

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Geoteknik

Geoteknik adalah salah satu dari banyak alat dalam perencanaan atau design tambang, data geoteknik harus digunakan secara benar dengan kewaspadaan dan dengan asumsi-asumsi serta batasan-batasan yang ada untuk dapat mencapai hasil seperti yang diinginkan.

Dalam penambangan secara tambang terbuka (open pit), sudut kemiringan adalah satu faktor utama yang mempengaruhi bentuk dari *final pit* dan lokasi dari dinding-dindingnya. Dikarenakan dari perbedaan dari keadaan geologinya, maka kemiringan optimum dapat beragam diantara berbagai pit dan bahkan dapat beragam pula dalam satu pit yang sama. Sudut pit pada umumnya dapat dikatakan sebagai sejumlah waste yang harus dipindahkan untuk menambang bijih.

3.2 Lereng

3.2.1 Lereng alami

Secara umum lereng dapat diartikan sebagai “permukaan yang bentuknya miring terhadap bidang horizontal”. Lereng dapat dibedakan menjadi lereng alam dan lereng buatan. Lereng Alam merupakan lereng yang

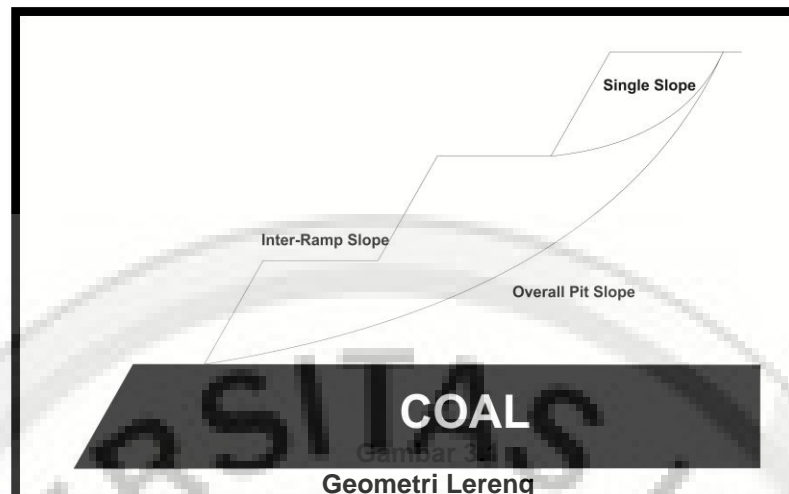
terbentuk karena proses demodasi dalam hal ini misalkan lereng suatu bukit atau gunung.

3.2.2 Lereng buatan

Lereng buatan adalah lereng yang terbentuk akibat aktivitas manusia misalnya pada penggalian suatu tambang atau konstruksi galian pada pekerjaan teknik sipil. Pada pembahasan ini dibatasi pada pengertian lereng untuk suatu galian tambang.

Beberapa jenis lereng bukaan tambang terdiri atas beberapa geometri sebagai berikut:

- *Single slope*, lereng tunggal yang terbentuk dari satu jenjang *bench* yang terdiri dari tinggi lereng (sama dengan tinggi *bench*), sudut lereng, kaki lereng *Toe*, dan siku lereng *Crest*.
- *Inter-ramp slope*, lereng yang terbentuk antar jalan tambang, dapat terbentuk dari beberapa jenjang *benches*.
- Lereng keseluruhan *Overall Pit Slope*, lereng yang terbentuk dari *Crest* teratas dan *Toe* terbawah, dengan tinggi total lereng sama dengan kedalaman bukaan tambang.

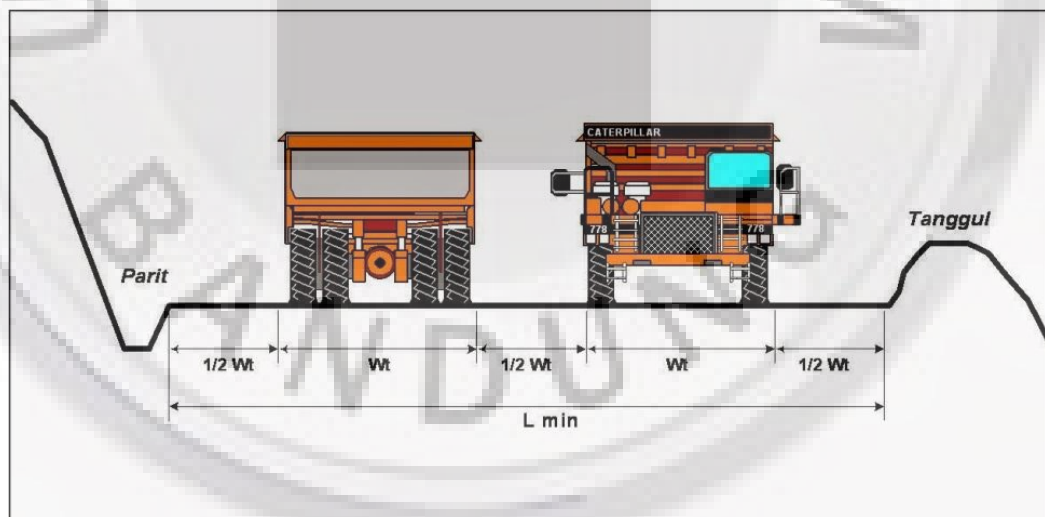


Geometri Lereng

Pertimbangan-pertimbangan yang akan dipakai dalam menentukan geometri jenjang (w =lebar, l =panjang, dan h =tinggi) :

- Sasaran produksi harian/sasaran produksi tahunan.
- Harus mampu menampung alat-alat/peralatan yang dipakai untuk bekerja -

Masih sesuai dengan ultimate pit slope



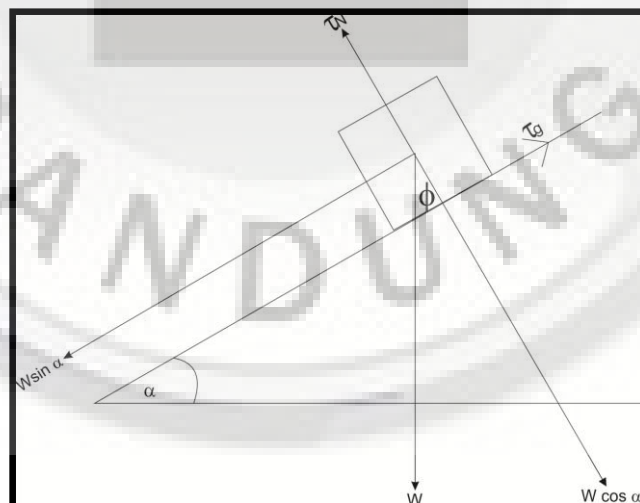
Gambar 3.2
Geometri Lebar Jenjang (Berm)

3.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng

Secara umum, ada beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam menganalisa suatu stabilitas lereng antara lain :

- Geometri Lereng
- Kekuatan Masa Batuan lereng
- Orientasi bidang lemah *discontinuitas* terhadap orientasi lereng.
- Muka Air Tanah
- Faktor Luar (gempa, beban, hujan, dan vegetasi)

Dalam menentukan kestabilan atau kemantapan lereng dikenal istilah faktor keamanan (*safety factor*) yang merupakan perbandingan antara besaran gaya-gaya yang menahan terhadap besaran pada disepanjang bidang gelincir. Bila faktor keamanan lebih tinggi dari satu umumnya lereng tersebut dianggap stabil.



Sumber : Bahan Kuliah Geoteknik Tambang, Maryanto Ssi.MT

Gambar 3.3

Ilustrasi Kelongsoran Dengan Gaya Mekanika

$$FK = \frac{\text{Kekuatan (strength)}}{\text{Gaya yang Bekerja (Stress)}} = \frac{\tau}{\sigma} = \frac{c + \tau_n \cdot \tan \phi}{w \cdot \sin \alpha}$$

dengan :

FK = Faktor Keamanan (*safety factor*)

C = kohesi (Kn/m^2)

τ_n = Tegangan Normal

τ_g = Tegangan Gesek ($\tau_n \cdot \tan \phi$)

ϕ = Sudut geser dalam bidang (sudut geser tanah)

Kemudian hubungan antara faktor keamanan dan kemungkinan longsor lereng adalah :

FK > 1 lereng dianggap aman

FK = 1 lereng dianggap dalam kondisi kritis

FK < 1 lereng dalam keadaan tidak mantap

Penentuan nilai FK bergantung pada perencanaan pembuatan lereng dan kemungkinan keruntuhan yang terjadi. Metode analisis kemantapan lereng yang dapat digunakan diantaranya adalah, Metode Keseimbangan Batas.

3.4 Pengujian geomekanika

Geomekanika terbagi menjadi dua yaitu mekanika batuan dan mekanika tanah. Kedua bidang ini menunjang dalam pelaksanaan pemodelan geoteknik dan rekayasa pertambangan. Geomekanika merupakan gabungan dari mekanika batuan dan mekanika tanah yang membahas tentang sifat fisik dan mekanik dan semua material geologi seperti batuan dan tanah.

3.4.1 Mekanika Batuan

Mekanika adalah ilmu yang mempelajari efek yang terjadi apabila suatu tekanan atau gaya dikenakan pada sebuah benda. Sedang batuan adalah suatu bahan yang terdiri dari satu atau lebih mineral berbeda, yang telah terkonsolidasi dan bersatu membentuk kulit bumi.

Berdasarkan definisi tersebut di atas maka secara umum mekanika batuan adalah ilmu pengetahuan cabang dari mekanika yang mempelajari tentang perilaku (behavior) batuan, bila terhadapnya dikenakan gaya atau tekanan, baik secara teoritis maupun terapan.

Beberapa persoalan mekanika batuan sehubungan dengan aktivitas manusia pada batuan, antara lain adalah masalah penggalian pada permukaan dan bawah permukaan, baik untuk pekerjaan teknik sipil maupun pertambangan.

3.4.1.1 Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Batuan mempunyai sifat-sifat tertentu yang perlu diketahui dalam mekanika batuan, dan dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu :

- a) **Sifat fisik batuan** seperti kadar air, densitas, berat jenis, derajat kejenuhan, porositas dan angkapori.
- b) **Sifat mekanik batuan** seperti kuat tekan, kuat tarik, modulus elastisitas, dan nisbah Poisson.

Kedua sifat tersebut dapat ditentukan baik di laboratorium maupun di lapangan (in-situ).

Pengujian sifat fisik dan mekanik batuan di laboratorium pada umumnya dilakukan terhadap contoh (sample) yang diambil dari lapangan. Satu contoh dapat digunakan untuk menentukan kedua sifat tersebut. Pertama-tama adalah penentuan sifat fisik batuan yang merupakan uji tanpa merusak (non destructive test), kemudian dilanjutkan dengan penentuan sifat mekanik batuan yang merupakan uji merusak (destructive test) sehingga contoh menjadi hancur.

3.4.1.2 Perilaku Batuan

Setiap batuan mempunyai perilaku yang berbeda apabila material tersebut dikenakan suatu gaya. Perilaku-perilaku tersebut adalah :

a) Elastis

Elastis adalah perilaku batuan bila dikenakan gaya akan terjadi perubahan bentuk (deformasi), tetapi bila gaya tersebut dihilangkan (dibuat nol), maka batuan tersebut akan kembali ke bentuk semula atau tidak terjadi deformasi yang permanen.

b) Elastoplastis

Elastoplastis adalah perilaku batuan dimana bila gaya yang bekerja dikembalikan ke nol, maka batuan tersebut tidak kembali ke bentuk semula secara utuh (terjadi deformasi).

c) Plastis sempurna

Plastis sempurna merupakan perilaku batuan yaitu apabila gaya yang bekerja pada batuan tersebut dikembalikan ke nol, maka batuan mengalami deformasi permanen.

d) *Creep*

Creep adalah perilaku batuan apabila terdesak oleh gaya, maka pada batuan tersebut terjadi rayapan atau deformasi lambat.

3.4.1.3 Sifat-sifat Batuan

Sifat-sifat batuan yang sebenarnya di alam adalah :

a) Heterogen

- Jenis mineral pembentuk batuan yang berbeda
- Batuan terdiri dari ukuran dan bentuk partikel/butir yang berbeda
- Di dalam batuan terdapat ukuran, bentuk dan penyebaran void yang berbeda.

b) Diskontinu

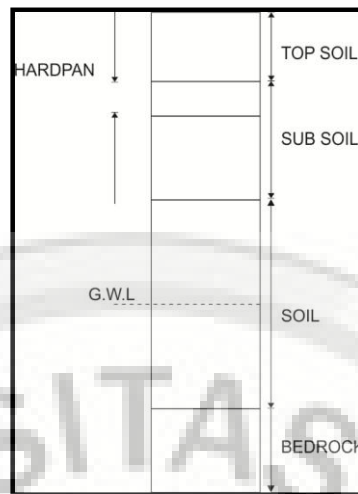
Keadaan massa batuan di alam adalah tidak kontinu (diskontinu). Kondisi itu disebabkan adanya bidang-bidang lemah (crack, joint, fault, bidang perlapisan) dimana kekerapan, perluasan dan orientasi dari bidang-bidang lemah tersebut tidak kontinu.

c) Anisotrop

Sifat batuan yang berbeda dalam arah lateral maupun vertikal.

3.4.2 Mekanika tanah

Bila kita membuat suatu galian secara hati-hati agar permukaannya baik, maka akan nampak penampang galian seperti Gambar 3.2 di bawah ini.



Sumber : Geoteknik Tambang, (Anonim, 2006)

Gambar 3.4
Penampang Galian pada Tambang

- *Top soil* : Merupakan lapisan “organic soil”, biasanya tebalnya tidak lebih dari 500 mm dan mengandung humus.
- *Sub soil* : Merupakan bagian kulit yang telah lapuk, terletak antara *Top soil* dan bagian yang tidak lapuk dibawahnya.
- *Soil* : Merupakan endapan-endapan geologi yang lemah merupakan kelanjutan dari sub soil sampai bedrock.
- *Bedrock* : Merupakan lapisan batuan induk yang sifatnya dan belum mengalami proses pelapukan atau pemecahan dan terletak pada lapisan paling bawah.
- *Hardpan* : Merupakan lapisan yang tipis agak keras dibawah top Soil. Akibat dari air hujan yang menyebabkan humus membusuk Air hujan yang sedikit asam dapat melarutkan zat besi dan alumina yang meresap kebawah dan merupakan bahan

penyemen, sehingga membentuk lapisan agak keras tersebut.

Sifat fisik tanah meliputi :

- Massa jenis (ton/m^3) : Massa tanah per satuan volume.
- Kadar air (%) : Perbandingan antara massa air dengan massa butir tanah, dinyatakan dalam persen.
- Derajat kejenuhan (%) : Perbandingan volume air dalam massa jenuh dan volume pori total, dinyatakan dalam persen.
- Angka pori (e) : Perbandingan antara volume pori dan volume butir.
- Porositas (%) : Perbandingan antara volume pori dan volume total.

Sifat Mekanika Tanah :

- Kuat Tekan bebas (*unconfined compressive strength*)
- Kuat Geser langsung UU (*Unconsolidate Undrained Direct Shear strength*)
- Triaxial UU (*Unconsolidate Undrained Triaxial*)

3.4.2.1 Rumus sifat fisik tanah

- a. Massa jenis (*density*)

$$\rho = M / V$$

dengan :

ρ = massa jenis tanah (gr/cm^3)

M = massa tanah alami (gr)

V = volume tanah alami (cm^3)

b. Kadar air (*Water Content*)

w = $(M_w/M_d) \times 100\%$

dengan :

w = kadar air (%)

M_w = massa air (gr)

M_d = massa tanah kering (gr)

c. Derajat Kejenuhan (*Degree Of Saturation*)

$$S_r = \frac{M_w \times \rho_d}{\rho_w [(\rho_d \times V) - M_d]} \times 100\%$$

Keterangan :

S_r = derajat kejenuhan (%)

V = volume total (cm^3)

M_w = massa air (gr)

M_d = massa tanah kering (gr)

ρ_w = massa jenis air ($1 \text{ gr}/\text{cm}^3$)

ρ_d = massa jenis tanah kering (gr/cm^3)

Tabel 3.1
Kondisi tanah berdasarkan angka derajat kejenuhan

Kondisi Tanah	Derajat Kejenuhan Degree of Saturation (%)
Dry (Kering)	0
Humid (Agak Lembab)	1-25
Damp (Lembab)	25-50
Moist (Agak Basah)	50-75
Wet (Basah)	75-99
Saturated (Jenuh)	100

Sumber : Diktat praktikum mekanika tanah (staff asisten laboratorium tambang unisba , 2008)

3.4.2.2 Uji kuat tekan bebas (*unconfined compressive test*)

Percobaan ini banyak dipakai untuk mengukur kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength*) dari tanah, lempung /lanau.

Beberapa definisi yang berkaitan dengan percobaan ini antara lain :

Perhitungan yang digunakan dalam percobaan ini :

Apabila $q_u = \text{Unconfined Compressive Strength}$

Maka $S_u = \frac{q_u}{2}$

$S_u =$ kekuatan geser undrained

Sumber : Anonim, ASTM (American Society For Testing And Materials) D2166/D2166M –

13

- Kuat tekan bebas : didapat dari pembacaan proving ring dial yang maksimal.

$$q_u = \frac{K \times R}{A}$$

Keterangan : $q_u =$ kuat tekan bebas (kg/cm^2)

$K =$ kalibrasi proving ring

$R =$ pembacaan maksimum-pembacaan awal

A = luas penampang contoh tanah pada saat pembacaan R (yang dikoreksi)

- Derajat Kepekaan : perbandingan antara q_u undisturbed dan q_u Remolded.

$$S_t = \frac{q_u \text{ undisturbed}}{q_u \text{ Remolded}} \text{ atau } S_t = \frac{q_u \text{ Intact Specimen}}{q_u \text{ Remolded Specimen}}$$

3.4.2.3 Uji triaxial uu (*unconsolidated undrained triaxial*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan geser tanah yaitu c (kohesi) dan ϕ (sudut geser dalam), dalam tegangan total ataupun efektif yang mendekati keadaan aslinya di lapangan yang digunakan dalam analisa kesetabilan jangka pendek (*short term stability analysis*).

3.5 Metode analisis

Ada beberapa cara yang dapat dipakai untuk melakukan analisis terhadap kemantapan lereng, baik untuk batuan maupun untuk tanah. Pada bukaan atau penggalian yang tidak terlalu dalam, pada umumnya metode yang digunakan adalah metode untuk tanah. Di bawah ini akan diberikan tentang berbagai metode analisis kemantapan lereng dengan membuat model grafis lereng secara dua dimensi.

3.5.1 Metode swedia

Metode ini digunakan dengan asumsi bidang longsor berbentuk busur lingkaran. Harga faktor keamanan (F) dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$F = \frac{l}{\Sigma W \cdot \sin \theta} \Sigma (C' l + \tan \phi' (W \cdot \cos \theta - u l))$$

Keterangan:

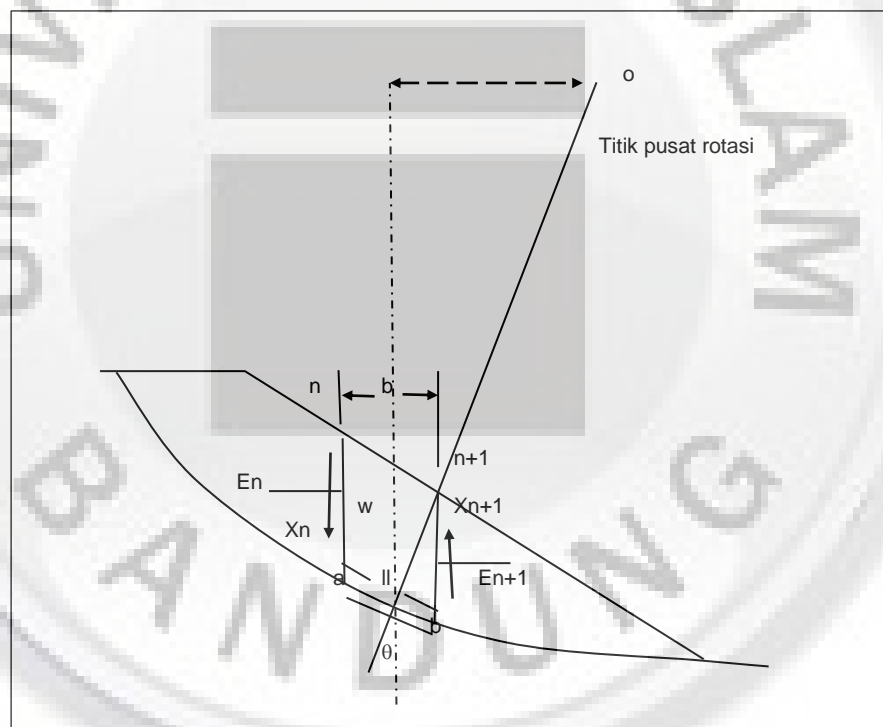
W = berat beban total irisan

l = panjang ab (Gambar 2-5)

b = lebar irisan

c' = kohesi efektif

ϕ' = sudut geser dalam efektif



Sumber : Geoteknik Tambang (Anonim, 2006)

Gambar 3.5
Diagram daya pada analisis metode lapis

3.5.2 Metode bishop

Metode ini pada dasarnya sama dengan metode swedia, tetapi dengan memperhitungkan gaya-gaya antar irisan yang ada. Metode Bishop mengasumsikan bidang longsor berbentuk busur lingkaran (Gambar 2-5)

Pertama yang harus diketahui adalah geometri dari lereng dan juga titik pusat busur lingkaran bidang luncur, serta letak rekahan. Untuk menentukan titik pusat busur lingkaran bidang luncur dan letak rekahan pada longsor busur dipergunakan grafik seperti pada Lampiran E.

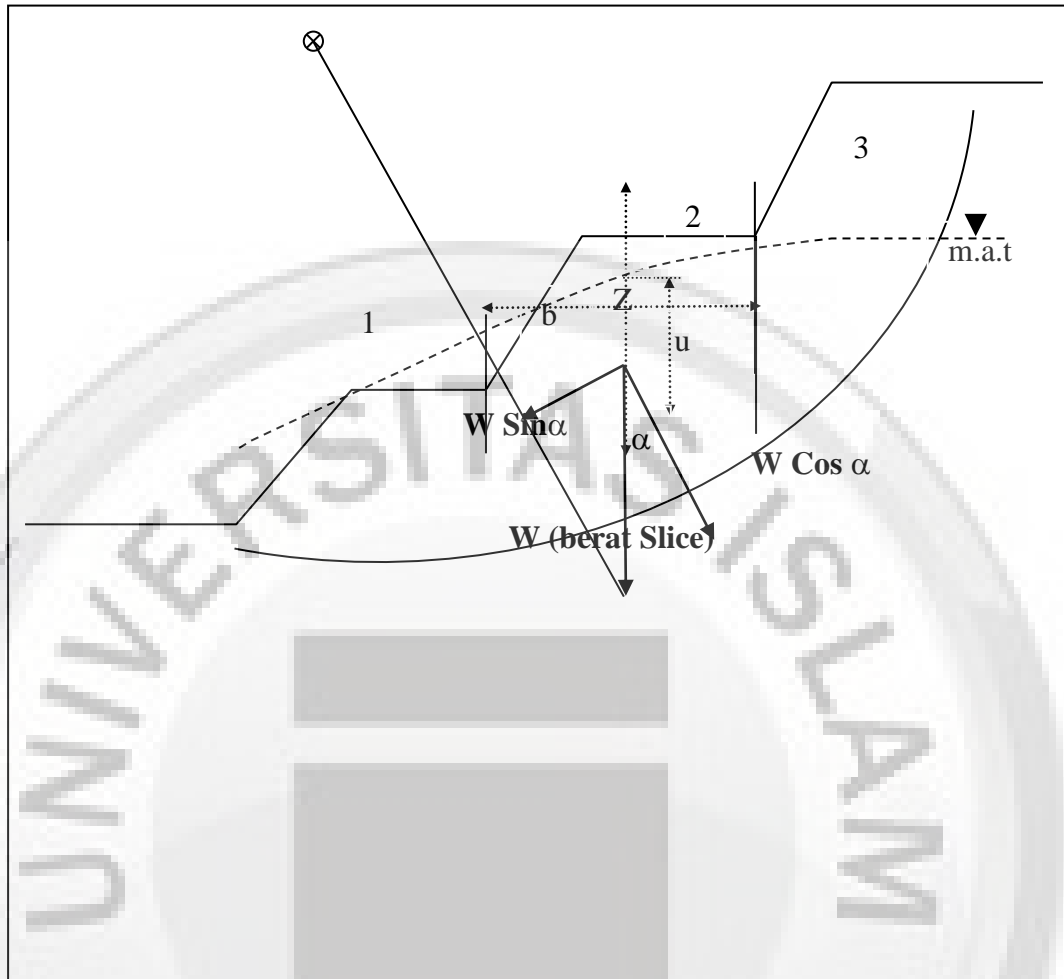
Faktor keamanan untuk metode Bishop dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F1 = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \theta} \sum \left[c'b + W(1-B)\tan \theta' \frac{\sec \theta}{1 + \frac{\tan \theta \cdot \tan \phi}{F2}} \right] \text{ dimana: } B = u \cdot \frac{1}{w/b}$$

tahap selanjutnya dalam proses analisis adalah membagi massa material dalam proses analisis adalah membagi masa material diatas bidang longsor menjadi beberapa elemen atau irisan. Pada umumnya jumlah irisan minimum lima untuk menganalisis kasus yang sederhana. Untuk profil lereng yang kompleks atau yang terdiri dari banyak material yang berbeda, jumlah elemen harus lebih besar. Parameter yang mutlak dimiliki untuk tiap-tiap elemen adalah kemiringan dari dasar elemen yaitu sebesar θ , tegangan vertikal yang merupakan perkalian antara tinggi h dan berat jenis tanah atau batuan (γ), tekanan air yang dihasilkan dari perkalian antara tinggi muka air tanah dari dasar elemen (h_w) dan berat jenis air (γ_w) dan kemudian lebar

elemen (b). Disamping parameter tersebut kuat geser juga diperlukan di dalam perhitungan.

Proses selanjutnya adalah interaksi faktor keamanan. Masukkan harga keamanan (F_2)= 1.00 untuk memecahkan persamaan faktor keamanan ke dalam persamaan (11). Seandainya nilai faktor keamanan (F_1) yang didapat dari perhitungan mempunyai selisih lebih besar dari 0,001 terhadap faktor keamanan yang diasumsikan, maka perhitungan diulang dengan memakai faktor keamanan hasil perhitungan sebagai asumsi kedua dari F_2 . Demikian seterusnya hingga perbedaan antara ke dua F_1 vs F_2 kurang dari 0,001, dan F_1 yang terakhir tersebut adalah faktor keamanan yang paling tepat dari bidang longsor yang telah dibuat.



Gambar 3.6
Analisis stabilitas lereng metode Bishop