

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Rekayasa Geoteknik**

Geoteknik secara garis besar merupakan ilmu mengenai permasalahan kekuatan tanah dan batuan, sehingga berhubungan dengan kemampuan menahan beban seperti konstruksi bangunan, jalan raya, jembatan dan lainnya. Dalam kegiatan pertambangan, geoteknik merupakan salah satu aspek utama dalam perencanaan desain tambang karena mempengaruhi tingkat keamanan lereng yang dibuat. Sehingga dalam mengkaji geoteknik tambang diperlukan data yang benar dan teliti sehingga hasil diperoleh sesuai dengan yang diinginkan (Zakaria, Zufaldi, 2009).

##### **3.1.1 Konsep Stabilitas Lereng dan Perencanaan Geoteknik**

Lereng pada dasarnya merupakan permukaan tanah atau batuan yang memiliki sudut tertentu terhadap bidang horizontalnya, dimana permukaan tanah tersebut tidak dilindungi (Braja M. Das, 1985). Apabila massa dari lereng tersebut mengalami pergerakan melalui suatu bidang lereng, baik pada bidang miring maupun melengkung, maka pergerakan disebut sebagai longsoran tanah. Hal tersebut muncul akibat dari adanya faktor-faktor pada lereng seperti; peningkatan tegangan geser, berkurangnya kuat geser, kecepatan pergerakan tanah dan jenis pergerakannya, air tanah dan kegempaan (Untung, Wachyudi, dkk, 2018).

Kestabilan lereng ditimbulkan akibat adanya gaya penggerak dan gaya penahan pada bidang gelincir di dalam lereng tersebut, gaya penggerak tersebut dipengaruhi oleh gaya berat seperti adanya percepatan peledakan dan/ atau gempa bumi. Sedangkan gaya penahan dipengaruhi oleh adanya gaya geser, kohesi dan

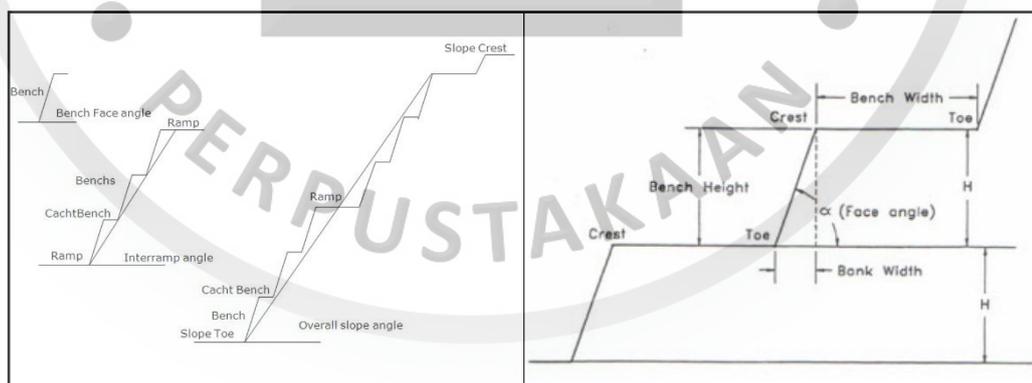
kuat geser. Dimana apabila gaya penggerak lebih besar dibandingkan dengan gaya penahan, maka lereng tidak stabil dan relatif akan longsor, akan tetapi apabila sebaliknya maka lereng akan stabil dan tidak akan longsor (Masagus, 2014).

Pengendalian kestabilan lereng memerlukan perencanaan geoteknik melalui analisis stabilitas lereng, kajian tersebut memerlukan data-data utama, antara lain (Zakaria, Zufaldi, 2009):

### 1. Geometri Lereng

Geometri lereng memiliki bagian yang terdiri dari tinggi lereng dan sudut kemiringan. Hal tersebut disebabkan karena perubahan dari dua bagian tersebut akan mempengaruhi berat material yang ditahan dan memberikan volume material yang lebih besar pada bidang geser tanah atau batuan.

Sehingga untuk mendapatkan tinggi lereng yang maksimal diperlukan pengurangan kemiringan lereng, dengan demikian lereng akan tetap stabil dan tidak mudah mengalami kelongsoran (Supandi, 2013), yang dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Sumber : Azhary, 2018

**Gambar 3.1**  
**Unsur-unsur Geometri Lereng**

### 2. Struktur Batuan

Struktur batuan terdiri dari bidang-bidang lemah seperti patahan (sesar), perlapisan dan rekahan, dimana hal tersebut mempengaruhi stabilitas lereng karena menjadi media air masuk kedalam batuan.

### 3. Sifat Fisik Batuan

Setiap batuan memiliki sifat fisik yang berbeda-beda, dimana sifat fisik tersebut terdiri dari bobot isi asli (*natural density*), bobot isi kering (*dry density*), bobot isi jenuh (*saturated density*), berat jenis semu (*apparent specific gravity*), berat jenis sejati (*true specific gravity*), kadar air asli (*natural water content*), kadar air jenuh (*absorption*), derajat kejenuhan, porositas (*n*), dan *void ratio* (*e*) (Arif, 2016).

Dalam penelitian ini persamaan sifat fisik batuan yang digunakan berupa bobot isi asli batuan seperti pada **Rumus 3.1** dan bobot isi jenuh batuan seperti pada **Rumus 3.2**.

$$\text{Bobot isi asli} = \frac{W_n}{W_w - W_s} \dots\dots\dots (3.1)$$

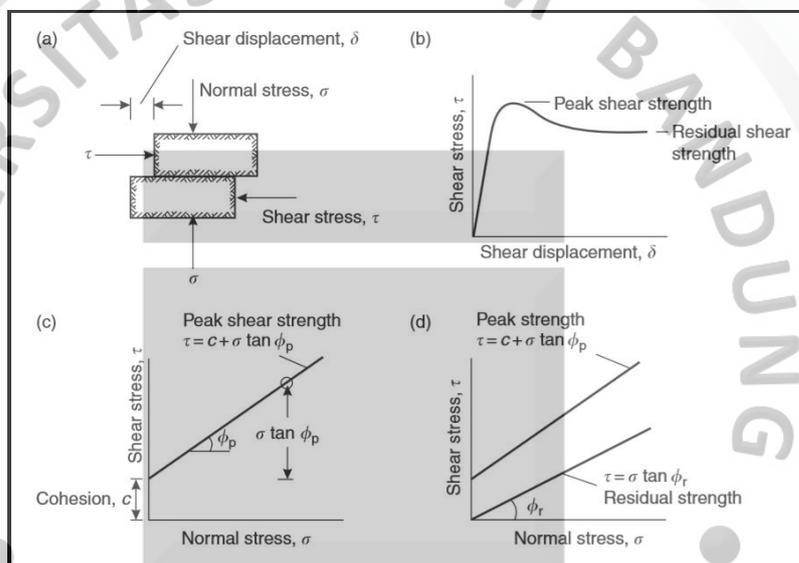
$$\text{Bobot isi jenuh} = \frac{W_w}{W_w - W_s} \dots\dots\dots (3.2)$$

Keterangan : Wn : Massa asli (gr)  
 Ww : Massa jenuh (gr)  
 Ws : Massa tergantung (gr)

### 4. Sifat Mekanik Batuan

Sifat mekanik batuan yang diperlukan dalam geoteknik diantaranya adalah kuat tekan batuan (*confined & unconfined compressive strength*), kuat tarik batuan (*tensile strength*) dan kuat geser batuan (*shear strength*). Dimana apabila ketiga kekuatan tersebut besar maka nilai faktor keamanan lereng akan besar. Selain itu dari sifat mekanik batuan juga akan mempengaruhi besar kohesi atau gaya tarik menarik antar partikel butiran material serta sudut gesek dalam atau sudut rekahan yang terbentuk jika adanya tegangan yang melebihi tegangan gesernya (Supandi, 2013).

Kuat geser akan mengalami peningkatan apabila memiliki bobot isi dan berat jenis yang besar akibat porositas lebih kecil (Brazilian,1999). Pengujiannya dilakukan dengan memberikan suatu gaya geser dan pembebanan secara bertahap untuk mendapatkan perlawanan gaya dari batuan seperti kohesi ( $c$ ), sudut gesek dalam ( $\Phi$ ), tegangan normal ( $\sigma_n$ ), dan Nilai kuat geser (*shear strength*) batuan (Made, 2014; Suseno, 2014; Ridho,2014), seperti dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Sumber : Wyllie & Mah, 2004

**Gambar 3.2**

**Definisi Kekuatan Geser Bidang Diskontinuitas: (a) Uji geser diskontinuitas; (b) Kurva tegangan- perpindahan geser; (c) Garis kekuatan Mohr-Coulomb; (d) Garis Mohr-coulomb untuk kekuatan puncak dan residu**

Keruntuhan geser memiliki kriteria yang digunakan dalam menganalisis kestabilan lereng yang disebut kriteria Mohr-Coulomb, seperti dapat dilihat pada **Rumus 3.3** sebagai berikut:

$$\tau = c + \sigma_n (\tan \Phi) \dots\dots\dots (3.3)$$

Keterangan :  $\tau$  = Kuat geser (*shear strength*) ( $\text{kg/cm}^2$ )

$c$  = Kohesi ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\sigma_n$  =Tegangan normal ( $\text{kg/cm}^2$ )

$\Phi$  = Sudut gesek dalam ( $^\circ$ )

Selain menggunakan pengejian kuat geser langsung juga dilakukan pengujian uji *unconfined compressive strength* (UCS), tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengukur kuat tekan uniaxial sebuah sampel dengan tujuan utama adalah untuk klasifikasi kekuatan dan karakteristik batuan utuh. Dari pengujian ini dihasilkan nilai kuat tekan uniaxial, *modulus young*, *Nisbah Poisson* ( Made, 2014).

a. Kuat Tekan Batuan ( $\sigma_c$ )

$$\sigma_c = F/A \dots \dots \dots (3.4)$$

Keterangan :  $\sigma_c$  = Kuat tekan uniaksial batuan (KPa)

F = Gaya yang bekerja (kN)

A = Luas penampang awal contoh batuan yang tegak lurus terhadap arah gaya ( $\text{mm}^2$ )

b. *Modulus Young* (E)

$$E = \Delta\sigma / \Delta\epsilon_a \dots \dots \dots (3.5)$$

Keterangan : E = Modulus Young (KPa)

$\Delta\sigma$  = Perubahan tegangan (KPa)

$\Delta\epsilon_a$  = Perubahan regangan aksial (%)

c. *Nisbah Poisson* (*Poisson Ratio*)

$$V = \epsilon_a / \epsilon_d \dots \dots \dots (3.6)$$

Keterangan : V = Poisson Ratio

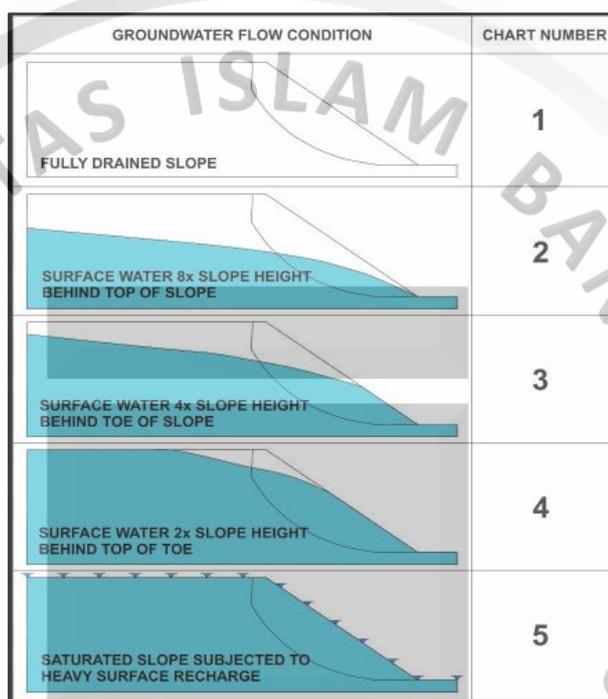
$\epsilon_d$  = Regangan Diameteral (%)

$\epsilon_a$  = Regangan Aksial (%)

5. Kondisi Air Tanah

Kondisi air tanah dapat mengubah unsur mineral dalam batuan atau tanah melalui reaksi kimia dan pelarutan, mengubah densitas, hingga menyebabkan terjadinya erosi. Keterdapatan air tanah dalam lereng

umumnya dipengaruhi oleh iklim (curah hujan) dan derajat kejenuhan atau muka air tanah. Keberadaan air tanah ini akan meningkatkan tekanan pori dan memperkecil ketahanan geser dari massa lereng tergantung pada kondisi air tanah pada lereng tersebut (**Gambar 3.3**), sehingga dapat menurunkan kestabilan lereng tersebut (Supandi, 2013).



Sumber : Hoek & Bray, 1981

**Gambar 3.3**  
Kondisi Air Tanah pada Lereng

#### 6. Karakteristik Massa Batuan

Penentuan karakteristik massa batuan dalam geoteknik bertujuan untuk mengelompokkan batuan-batuan berdasarkan perilaku, kesamaan sifat dan kualitas massa batuan, dimana hal tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam desain teknik. Dalam kegiatan geoteknik pengklasifikasian massa batuan memiliki beberapa macam pengklasifikasian, dimana dalam penelitian ini menggunakan klasifikasi berdasarkan uji kemampugaruan dan uji *Unconfined Compressive Strength* (UCS) menurut Wyllie dan Mah, 2004 seperti pada **Gambar 3.4**.

Klasifikasi kekuatan batuan berdasarkan nilai <i>uniaxial compressive strength</i> /UCS (Wyllie dan Mah, 2004)			
Grade	Deskripsi	Identifikasi lapangan	UCS (MPa)
R6	Batuan kuat sekali	Percontoh hanya berupa chip menggunakan palu geologi	> 250
R5	Batuan sangat kuat	Percontoh membutuhkan banyak pukulan palu geologi untuk memecahkannya	100-250
R4	Batuan kuat	Percontoh membutuhkan lebih sekali pukulan palu geologi untuk memecahkannya	50-100
R3	Batuan kuat menengah	Percontoh dapat dipecahkan melalui sekali pukulan palu geologi	25-50
R2	Batuan lemah	Dapat dikelupas menggunakan pisau secara hati-hati, titik lekukan dangkal menggunakan palu geologi	5,0-25
R1	Batuan sangat lemah	Hancur dipukul menggunakan palu geologi dan dapat dikelupas menggunakan pisau	1,0-5,0
R0	Batuan lemah sekali	Dapat ditusuk menggunakan kuku tangan	0,25-1,0

Sumber : *Wyllie dan Mah, 2004*

**Gambar 3.4**  
**Klasifikasi Kekuatan Batuan Berdasarkan Nilai UCS**

### 3.1.2 Ketidakpastian Desain Lereng

Desain lereng memerlukan keseimbangan antara kemiringan lereng dan keuntungan, dimana apabila lereng semakin curam akan memaksimalkan perolehan penambangan, akan tetapi dapat meningkatkan risiko kestabilan lereng (Masagus, 2012). Dalam memperoleh desain lereng tambang diperlukan data-data yang relatif banyak sehingga munculnya ketidakpastian dalam penentuan desain optimal.

Selain itu indikator dari kestabilan lereng yang digunakan juga berupa faktor keamanan (FK), yang menilai dari nilai rata-rata parameter yang sudah mewakili karakteristik masing-masing parameter tersebut, sedangkan secara alamiah perbedaan parameter tersebut memiliki peluang yang sama untuk menentukan nilai kestabilan lereng. Secara teoritis metode kesetimbangan batas menyatakan kritis lereng aman bila  $FK=1$ , dimana lereng akan longsor apabila  $FK<1$  dan aman apabila  $FK>1$ . Akan tetapi pendekatan tersebut hanya berlaku pada kondisi lereng

tertentu saja, hal itu dicirikan dengan adanya kasus lereng longsor meskipun nilai FK sudah memenuhi (Masagus, 2011).

Sumber-sumber utama ketidakpastian desain lereng dipertimbangkan dari proses pendesainan dan pendekatan-pendekatan tertentu seperti adanya variabilitas acak dari aspek yang dianalisis atau ketidaktahuan aspek tersebut (Steffen et.al., 2008). Sumber-sumber tersebut dapat dilihat pada **Tabel 3.1** sebagai berikut:

**Tabel 3.1**  
**Sumber Ketidakpastian dalam Kestabilan Lereng**

Aspek Lereng	Sumber Ketidakpastian
Geometri	Topografi, geologi/ struktur, muka air tanah (MAT)
Karakteristik	Kuat geser, deformasi, konduktivitas hidraulik
Beban (Gaya Pengganggu)	Tegangan insitu, peledakan, gempa bumi
Prediksi kelongsoran	Realibilitas model

Sumber: Steffen et.al.,2008

### 3.2 Analisis Statistik

Analisis statistik digunakan untuk melihat kecenderungan pola sebaran suatu kumpulan data yang akan diolah, sehingga dapat menentukan metode penafsiran yang sesuai dengan pola penyebaran yang dimiliki. Menurut Aditiawarman, 2015 analisis statistika dibagi beberapa bagian, sebagai berikut:

1. Statistik Univarian, digunakan untuk menganalisis hubungan antara banyak data dari suatu populasi tanpa melihat lokasi data tersebut didapatkan.
2. Statistik Bivarian, digunakan untuk menganalisis hubungan dari dua kelompok atau populasi data berbeda tetapi bersumber pada lokasi yang sama.
3. Statistik Spasial (geostatistik), digunakan untuk menganalisis kelompok atau populasi yang mempertimbangkan faktor ruang (spasi) dari data tersebut.

Dalam kegiatan analisis geoteknik umumnya menggunakan analisis univarian dalam penelitian ini, analisis statistik digunakan pada hasil pengeboran geoteknik.

### 3.2.1 Uji Normalitas Deskriptif

Uji normalitas deskriptif menentukan data berdistribusi normal melalui nilai koefisien varians, rasio skewness dan rasio kurtosis yang diprediksi secara deskriptif (Nasrul, 2012).

#### 1. Koefisien Varians

Suatu data dikatakan normal apabila koefisien varians <30%, dimana secara matematis koefisien varians dapat dinyatakan seperti pada **Rumus 3.7** di bawah ini:

$$KV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.7)$$

Keterangan: KV = Koefisien varians (%)  
 S = Standar deviasi  
 $\bar{X}$  = rata - rata

#### 2. Rasio Skewness

Suatu data dikatakan normal jika rasio skewness berada pada rentang nilai diantara -2 sampai 2, dimana metode ini menunjukkan kecenderungan besaran statistik yang menunjukkan kemiringan data, sehingga secara matematis rasio skewness dapat dinyatakan seperti pada **Rumus 3.8** di bawah ini:

$$\text{Rasio } S_k = \frac{SK}{\text{Standar Error SK}} \dots\dots\dots(3.8)$$

Keterangan: Rasio SK = Rasio Skewness  
 SK = Skewness  
 Standar eror SK = Standar eror Skewness

### 3. Rasio Kurtosis

Suatu data dikatakan normal jika rasio kurtosis berada pada rentang nilai -2 sampai 2, dimana metode ini menunjukkan kecenderungan data yang relatif sama dengan skewness, sehingga secara matematis rasio kurtosis dapat dinyatakan seperti pada **Rumus 3.9** di bawah ini:

$$\text{Rasio } K = \frac{K}{\text{Standar Error } K} \dots\dots\dots(3.9)$$

Keterangan: Rasio K = Rasio Kurtosis

K = Kurtosis

Standar eror K = Standar eror Kurtosis

Tetapi dalam penelitian ini, analisis normalitas secara deskriptif dilakukan dengan menggunakan batuan *software* statistik.

#### 3.2.2 Uji Normalitas Analitik (Kolmogorov-Smirnov)

Dalam menguji normalitas data metode ini sangat umum digunakan yang memiliki tingkat konsistensi hingga 68,26%, relatif sederhana dan tidak menimbulkan perbedaan persepsi, metode ini merupakan metode uji kecocokan non-parametrik disebabkan tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu (Azis, 2018), dalam pengujian ini terdapat syarat seperti data memiliki skala interval atau ratio, data belum dikelompokkan pada tabel distribusi frekuensi dan jumlah data (nilai n) bisa besar maupun kecil (Aririzki, 2015).

Dalam metode ini, pengujian dilakukan dengan konsep membandingkan antara data yang didapat dengan data berdistribusi normal dengan nilai *mean* dan standar deviasi yang sama terhadap data yang dimiliki. Sehingga apabila nilai dari pengujian tersebut signifikan ( $p < 0,05$ ) maka data tersebut berdistribusi tidak normal, tetapi bila signifikan ( $p > 0,05$ ) maka data tersebut berdistribusi normal (Bhina, 2013). Berikut beberapa tahap yang harus dilakukan dalam uji normalitas metode Kolmogorov-Smirnov:

1. Data diurutkan dari data terkecil hingga terbesar dan tentukan peluang dari data tersebut dengan **Rumus 3.10** berikut ini.

$$P_1 = \frac{m}{n+1} \dots\dots\dots(3.10)$$

Keterangan: M = Urutan varian ke  
n = Jumlah data

2. Hitung nilai k dengan persamaan **Rumus 3.11** berikut:

$$K_1 = \frac{x_i - \bar{x}}{S_x} \dots\dots\dots(3.11)$$

Keterangan:  $X_i$  = Data varian ke  
 $\bar{X}$  = Data varian rata-rata  
 $S_x$  = Simpangan baku

3. Hitung nilai P (x) dengan persamaan **Rumus 3.12** berikut:

$$P_x = \frac{m}{n+k} \dots\dots\dots(3.12)$$

Keterangan: M = Urutan variat ke  
n = Jumlah data

Dalam penelitian ini uji normalitas yang diterapkan adalah uji normalitas metode Kolmogorov-Smirnov dengan bantuan *software* statistik.

### 3.3 Metode Keseimbangan Batas Bishop

Metode keseimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) merupakan yang umum digunakan pada analisis kestabilan lereng gelinciran translasional dan rotasional yang biasa digunakan pada batuan yang relatif lemah. Metode ini memiliki keseimbangan statik dan mengabaikan keterdapatn hubungan tegangan-regangan pada lereng, selain itu geometri bidang longsornya harus diketahui terlebih dahulu. Dengan demikian nilai faktor keamanan yang didapatkan dapat berupa hasil keseimbangan gaya, keseimbangan momen atau keduanya, hal ini bergantung pada metode perhitungan yang akan digunakan (Arif, Irwandi, 2014).



$$F = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \alpha} \sum (C' + W(1 - ru)) \tan \phi \left( \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \phi}{F}} \right) \dots \dots \dots (3.14)$$

Keterangan : F = Faktor Keamanan (FK)

C = Kohesi material (ton/m<sup>2</sup>)

l = Panjang segmen tanah (m)

b = Lebar irisan (m)

ru = Tinggi muka air (m)

$\phi$  = Sudut gesek dalam (°)

W = Berat segmen tanah (ton)

$\alpha$  = Sudut kemiringan lereng (°)

Dalam kesetimbangan batas metode irisan ini selain metode Bishop juga terdapat beberapa metode lainnya, dimana setiap metode tersebut memiliki asumsinya masing-masing, dapat dilihat pada **Tabel 3.2** berikut:

**Tabel 3.2**  
**Asumsi-asumsi dan Kondisi Kesetimbangan Metode Irisan**

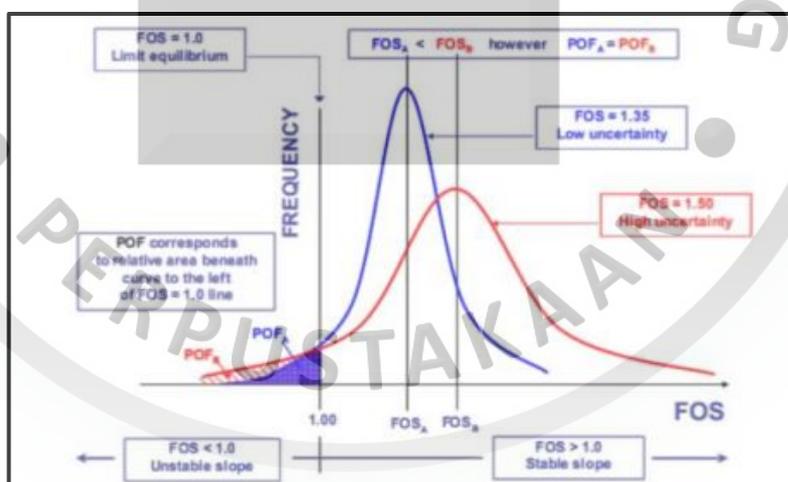
Metode	Asumsi
Irisan Biasa (Fellenius)	Resultan gaya antar-irisan sama dengan nol dan bekerja sejajar dengan permukaan bidang
Bishop yang Disederhanakan	Gaya geser antar-irisan sama dengan nol ( $X = 0$ )
Janbu yang Disederhanakan	Gaya geser antar-irisan sama dengan nol ( $X = 0$ ). Faktor koreksi digunakan sebagai faktor empiris untuk memasukkan efek dari gaya geser antar-irisan
Lowe-Karafiath	Kemiringan antar resultan gaya geser dan normal antar-irisan sama dengan rata-rata dari kemiringan permukaan lereng dan kemiringan bidang runtuh
<i>Corps of Engineer</i>	Kemiringan antar resultan gaya geser dan normal antar-irisan besarnya sama dengan : - Kemiringan lereng, atau - Kemiringan dari kaki bidang runtuh ke puncak bidang runtuh
Spencer	Kemiringan dari resultan gaya geser dan normal antar-irisan adalah sama untuk semua irisan
Morgenstern-Price	Kemiringan gaya geser antar-irisan besarnya sebanding dengan fungsi tertentu yang diasumsikan
Kesetimbangan batas umum	Sudut gaya antar-irisan besarnya sebanding dengan fungsi tertentu yang diasumsikan

Sumber: *Khahn, 2004*

### 3.4 Probabilitas Kelongsoran

Probabilitas merupakan suatu metode dalam menentukan nilai faktor keamanan suatu sistem rekayasa dengan cara memperlakukan nilai *input* sebagai variabel acak, sehingga nilai faktor keamanan yang dihasilkan dari perbandingan gaya penahan dengan gaya penggerakanya juga menjadi acak. Selain itu pendekatan ini juga melihat dari sensitivitas perubahan nilai setiap parameter *input* terhadap nilai faktor keamanan (Masagus, 2011)

Secara grafik pada **Gambar 3.6** nilai faktor keamanan dengan nilai peluang kelongsoran tidak selalu berhubungan linier, dimana FK yang besar belum tentu dapat dikatakan sebagai lereng stabil, hal ini akibat adanya ketidakpastian yang implisit tidak tertangkap oleh nilai FK. Probabilitas kelongsoran (PK) dihitung sebagai rasio antara area pada distribusi  $FK < 1$  dibagi dengan total area pada kurva distribusi probabilitas (Arif, 2016).



Sumber : Steffen, dkk, 2008

**Gambar 3.6**  
**Konsep Probabilitas Kelongsoran**

Dalam analisis probabilitas kelongsoran baik menggunakan metode Monte-Carlo maupun Latin-Hypercube terdapat beberapa *input* parameter yang harus diperhatikan, yaitu distribusi data (normal, lognormal, bheta dan gamma), nilai minimum data, nilai maximum data, nilai standar deviasi dan nilai rata-rata data.

Untuk kriteria probabilitas kelongsoran (*probability of failure*) yang dapat diterima (*Acceptance Criteria*) diatur dalam KEPMEN ESDM Nomor 1827 K/ 30/ MEM/ 2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik dapat dilihat pada **Tabel 3.3** sebagai berikut:

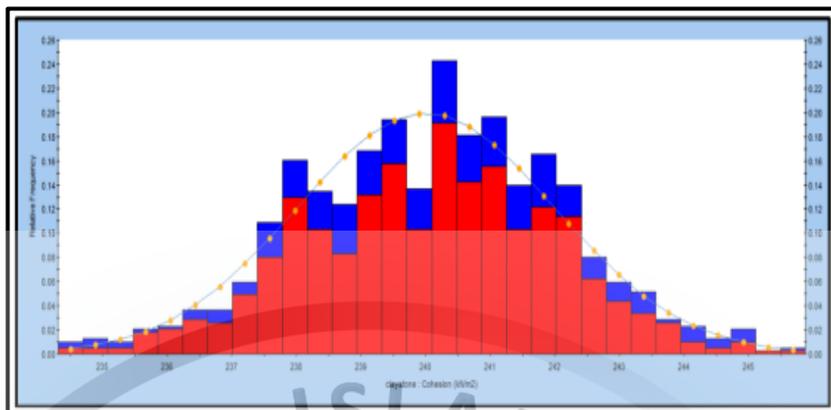
**Tabel 3.3**  
**Kriteria Probabilitas Kelongsoran pada Lereng Tambang**

Jenis Lereng	Keparahan Longsor ( <i>Consequences of Failure/ CoF</i> )	Kriteria dapat diterima ( <i>Acceptance Criteria</i> )		
		FK min (Statik)	FK min (Dinamik)	Probabilitas Longsor <sub>maks</sub> PoF [ $FK \leq 1$ ]
Tunggal/Jenjang ( <i>Bench</i> )	<i>Low - High</i>	1,1	Tidak Ada	25 - 50 %
<i>Inter-Ramp</i>	<i>Low</i>	1,15 – 1,2	1,0	25%
	<i>Medium</i>	1,2	1,0	20%
	<i>High</i>	1,2 – 1,3	1,1	10%
Lereng Keseluruhan ( <i>Overall</i> )	<i>Low</i>	1,2 – 1,3	1,0	15 -20%
	<i>Medium</i>	1,3	1,05	5 - 10%
	<i>High</i>	1,5	1,1	≤ 5%

Sumber: Kepmen 1827, 2018

#### 3.4.1 Metode Monte Carlo

Metode monte carlo merupakan metode yang banyak digunakan saat ini, metode ini relatif sederhana dan fleksibel sehingga dapat digunakan pada pemecahan masalah dengan data bervariasi acak seperti pada **Gambar 3.7**. Selain itu metode ini juga dapat menggabungkan suatu varietas distribusi probabilitas yang lebih besar tanpa dilakukan penafsiran apapun, serta mampu untuk memodelkan korelasi antara beberapa variabel dengan mudah. Sehingga dalam hal ini metode Monte-Carlo cocok digunakan dalam analisis geoteknik karena parameter-parameter masukannya memiliki fungsi dari variabel acak yang bersifat tidak tentu (Arif, 2016).



Sumber : Fadjar, Adnan, 2008

**Gambar 3.7**  
**Contoh Statistik Sampling Metode Monte-Carlo**

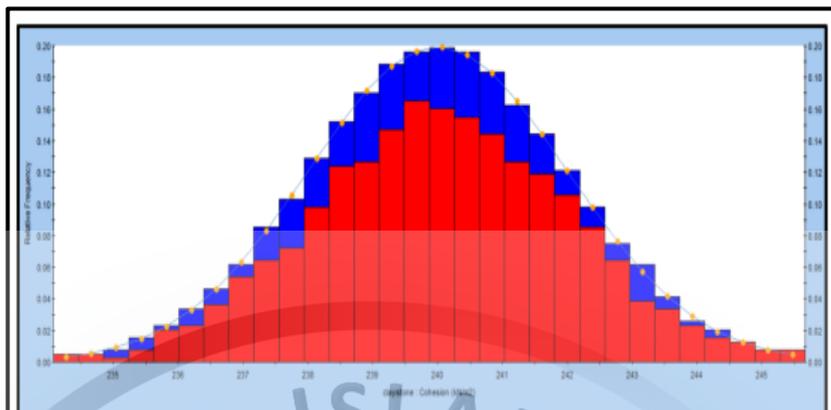
Dalam menghitung probabilitas kelongsoran pada data berdistribusi normal, dapat menggunakan **Rumus 3.15** sebagai berikut:

$$PF = \frac{(N-M)}{N} \times 100\% \dots \dots \dots (3.15)$$

Keterangan: PF = Probabilitas kelongsoran (*Probability of failure*)  
 (N-M) = Jumlah nilai yang tidak memenuhi kriteria aman  
 M = Jumlah lereng yang memenuhi kriteria aman  
 N = Jumlah analisis yang dilakukan

### 3.4.2 Metode Latin-Hypercube

Metode Latin-Hypercube (LH) merupakan pengembangan dari metode probabilitas, sehingga memiliki hasil yang dapat dibandingkan dengan metode Monte-Carlo dan jumlah sampel yang diperlukan lebih sedikit (Imam dkk, 1980; Startzman dan Watterbarger , 1985). Metode LH pada dasarnya dilakukan dengan *sampling* secara acak dengan kriteria berlapis, pengembangan metode ini bahkan dikatakan menghasilkan nilai yang lebih akurat, dimana 1000 sampel yang diperoleh dengan metode ini dapat lebih baik dibandingkan dengan jumlah 5000 sampel yang diperoleh dari metode Monte-Carlo (Aditiawarman, 2015), contoh *sampling* metode ini dapat dilihat pada **Gambar 3.8**.



Sumber : Fadjar, Adnan, 2008

**Gambar 3.8**  
Contoh Statistik *Sampling* Metode Latin-Hypercube

### 3.5 Kemampugaruan

Kemampugaruan atau *rippability* merupakan suatu nilai batuan berdasarkan ukuran tingkat kemudahan batuan untuk digaru, nilai tersebut diperoleh berdasarkan hasil studi lapangan, geologi maupun geoteknik. Sistem klasifikasi kemampugaruan pada dasarnya memiliki bermacam-macam metode dan parameter yang digunakan, secara keseluruhan hasil metode ini dapat menjadi acuan dalam menentukan metode penggalian, sehingga dapat memudahkan dalam pemilihan alat yang sesuai dan pada tahap operasi.

#### 3.5.1 Faktor dan Metode Kemampugaruan

Kemampugaruan memiliki beberapa faktor yang berpengaruh, diantaranya seperti tipe batuan, kekuatan batuan, tingkat pelapukan batuan, abrasivitas, topografi, densitas batuan, kecepatan gelombang seismik, struktur geologi, kemas batuan, hingga bidang perlapisan (Anonim, 1998). Sehingga berdasarkan metodenya kemampugaruan batuan dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

1. Metode Langsung, metode ini dilakukan dengan uji coba di lapangan secara langsung dengan mesin *ripper*. Metode ini dilakukan untuk evaluasi hasil penggaruan aktual pada massa batuan tertentu (Anonim, 1998).

2. Metode Tak Langsung, jika dengan uji coba langsung dilapangan tidak dapat dilakukan maka metode tak langsung dapat menjadi alternatif untuk penentuan kemampugaruannya. Metode tak langsung terdiri Metode aproksimasi, metode grafis dan metode *grading* (Anonim, 1998).

### 3.5.2 Kemampugaruan Metode *Grading*

Kemampugaruan batuan metode *grading* merupakan salah satu metode yang didasari oleh sifat geomekanik batuan seperti diskontinuitas tingkat pelapukan, ukuran butir dan kekuatan batuan yang dipengaruhi oleh nilai dari kekar, pelapukan, ukuran butir dan kekuatan massa batuan. Sehingga dengan adanya faktor-faktor tersebut dapat dilakukan proses estimasi kemampugalian melalui pemberian nilai atau pembobotan (Anonim, 1998).

Pemberian nilai ini biasanya dilakukan dengan metode Weaver (1997), yaitu metode perancangan kemampugaruan berdasarkan sistem geomekanik yang dirancang oleh Bieniawski. Akan tetapi, dalam metode ini kondisi air tanah akan diabaikan dan nilai RQD (*rock quality designation*) diganti dengan nilai kecepatan seismik. Dengan menggunakan indeks dan penilaian pada kondisi yang berbeda-beda, maka indeks total akan dihitung sehingga metode penggalian dapat ditentukan. Nilai pembobotan berdasarkan klasifikasi massa batuan dengan kemampugalian menurut Weaver (1975) dalam ISRM (2013) pada **Tabel 3.4**.

Kecepatan gelombang seismik yang digunakan pada parameter ini juga bisa didapatkan dari hasil mengkonversi nilai UCS menjadi nilai kecepatan gelombang seismik menggunakan persamaan Karpuz, yang secara empiris dilihat di persamaan **Rumus 3.16** sebagai berikut:

$$V_f = 953 \sigma^{0,225} \dots\dots\dots(3.16)$$

Keterangan:  $V_f$  = Cepat rambat gelombang seismik (m/s)

$\sigma$  = Nilai UCS (Mpa)

**Tabel 3.4**  
**Klasifikasi Kemampugaruan Weaver (1975)**

<b>Rock Mass</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>V</b>	
<b>Description</b>	<i>Very Good Rock</i>	<i>Good Rock</i>	<i>Fair Rock</i>	<i>Poor Rock</i>	<i>Very Poor Rock</i>	
<b>Seismic Velocity (m/s)</b>	>2150	2150-1850	1850-1500	1500-1200	1200-450	
<b>Rating</b>	26	24	20	12	5	
<b>Rock Hardness</b>	<i>Extremely Hard Rock</i>	<i>Very Hard Rock</i>	<i>Hard Rock</i>	<i>Soft Rock</i>	<i>Very Soft Rock</i>	
<b>Rating</b>	10	5	2	1	0	
<b>Rock Weathering</b>	<i>Unweathered</i>	<i>Slightly Weathered</i>	<i>Weathered</i>	<i>Highly Weathered</i>	<i>Completely Weathered</i>	
<b>Rating</b>	9	7	5	3	1	
<b>Discontinuity Spacing (mm)</b>	>3000	3000-1000	1000-300	300-50	<50	
<b>Rating</b>	30	25	20	10	5	
<b>Discontinuity Continuity</b>	<i>Non Continuous</i>	<i>Slightly Continuous</i>	<i>Continuous- No Gouge</i>	<i>Continuous Some Gouge</i>	<i>Continuous With Gouge</i>	
<b>Rating</b>	5	5	3	0	0	
<b>Joint Group</b>	<i>No Separation</i>	<i>Slightly Separation</i>	<i>Separation &lt; 1 mm</i>	<i>Gouge &lt; 5 mm</i>	<i>Gouge &gt; 5 mm</i>	
<b>Rating</b>	5	5	4	3	1	
<b>Strike Dip and Orientation</b>	<i>Very Unfavourable</i>	<i>Unfavourable</i>	<i>Slightly Unfavourable</i>	<i>Favourable</i>	<i>Very Favourable</i>	
<b>Rating</b>	15	13	10	5	3	
<b>Total Rating</b>						
<b>Total Rating</b>	100-90	90-70	70-50	50-25	<25	
<b>Rippability Assessment</b>	<i>Blasting</i>	<i>Extremely Hard Ripping and Blasting</i>	<i>Very Hard Ripping</i>	<i>Hard Ripping</i>	<i>Easy Ripping</i>	
<b>Tractor Selection</b>	-	DD9G/ D9G	D9/ D8	D8/ D7	D7	
<b>Horse Power</b>	-	770/ 385	385/ 270	270/180	180	
<b>Kilowatts</b>	-	570/ 290	290/ 200	200/ 135	135	
<b>Keterangan Pembebanan Orientasi Kekar</b>						
<i>Irrespective of Strike</i>	<i>Strike Perpendicular Ripping Direction</i>				<i>Strike Parallel to Ripping Directin</i>	
0-20	45-90	20-45	45-90	20-45	20--45	45-90
<i>Unfavorable</i>	<i>Very Favorable</i>	<i>Favorable</i>	<i>Fair</i>	<i>Unfavorable</i>	<i>Fair Unfavorable</i>	<i>Very Unfavorable</i>