

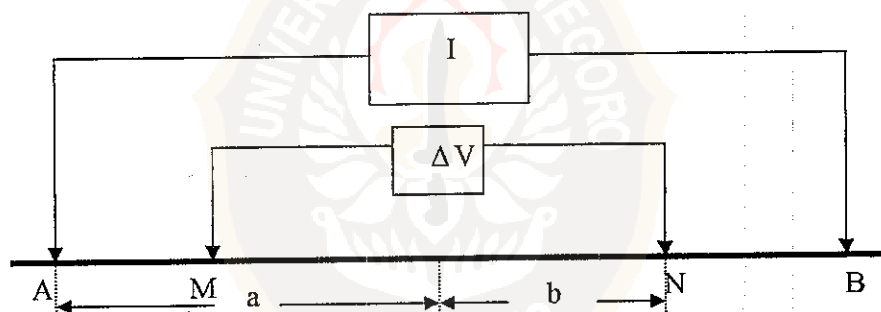
BAB II

DASAR TEORI

2.1. Geolistrik Konfigurasi Elektroda Schlumberger

Geolistrik konfigurasi elektroda Schlumberger dikembangkan oleh Conrad Schlumberger (1912), seorang ahli pertambangan senior. Konfigurasi Schlumberger dilakukan dengan membuat jarak antara AB, MN, NB tidak perlu harus sama, elektroda arus AB yang berpindah pindah, elektroda MN tetap.

Konfigurasi ini lebih sering digunakan dalam penelitian di lapangan dari pada konfigurasi elektroda yang lain karena lebih cepat dan efisien. Dalam konfigurasi elektroda Schlumberger jarak elektroda potensial lebih kecil dari jarak elektroda arus, hal ini dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Konfigurasi elektroda Schlumberger (Telford, 1976)

Tahanan jenis pada konfigurasi Schlumberger dirumuskan seperti di bawah ini:

$$\rho = K_s \frac{\Delta V}{I} \quad (2.1)$$

Faktor geometri dari konfigurasi elektroda Schlumberger adalah (Telford, 1976):

$$K_s = \frac{2\pi}{\left[\frac{1}{(a-b)} - \frac{1}{(a+b)} - \frac{1}{(a-b)} - \frac{1}{(a+b)} \right]} \quad (2.2)$$

$$= \frac{\pi(a^2 - b^2)}{2b}$$

dengan

a adalah jarak elektroda arus ke pusat susunan elektroda.

b adalah jarak elektroda potensial ke pusat susunan elektroda.

K_s adalah konstanta geometri

ρ adalah tahanan jenis batuan

ΔV adalah beda potensial antara M dan N

I adalah arus listrik

2.2. Kuat Geser Batuan

Menurut Jumikis (1983), kuat geser batuan adalah kekuatan maksimal dari batuan untuk melawan tegangan geser yang bekerja pada batuan. Gerak relatif yang terjadi pada bidang geser dilawan oleh kuat geser yang memiliki komponen-komponen sudut geser dalam (ϕ) dan gaya kohesi (c).

Kuat geser batuan (s) di suatu titik pada suatu bidang tertentu dikemukakan oleh Coulomb sebagai suatu fungsi linear terhadap tegangan normal (σ) pada bidang tersebut pada titik yang sama sebagai berikut (Craig, 1991):

$$s = c + \sigma \tan \phi \quad (2.3)$$

dengan

s adalah kuat geser (N/m^2)

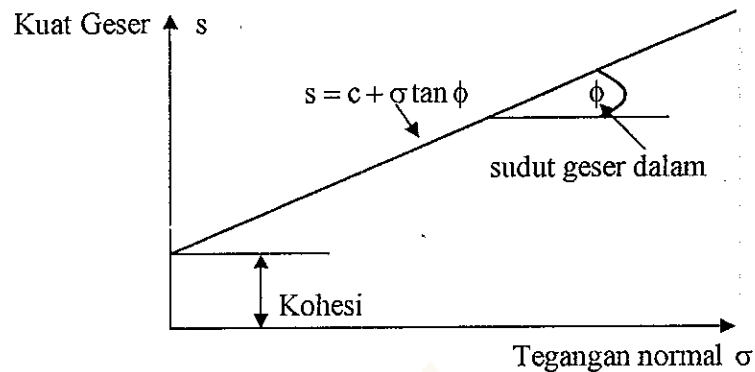
c adalah gaya kohesi (N/m²)

σ adalah tegangan pada bidang geser (N/m²)

ϕ adalah sudut geser dalam (.....°)

Hubungan antara kuat geser dengan tegangan normal ditunjukkan pada gambar

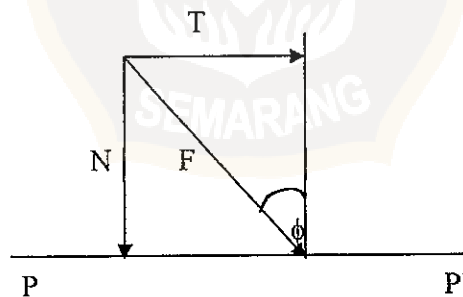
2.2.



Gambar 2.2 Hubungan kuat geser dengan tegangan normal (Wesley, 1977)

2.2.1 Sudut geser dalam (ϕ)

Gaya T dan N dapat dipandang sebagai dua komponen dalam suatu resultan yang membentuk sudut ϕ dengan garis lurus PP' (gambar 2.3).



Gambar 2.3 Sudut geser dalam ; PP' adalah bidang geser ; N adalah gaya yang tegak lurus bidang geser ; T adalah gaya yang sejajar bidang geser ; F adalah resultan T dan N ; ϕ adalah sudut geser dalam (Billings, 1987)

Sudut ini dipandang sebagai sudut gesekan (*angle of friction*). Secara umum koefisien gesekan dalam (μ_i) dirumuskan sebagai berikut :

$$\mu_i = \frac{\tau_{nl}}{\sigma_n} = \tan \phi \quad (2.4)$$

dengan

μ_i adalah koefisien gesek dalam

σ_n adalah tegangan normal melalui bidang.

τ_{nl} adalah tegangan sepanjang bidang.

2.2.2. Gaya kohesi (c)

Gaya kohesi adalah gaya yang melawan gaya gerak yang disebabkan oleh adanya lekatan antar butir material. Hal ini sangat dipengaruhi oleh adanya material-material halus yang dapat melekatkan butiran-butiran batuan misalnya lempung, karst, dan lain-lain.

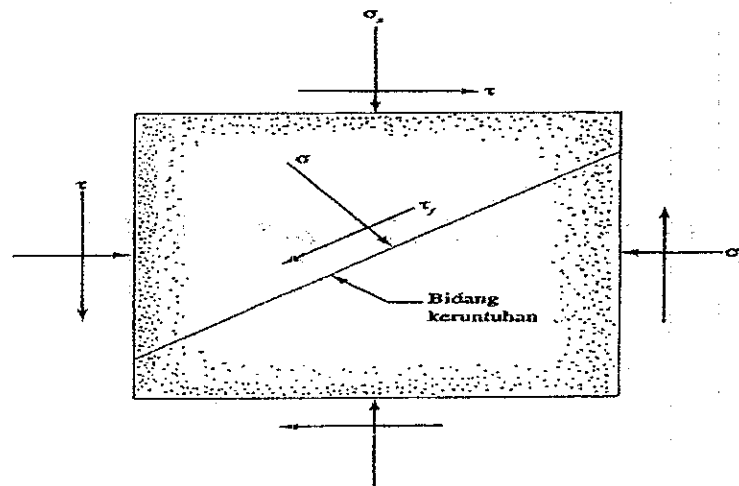
Nilai kohesi tergantung pada kekompakan butirnya. Semakin kompak suatu batuan maka semakin besar nilai kohesinya. Sebaliknya pada kondisi lepas (*loose*) nilainya semakin kecil. Selain itu juga dipengaruhi oleh kandungan air, karena adanya air akan mengurangi daya lekatnya.

2.2.3 Kriteria keruntuhan menurut Mohr- Coulomb

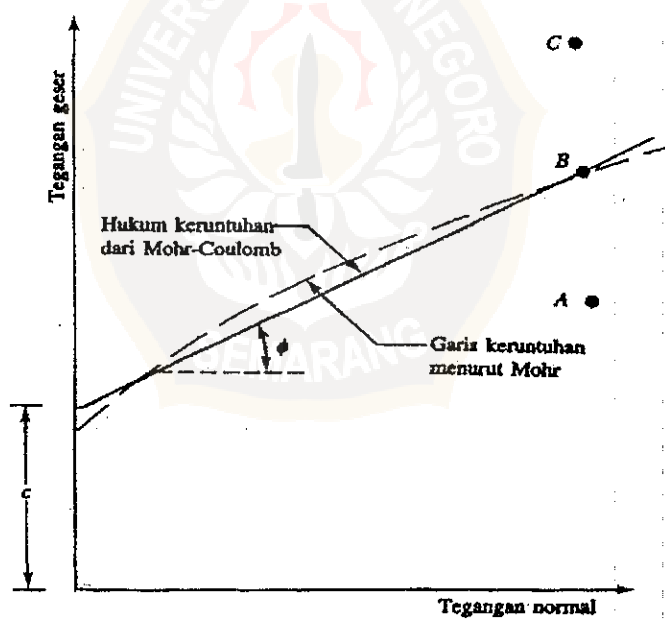
Mohr menyatakan sebuah teori tentang keruntuhan material, yaitu bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dengan tegangan geser dan bukan hanya akibat tegangan normal maksimum atau tegangan geser maksimum. Jadi hubungan antara tegangan normal

dan tegangan geser pada sebuah bidang keruntuhan dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut (gambar 2.4) (Braja, 1995):

$$\tau_r = f(\sigma) \quad (2.5)$$



Gambar 2.4 Hubungan antara tegangan normal dengan tegangan geser pada suatu bidang runtuh (Braja, 1995)



Gambar 2.5 Garis keruntuhan Mohr dan hukum keruntuhan Mohr-Coulomb (Braja, 1995)

Garis keruntuhan (*failure envelope*) yang dinyatakan oleh persamaan 2.5 di atas sebenarnya berbentuk garis lengkung seperti pada gambar 2.5. Untuk sebagian besar masalah-masalah mekanika tanah, garis tersebut cukup didekati dengan dengan sebuah garis lurus yang menunjukkan hubungan linear antara tegangan normal dan tegangan geser. Persamaan itu dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (2.6)$$

dengan

c adalah gaya kohesi

ϕ adalah sudut geser dalam.

Hubungan di atas disebut keruntuhan Moh-Coulomb (Braja, 1995).

Bila tegangan normal dan tegangan geser pada sebuah bidang dalam suatu massa tanah sedemikian rupa sehingga terbentuk tegangan-tegangan tersebut dititik A dalam gambar 2.5 maka keruntuhan geser tidak akan terjadi pada bidang tersebut. Tetapi bila tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada suatu bidang lain digambarkan pada titik B (yang tepat berada pada garis keruntuhan), maka keruntuhan geser akan terjadi pada bidang tersebut.

Suatu keadaan kombinasi tegangan yang berada dititik C tidaklah mungkin terjadi karena titik tersebut tergambar di atas garis keruntuhan, keruntuhan geser akan terjadi sebelumnya.

2.3 Stabilitas Lereng

Dalam bidang teknik sipil (Karl Terzaghi, 1987) ada tiga macam lereng yaitu

- Lereng alam yaitu lereng yang terbentuk karena proses-proses alam
- Lereng yang dibuat dalam tanah asli yaitu apabila tanah itu dipotong untuk pembuatan jalan atau saluran air untuk keperluan irigasi.
- Lereng yang dibuat dari tanah yang dipadatkan

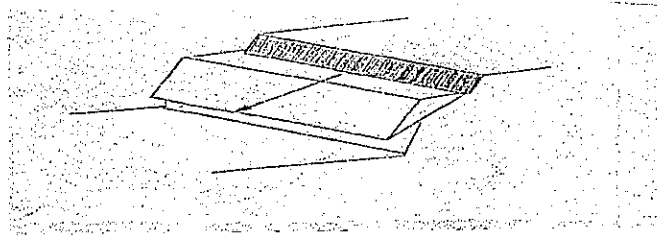
Pada setiap lereng tersebut kemungkinan terjadi longsoran selalu ada. Suatu kelongsoran yang paling umum adalah longsornya suatu timbunan atau galian, dan telah dilakukan penelitian untuk menyelidiki penyebab kelongsoran itu. Air sering menjadi penyebab utama kelongsoran tanah, baik dengan mengikis suatu lapisan, melumasi batuan ataupun meningkatkan kadar air dalam tanah lempung, seringkali dapat mengurangi kekuatan geser. Apabila terjadi longsoran dalam batuan lempung, seringkali didapat merupakan sepanjang suatu busur lingkaran, maka bentuk inilah yang dianggap terjadi pada waktu mempelajari kestabilan lereng.

2.3.1. Longsoran lereng

Menurut Hock and Bray (Hock and Bray 1987), ada tiga macam longsoran lereng yaitu :

Longsoror bidang

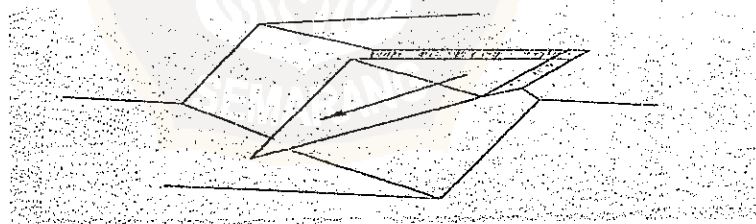
Longsoror bidang ini sangat jarang terjadi karena memerlukan adanya permukaan bebas pada kedua tepi bidang gesernya. Longsoror ini terjadi pada batuan yang mempunyai bidang lurus bebas (*day light*) yang mengarah ke lereng. Biasanya terjadi pada permukaan lereng yang cembung (gambar 2.6).



Gambar 2.6 Longsoror bidang (Hock and Bray, 1987)

Longsoror baji atau blok

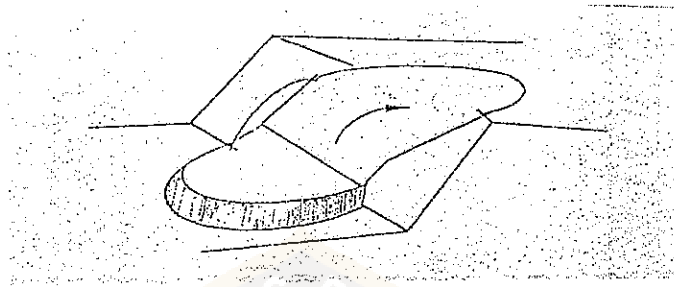
Jenis longsoror ini hanya bisa terjadi pada batuan yang mempunyai lebih dari satu bidang atau bidang *diskontinu* yang bebas dengan sudut antara kedua bidang tersebut membentuk sudut yang lebih besar dari pada sudut geser dalamnya (gambar 2.7).



Gambar 2.7 Longsoror baji atau blok (Hock and Bray, 1987)

Longsoran lingkaran

Longsoran jenis ini adalah yang paling umum terjadi di alam, terutama pada batuan yang lunak (*soil*). Pada batuan yang keras jenis longsoran ini hanya dapat terjadi jika batuan tersebut sudah lapuk dan mempunyai bidang-bidang *diskontinu* yang rapat (*heavily jointed*). Kondisi longsoran ini akan terjadi jika partikel-partikel individu tanah atau massa batuan sangat kecil dibandingkan dengan ukuran lereng (gambar 2.8).



Gambar 2.8 Longsoran lingkaran (Hock and Bray, 1987)

2.3.2. Faktor-faktor penyebab kelongsoran

Menurut Terzaghi (1987) secara garis besar penyebab kelongsoran dibagi menjadi dua yaitu akibat pengaruh luar (*eksternal effect*) dan akibat pengaruh dalam (*internal effect*).

1. Kelongsoran yang diakibatkan pengaruh dari luar (*eksternal effect*).

Kelongsoran ini diakibatkan oleh bertambahnya gaya geser tanpa adanya pengubahan kekuatan geser dari tanahnya, contohnya adalah akibat perbuatan manusia.

2. Kelongsoran yang dikibatkan pengaruh dari dalam (*internal effect*)

Kelongsoran ini diakibatkan oleh tanpa adanya pengaruh kondisi dari luar atau gempa bumi, contoh yang umum untuk kondisi ini adalah pengaruh bertambahnya tekanan air pori pada lereng.

Selain faktor-faktor tersebut kelongsoran mungkin bisa disebabkan oleh beberapa faktor di bawah ini :

a. Pengaruh geologi

Proses geologi dalam pembentukan lapisan-lapisan kulit bumi dengan cara pengendapan sedimen ternyata memungkinkan terbentuknya suatu lapisan yang potensial mengalami kelongsoran. Sebagai contoh adalah pembentukan lapisan tanah sebagai berikut, sungai yang mengalirkan air ke laut membawa partikel-partikel halus yang jumlahnya tergantung dari volume dan kecepatan alirannya, kemudian partikel-partikel tersebut mengendap di dasar laut membentuk lapisan tanah, dimana penyebaran pengendapannya bisa merata atau tidak merata tergantung arus air laut biasanya membentuk sudut $5^{\circ} - 10^{\circ}$. Karena pembentukan tiap lapisan terjadi di air maka dasar tiap lapisan adalah air, yang bisa dilihat sering kali sebagai lapisan tipis (*thin film*) pada zona pemisah antara lapisan lempung dan lanau kepasiran atau sebagai aliran laminar pada lapisan pasir yang lebih permeabel.

Dengan keadaan demikian bila banyak air memasuki lapisan pasir tipis sedangkan pengeluaran air sedikit sehingga keadaan lapisan menjadi jenuh, maka tekanan air akan bertambah dan tekanan air inilah yang

seringkali menyebabkan kelongsoran. Lain halnya bila air memasuki lapisan pasir tebal sehingga keadaan lapisan tidak sepenuhnya jenuh akan air, maka lapisan tersebut bahkan bisa berfungsi sebagai drainase alamiah.

b. Pengaruh morfologi.

Variasi bentuk permukaan bumi yang meliputi daerah pegunungan dan lembah dengan sudut kemiringan permukaannya yang cenderung besar, maupun daerah dataran rendah yang permukaannya cenderung datar, ternyata memiliki peranan penting dalam menentukan kestabilan daerah tersebut sehubungan dengan kasus kelongsoran. Secara logis daerah dengan kemiringan besar lebih potensial mengalami kelongsoran dibanding daerah datar sehingga kasus kelongsoran seringkali ditemui di daerah gunung atau perbukitan, dan pada pekerjaan galian atau timbunan yang memiliki sudut kemiringan lereng lebih besar. Kestabilan lereng terganggu akibat lereng yang terlalu terjal, perlemahan pada kaki lereng, dan tekanan beban yang berlebihan di kepala lereng. Hal tersebut bisa terjadi karena erosi air pada kaki lereng, dan kegiatan penimbunan atau pemotongan lereng yang dilakukan manusia.

c. Pengaruh proses fisika

Perubahan temperatur, fluktuasi muka air tanah musiman, gaya gravitasi, dan relaksasi tegangan sejajar permukaan, ditambah dengan proses oksidasi dan dekomposisi akan mengakibatkan suatu lapisan tanah

kohesif secara lambat laun tereduksi kekuatan gesernya, terutama nilai kohesi (c) dan sudut geser dalamnya (ϕ).

Pada tanah non kohesif misalnya lapisan pasir, bila terjadi getaran oleh gempa, mesin atau sumber getaran lainnya sehingga mengakibatkan lapisan tersebut ikut bergetar, maka pori-pori lapisan akan terisi oleh air atau udara yang akan meningkatkan tekanan dalam pori. Tekanan pori yang meningkat dengan spontan dan sangat besar ini menyebabkan terjadinya likuifaksi atau pencairan lapisan pasir sehingga kekuatan gesernya berkurang.

d. Perubahan struktur tanah dan lanau akibat proses psikokimia.

Kehilangan kekuatan geser tanah lanau dan lempung disebabkan oleh penyerapan air dan kembang susut tanah, yang kedua adalah akibat pertukaran ion dengan ion bebas dalam mineral lempung digantikan ion mineral lain. Seringkali kedua faktor tersebut saling bekerja sama dan bahkan dapat mempercepat masing-masing proses. Misalnya tanah lempung yang menyerap air yang mengandung larutan garam, air tersebut menyebabkan lempung menjadi lunak yang lambat laun dapat mereduksi kekuatannya, dan di pihak lain ion garam dapat menggantikan ion bebas mineral lempung sehingga susunan ion lempung berubah yang otomatis mempengaruhi pula kekuatannya.

e. Pengaruh air dalam tanah

Keberadaan air dapat dikaitkan sebagai faktor dominan penyebab terjadinya kelongsoran, karena hampir sebagian besar kasus kelongsoran melibatkan air di dalamnya.

- Tekanan air pori memiliki nilai besar sebagai tenaga pendorong terjadinya kelongsoran, semakin besar tekanan air pori semakin besar pula tenaga pendorong.
- Penyerapan maupun konsentrasi air dalam lapisan tanah kohesif dapat melunakkan lapisan tanah tersebut yang pada akhirnya mereduksi nilai kohesi dan sudut geser dalam sehingga kekuatan gesernya berkurang.
- Aliran air dapat menyebabkan erosi yaitu pengikisan lapisan oleh aliran air sehingga keseimbangan lereng menjadi terganggu.

2.4 Perhitungan Faktor Keamanan

Dalam menganalisis stabilitas lereng harus menentukan terlebih dahulu Faktor Keamanan (F) dari lereng tersebut. Secara umum Faktor Keamanan didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya penahan dan gaya penggerak longsor (Hock and Bray, 1987).

$$F = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \quad (2.7)$$

Longsoran yang terjadi adalah tipe rotasi (*rotasional slip*). Analisis kestabilan lereng dengan tipe ini dapat dilakukan dengan menghitung momen penahan dan momen penggerak pada lingkaran. Kestabilan lereng dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan yang dirumuskan (Hock dan Bray, 1987) :

$$F = \frac{c + \sigma \tan \phi}{\tau_{nt}} \quad (2.8)$$

dengan

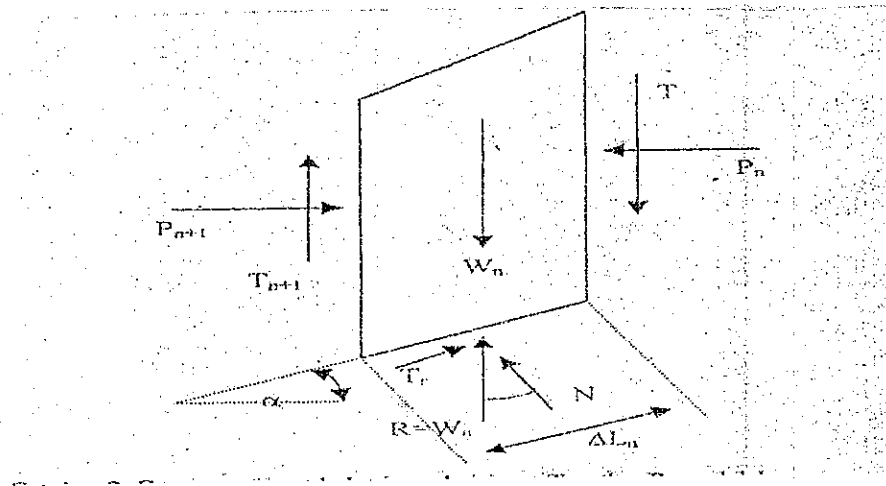
τ_{nt} adalah tegangan geser yang bergerak sepanjang permukaan longsor. (N/m^2)

F adalah faktor keamanan.

Jika harga $F > 1$ maka kondisi lereng stabil, sedangkan harga $F = 1$ maka kondisi lereng dalam keadaan seimbang, siap untuk longsor kalau ada sedikit gangguan dan bila $F < 1$, maka lereng dianggap tidak stabil. Untuk daerah kering nilai faktor keamanan $F = 1,3$ dianggap stabil dan untuk daerah rembesan nilai faktor keamanan $F = 1,5$ dianggap stabil (Craig, 1991).

2.5 Metode Bishop's Yang Disederhanakan Pada Irisan 2 Dimensi

Pada tahun 1955, Bishop's memperkenalkan suatu penyelesaian yang lebih teliti daripada metode irisan yang disederhanakan. Dalam metode ini, pengaruh gaya-gaya pada sisi tepi tiap irisan diperhitungkan. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan nomor n, ditunjukkan pada gambar 2.9 dibawah ini :



Gambar 2.9 Gaya-gaya yang bekerja pada irisan; T_{n+1} dan P_{n+1} adalah gaya-gaya vertikal dan horisontal, W_n adalah berat irisan, ΔL_n adalah lebar irisan, N adalah gaya normal (Braja, 1995)

Dimisalkan $P_n - P_{n+1} = \Delta P$; $T_n - T_{n+1} = \Delta T$, juga dapat ditulis bahwa

$$T_r = N_r (\tan \phi_d) + c_d \Delta L_n = N_r \left(\frac{\tan \phi}{F} \right) + \frac{c \Delta L_n}{F} \quad (2.9)$$

Gambar 2.10 menunjukkan poligon gaya untuk keseimbangan dari irisan nomor n . Penjumlahan dalam arah vertikal adalah :

$$\gamma_{h_n} \Delta x_n + \Delta T = N_r \cos \alpha_n + \left[\frac{N_r \tan \phi}{F} + \frac{c \Delta L_n}{F} \right] \sin \alpha_n \quad (2.10)$$

atau

$$N_r = \frac{\gamma_{h_n} \Delta x_n + \Delta T - \frac{c \Delta L_n}{F} \sin \alpha_n}{\cos \alpha_n + \frac{\tan \phi \sin \alpha_n}{F}} \quad (2.11)$$

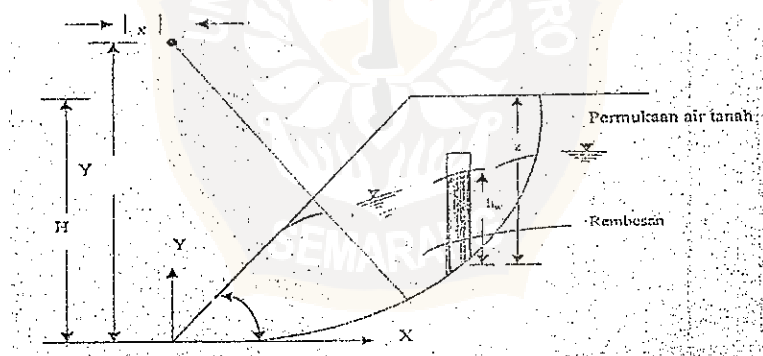
Dengan memasukkan persamaan (2.9) dan (2.11) ke dalam persamaan (2.12) didapatkan

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c\Delta x_n + \gamma_{h_n} \Delta x_n + \Delta T \tan \phi) \frac{1}{\cos \left(1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha_n}{F} \right)}}{\sum_{n=1}^{n=p} \gamma_{h_n} \Delta x_n \sin \alpha_n} \quad (2.13)$$

Untuk penyederhanaan, diumpamakan $\Delta T = 0$, maka persamaan (2.13) berubah menjadi

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c\Delta x_n + \gamma_{h_n} \Delta x_n) \frac{1}{\cos \left(1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha_n}{F} \right)}}{\sum_{n=1}^{n=p} \gamma_{h_n} \Delta x_n \sin \alpha_n} \quad (2.14)$$

Untuk rembesan tetap yang melalui lereng, tekanan air pori dipertimbangkan maka digunakan kekuatan parameter geser efektif. Gambar 2.12 menunjukkan sebuah lereng dengan rembesan tetap.



Gambar 2.12 Stabilitas lereng dengan rembesan konstan; Y dan X adalah sumbu-sumbu koordinat pada arah vertikal dan horisontal, x adalah koordinat pusat longsor, h_w adalah tinggi permukaan air, z adalah tinggi permukaan air tanah (Braja, 1995)

Untuk irisan nomor n , tekanan air pori rata-rata pada dasar irisan adalah $u_n = h_n \gamma_w$. Gaya total yang disebabkan oleh tekanan air pori pada dasar irisan nomor n adalah $u_n \Delta L_n$. Jadi persamaan (2.11) berubah menjadi

$$F = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} \left[c' + (\gamma_{h_n} - \gamma_w h_{w_n}) \tan \phi \right] \frac{\Delta x_n}{\cos \alpha_n}}{\sum_{n=1}^{n=p} \gamma_{h_n} \Delta x_n \sin \alpha_n} \quad (2.15)$$

Dari persamaan (2.12) nampak harga F di kedua sisi sehingga diperlukan suatu analisis pengulangan (iterasi) untuk memperoleh F maka persamaan (2.12) berubah menjadi

$$F_{m+1} = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} \left[c' + (\gamma_{h_n} - \gamma_w h_{w_n}) \tan \phi' \right] \frac{\Delta x_n}{\cos \alpha_n}}{\sum_{n=1}^{n=p} \gamma_{h_n} \Delta x_n \sin \alpha_n} \quad (2.16)$$

dengan m adalah banyak iterasi

Program komputer memungkinkan penyelesaian yang cepat hanya setelah beberapa kali iterasi (biasanya 2 sampai 3) dengan menganggap mula-mula $F = 1$ untuk bagian kanan dan menghitung F pada bagian kiri. Nilai F yang diperoleh dibandingkan dengan nilai anggapan, apabila hasil antara F yang dihitung lebih besar dari 0,001 maka hasil yang baru saja dihitung digunakan untuk iterasi berikutnya dan siklus diulangi. Di proses ini akan berhenti jika perbedaan antara yang dihitung dan anggapan lebih kecil dari 0,001.