50	24.83	18.32
Std. Deviasi	19.99	0.74	18.74	1.59	18.57	4.03	14.54	3.32

b. Lapisan/Stratigrafi Batubara

Lapisan/stratigrafi batubara yang diuji hanya batubara Lapisan B1 yang terdapat pada titik seri bor LBG 39 dengan parameter seperti sebagai berikut ini: W_n:16.55%, γ_w : 12.06 , φ_i: 10.35 kN/m³, UCS (σ_c): 1177.75 kPa, C_r : 115.28 kPa, φ_r : 28.86 deg.

c. Lapisan/Stratigrafi Interburden A1-A2

Lapisan/stratigrafi Interburden A1-A2 terdapat pada titik seri bor LBG 38, LBG 39 dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 7 Statistik Deskriptik Karakteristik Teknis/Mekanis Overburden A1 – A2

Parameter Statistik	DIRECT SHEAR				ROCK SHEAR BOX			
	C _p	φ _p	C _r	φ _r	C _p	φ _p	C _r	φ _r
	kPa	deg	kPa	deg	kPa	deg	kPa	deg
DataAmount	2	2	2	2	-	-	1	1
Minimum	92.36	21.06	79.97	18.46	-	-	159.87	22.64
Maximum	140.64	30.14	121.44	26.84	-	-	159.87	22.64
Average	116.50	25.60	100.71	22.65	-	-	159.87	22.64
Std. Deviasi	-	-	-	-	-	-	-	-

d. Lapisan/Stratigrafi Interburden A2-B1

Lapisan/stratigrafi Interburden A2-B1 terdapat pada titik seri bor LBG dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 8 Statistik Deskriptik Karakteristik Teknis/Mekanis Overburden A2 – B1

Parameter Statistik	DIRECT SHEAR				RSB		UCS
	C _p (kPa)	φ _p (Deg)	C _r (kPa)	φ _r (Deg)	C _r (kPa)	φ _r (Deg)	σ _c (kPa)
DataAmount	3	3	3	3	2	2	2
Minimum	23.36	15.37	19.24	11.97	158.97	27.51	327.49
Maximum	65.91	27.94	51.91	23.98	208.08	29.19	3884.66
Average	42.96	23.31	33.98	19.59	183.53	28.35	2106.08
Std. Deviasi	-	-	-	-	-	-	-

e. Lapisan/Stratigrafi Interburden B1-B2

Lapisan/stratigrafi Interburden B1-B2 terdapat pada titik seri bor LBG 39 dengan parameter seperti pada tabel berikut ini: Hasil pengujian lapisan interburden B1-B2 dari 4 titik bor hanya 1 pengujian “Direct Shear” dengan nilai C_p : 221.25 kPa, ϕ_p : 30.37 deg; C_r : 173.01 kPa, ϕ_r : 24.12 deg dan 1 pengujian “Rock Shear Box” dengan C_r : 205.86 kPa, ϕ_r : 30.46 deg

f. Lapisan/Stratigrafi Interburden B2-C

Lapisan/stratigrafi Interburden B2-C terdapat pada titik seri bor LBG 38 dan LBG 40 dengan parameter seperti pada tabel berikut ini:

Tabel 9 Statistik Deskriptik Karakteristik Teknis/Mekanis Interburden B2-C

Parameter Statistik	ROCK SHEAR BOX		UCS
	C_r (kPa)	ϕ_r (Deg)	σ_c (kPa)
DataAmount	7	7	4
Minimum	158.97	27.51	2474.86
Maximum	324.99	30.47	5723.90
Average	215.64	29.10	3677.74
Std. Deviasi	52.86	1.20	1469.12

G. PENGOLAHAN DATA

Proses ini merupakan pengolahan data terhadap parameter masukan yakni densitas basah (*insitu density*), kohesi dan sudut gesek dalam residual. Dalam proses ini dibantu dengan menggunakan perangkat lunak @RISK yang menggunakan variasi simulasi (1, 2 dan 5) dan iterasi (100, 1000 dan 10.000). Metode pencocokan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Chi-Squared*.

E.1. Parameter Batuan Lapisan OB-A1 (batupasir)

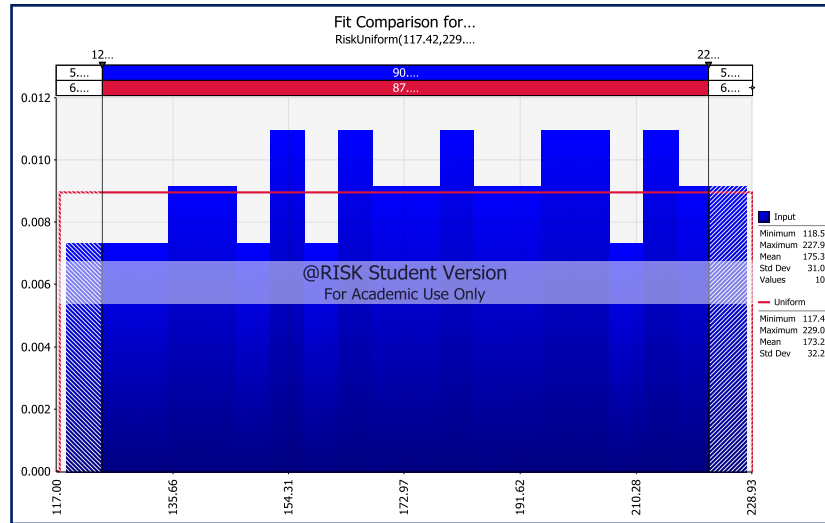
□ **Kohesi “Residual”**

Hasil proses karakterisasi terhadap parameter kohesi “residual” lapisan Interburden B2C (batupasir) lokasi Curug Pangkul menunjukkan fungsi yang paling memenuhi adalah Beta dan Seragam.

Tabel 10. Hasil Karakterisasi Distribusi Kohesi “Residual”

Jumlah Simulasi	Jumlah Iterasi	Nilai Parameter Fungsi						
		Normal	Seragam	Triangular	Beta	Eskpon	LogNor	Gamma
1	100	5.160	1.200	8.680	2.870	41.460	N/A	N/A
	1000	204.834	8.214	98.984	1.892	605.788	N/A	N/A
	10000	2294.538	80.531	1391.989	10.646	6275.338	N/A	N/A
2	100	5.160	1.640	8.460	2.870	44.100	N/A	N/A
	1000	206.748	8.620	99.332	1.370	606.716	N/A	N/A
	10000	2293.546	80.502	1397.583	10.528	6275.634	N/A	N/A
5	100	4.940	0.980	7.580	1.990	41.460	N/A	N/A

	1000	202.572	8.736	99.042	1.544	607.238	N/A	N/A
	10000	2293.309	80.354	1396.799	10.661	6271.801	N/A	N/A

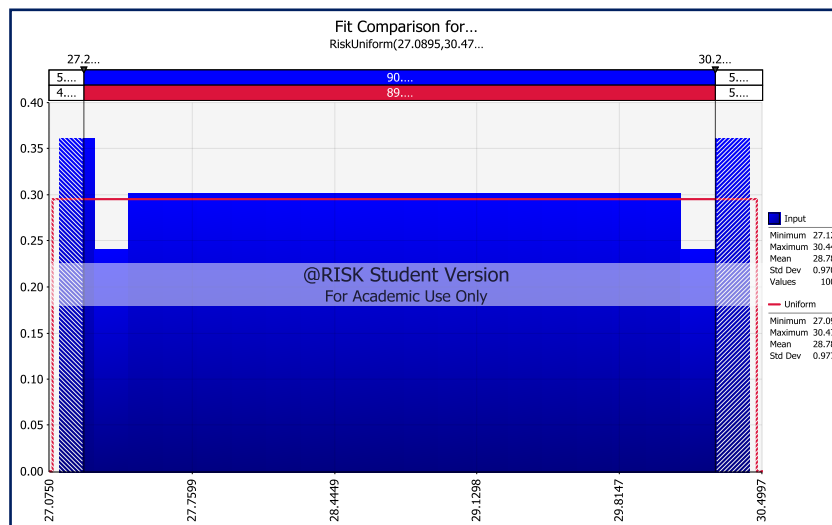


Gambar 4. Fungsi Distribusi Koheresi “Residual”

- **Sudut Gesek Dalam “Residual”**
Hasil proses karakterisasi terhadap parameter sudut gesek dalam “residual” lapisan OB-A1 lokasi Curug Pangkul menunjukkan fungsi yang paling cocok adalah Beta dan Seragam.

Tabel 11. Hasil Karakterisasi Distribusi Sudut Gesek Dalam “Residual”

Jumlah Simulasi	Jumlah Iterasi	Nilai Parameter Fungsi						
		Normal	Seragam	Triangular	Beta	Eskpon	LogNor	Gamma
1	100	6.480	0.320	11.100	1.770	37.940	N/A	N/A
	1000	240.040	0.384	122.474	0.383	552.718	N/A	N/A
	10000	3102.218	1.559	1896.077	0.449	5902.659	N/A	N/A
2	100	5.820	0.320	10.880	1.770	36.620	N/A	N/A
	1000	239.286	0.442	123.460	0.615	554.168	N/A	N/A
	10000	3102.040	1.500	1896.003	0.464	5903.976	N/A	N/A
5	100	5.820	0.540	11.670	1.990	37.060	N/A	N/A
	1000	240.214	0.326	122.706	0.557	552.486	N/A	N/A
	10000	3101.596	1.544	1895.796	0.478	5904.420	N/A	N/A



Gambar 5. Fungsi Distribusi Sudut Gesek Dalam “Residual”

□ **Densitas Basah**

Hasil proses karakterisasi terhadap parameter densitas basah lapisan OB-A1 lokasi Curug Pangkul menunjukkan fungsi yang paling cocok adalah beta. Hal ini dibuktikan dari hasil variasi 3 jenis simulasi, 3 jenis jumlah iterasi yang digunakan dalam proses karakterisasi, nilai parameter statistic yang paling kecil adalah fungsi beta (Tabel 12). Untuk fungsi lognormal dan gamma tidak dapat menghitung nilai parameter statistic sehingga hasil perhitungannya tidak ada.

Tabel 12. Hasil Karakterisasi Distribusi Densitas Basah

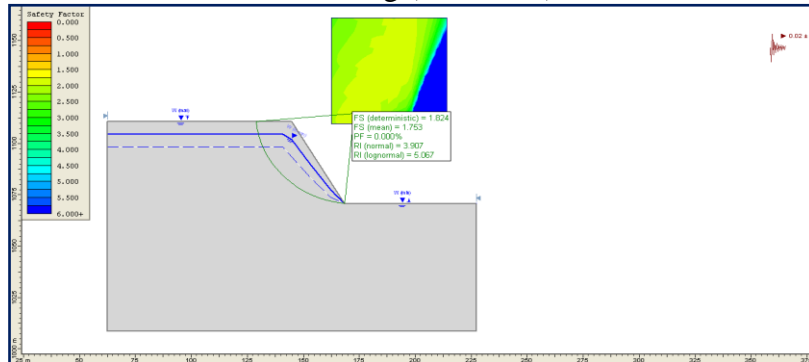
Jumlah Simulasi	Jumlah Iterasi	Nilai Parameter Fungsi						
		Normal	Seragam	Triangular	Beta	Eskpon	LogNor	Gamma
1	100	2.520	33.100	3.840	0.980	129.020	N/A	N/A
	1000	72.652	324.604	30.022	8.388	1408.160	N/A	N/A
	10000	718.870	3298.703	310.834	95.110	14540.576	N/A	N/A
2	100	2.080	29.360	3.840	0.760	125.940	N/A	N/A
	1000	72.652	324.546	30.196	8.272	1415.236	N/A	N/A
	10000	716.206	3305.851	311.308	95.642	14562.435	N/A	N/A
5	100	2.080	27.600	2.740	1.420	123.520	N/A	N/A
	1000	73.174	316.078	28.862	8.446	1383.742	N/A	N/A
	10000	718.930	3295.047	309.562	95.894	14530.008	N/A	N/A

H. ANALISIS

F.1. Analisis Kestabilan Lereng Tunggal

Hasil karakterisasi terhadap paramater batuan yang mencakup: nilai minimum, maksimum, standar deviasi dan jenis fungsi distribusi dimasukkan dalam analisis kestabilan lereng tunggal. Dalam penelitian ini menggunakan metode keseimbangan batas dengan bantuan software *SLIDE*. Untuk parameter masukan lain seperti geometri lereng, tinggi muka air tanah dan seismic loading digunakan nilai asumsi yang digunakan dalam disain lereng PTBA.

Hasil analisis kestabilan lereng menggunakan pendekatan probabilistik ini menghasilkan nilai faktor keamanan deterministik dan rata-rata, probabilitas kelongsoran, dan indeks reliabilitas lereng (Gambar 6).



Gambar 6. Contoh Keluaran Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Pendekatan Probabilistik

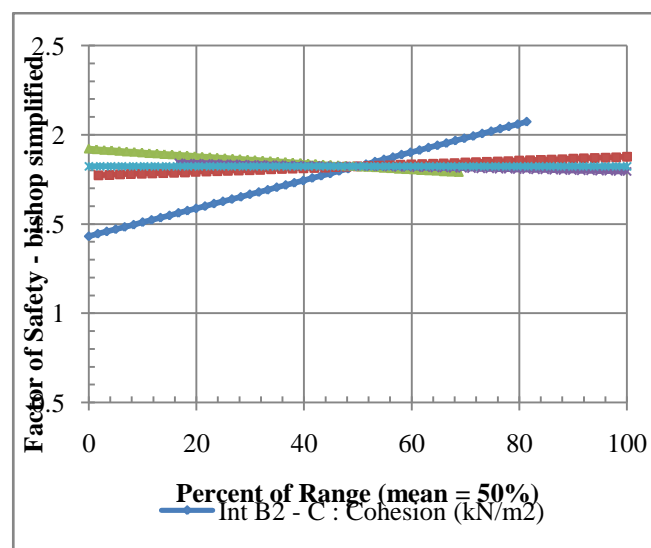
F.2. Analisis Sensitivitas

Analisis ini digunakan untuk melihat parameter masukan yang memiliki pengaruh paling dominan terhadap perubahan nilai faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran. Hal ini berguna dalam proses penanganan lereng untuk perencanaan lereng jangka pendek dan jangka panjang.

Mengingat dalam penelitian ini lereng yang dianalisis adalah lereng tunggal yang bersifat sementara, karena dalam waktu yang tidak lama akan digali/dikupas, maka analisis ini difungsikan untuk penanganan lereng jangka pendek.

Gambar 7 menunjukkan pengaruh parameter yang paling sensitif terhadap faktor keamanan lereng tunggal adalah kohesi, sementara parameter lainnya tidak berpengaruh cukup signifikan.

Hal penting dalam proses penanganan terhadap lereng tunggal ini adalah melakukan optimasi terhadap geometri lereng yang aman.



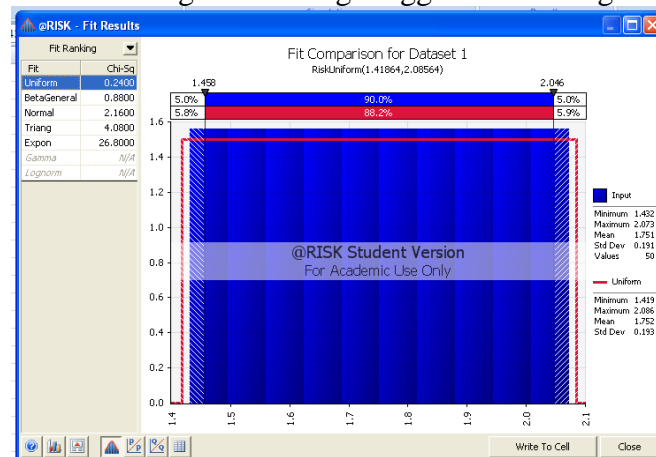
Gambar 7. Analisis Sensitivitas Parameter Masukan Terhadap Faktor Keamanan

F.3. Proses Pencocokan Jenis Fungsi Distribusi Faktor Keamanan

Proses *fitting* jenis distribusi dilakukan dengan menganalisis nilai FK hasil pendekatan probabilistik. Ada beberapa tahap proses *fitting* ini meliputi:

- Input nilai rata-rata, standar deviasi, minimum, dan maksimum dari nilai faktor keamanan.
- Menggunakan metode Monte Carlo nilai-nilai tersebut di-generate berdasarkan fungsi yang akan dianalisis, dalam hal ini ada 7 fungsi distribusi normal, lognormal, beta, seragam, triangular, eksponensial dan gamma. Proses ini dilakukan dengan 1000 iterasi dengan 5 simulasi.
- Penentuan parameter statistik dari masing-masing fungsi menggunakan metode *chi-squared*, yang mana fungsi yang memiliki nilai parameter statistik paling kecil merupakan fungsi yang paling mendekati distribusi fungsi faktor keamanan.

Untuk mempermudah proses pencocokan ini dilakukan dengan menggunakan *software* @RISK. Hasil proses pencocokan menunjukkan bahwa jenis fungsi distribusi faktor keamanan adalah Seragam. Fungsi ini selanjutnya digunakan untuk menentukan probabilitas kelongsoran lereng tunggal dari masing-masing skenario.



Gambar 8. Fungsi Distribusi Faktor Keamanan

F.4. Probabilitas Kelongsoran (PK)

Probabilitas kelongsoran lereng ditentukan dengan cara menghitung luas ($FK < 1$) di bawah fungsi yang sudah ditentukan sebelumnya dari hasil proses *fitting*.

Hasil perhitungan probabilitas kelongsoran lereng tunggal material lapisan B2C menunjukkan hingga tinggi lereng 40 meter dengan sudut kemiringan 60^0 , lereng masih tetap stabil atau dengan kata lain probabilitasnya nol.

I. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari hasil penelitian ini sebagai berikut :

- Karakterisasi terhadap distribusi fungsi kohesi dan sudut gesek dalam adalah seragam, dan distribusi fungsi densitas adalah beta.
- Karakterisasi terhadap nilai faktor keamanan hasil analisis kestabilan lereng menunjukkan fungsi terbaik adalah seragam.
- Hasil perhitungan probabilitas kelongsoran lereng tunggal material lapisan B2C (batupasir) menunjukkan hingga tinggi lereng 40 meter dengan sudut

kemiringan 60^0 , lereng masih tetap stabil atau dengan kata lain probabilitas kelongsorannya nol.

- Hasil analisis ini perlu dikomparasi dengan metode lainnya sehingga dapat meningkatkan suatu hasil disain yang dapat diaplikasikan secara operasional.

J. PUSTAKA

- @RISK software, Palisade
- Hoek E., Faktor of Safety and Probability of Failure, Chapter 8 - Rock Engineering.
- Pathak S., Poudel R.K., Kansakar B.R., 2006, Application of Probabilistik Approach in Rock Slope Stability Analysis — An Experience from Nepal, pp. 797–802, Universal Academy Press, Inc. - Tokyo, Japan.
- Pine, R.J. and W.J. Roberds. 2005. A risk-based approach for the design of rock slopes subject to multiple failure modes – illustrated by a case study in Hong Kong. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 42 (2005), Elsevier Ltd., pp. 261 – 275.
- SLIDE Software, Rockscience.