

BAB II
LANDASAN TEORI

2.1 Daya Dukung Tanah

Pada permukaan tanah yang tidak horizontal, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah, sehingga dalam merancang pondasi terdapat dua persyaratan yang harus dipenuhi :

- a. Faktor aman terhadap keruntuhan akibat terlampauinya daya dukung tanah harus dipenuhi. Dalam hitungan daya dukung pondasi, umumnya digunakan faktor aman 3. Faktor aman dalam tinjauan daya dukung ultimit dirumuskan sebagai :

$$F = \frac{q_{un}}{q_n} = \frac{q_u - D_f \gamma}{q - D_f \gamma} \dots\dots\dots(2.1)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

dengan :

q_u = daya dukung ultimit (t/m^2)

q_{un} = daya dukung ultimit netto (t/m^2)

q_n = tekanan pondasi netto (t/m^2)

D_f = kedalaman pondasi (m)

γ = berat volume tanah (t/m^3)

q = tekanan pondasi total (t/m^2)

Daya dukung ultimit (q_u) adalah beban maksimum persatuan luas yang masih dapat didukung oleh pondasi. Besarnya beban yang didukung termasuk beban struktur, beban plat pondasi, dan tanah urugan di atasnya.

Daya dukung ultimit netto (q_{un}) adalah nilai intensitas beban pondasi netto dimana tanah akan mengalami keruntuhan geser.

Tekanan pondasi total (q) adalah intensitas tekanan total pada tanah di dasar pondasi, sesudah struktur selesai dibangun dengan pembebanan penuh.

Tekanan pondasi netto (q_n) adalah tambahan tekanan pada dasar pondasi, akibat beban mati dan beban hidup dari strukturnya.

Dari persamaan 2.1 untuk faktor aman (F) tertentu yang sesuai, daya dukung aman (*safe bearing capacity*) (q_s) didefinisikan sebagai tekanan pondasi total ke tanah maksimum yang tak mengakibatkan resiko keruntuhan daya dukung, dengan :

$$q_s = \frac{q_{un}}{F} + D_f \gamma \dots\dots\dots(2.2)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

Terzaghi memberikan persamaan daya dukung aman pondasi telapak berbentuk bujur sangkar sebagai berikut :

Daya dukung ultimit :

$$q_u = 1,3cN_c + p_o N_q + 0,4\gamma BN_\gamma \dots\dots\dots(2.3)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

Daya dukung ultimit netto :

$$q_u = 1,3cN_c + p_o(N_q - 1) + 0,4\gamma BN_\gamma \dots\dots\dots(2.3a)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

dengan :

c = kohesi tanah (t/m^2)

p_o = tekanan *overburden* pada dasar pondasi

γ = berat volume tanah (t/m^3)

B = lebar pondasi (m)

N_c, N_q, N_γ = faktor-faktor daya dukung

Jika terdapat muka air tanah yang terletak pada kedalaman z di bawah dasar pondasi ($z < B$), nilai p_o pada suku persamaan ke-2 dari persamaan (2.3a) adalah :

$$p_o = D_f \gamma_b \dots\dots\dots(2.3b)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

dengan :

D_f = kedalaman pondasi (m)

Sedang untuk berat volume tanah pada suku ke-3 dari persamaan (2.3a) adalah

$$\gamma_{rt} = \gamma^1 + \left(\frac{z}{B}\right)(\gamma_b - \gamma^1) \dots\dots\dots(2.3c)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

dengan :

γ_{rt} = berat volume tanah rata-rata (t/m^3)

γ^1 = berat volume tanah efektif (t/m^3)

γ_b = berat volume tanah basah (t/m^3)

z = jarak antara dasar pondasi dengan muka air tanah (m)

Nilai faktor stabilitas (N_s) dinyatakan :

$$N_s = \frac{\gamma H}{c} \dots\dots\dots(2.4)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Teknik Pondasi 1, 1996)

dengan :

γ = berat volume tanah (t/m^3)

H = tinggi kaki lereng sampai puncak (m)

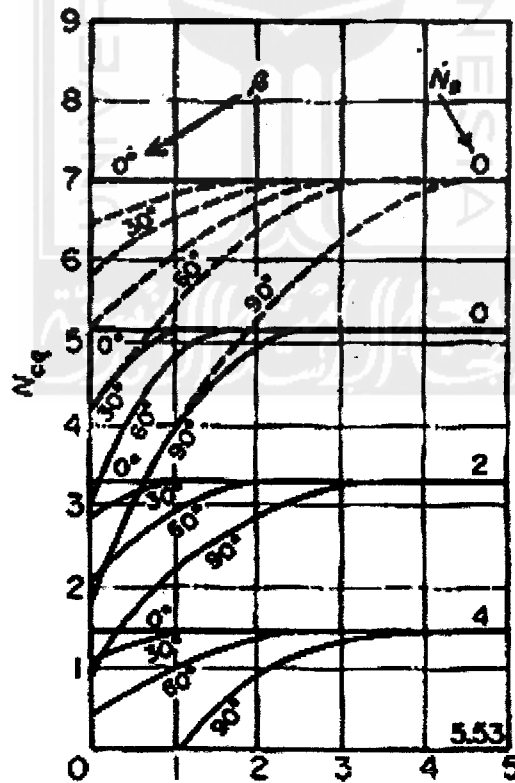
c = kohesi tanah (t/m^2)

Faktor daya dukung ini bergantung pada kemiringan lereng, posisi relatif pondasi, dan sudut gesek dalam tanahnya (ϕ). Berikut ini grafik faktor-faktor daya dukung, dengan interpretasi linier untuk kedalaman di antara keduanya :

$D_f/B = 0$, gunakan garis penuh

$D_f/B = 1$, gunakan garis patah-patah

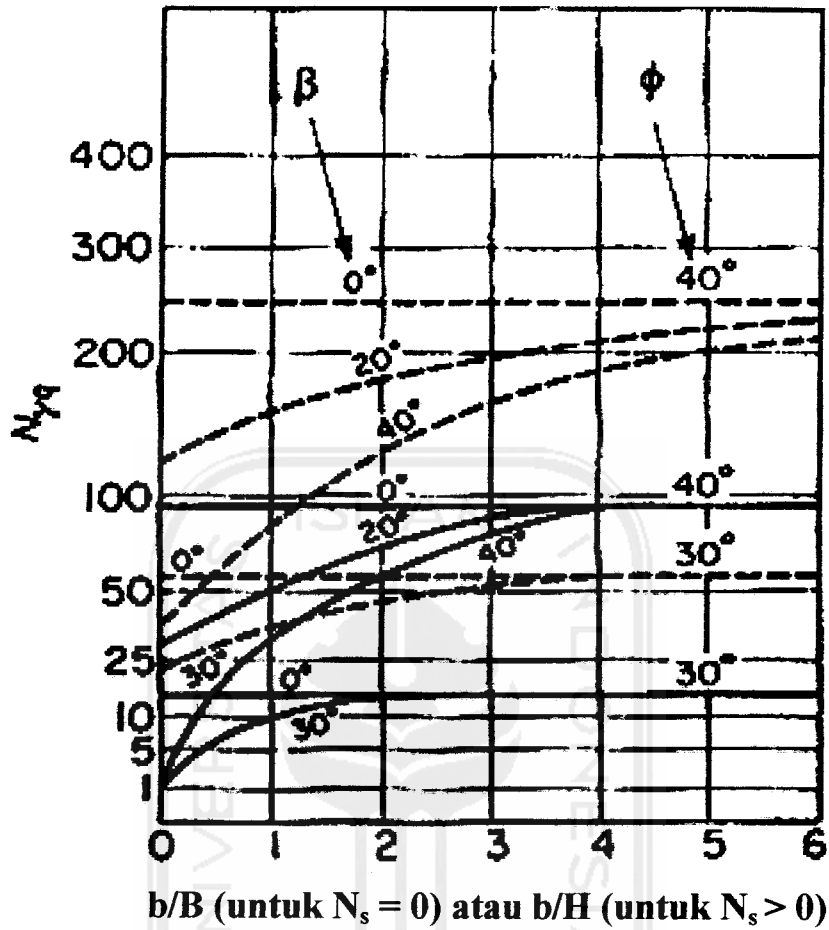
b = jarak tepi pondasi ke tepi atas lereng (m)



b/B (untuk $N_s = 0$) atau b/H (untuk $N_s > 0$)

Gambar 2.1 Faktor daya dukung N_{cq}

(Sumber : Teknik Pondasi 1, Hary Christady Hardiyatmo, 1996)



Gambar 2.2 Faktor daya dukung $N_{\gamma q}$

(Sumber : Teknik Pondasi 1, Hary Christady Hardiyatmo, 1996)

Tekanan pondasi total (q) harus tak melampaui q_s . Tekanan pondasi total :

$$q = \frac{P}{A} + D_f \gamma_b \dots \dots \dots (2.5)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Teknik Pondasi 1, 1996)

dengan :

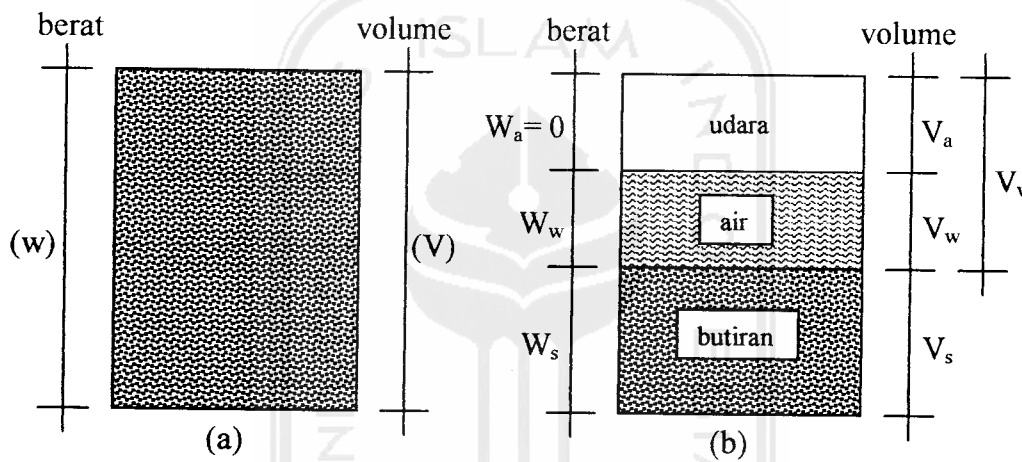
P = beban pondasi (ton)

A = luas alas pondasi (m^2)

- b. Penurunan pondasi harus masih dalam batas-batas nilai yang ditoleransikan. Khususnya penurunan yang tidak sama harus tidak mengakibatkan kerusakan pada strukturnya.

2.2 Berat Volume Tanah dan Hubungan-hubungannya

Bagian-bagian tanah dapat digambarkan dalam bentuk diagram fase, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram fase tanah

(Sumber : Hardiyatmo,HC, Mekanika Tanah 1,1992)

Gambar 2.3a memperlihatkan elemen tanah yang mempunyai volume V dan berat total W, sedang Gambar 2.3b memperlihatkan hubungan berat dan volumenya.

Dari gambar tersebut dapat dibentuk persamaan berikut :

$$W = W_s + W_w \dots\dots\dots(2.6)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

dan

$$V = V_s + V_w + V_a \dots\dots\dots(2.7)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

$$V_v = V_w + V_a \dots\dots\dots(2.8)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

dengan :

W_s = berat butiran padat

W_w = berat air

V_s = volume butiran padat

V_w = volume air

V_a = volume udara

Berat udara dianggap sama dengan nol. Hubungan-hubungan volume yang biasa digunakan dalam mekanika tanah adalah angka pori, porositas dan derajat kejenuhan. Adapun hubungan-hubungan adalah sebagai berikut :

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots(2.9)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

dengan :

w = kadar air, dinyatakan dalam persen

W_w = berat air

W_s = berat butiran

$$n = \frac{V_v}{V} \dots\dots\dots(2.10)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

dengan :

n = porositas, dinyatakan dalam persen atau desimal

V_v = volume rongga

V = volume total

$$e = \frac{V_v}{V_s} \dots\dots\dots(2.11)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

dengan :

e = angka pori, dinyatakan dalam desimal

V_v = volume rongga

V_s = volume butiran

$$\gamma_b = \frac{W}{V} \dots\dots\dots(2.12)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

dengan :

γ_b = berat volume basah

W = berat butiran tanah termasuk air dan udara

V = volume total

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \dots\dots\dots(2.13)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

dengan :

γ_d = berat volume kering

W_s = berat butiran

V = volume total

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \dots\dots\dots(2.14)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

dengan :

γ_s = berat volume butiran padat

W_s = berat butiran padat

V_s = volume butiran padat

$$G_s(27,5^\circ) = G_s(t) \times \frac{\gamma_w \text{ pada suhu } t^\circ\text{C}}{\gamma_w \text{ pada suhu } 27,5^\circ\text{C}} \dots\dots\dots(2.15)$$

(sumber : Panduan Praktikum Mekanika Tanah,1996)

$$G_s(t) = \frac{W_s}{W_w} \dots\dots\dots(2.16)$$

(sumber : Panduan Praktikum Mekanika Tanah,1996)

dengan :

$G_s(27,5^\circ)$ = *specific gravity* pada temperatur 27,5° C

$G_s(t)$ = *specific gravity* pada suhu t° C (temperatur air di dalam *picnometer*)

W_s = berat butiran

W_w = berat air

γ_w pada t° C = berat jenis air pada suhu t° C

γ_w pada 27,5° C = berat jenis air pada suhu 27,5° C

G_s tidak berdimensi. *Specific gravity* dari berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75. nilai *specific gravity* sebesar 2,67 biasanya digunakan untuk tanah-tanah tak berkohesi, sedang untuk tanah kohesif tak organik berkisar diantara 2,68 sampai dengan 2,72.

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \dots\dots\dots(2.17)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

dengan :

S = derajat kejenuhan

V_w = volume air

V_v = volume total rongga tanah

Bila tanah dalam keadaan jenuh maka $S = 1$

Dari persamaan-persamaan tersebut diatas dapat disajikan hubungan antara Masing-masing persamaan, yaitu :

a. Hubungan antara angka pori (e) dengan porositas (n)

$$e = \frac{n}{1-n} \dots\dots\dots(2.18)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

$$n = \frac{e}{1+e} \dots\dots\dots(2.19)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

b. Berat volume basah dapat dinyatakan dalam rumus berikut

$$\gamma_b = \frac{G_s \gamma_w (1+w)}{1+e} \dots\dots\dots(2.20)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

c. Untuk tanah jenuh air ($S=1$)

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1+e} \dots\dots\dots(2.21)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

dengan :

γ_{sat} = berat volume tanah jenuh air

γ_w = berat volume air

d. Untuk tanah kering sempurna

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1 + w} \dots\dots\dots (2.22)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

e. Bila tanah terendam air

$$\gamma' = \frac{(G_s - 1)\gamma_w}{1 + e} \dots\dots\dots (2.23)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \dots\dots\dots (2.24)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

dengan :

γ' = berat volume tanah terendam air

Nilai-nilai porositas, angka pori dan berat volume pada keadaan asli di alam dari berbagai jenis tanah, diberikan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai n, e, w, γ_d , dan γ_b untuk tanah keadaan asli lapangan

Macam tanah	n (%)	e	w (%)	γ_d (gr/cm ³)	γ_b (gr/cm ³)
Pasir seragam, tidak padat	46	0,85	32	1,43	1,89
Pasir seragam, padat	34	0,51	19	1,75	2,09
Pasir berbutir campuran, tidak padat	40	0,67	25	1,59	1,99
Pasir berbutir campuran, padat	30	0,43	16	1,86	2,16
Lempung lunak sedikit organis	66	1,90	70	-	1,58
Lempung lunak sangat organis	75	3,0	110	-	1,43

(sumber : Terzaghi, 1947 dikutip dari Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 1, 1992)

2.3 Klasifikasi Tanah

Umumnya, penentuan sifat-sifat tanah banyak dijumpai dalam masalah teknis yang berhubungan dengan tanah. Hasil dari penyelidikan sifat-sifat ini kemudian dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah-masalah tertentu.

Dalam banyak masalah teknis (semacam perencanaan perkerasan jalan, bendungan dalam urugan dan lain-lain), pemilihan tanah ke dalam kelompok ataupun subkelompok yang menunjukkan sifat atau kekakuan yang sama akan sangat membantu. Pemilihan ini yang kemudian disebut klasifikasi. Klasifikasi tanah sangat membantu perencana dalam memberikan pengarahannya melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang lalu. Tetapi perencana harus berhati-hati penerapannya karena penyelesaian masalah stabilitas penurunan, aliran air yang didasarkan pada klasifikasi tanah sering menimbulkan kesalahan yang berarti.

Umumnya klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan dan plastisitasnya. Pada masa sekarang, terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, dua sistem ini berdasarkan atas distribusi ukuran partikel dan batas *Atterberg*. Keduanya adalah *AASHTO* (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) dan *USCS* (*Unified Soil Classification System*).

1. Sistem klasifikasi *AASHTO* (*American Association of State Highway and Transportation Officials*)

Sistem ini telah dikembangkan pada tahun 1929 oleh *Public Road Administration Classification System*. Klasifikasi berdasarkan *AASHTO* dipakai oleh

beberapa departemen transportasi negara bagian di Amerika Serikat dan oleh *Federal Highway Administration* dalam spesifikasi pekerjaan tanah untuk transportasi.

2. Sistem klasifikasi tanah *USCS (Unified Soil Classification System)*

Sistem ini pertama-tama diperkenalkan oleh Casagrande (dikutip dari Braja M. Das, *Principles of Geotechnical Engineering*, 1994) pada tahun 1942 untuk keperluan pekerjaan konstruksi lapangan udara yang dikerjakan oleh *Army Corps of Engineering* selama perang dunia II. Bekerja sama dengan *U.S Bureau of Reclamation*, sistem ini dikembangkan pada tahun 1952.

2.4 Analisis Dimensi Pondasi

Tekanan tanah yang diijinkan menentukan dimensi rencana pondasi telapak. Tegangan-tegangan geser biasanya menentukan ketebalan pondasi telapak. Geseran aksi dua arah menentukan kedalaman untuk pondasi telapak bujur-sangkar yang dibebani secara sentral. Langkah-langkah di dalam pondasi telapak bujur-sangkar dengan kolom yang dibebani secara sentral dan tanpa momen adalah :

- a. Menghitung beban tetap di atas muka tanah, yang meliputi : beban kolom, beban balok, beban dinding dan lantai bak air, beban penutup bak air dan beban air.
- b. Menghitung beban tetap di bawah muka tanah yang meliputi : beban tanah di atas plat pondasi dan beban plat pondasi.
- c. Menghitung rencana pondasi telapak B x B dengan menggunakan tekanan tanah yang diijinkan, yaitu :

$$B = \sqrt{\left(\frac{P}{q_a}\right)} \dots\dots\dots(2.25)$$

(sumber : Bowles, JE, Analisis Dan Desain Pondasi, 1991)

dengan :

P = kombinasi beban kritis (ton)

q_a = tekanan tanah yang diijinkan (t/m^2)

2.5 Stabilitas lereng

2.5.1 Jenis-jenis Lereng

Berdasarkan cara terbentuknya lereng dapat dibagi sebagai berikut :

a. Lereng alam (*Natural Slope*)

Lereng alam adalah lereng yang terbentuk karena proses alam, misalnya lereng suatu bukit. Pada dasarnya material pembentuk lereng cenderung untuk menggelincir akibat dari pengaruh gaya gravitasi ataupun gaya lainnya, seperti gaya gempa. Tetapi material tersebut juga mempunyai gaya untuk menahan gelinciran tersebut, yaitu kekuatan geser material itu sendiri. Akan tetapi meskipun telah stabil untuk jangka waktu yang cukup lama, lereng alam juga dapat mengalami longsoran bahkan longsoran itu mungkin terjadi secara tiba-tiba. Ketidakstabilan ini terjadi apabila kekuatan geser material tersebut tidak dapat menahan gaya-gaya yang menyebabkan pergerakan tersebut.

Faktor-faktor yang menyebabkan ketidakstabilan tersebut adalah :

1. Gangguan dari luar seperti galian atau timbunan yang menyebabkan terganggunya keseimbangan dari lereng.
2. Gangguan akibat gaya seismik, seperti gempa.
3. Peningkatan tekanan air pori akibat gangguan lingkungan sekitar, seperti penggundulan hutan, gangguan karakteristik drainasi alam dan pembangunan reservoir.

4. Pengurangan kekuatan geser secara bertahap.
5. Pelapukan yang menghancurkan ikatan antar butir dan mengurangi kekuatan geser.

b. Lereng buatan (*Made-man Slope*)

Lereng buatan adalah lereng yang dibuat oleh manusia untuk tujuan-tujuan tertentu, misalnya bendungan, tanggul, pemecah gelombang, timbunan, kupasan tebing dan galian. Lereng-lereng tersebut dapat diklasifikasikan dalam dua kategori utama, yaitu :

1. Galian (*Cut Slope*)

Tujuan utama dalam mendesain galian adalah untuk mendapatkan suatu lereng dengan ketinggian dan kemiringan tertentu yang ekonomis dan stabil untuk jangka waktu tertentu. Faktor-faktor yang mempengaruhi desain lereng adalah sebagai berikut :

- a) Faktor geologi.
- b) Sifat material.
- c) *Seepage*.
- d) Kemungkinan banjir dan erosi.
- e) Metode yang dipakai dalam membuat galian.

2. Timbunan (*Fill Slope*)

Merupakan lereng dari tanah yang dipadatkan. Contohnya *embankment* untuk jalan raya, jalan kereta api, tanggul atau bendungan tanah. Ketidakpastian dan

kesulitan analisis dalam desain untuk mendapatkan suatu lereng timbunan yang stabil tidak sebesar lereng alam ataupun galian, akan tetapi analisis tertentu tetap harus dilakukan untuk kondisi kritis sebagai berikut :

- a) Kondisi jangka panjang.
- b) Pada akhir konstruksi.
- c) Penurunan muka air secara tiba-tiba khususnya untuk struktur penahan air seperti bendungan.
- d) Gangguan seismik.

2.5.2 Jenis-jenis Longsor

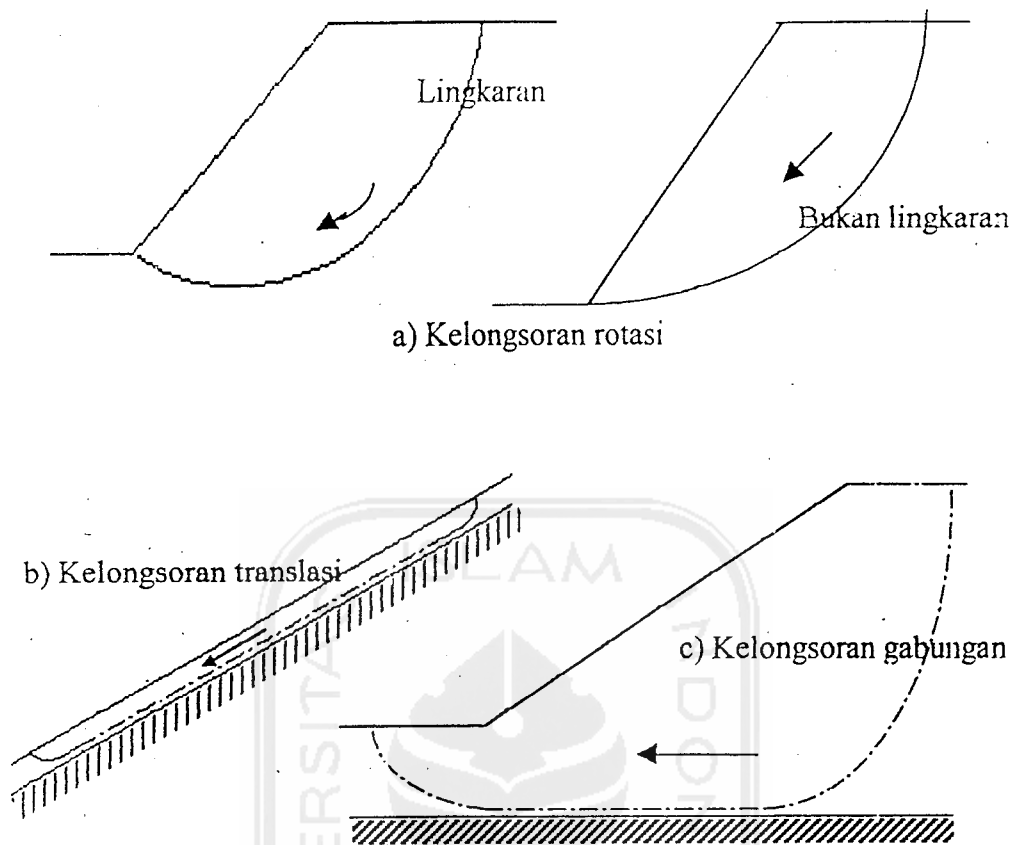
Bila kekuatan geser tanah terlampaui dimana perlawanan geser pada bidang gelincir tidak cukup besar untuk menahan gaya-gaya yang bekerja pada bidang tersebut maka terjadi suatu gerakan pada lereng tersebut atau disebut juga dengan longsoran (*Slope Movement*).

Longsor atau gerakan pada lereng tersebut dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu :

1. Gelincir (*Slide*)

Gelincir terjadi karena kegagalan geser. Gelincir ini dapat bersifat :

- a) Rotasi (*Rotational Slide*)
- b) Translasi (*Translation Slide*)
- c) Kombinasi rotasi dan translasi



Gambar 2.4 Tipe-tipe kelongsoran

(Sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2,1994)

2. Jatuhan (*Falls*)

Jatuhan terjadi akibat retak dan gerakan blok ke bawah. Jatuhan dapat terjadi pada tanah maupun batuan.

3. Aliran (*Flows*)

Aliran terjadi akibat gerakan massa tanah yang mempunyai fluida kental dan bergerak tanpa bidang gelincir yang jelas. Bidang gelincirnya biasanya sama dengan bentuk dari permukaan tanah. Letaknya ditentukan oleh lekuk-lekuk erosi atau lembah-lembah sungai. Biasanya aliran ini berasal dari kolam-kolam besar yang terletak pada bagian atas suatu lereng.

2.5.3 Faktor-faktor Penyebab Terjadinya Longsoran

Kebanyakan lereng-lereng berada pada keseimbangan kritis, sehingga pada suatu saat bila terjadi perubahan keseimbangan dapat mengakibatkan terjadinya kelongsoran. Faktor-faktor yang mengakibatkan terjadinya kelongsoran adalah :

1. Perubahan lereng suatu tebing secara alami karena erosi dan lain-lain atau karena disengaja akan mengganggu stabilitas yang ada, karena secara logis dapat dikatakan semakin terjal suatu lereng akan semakin besar kemungkinan untuk longsor.
2. Perubahan tinggi suatu tebing secara alami karena erosi dan lain-lain atau disengaja juga akan merubah stabilitas suatu lereng. Semakin tinggi lereng akan semakin besar longsoanya.
3. Peningkatan beban permukaan, akan meningkatkan tegangan dalam tanah termasuk meningkatnya tegangan air pori, hal ini sering terjadi karena adanya pembangunan di daerah tebing seperti jalan, gedung dan lain-lain.
4. Perubahan kadar air dapat mengakibatkan perubahan kekuatan geser dalam lapisan tanah.
5. Aliran air tanah akan mempercepat terjadinya longsor, karena air bekerja sebagai pelumas.
6. Pengaruh getaran dapat berupa gempa, ledakan dan getaran mesin dapat mengganggu kekuatan geser dalam tanah.
7. Penggundulan di daerah tebing dapat menyebabkan perubahan kandungan air tanah dalam rongga dan akan menurunkan stabilitas tanah.

8. Pengaruh kelapukan, secara mekanis dan kimia akan merubah sifat kekuatan tanah dan batuan.

2.5.4 Metode Analisis Stabilitas Lereng

Semua metode yang dipakai dalam analisis stabilitas lereng adalah berdasarkan prinsip bahwa besarnya kekuatan geser yang ada dibandingkan dengan kekuatan geser yang diperlukan untuk mempertahankan stabilitas lereng. Dalam praktek analisis stabilitas lereng didasarkan pada konsep keseimbangan batas. Suatu analisis stabilitas terdiri dari perkiraan model keruntuhan dan kuat gesernya. Model keruntuhan akan memerlukan persamaan tentang berat atau beban yang harus ditahan dan pengaruh air. Bentuk model keruntuhan biasanya dapat ditentukan dengan cukup baik, walaupun demikian untuk pusat rotasi mungkin diperlukan beberapa kali percobaan untuk mendapatkan kasus terburuk.

Untuk menganalisis stabilitas lereng ada beberapa metode yang dapat digunakan, antara lain :

1. Analisis Busur Lingkaran

Pengamatan longsoran lereng yang dilakukan oleh Collin (1846) (dikutip dari Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1984), menunjukkan bahwa kebanyakan peristiwa kelongsoran tanah terjadi dengan bentuk bidang longsor yang berupa lengkungan. Sejumlah peneliti berpendapat bahwa permukaan yang melengkung ini adalah bagian dari busur lingkaran. Jika lereng berupa tanah lempung yang homogen dan analisis kuat geser tanpa drainasi digunakan, maka hitungan dapat digunakan secara langsung seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.6

Untuk ini, nilai faktor aman dapat ditentukan oleh :

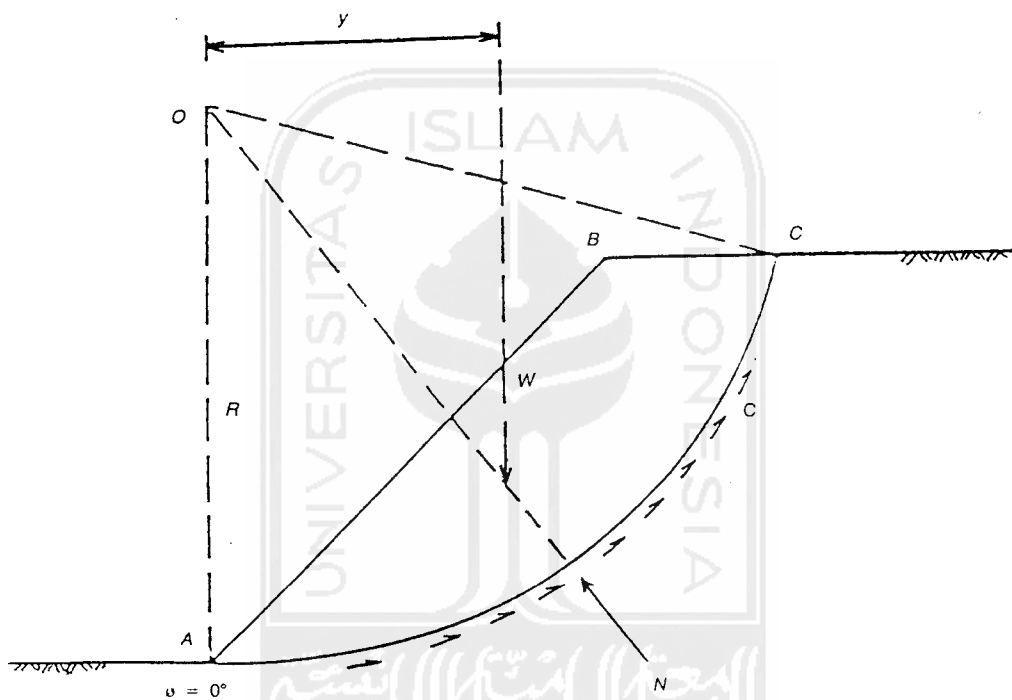
$$F = \frac{\sum M_r}{\sum M_d} \dots\dots\dots (2.26)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

dengan :

M_r = jumlah momen yang menahan (tm)

M_d = jumlah momen yang menggerakkan (tm)



Gambar 2.5 Analisis stabilitas lereng tanah lempung tanpa pengaruh rembesan

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

atau

$$F = \frac{RcL_{AC}}{Wy} \dots\dots\dots (2.27)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

dengan :

F = faktor aman

W = berat tanah (ton)

L_{AC} = panjang bagian lingkaran AC (m)

c = kohesi (t/m^2)

R = jari-jari lingkaran bidang lonsor yang ditinjau (m)

y = jarak pusat berat W terhadap O

Jika lereng dipengaruhi oleh aliran rembesan air tanah, maka diperlukan untuk menggambar gambar garis freatis dan sketsa jaring arusnya (*flow-net*). Garis-garis ekuipotensial memotong lingkaran longsor dengan tinggi energi yang diketahui. Tekanan pada titik ini dapat dihitung untuk memberikan diagram tekanan seperti yang dilihat pada Gambar 2.7.

Jumlah tekanan air pori (U) dapat dihitung secara integrasi, dimana titik tangkap gaya U ini akan melewati titik O . Nilai vektor gaya W dapat diperoleh dengan cara menambahkan U dengan vektor W^1 . Dengan cara keseimbangan momen dapat diperoleh jarak y . Nilai faktor aman dapat dihitung dengan :

$$F = \frac{RcL_{AC}}{W^1 y} \dots\dots\dots(2.28)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

dengan :

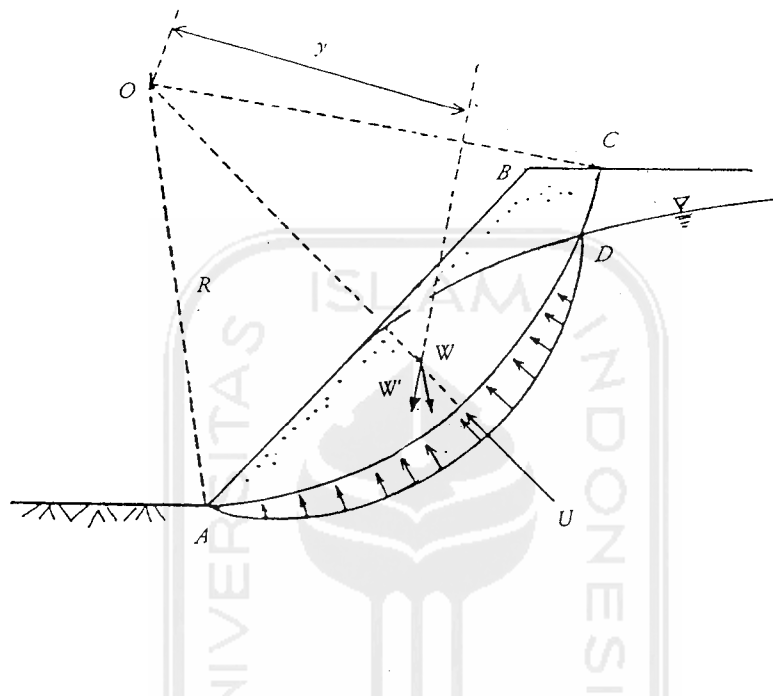
R = jari-jari bidang longsor (m)

c = kohesi (t/m^2)

L_{AC} = panjang bagian lingkaran AC (m)

W^1 = berat tanah efektif (ton)

y = jarak pusat berat W^1 terhadap O (m)



Gambar 2.6 Analisis stabilitas lereng tanah lempung dengan pengaruh rembesan

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

2. Metode Irisan (*Method of Slice*)

Bila tanah tidak homogen dan aliran rembesan terjadi di dalam tanahnya memberikan bentuk aliran dan berat volume yang tidak menentu, cara yang lebih cocok digunakan adalah dengan metode irisan (*Method of Slice*)

Gaya normal yang bekerja pada suatu titik di lingkaran bidang longsor, terutama dipengaruhi oleh berat tanah di atas titik tersebut. Dalam metode irisan, massa tanah yang longsor dipecah-pecah menjadi beberapa irisan vertikal. Kemudian

keseimbangan dari tiap irisan diperhatikan. Gambar 2.7 memperlihatkan suatu irisan dengan gaya-gaya yang bekerja padanya. Gaya-gaya ini terdiri dari gaya geser (X_r dan X_l) dan gaya normal efektif (E_r dan E_l) di sepanjang sisi irisannya, dan juga resultan gaya efektif (T_i) dan resultan gaya normal efektif (N_i) yang bekerja di sepanjang dasar irisannya. Pada irisannya, tekanan air pori U_l dan U_r bekerja di kedua sisinya, dan tekanan air pori U_i pada dasarnya. Dianggap tekanan air pori sudah diketahui sebelumnya. Metode irisan yang digunakan antara lain :

1) Metode Fellenius

Analisis stabilitas lereng cara Fellenius (1927) (dikutip dari Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994) menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsornya. Dengan anggapan ini, keseimbangan arah vertikal dari gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori adalah :

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i$$

atau

$$N_i = W_i \cos \theta_i - U_i$$

$$N_i = W_i \cos \theta_i - u_i a_i \dots \dots \dots (2.29)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

Faktor aman didefinisikan sebagai :

$$F = \frac{\sum M_r}{\sum M_d}$$

dengan :

M_r = jumlah momen yang menahan (tm)

M_d = jumlah momen yang menggerakkan (tm)

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta$, maka :

$$\sum M_d = R \sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i \dots\dots\dots(2.30)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

dengan :

R = jari-jari lingkaran bidang longsor

n = jumlah irisan

W_i = berat massa tanah irisan ke- i

θ_i = sudut yang didefinisikan pada Gambar 2.7

Dengan cara yang sama, momen yang menahan yang akan longsor adalah :

$$\sum M_r = R \sum_{i=1}^{i=n} (ca_i + N_i \text{tg} \phi) \dots\dots\dots(2.31)$$

Karena itu, persamaan untuk faktor amannya menjadi :

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (ca_i + N_i \text{tg} \phi)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \dots\dots\dots(2.32)$$

Bila terdapat air pada lerengnya, tekanan air pori pada bidang longsor tidak berpengaruh pada M_d , karena resultan gaya akibat tekanan air pori lewat titik pusat lingkaran. Substitusi persamaan (2.29) ke persamaan (2.32) diperoleh :

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} ca_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \text{tg} \phi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \dots\dots\dots(2.33)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

dengan :

F = faktor aman

c = kohesi tanah

ϕ = sudut gesek dalam tanah

a_i = panjang bagian lingkaran pada irisan ke- i

W_i = berat irisan tanah ke- i

u_i = tekanan air pori pada irisan ke- i

θ_1 = sudut yang didefinisikan dalam gambar 2.7

Metode Fellinius memberikan faktor aman yang relatif lebih rendah dari cara hitungan yang lebih teliti. Batas-batas nilai kesalahan dapat mencapai kira-kira 5% sampai 40% tergantung dari faktor aman, sudut pusat lingkaran yang dipilih, dan besarnya tekanan air pori. Walaupun analisisnya ditinjau dalam tinjauan tegangan total, kesalahannya masih merupakan fungsi dari faktor aman dan sudut pusat dari lingkarannya (Whitman dan Baily, 1967, dikutip dari Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994).

2) Metode Bishop yang disederhanakan (*Simplified Bishop Method*)

Metode irisan yang disederhanakan diberikan oleh Bishop (1955) (dikutip dari Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994). Metode ini menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal. Persamaan kuat geser dalam tinjauan tegangan efektif yang dapat dikerahkan tanah, hingga tercapainya kondisi keseimbangan batas dengan memperhatikan faktor aman, adalah :

$$\tau = \frac{c'}{F} + (\sigma - u) \frac{tg\phi'}{F} \dots\dots\dots(2.34)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

dengan :

σ = tegangan normal total pada bidang longsor

u = tekanan air pori, untuk irisan ke- i

Nilai $T_i = \tau a_i$, yaitu nilai gaya geser yang berkembang pada bidang longsor untuk keseimbangan batas, karena itu :

$$T_i = \frac{c'a_i}{F} + (N_i - u_i a_i) \frac{tg\phi'}{F} \dots\dots\dots(2.35)$$

Kondisi keseimbangan momen terhadap pusat rotasi O antara berat massa tanah yang akan longsor dengan gaya geser total pada bidang longsornya dapat dinyatakan oleh (gambar 2.7) :

$$\sum W_i x_i = \sum T_i R \dots\dots\dots(2.36)$$

dengan x_i adalah jarak W_i ke pusat rotasi O. dari persamaan (2.34) dan (2.36) dapat diperoleh :

$$F = \frac{R \sum_{i=1}^{i=n} [c'a_i + (N_i - u_i a_i) tg\phi']}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i x_i} \dots\dots\dots(2.37)$$

Dari kondisi keseimbangan vertikal, jika $X_l = X_i$ dan $X_r = X_{i+1}$:

$$N_i \cos \theta_i + T_i \sin \theta_i = W_i + X_i - X_{i+1}$$

$$N_i = \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - T_i \sin \theta_i}{\cos \theta_i} \dots\dots\dots(2.38)$$

Dengan $N_i' = N_i - u_i a_i$, substitusi persamaan (2.35) ke persamaan (2.38), dapat diperoleh persamaan :

$$N_i' = \frac{W_i + X_i - X_{i+1} - u_i a_i \cos \theta_i - c' a_i \sin \theta_i / F}{\cos \theta_i + \sin \theta_i \operatorname{tg} \phi' / F} \dots \dots \dots (2.39)$$

Substitusi persamaan (2.39) ke persamaan (2.37), diperoleh :

$$F = \frac{R \sum_{i=1}^{i=n} c' a_i + \operatorname{tg} \phi' \left(\frac{W_i + X_i - X_{i+1} - u_i a_i \cos \theta_i - c' a_i \sin \theta_i / F}{\cos \theta_i + \sin \theta_i \operatorname{tg} \phi' / F} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i x_i} \dots \dots \dots (2.40)$$

Untuk penyederhanaan dianggap $X_i - X_{i+1} = 0$ dan dengan mengambil:

$$x_i = R \sin \theta_i \dots \dots \dots (2.41)$$

$$b_i = a_i \cos \theta_i \dots \dots \dots (2.42)$$

Substitusi persamaan (2.41) dan (2.42) ke persamaan (2.40), diperoleh persamaan faktor aman :

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + (W_i - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi'] \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \phi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \dots \dots \dots (2.43)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

dengan :

F = faktor aman

c' = kohesi tanah efektif

ϕ' = sudut gesek dalam tanah efektif

b_i = lebar irisan ke-i

W_i = berat irisan tanah ke-i

θ_i = sudut yang didefinisikan dalam gambar 2.7

u_i = tekanan air pori pada irisan ke-i

Persamaan faktor aman Bishop ini lebih sulit pemakaiannya dibandingkan dengan metode Fellenius. Lagi pula membutuhkan cara coba-coba (*trial and error*), Karena nilai faktor aman F nampak di kedua sisi persamaannya. Akan tetapi cara ini telah terbukti memberikan nilai faktor aman yang mendekati nilai faktor aman dari hitungan yang telah dilakukan dengan cara lain yang lebih teliti. Lokasi lingkaran longsor kritis dari metode Bishop (1955), biasanya mendekati dengan hasil pengamatan di lapangan. Karena itu, walaupun metode Fellenius lebih mudah, metode Bishop lebih disukai karena menghasilkan penyelesaian yang lebih teliti (Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994).

2.6 Stabilitas Lereng dengan Tinggi Terbatas

Pengamatan longsor lereng yang dilakukan oleh Collin (1846), menunjukkan bahwa kebanyakan peristiwa longsor tanah terjadi dengan bentuk bidang longsor yang berupa lengkungan. Sebab terjadinya longsor adalah karena tidak tersedianya kuat geser tanah yang cukup untuk menahan tanah longsor ke bawah, pada bidang longsornya.

Metode yang digunakan dalam analisis stabilitas lereng menggunakan cara Fellenius. Analisis stabilitas lereng cara Fellenius (1927), menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan-kiri dari sembarang irisan mempunyai resultan nol pada

arah tegak lurus pada bidang longsornya. Dengan anggapan ini, keseimbangan arah vertikal dari gaya-gaya yang bekerja dengan memperhatikan tekanan air pori adalah:

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \dots\dots\dots (2.44)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

dengan :

N_i = gaya normal efektif pada irisan i (ton)

U_i = tekanan air pori pada irisan i (ton)

W_i = berat massa tanah irisan ke-i (ton)

θ_i = sudut antara gaya normal dengan garis vertikal pada tiap pias

Faktor aman (F_s) dinyatakan dalam persamaan:

$$F_s = \frac{\sum L c + \sum N \operatorname{tg} \phi}{\sum T} \dots\dots\dots (2.45)$$

(sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

dengan

L = panjang busur AC (m)

c = kohesi tanah (t/m^2)

ϕ = sudut geser dalam tanah ($^\circ$)

$N = W \cos \theta$ (ton)

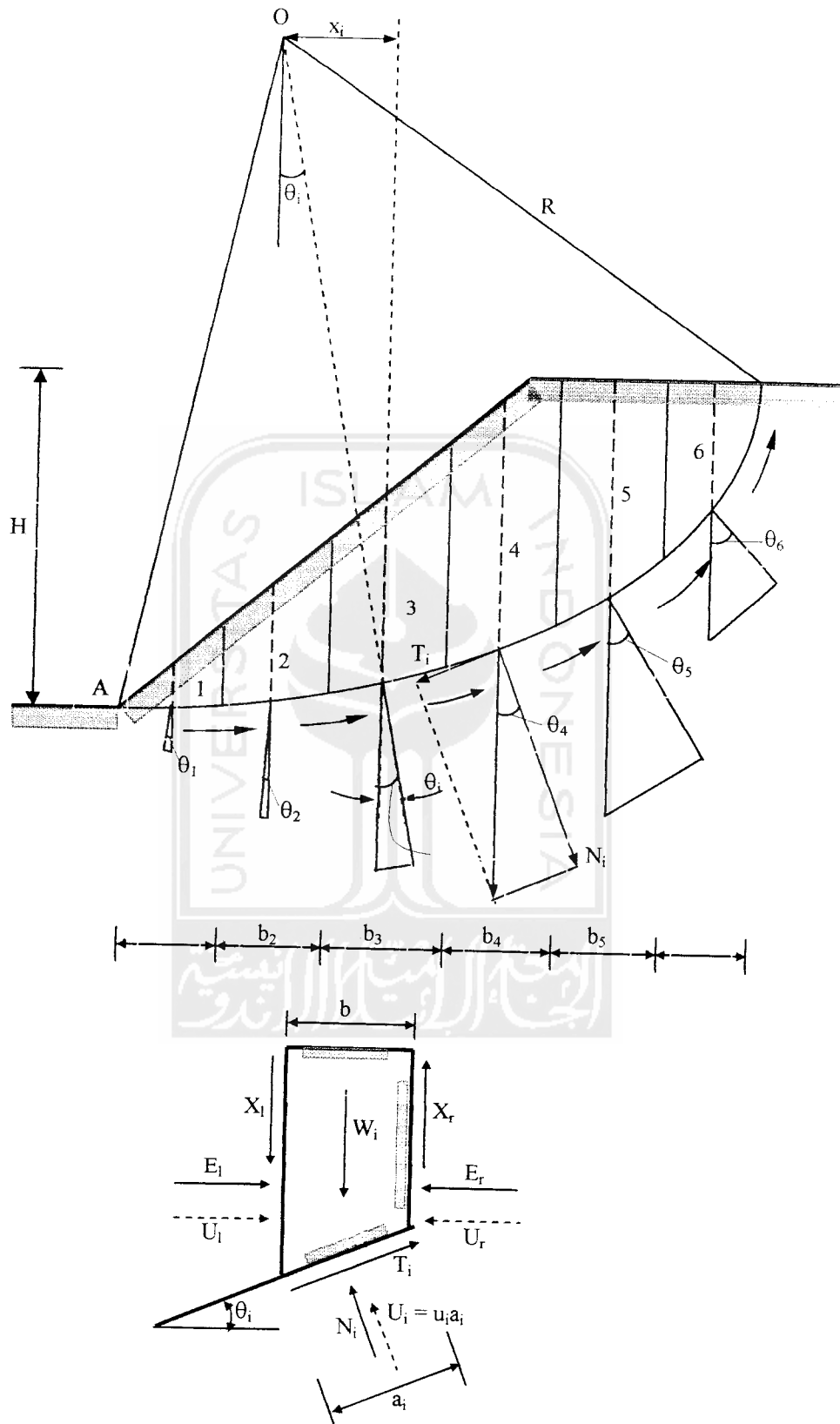
$T = W \sin \theta$ (ton)

W = berat tanah masing-masing pias

$$= b h \gamma \text{ (t/m}^1\text{)}$$

θ = sudut garis singgung masing-masing pias

$$= \operatorname{arc} \sin (x / r)$$



Gambar 2.7 Gaya-gaya yang bekerja pada Irisan
 (sumber : Hardiyatmo, HC, Mekanika Tanah 2, 1994)

2.7 *MRSSlope*

Terdapat sejumlah variasi program komputer dari metode stabilisasi lereng Bishop yang disederhanakan. Semua metode ini didasarkan atas metode keseimbangan batas (*limit equilibrium method*) dengan memakai gaya-gaya atau momen-momen *MRSSlope* (*Mirafi Reinforce Soil Slope*) adalah sebuah program MS-DOS yang digunakan untuk perhitungan analisis dan desain lereng tanpa perkuatan maupun dengan perkuatan menggunakan geosintetik. *MRSSlope* digunakan untuk analisa pada lereng dengan geometri yang sederhana dan maksimal 3 lapisan tanah. Bagan alir dari *MRSSlope* dapat dilihat pada gambar 2.8.

2.7.1 *Input Data*

Input data yang diperlukan pada analisis menggunakan *MRSSlope*, yaitu :

1. Geometri lereng (*embankment*)

Geometri lereng disini berupa sudut kemiringan dari lereng, yang berkisar antara 0° - 90° , dan ketinggian dari lereng tersebut.

2. Data tanah

Dari tanah yang diperlukan sebagai input dari *MRSSlope* berupa sudut geser dalam tanah (ϕ), berat volume tanah (γ) dan kohesi tanah (c). Untuk tanah pada lereng hanya bisa 1 lapisan saja, sedangkan tanah dibawah lereng maksimal 2 lapisan. Untuk tebal lapisan tanah pertama yang ada di bawah lereng, ketebalannya dapat ditentukan,

sedang untuk tebal lapisan kedua adalah selisih dari tinggi lereng dikurangi dengan tebal lapisan pertama.

3. Keadaan muka air tanah

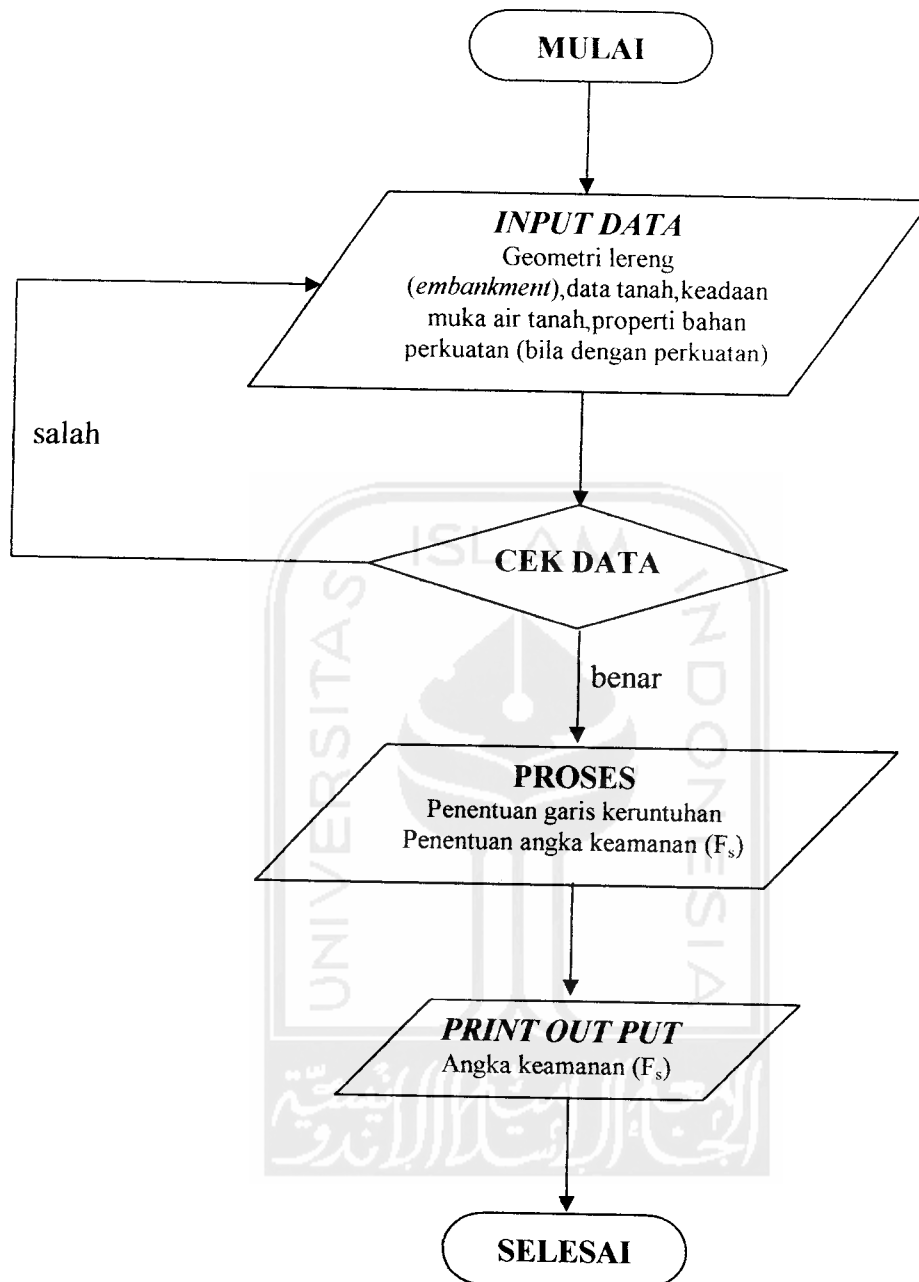
Muka air tanah hanya bisa pada lereng saja, dengan ketinggian muka air dari 0,00 (muka tanah asli) hingga maksimum setinggi lereng yang didesain.

4. Properti bahan perkuatan

Apabila kita mendesain lereng dengan menggunakan perkuatan geotekstil maka kita membutuhkan properti dari geotekstil yang kita pakai tersebut, seperti kuat tarik ijin geotekstil, panjang perkuatan geotekstil dan tebal lapisan perkuatan.

2.7.2 Output Data

Setelah semua data yang diperlukan dimasukkan, maka *MRSSlope* akan mengolah data tersebut dan menghasilkan gambar garis keruntuhan dan angka keamanan dari lereng yang telah didesain. *Print output* dari *MRSSlope* berupa data dari lereng serta angka keamanan saja. *MRSSlope* juga telah memberikan angka keamanan yang paling minimal, tetapi angka keamanan yang lebih kecil dari 0 ($F_s < 0$) tidak dapat keluar pada *print output MRSSlope* tersebut.

Gambar 2.8 Bagan alir *MRSSlope*

2.8 Lapisan Geotekstil

2.8.1 Pengertian dan Jenis Geotekstil

Definisi sederhana mengenai geotekstil menurut ICI Fibres (1986) adalah *a textile material used in a soil (geo) environment*. Jadi merupakan bahan tekstil yang digunakan langsung dilingkungan tanah, sedangkan pengertiannya dibidang geoteknik adalah *the synthetic textile material conventionally used in geotechnical engineering application* yaitu bahan-bahan tekstil sintetis yang biasa digunakan pada aplikasi geoteknik.

Menurut ICI Fibres (1986) berdasarkan pembuatannya, geotekstil digolongkan menjadi beberapa jenis, yaitu :

1. Geotekstil Tenunan (*Woven Geotextile*)

Adalah geotekstil yang dibuat dengan menjalin dua set monofilame, pita atau benang rajutan menyilang tegak lurus satu dengan lainnya.

2. Geotekstil yang tidak ditenun (*Non Woven Geotextile*)

Yaitu geotekstil yang pembuatannya tidak dengan ditenun tapi jaringan atau serat-serat pembentuknya dilekatkan satu sama lain dengan diikat atau dengan bahan perekat.

3. Geotekstil Rajutan (*Knitted Geotextile*)

Geotekstil yang pembuatannya dari satu atau lebih benang-benang yang membentuk serangkaian lubang-lubang yang saling berpegangan membentuk struktur bidang. Benang-benang yang digunakan adalah monofilamen, multifilamen, spun dan fibrillated.

4. Geotekstil Proses Ikatan Jahit (*Stich-bonded Geotextile*)

Metode dasarnya adalah penjahitan benang rajut atau *monofilamen* menerus pada serabut *web* sehingga diperoleh jahitan kohesif.

2.8.2 Fungsi Geotekstil

ICI Fibres (1986) membedakan dasar perencanaan geotekstil berdasarkan fungsinya menjadi 4 (empat) bagian, yaitu :

1. Geotekstil sebagai *reinforce*

Maksudnya adalah geotekstil digunakan untuk memperkuat tanah dari pengaruh gaya luar yang menyebabkan terjadinya longsor atau gerakan tanah.

2. Geotekstil sebagai *separator*

Pada dasarnya geotekstil disini berfungsi sebagai suatu lapisan yang memisahkan dua jenis lapisan tanah atau batuan yang berbeda, baik susunan material maupun strukturnya, sehingga masing-masing lapisan dapat berfungsi seperti yang direncanakan.

3. Geotekstil sebagai drainasi dan filter

Penggunaan geotekstil sebagai drainasi tidak dapat dipisahkan fungsinya sebagai filter dan sebaliknya. Kalau drainasi dibiarkan tanpa filter, rembesan air akan membawa partikel-partikel tanah yang halus sehingga akan terjadi *piping*, yaitu penggontoran partikel-partikel halus dari dalam tanah sedikit demi sedikit oleh aliran air sehingga lapisan tanah asli dapat kehilangan kestabilannya.

4. Geotekstil sebagai penahan erosi

Dalam menanggulangi erosi, geotekstil dalam hal ini hanya berfungsi memperkuat massa tanah dengan cara membungkusnya sehingga dapat menghalangi hubungan langsung air permukaan yang berenergi tinggi dengan massa tanah.

