

TUGAS AKHIR

**ANALISIS STABILITAS LERENG
PADA BENDUNGAN TITAB**



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS UDAYANA
2016**

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tanah adalah tempat berdirinya sebuah konstruksi atau bangunan yang terdiri dari himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang dapat kita perhitungkan kekuatannya serta dapat kita ubah keadaannya sesuai dengan kebutuhan perencanaan konstruksi. Pada pembangunan konstruksi di atas tanah sudah pasti akan menghadapi beberapa masalah Geoteknik. Salah satu masalah yang muncul adalah stabilitas tanah yang apabila mengalami pembebanan di atasnya maka tekanan air pori akan naik sehingga air pori keluar yang menyebabkan berkurangnya volume tanah, oleh karena itu akan terjadi penurunan pada tanah. Fenomena ketidak stabilan suatu tanah dapat diklasifikasikan menjadi keruntuhan lereng (*slope failure*) dan kelongsoran (*landslide*).

Kelongsoran merupakan suatu proses pergerakan massa tanah atau massa hancuran batuan penyusun lereng yang bergerak menuruni lerengnya akibat dari terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng tersebut. Masalah kelongsoran khususnya di Indonesia, sering terjadi disebabkan keadaan geografi yang di beberapa tempat memiliki curah hujan cukup tinggi dan daerah potensi gempa. Curah hujan yang tinggi dianggap sebagai faktor utama kelongsoran karena air dapat mengikis suatu lapisan pasir, melumasi batuan ataupun meningkatkan kadar air suatu lempung sehingga mengurangi kekuatan geser.

Kemungkinan longsor akibat hujan masih harus dikaitkan dengan beberapa faktor antara lain topografi daerah setempat, struktur geologi, sifat kerembesan tanah dan morfologi perkembangannya. Kondisi topografi yang berbukit-bukit dengan kemiringan lereng yang hampir tegak lurus mengakibatkan banyak lereng yang tidak stabil.

Permasalahan yang umumnya menyebabkan tanah tidak stabil sebagai penyebab utama terjadinya kelongsoran tanah adalah:

1. Kemiringan lereng yang hampir tegak lurus akan berpengaruh terhadap stabilitas lereng. Adanya infrastruktur yang berdiri di atas lereng tidak

mungkin dipindah sehingga lahan untuk membuat kemiringan lereng sangat terbatas.

2. Keadaan geografi yang memiliki curah hujan cukup tinggi yang meningkatkan kadar air pori sehingga mengurangi kekuatan geser.
3. Bertambahnya kadar air pori jika terjadi hujan lebat karena kurang berfungsinya saluran drainase pada konstruksi tersebut yang mengakibatkan terhambatnya aliran air yang akan keluar sehingga tekanan air pori meningkat dan berpotensi mengakibatkan kelongsoran.
4. Di atas lokasi longsor telah berubah fungsi dari daerah hijau menjadi pemukiman yang menyebabkan berkurangnya daerah resapan air sehingga terjadi perubahan kandungan air tanah dalam rongga dan akan menurunkan stabilitas tanah.

2.2 Jenis-jenis lereng

Lereng adalah suatu permukaan tanah yang miring dan membentuk sudut tertentu terhadap suatu bidang horizontal. Jenis-jenis lereng, dalam bidang teknik sipil ada dua jenis lereng, yaitu :

2.2.1. Lereng Alam (*Natural Slopes*)

Lereng alam terbentuk karena proses alam. Lereng alam yang telah stabil selama bertahun-tahun dapat saja mengalami longsor akibat hal berikut :

1. Gangguan luar akibat pemotongan atau timbunan baru.
2. Gempa.
3. Kenaikan tekanan air pori (akibat naiknya muka air tanah) karena hujan yang berkepanjangan, pembangunan waduk, dan lain-lain.
4. Penurunan kuat geser tanah secara progresif akibat deformasi sepanjang bidang yang berpotensi longsor.
5. Proses pelapukan.

2.2.2. Lereng Buatan (*Man Made Slopes*)

Lereng buatan adalah lereng tanah yang sengaja dibuat oleh manusia dan dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu :

a) Lereng buatan tanah asli / lereng galian (*Cut Slope*)

Lereng ini dibuat dari tanah asli dengan memotong dengan kemiringan tertentu. Untuk pembuatan jalan atau saluran air untuk

irigasi. Kestabilan pemotongan ditentukan oleh kondisi geologi, sifat teknis tanah, tekanan air akibat rembesan, dan cara pemotongan.

b) Lereng Buatan Tanah yang dipadatkan (*Embankment*)

Tanah dipadatkan untuk tanggul-tanggul jalan raya, bendungan, badan jalan kereta api. Sifat teknis tanah timbunan dipengaruhi oleh cara penimbunan dan derajat kepadatan tanah.

2.3 Stabilitas lereng

Stabilitas lereng merupakan salah satu faktor dasar yang perlu diperhatikan sebagai indikasi atau tolak ukur keamanan tanah di mana sebuah bangunan sipil berada. Maksud analisa stabilitas lereng adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor. Faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan atau dapat ditulis :

$$F = \frac{\tau}{\tau_d}$$

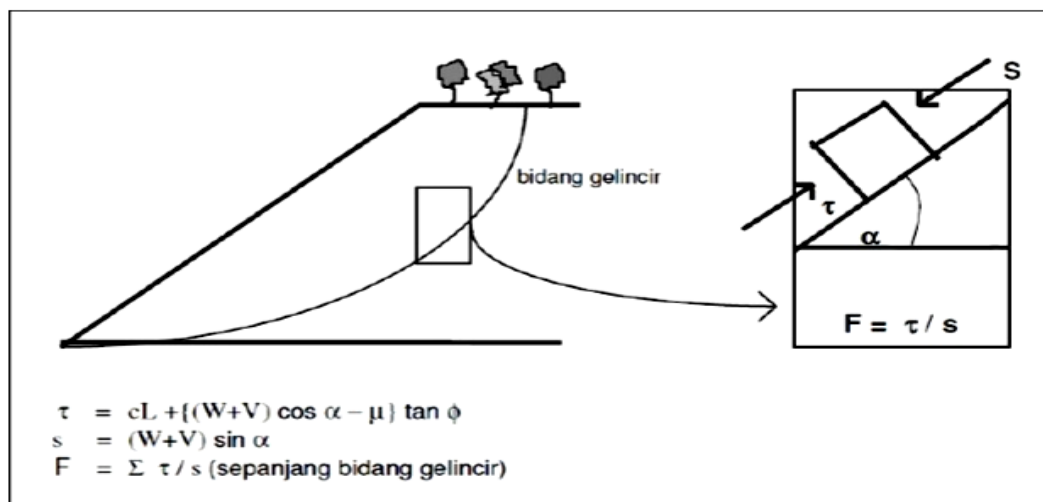
dengan ;

τ = tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah

τ_d = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah yang akan longsor

F = faktor aman

Dalam analisis stabilitas suatu lereng untuk mengevaluasi variabel-variabel seperti lapisan-lapisan tanah dan parameter-parameter kekuatan geser tanah merupakan pekerjaan yang sangat penting. Untuk itu diperlukan beberapa pembelajaran mengenai cara menganalisa stabilitas lereng, dan itu semua didasarkan pada beberapa pilihan metode-metode mengenai stabilitas lereng.



Gambar 2.1 Sketsa Lereng dan Gaya yang bekerja

Analisa kestabilan lereng harus berdasarkan model yang akurat mengenai kondisi material bawah permukaan, kondisi air tanah dan pembebanan yang mungkin bekerja pada lereng. Tanpa sebuah model geologi yang memadai, analisis hanya dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan yang kasar sehingga kegunaan dari hasil analisis dapat dipertanyakan.

Beberapa pendekatan yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan metode-metode seperti metode Taylor, metode Janbu, metode Fenellius, metode Bishop, dan lain-lain. Terdapatnya beberapa macam variasi dari metode irisan disebabkan oleh adanya perbedaan asumsi-asumsi yang digunakan dalam perhitungan faktor keamanan. Asumsi tersebut dipergunakan karena analisa kestabilan lereng merupakan persoalan statika tak tentu (*indefinite statics*) sehingga diperlukan beberapa asumsi tambahan yang diperlukan dalam perhitungan faktor keamanan.

Menurut Prof. Hoek (1981) kemantapan lereng biasanya dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan yang dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

KONDISI	ANGKA KEAMANAN	
Tanpa Koef.Gempa	$SF \geq 1,5$	AMAN
	$SF < 1,5$	TIDAK AMAN
Dengan Koef.Gempa	$SF \geq 1,2$	AMAN
	$SF < 1,2$	TIDAK AMAN

2.4 Faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng

Stabilitas lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain :

1) Geometri Lereng

Kemiringan dan tinggi suatu lereng sangat mempengaruhi kemantapan atau stabilitas suatu lereng. Semakin besar kemiringan dan tinggi suatu lereng, maka kemantapannya semakin kecil.

2) Struktur Batuan Tanah

Struktur batuan tanah yang sangat mempengaruhi kemantapan lereng adalah bidang-bidang sesar, perlapisan dan rekahan. Struktur batuan tersebut merupakan bidang-bidang lemah dan sekaligus sebagai tempat merembesnya air.

3) Sifat Fisik dan Mekanik Tanah

Sifat fisik tanah yang mempengaruhi kemantapan lereng adalah bobot isi (*density*), porositas dan kandungan air. Kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, kohesi,

dan sudut geser dalam merupakan sifat mekanik batuan yang juga mempengaruhi kemandapan lereng.

- Berat Volume

Berat Volume batuan akan mempengaruhi besarnya beban pada permukaan bidang longsor. Sehingga semakin besar bobot isi batuan, maka gaya penggerak yang menyebabkan lereng longsor akan semakin besar. Dengan demikian, kestabilan lereng tersebut semakin berkurang.

- Porositas Tanah

Tanah yang mempunyai porositas besar akan banyak menyerap air. Dengan demikian bobot isinya menjadi lebih besar, sehingga akan memperkecil kemandapan lereng. Kandungan air semakin besar kandungan air dalam batuan, maka tertekan air pori menjadi besar juga.

- Kuat Tekan, Kuat Tarik, dan Kuat Geser

Kekuatan batuan biasanya dinyatakan dengan kuat tekan (*confined & unconfined compressive strength*), kuat tarik (*tensile strength*) dan kuat geser (*shear strength*). Batuan yang mempunyai kekuatan besar, akan lebih stabil.

- Kohesi dan Sudut Geser Dalam

Semakin besar kohesi dan sudut geser dalam, maka kekuatan geser batuan akan semakin besar juga. Dengan demikian akan lebih stabil.

Gaya-gaya yang bekerja pada lereng secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu gaya-gaya yang cenderung untuk menyebabkan material pada lereng untuk bergerak kebawah dan gaya-gaya yang menahan material pada lereng sehingga tidak terjadi pergerakan atau longsoran.

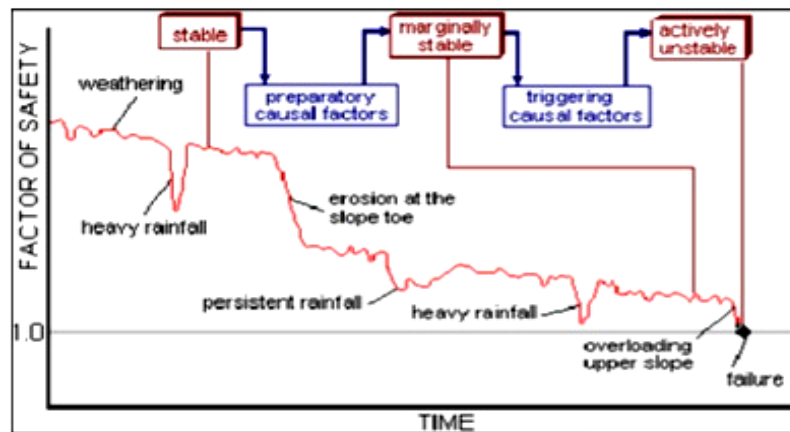
Berdasarkan hal tersebut, Terzaghi (1950) membagi penyebab-penyebab terjadinya longsoran menjadi dua kelompok yaitu:

1. Penyebab-penyebab eksternal yang menyebabkan naiknya gaya geser yang bekerja sepanjang bidang runtuh, antara lain :
 - a) Perubahan geometri lereng
 - b) Penggalan pada kaki lereng
 - c) Pembebanan pada puncak atau permukaan lereng bagian atas.
 - d) Gaya vibrasi yang ditimbulkan oleh gempa bumi atau ledakan.
 - e) Penurunan muka air tanah secara mendadak.

2. Penyebab-penyebab internal yang menyebabkan turunnya kekuatan geser material, yaitu:

- a) Pelapukan
- b) Keruntuhan *progressive*
- c) Hilangnya sementasi material
- d) Berubahnya struktur material

Kestabilan suatu lereng akan bervariasi sepanjang waktu. Hal ini antara lain disebabkan adanya musim hujan dan musim kering sehingga terdapat perubahan musiman dari permukaan air tanah atau terjadi perubahan kekuatan geser material yang diakibatkan oleh proses pelapukan. Penurunan kestabilan lereng dapat juga terjadi secara drastis apabila terjadi perubahan yang tiba-tiba, seperti hujan lebat dengan intensitas yang tinggi, erosi pada kaki lereng atau pembebanan pada permukaan lereng. Ilustrasi yang menggambarkan adanya variasi atau perubahan kondisi kestabilan diperlihatkan pada gambar berikut ini.



Gambar 2.2 Variasi SF terhadap waktu

Kondisi kestabilan lereng berdasarkan tahapan kondisi kestabilannya dapat dibagi menjadi tiga tahap sebagai berikut:

- 1) Sangat stabil

Pada kondisi ini lereng mempunyai tahanan yang cukup besar untuk mengatasi gaya-gaya yang menyebabkan lereng menjadi tidak stabil.

- 2) Cukup stabil

Pada kondisi ini lereng mempunyai kekuatan yang sedikit lebih besar dari pada gaya yang menyebabkan lereng menjadi tidak stabil serta terdapat kemungkinan untuk terjadi keruntuhan lereng suatu waktu.

3) Tidak stabil

Lereng dinyatakan berada dalam kondisi tidak stabil apabila telah terdapat pergerakan secara terus-menerus atau berselang-seling.

2.5 Data-data untuk menganalisa stabilitas lereng

Secara umum data yang diperlukan untuk analisis kestabilan lereng yaitu:

2.5.1 Topografi

Supaya penyelidikan lapangan dapat dilakukan dengan baik harus terdapat peta yang cukup akurat yang menunjukkan letak dari lubang-lubang bor untuk penyelidikan, daerah pemetaan struktur geologi serta lokasi dari penampang melintang yang dianalisis.

2.5.2 Geologi

Beberapa kondisi geologi yang diperlukan dalam analisis kestabilan lereng, yaitu tipe mineral pembentuk material lereng, bidang-bidang diskontinuitas dan perlapisan, tingkat intensitas pelapukan, kedalaman pelapukan, sejarah dari keruntuhan sebelumnya dan keadaan tegangan di tempat. Tipe longsoran yang mungkin terjadi sangat dipengaruhi oleh kondisi dari bidang-bidang tak menerus pada daerah yang distudi/diselidiki. Berikut ini adalah sketsa dari beberapa bentuk tipe longsoran dan kondisi bidang-bidang tak menerus yang mempengaruhinya. Selama proses pekerjaan penggalian lereng kondisi geologi harus terus dikaji dan desain lereng dapat dimodifikasi ulang apabila ternyata kondisi geologi yang aktual berbeda dengan yang diasumsikan. Pada umumnya data geologi yang tersedia biasanya sangat terbatas sehingga dapat menghasilkan beragam interpretasi. Oleh sebab itu kondisi geologi harus selalu diamati selama pekerjaan berlangsung serta mempertimbangkan kemungkinan adanya perubahan rancangan lereng apabila kondisi aktual di lapangan berbeda dengan kondisi geologi yang diasumsikan.

2.5.3 Sifat geoteknis material

Sifat material yang diperlukan dalam analisis kestabilan lereng yaitu parameter kekuatan geser dan berat satuan material. Parameter kekuatan geser merupakan sifat material terpenting karena faktor keamanan dinyatakan dalam bentuk perbandingan kekuatan geser yang tersedia dan

kekuatan geser yang diperlukan, sehingga penentuan parameter kekuatan geser harus seakurat mungkin. Parameter kekuatan geser terdiri dari komponen yaitu kohesidan sudut geser. Untuk analisis lereng yang telah mengalami longsoran harus diperhatikan tentang kekuatan geser sisa. Berdasarkan kondisi pengujian di laboratorium atau pengujian di lapangan terdapat dua tipe kekuatan geser material yaitu kekuatan geser tak terdrainase dan kekuatan geser terdrainase. Kekuatan geser tak terdrainase digunakan apabila analisis kestabilan lereng dilakukan dengan pendekatan tegangan total, sedangkan kekuatan geser terdrainase digunakan apabila analisis kestabilan lereng dilakukan dengan pendekatan tegangan efektif.

2.5.4 Kondisi air tanah

Kondisi air tanah merupakan salah satu parameter terpenting dalam analisis kestabilan lereng, karena sering kali terjadi longsoran yang diakibatkan oleh kenaikan tegangan air pori yang berlebih. Tekanan air pori tidak diperlukan apabila dilakukan analisis kestabilan dengan tegangan total. Gaya hidrostatis pada permukaan lereng yang diakibatkan oleh air yang menggenangi permukaan lereng juga harus dimasukkan dalam perhitungan kestabilan lereng, karena gaya ini mempunyai efek perkuatan pada lereng. Pada umumnya keberadaan air akan mengurangi kondisi kestabilan lereng yang antara lain karena menurunkan kekuatan geser material sebagai akibat naiknya tekanan air pori, bertambahnya berat satuan material, timbulnya gaya-gaya rembesan yang ditimbulkan oleh pergerakan air.

2.5.5 Pembebanan pada lereng

Data lain yang diperlukan dalam analisis kestabilan lereng yaitu gaya-gaya luar yang bekerja pada permukaan lereng, seperti beban dinamik dari lalu-lintas, beban statik dari bangunan atau timbunan di atas lereng, peledakan. Gaya-gaya luar ini harus dimasukkan dalam perhitungan karena dapat mempunyai efek mengurangi kondisi kestabilan lereng.

2.5.6 Geometrik lereng

Data geometri lereng yang diperlukan yaitu data mengenai sudut kemiringan dan tinggi lereng. Geometri lereng alami dapat ditentukan dengan membuat

penampang vertikal berdasarkan peta topografi. Sedangkan untuk lereng buatan, geometri lereng ditentukan dari desain lereng yang akan dibuat.

Dari semua data yang dibutuhkan dalam analisis kestabilan lereng, data mengenai kekuatan geser dan kondisi air tanah merupakan data yang terpenting dan mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap keakuratan dan keterpercayaan hasil perhitungan analisis kestabilan lereng. Sayangnya penentuan kedua data tersebut secara akurat dan dapat mewakili kondisi yang sebenarnya di lapangan merupakan hal yang sulit untuk dilakukan oleh sebab itu untuk kedua macam data tersebut digunakan pendekatan yang konservatif.

2.6 Berbagai cara menganalisa stabilitas lereng

Cara analisis kestabilan lereng banyak dikenal, tetapi secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu cara pengamatan visual, cara komputasi dan cara grafik (Pangular, 1985) sebagai berikut:

A. Cara pengamatan visual

Adalah cara dengan mengamati langsung di lapangan dengan membandingkan kondisi lereng yang bergerak atau diperkirakan bergerak dan yang tidak, cara ini memperkirakan lereng labil maupun stabil dengan memanfaatkan pengalaman di lapangan. Cara ini kurang teliti, tergantung dari pengalaman seseorang. Cara ini dipakai bila tidak ada resiko longsor terjadi saat pengamatan. Cara ini mirip dengan memetakan indikasi gerakan tanah dalam suatu peta lereng.

B. Cara komputasi

Adalah dengan melakukan hitungan berdasarkan rumus (Fellenius, Bishop, Janbu, Sarma, Bishop modified dan lain-lain). Cara Fellenius dan Bishop menghitung Faktor Keamanan lereng dan dianalisis kekuatannya. Dalam menghitung besar faktor keamanan lereng dalam analisis lereng tanah melalui metode irisan, hanya longsor yang mempunyai bidang gelincir saja yang dapat dihitung.

C. Cara grafik (*flownet*)

Adalah dengan menggunakan grafik yang sudah standar (Taylor, Hoek & Bray, Janbu, Cousins dan Morganstren). Cara ini dilakukan untuk material homogen dengan struktur sederhana. Material yang heterogen

(terdiri atas berbagai lapisan) dapat didekati dengan penggunaan rumus (cara komputasi). Stereonet, misalnya diagram jaring Schmidt (*Schmidt Net Diagram*) dapat menjelaskan arah longsoran atau runtuhannya batuan dengan cara mengukur *strike/dip* kekar-kekar (*joints*) dan *strike/dip* lapisan batuan.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang dilakukan dan studi-studi yang menyeluruh tentang keruntuhan lereng, maka dibagi 3 kelompok rentang Faktor Keamanan (F) ditinjau dari intensitas kelongsorannya (Bowles, 1989), seperti yang diperlihatkan pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Hubungan Nilai SF dan intensitas longsor

NILAI FAKTOR KEAMANAN	KEJADIAN / INTENSITAS LONGSOR
F kurang dari 1,07	Longsor <i>terjadi</i> biasa/sering (lereng labil)
F antara 1,07 sampai 1,25	Longsor <i>pernah</i> terjadi (lereng kritis)
F diatas 1,25	Longsor <i>jarang</i> terjadi (lereng relatif stabil)

Sumber : Bowles, 1989

2.7 Perhitungan faktor keamanan (SF) lereng

Faktor Keamanan (F) lereng tanah dapat dihitung dengan berbagai metode. Longsoran dengan bidang gelincir (*slip surface*), F dapat dihitung dengan metode sayatan (*slice method*) menurut Fellenius atau Bishop. Untuk suatu lereng dengan penampang yang sama, cara Fellenius dapat dibandingkan nilai faktor keamanannya dengan cara Bishop. Dalam mengantisipasi lereng longsor, sebaiknya nilai F yang diambil adalah nilai F yang terkecil. Dengan demikian antisipasi akan diupayakan maksimal. Data yang diperlukan dalam suatu perhitungan sederhana untuk mencari nilai F (faktor keamanan lereng) adalah sebagai berikut:

a. Data lereng (diperlukan untuk membuat penampang lereng) meliputi:

- sudut lereng
- tinggi lereng atau panjang lereng dari kaki lereng ke puncak lereng.

b. Data mekanik tanah

- sudut geser dalam (ϕ ; derajat)
- bobot satuan isi tanah basah (γ_{wet} ; g/cm³ atau kN/m³ atau ton/m³)

- kohesi (c ; kg/cm^2 atau kN/m^2 atau ton/m^2)
- kadar air tanah (ω ; %)

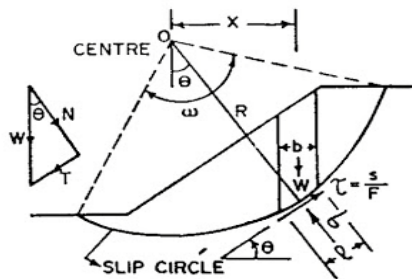
Data mekanika tanah yang diambil sebaiknya dari sampel tanah tak terganggu. Kadar air tanah (ω) diperlukan terutama dalam perhitungan yang menggunakan komputer, terutama bila memerlukan data γ_{dry} atau bobot satuan isi tanah kering.

A. Metode Fellenius (1927)

Menganggap gaya yang bekerja disisi kiri kanan sembarang irisan mempunyai resultan nol arah tegak lurus bidang longsor, keseimbangan arah vertikal adalah ;

$$N_i + U_i = W_i \cos \theta_i \text{ Atau } N_i = W_i \cos \theta_i - U_i = W_i \cos \theta_i - \mu_i a_i$$

Lengan momen dari berat massa tanah tiap irisan adalah $R \sin \theta$, maka momen dari massa tanah yang akan longsor adalah;



$$\sum Md = R \sum_{i=1}^{i=n} Wt \sin \theta_i$$

Gambar 2.3 Ilustrasi Gaya Pada Metode Fellenius

Dengan ;

R = jari-jari lingkaran bidang longsor

n = jumlah irisan

W_i = berat massa tanah irisan ke- i

θ_i = sudut antara jari-jari lingkaran dengan garis kerja massa tanah

Bila terdapat air pada lereng, akibat pengaruh tekanan air pori persamaan menjadi:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} ca_i + (W_i \cos \theta_i - \mu_i a_i) \gamma g \phi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i}$$

Dengan ;

F = faktor aman

c = kohesi (kN/m^2)

ϕ = sudut gesek dalam tanah (o)

a_i = lengkungan irisan ke-i (m)

W_i = berat irisan tanah ke-i (kN)

μ_i = tekanan air pori ke-i (kN)

θ_i = sudut antara jari-jari lengkung dengan garis kerja massa tanah

Jika terdapat beban lain selain tanah, misalnya bangunan, maka momen akibat beban ini diperhitungkan sebagai M_d .

B. Metode Bishop (1955)

Metode ini menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi-sisi irisan mempunyai resultan nol arah vertikal. Penyederhanaan metode bishop ini adalah sebagai berikut :

Maka,

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

dengan ;

F = faktor aman

θ_i = sudut

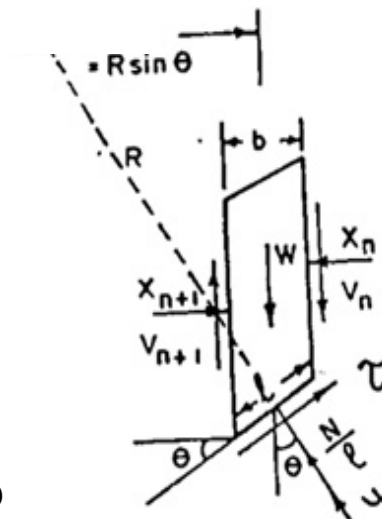
c' = kohesi tanah efektif (kN/m²)

b_i = lebar irisan ke-i (m)

W_i = berat irisan tanah ke-i (kN)

ϕ' = sudut gesek dalam efektif (o)

μ_i = tekanan air pori irisan ke-i (kN/m²)



Gambar 2.4 Ilustrasi Gaya Pada Metode Bishop

Metode Bishop ini menggunakan cara coba-coba, tetapi hasil hitungan lebih teliti, untuk memudahkan perhitungan dapat digunakan nilai fungsi M_i , dimana:

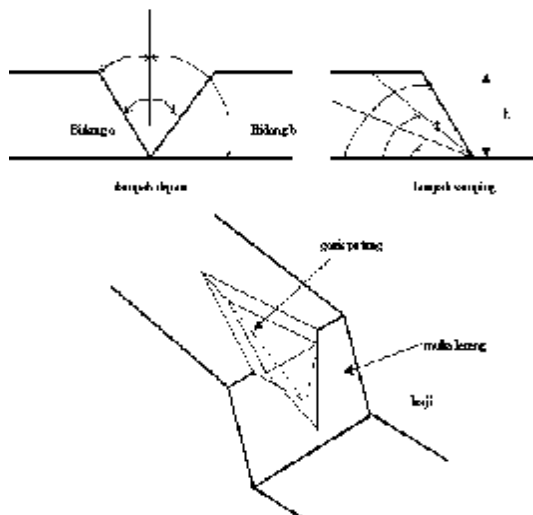
$$M_i = \cos \theta_i (1 + \text{tg } \theta_i \text{tg } \phi' / F)$$

Lokasi lingkaran longsor kritis Metode Bishop (1955), biasanya mendekati hasil lapangan, karena itu metode ini lebih disukai. Cara coba-coba diperlukan untuk menentukan bidang longsor dengan F terkecil, buat

kotak-kotak dimana tiap titik potong garisnya merupakan tempat kedudukan pusat lingkaran longsor. Pada pusat lingkaran longsor ditulis F yang terkecil pada titik tersebut, yaitu dengan mengubah jari-jari lingkarannya. Setelah F terkecil pada tiap titik pada kotaknya diperoleh, gambar garis kontur yang menunjukkan kedudukan pusat lingkaran dengan F yang sama. Dari sini bisa ditentukan letak pusat lingkaran dengan F yang kecil.

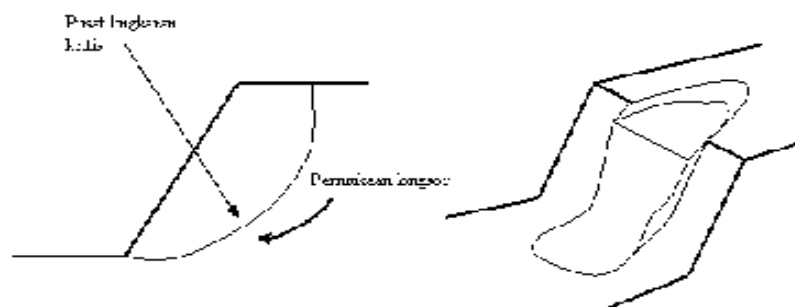
C. Metode Wedge

Bidang longsor potensial dapat didekati dengan menggunakan satu, dua atau tiga garis lurus. Contohnya jika terdapat terdapat lapisan lunak pada lereng bendungan.



Gambar 2.5 Bidang longsor pada metode Wedge

Efek tiga dimensi dapat didekati dengan menghitung F untuk tiap potongan dan kemudian hitung F rata-rata (*weighted mean*) dengan berat total massa tanah di atas bidang runtuh sebagai faktor pemberat (*weighting factor*).



Gambar 2.6 Faktor pemberat (*weighting factor*) pada metode wedge

2.8 Kuat Geser Tanah dalam perhitungan Stabilitas Lereng

Kuat geser tanah adalah gaya perlawanan yang dilakukan oleh butir tanah terhadap desakan atau tarikan. Bila tanah mengalami pembebanan akan ditahan oleh :

- Kohesi tanah yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya
- Gesekan antar butir – butir tanah
- Kepadatan tanah

Coulomb (1776) mendefinisikan ;

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tg}\phi$$

dengan ;

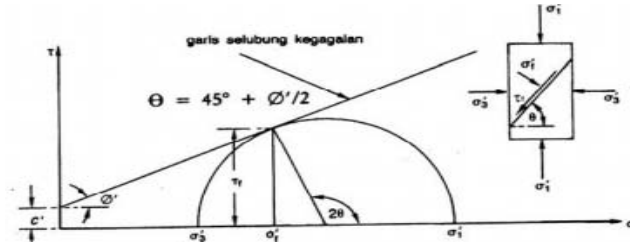
τ = kuat geser tanah (kN/m²)

σ = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m²)

c = kohesi tanah (kN/m²)

ϕ = sudut gesek dalam tanah (derajat)

Kuat geser tanah bisa dinyatakan dalam bentuk tegangan efektif $\sigma'1$ dan $\sigma'3$ pada saat keruntuhan terjadi . Lingkaran Mohr berbentuk setengah lingkaran dengan koordinat (τ) dan (σ') dilihat pada lingkaran Mohr berikut :



Gambar 2.7 Lingkaran Mohr

Dari lingkaran Mohr dapat dilihat ;

$\sigma'1$ = tegangan utama mayor efektif (kN/m²)

c' = kohesi (kN/m²)

$\sigma'3$ = tegangan utama minor efektif (kN/m²)

ϕ = sudut gesek dalam efektif

θ = sudut keruntuhan (derajat)

($f \tau'$) = tegangan geser efektif pada saat terjadi keruntuhan

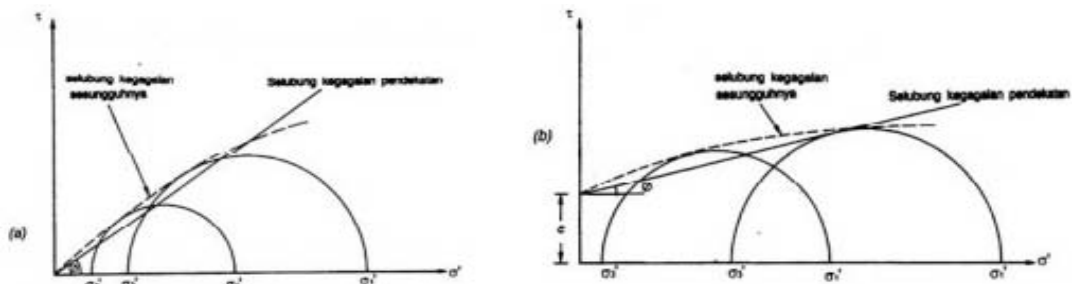
($f \sigma'$) = tegangan normal efektif pada saat terjadi keruntuhan.

Ada beberapa cara menentukan kuat geser tanah adalah ;

- Uji kuat geser langsung (*direct shear test*)

- b. Uji triaksial (*triaxial test*)
- c. Uji tekan bebas (*unconfined compression test*)
- d. Uji geser kipas (*vane shear test*)

Uji triaksial *consolidated drained* (uji pada tanah lempung), faktor yang mempengaruhi karakteristik tanah lempung adalah sejarah tegangannya. Mula-mula sampel dibebani dengan σ_3 , akibatnya tekanan air pori (uc) bertambah, karena katup terbuka maka nilai ini pelan-pelan menjadi nol. Setelah itu tegangan deviator $\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$ ditambah pelan-pelan dengan katup tetap terbuka. Hasil dari tegangan deviator itu tekanan air pori (ud) akhirnya juga nol. Tegangan deviator ditambah terus sampai terjadi keruntuhan. Dari hasil beberapa pengujian terhadap benda uji yang sama (umumnya 3 pengujian), digambarkan lingkaran Mohr.



Gambar 2.8 Lingkaran Mohr dari pengujian lempung kondisi drained

Nilai parameter kuat geser tanah (c dan ϕ) diperoleh dari penggambaran garis singgung terhadap lingkaran Mohr. Untuk lempung *normally consolidated* nilai $c = 0$, jadi garis selubung kegagalan hanya memberikan sudut gesek dalam (ϕ) saja.

Persamaan kuat geser untuk lempung *normally consolidated* adalah ;

$$\sin \phi = \frac{(\sigma_1' - \sigma_3')}{(\sigma_1' + \sigma_3')} \text{ (pada saat kegagalan), atau } \sigma_1' = \sigma_3' \text{tg}^2(45^\circ + \phi/2),$$

bidang kegagalan membuat sudut $(45^\circ + \phi/2)$ dengan bidang utama mayor.

Pada lempung *over consolidated*, nilai $c > 0$, karenanya kuat geser dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\tau = c + \sigma' \text{tg} \phi$$

Dengan

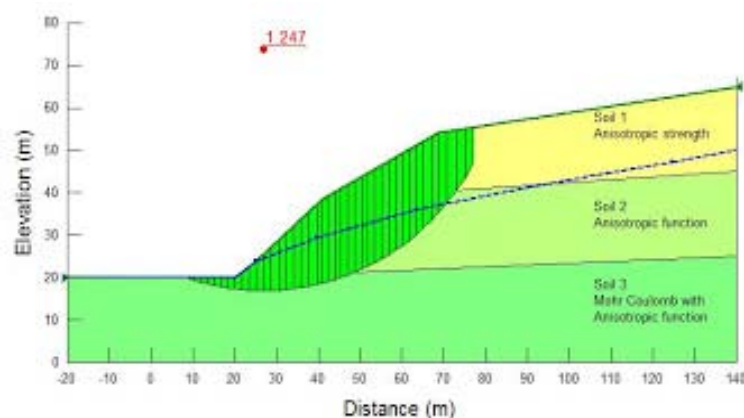
τ = Kuat geser tanah

c = kohesi

ϕ = Sudut geser

2.9 Analisis stabilitas lereng menggunakan GeoStudio2007

GEO-STUDIO 2007 adalah sebuah paket aplikasi untuk pemodelan geoteknik dan geo-lingkungan. Software ini melingkupi SLOPE / W, SEEP / W, SIGMA / W, QUAKE/ W, TEMP / W, dan CTRAN / W. Yang sifatnya terintegrasi sehingga memungkinkan untuk menggunakan hasil dari satu produk ke dalam produk yang lain. Ini unik dan fitur yang kuat sangat memperluas jenis masalah yang dapat dianalisis dan memberikan fleksibilitas untuk memperoleh modul seperti yang dibutuhkan untuk proyek yang berbeda.



Gambar 2.9 Contoh aplikasi Geo-Studio 2007

Dalam penggunaannya , aplikasi ini dapat menghasilkan beberapa produk yang terintegrasi satu sama lain. Produk-produk itu diantaranya :

- SLOPE / W

Merupakan produk perangkat lunak untuk menghitung faktor keamanan tanah dan kemiringan batuan. Dengan SLOPE / W, kita dapat menganalisis masalah baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan batas untuk berbagai permukaan yang miring, kondisi tekanan pori-air, sifat tanah dan beban terkonsentrasi. Kita dapat menggunakan elemen tekanan pori air yang terbatas, tegangan statis, atau tekanan dinamik pada analisis kestabilan lereng. Anda juga dapat melakukan analisis probabilistik.

- SEEP / W

Adalah salah satu software yang digunakan untuk menganalisis rembesan air tanah, masalah kelebihan disipasi tekanan pori-air. Dengan SEEP / W, kita dapat mempertimbangkan analisis mulai dari masalah tingkat

kejenuhan yang tetap sampai yang tidak jenuh, tergantung dari masalah itu terjadi.

- SIGMA / W

Adalah salah satu software yang digunakan untuk menganalisis tekanan geoteknik dan masalah-masalah deformasi. Dengan SIGMA / W, kita dapat mempertimbangkan analisis mulai dari masalah deformasi sederhana hingga masalah tekanan-efektif lanjutan secara bertahap dengan menggunakan model konstitutif tanah seperti linier-elastis, anisotropik linier-elastis, nonlinier-elastis (hiperbolik), elastis-plastik atau Cam-clay.



Gambar 2.10 Fitur pada Geo-Studio 2007

- QUAKE / W

Adalah salah satu software yang digunakan untuk menganalisis gerakan dinamis dari struktur bumi hingga menyebabkan gempa bumi. QUAKE / W sangat cocok sekali untuk menganalisis perilaku dinamis dari bendungan timbunan tanah, tanah dan kemiringan batuan, daerah di sekitar tanah horizontal dengan potensi tekanan pori-air yang berlebih akibat gempa bumi.

- TEMP / W

Adalah salah satu software yang digunakan untuk menganalisis masalah panas bumi. Software ini dapat menganalisis masalah konduksi tingkat panas yang tetap. Kita dapat mengontrol tingkat di mana panas diserap atau dibebaskan selama fase perubahan. Kondisi batas termal dapat ditentukan dari memasukkan data iklim, dan kondisi batas disediakan untuk *thermosyphons* dan pipa pembekuan.

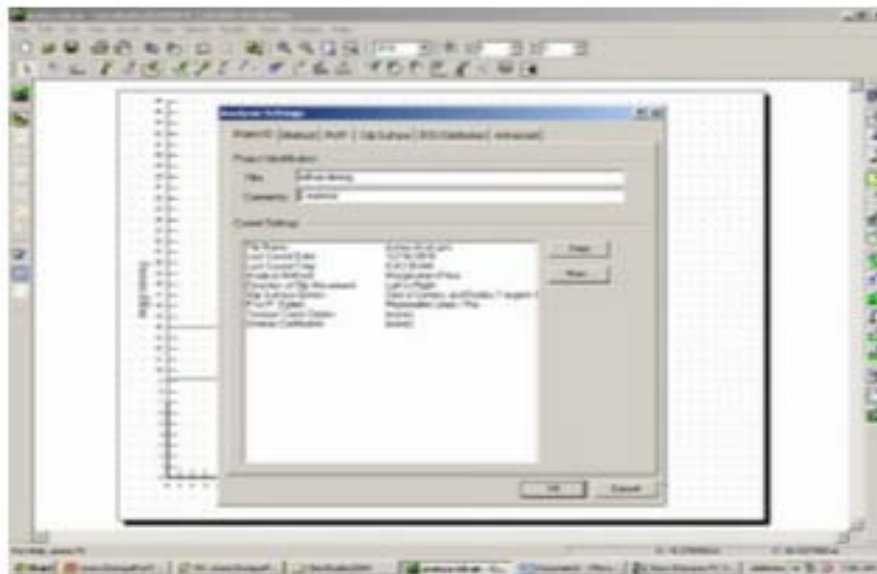
- CTRAN / W

Adalah salah satu software yang dalam penggunaannya berhubungan dengan SEEP / W untuk pemodelan transportasi kontaminasi. CTRAN / W dapat menganalisa masalah yang sederhana seperti pergerakan partikel dalam gerakan air atau serumit menganalisis proses yang melibatkan difusi, dispersi, adsorpsi, peluruhan radioaktif dan perbedaan massa jenis.

- VADOSE / W adalah salah satu software yang berhubungan dengan lingkungan, permukaan tanah, zona vadose dan daerah air tanah lokal. Software ini dapat menganalisa masalah batas fluks seperti:

1. Rancangan dan memonitor performa satu atau lebih lapisan yang menutupi tambang dan fasilitas limbah rumah.
2. Menentukan iklim yang mengontrol distribusi tekanan pori-air pada lereng untuk digunakan dalam analisis stabilitas.
3. Menentukan infiltrasi, evaporasi dan transpirasi dari proyek-proyek pertanian atau irigasi

Dari fitur-fitur diatas yang biasanya digunakan untuk menganalisa kestabilan lereng adalah fitur SLOPE / W , sehingga para perencana konstruksi bangunan sipil yang biasanya memperhitungkan kestabilan lereng menyebut aplikasi ini sebagai Geo-Slope. Pada program Geo-slope ini terdapat beberapa pilihan metode dalam menganalisa stabilitas sebuah lereng seperti metode bishop atau janbu.



Gambar 2.11 Pemilihan metode Bishop

2.10 Analisis terjadinya longsor

Untuk ketepatan suatu analisis keamanan dan pengamanan suatu lereng terhadap bahaya longsor, perlu dilakukan diagnosis terhadap faktor-faktor kelongsoran. Dari pengamanan, maka perlu diketahui lebih rinci penyebab terjadinya suatu longsor, antara lain :

- a) Perubahan lereng suatu tebing, secara alami karena erosi dan lain-lain atau secara disengaja akan mengganggu stabilitas yang ada, karena secara logis dapat dikatakan semakin terjal suatu lereng akan semakin besar kemungkinan untuk longsor.
- b) Peningkatan beban permukaan akan meningkatkan tegangan dalam tanah termasuk meningkatnya tegangan air pori. Hal ini akan menurunkan stabilitas lereng.
- c) Perubahan kadar air, baik karena air hujan maupun resapan air dari tempat lain pada tanah yang ditinjau. Hal ini akan segera meningkatkan kadar air dan menurunkan kekuatan geser dalam lapisan tanah.
- d) Aliran air tanah akan mempercepat terjadinya longsor, karena air bekerja sebagai pelumas. Bidang kontak antar butiran melemah karena air dapat menurunkan tingkat kelekatan butir.
- e) Pengaruh getaran, berupa gempa, ledakan dan getaran mesin dapat mengganggu kekuatan geser dalam tanah.
- f) Penggundulan daerah tebing yang digundul menyebabkan perubahan kandungan air tanah dalam rongga dan akan menurunkan stabilitas tanah.
- g) Pengaruh pelapukan, secara mekanis dan kimia akan merubah sifat kekuatan tanah dan batuan hingga mengganggu stabilitas lereng.

2.11 Cara-cara memperkuat lereng

Pada prinsipnya, cara yang dipakai untuk menjadikan lereng supaya lebih aman (lebih mantap) dapat dibagi dalam dua golongan, yaitu :

2.11.1 Memperkecil gaya penggerak atau momen penggerak

Gaya atau momen penggerak dapat diperkecil hanya dengan cara merubah bentuk lereng yang bersangkutan. Untuk itu ada dua cara :

- a) Membuat lereng lebih landai, yaitu mengurangi sudut kemiringan.
- b) Memperkecil ketinggian lereng/terasering.

2.11.2 Memperbesar gaya melawan atau momen melawan

Gaya melawan atau momen melawan dapat ditambah dengan beberapa cara yang paling sering dipakai ialah sebagai berikut :

- a) Memakai “*counterweight*”, yaitu tanah timbunan pada kaki lereng.
- b) Mengurangi tegangan air pori di dalam lereng.
- c) Dengan cara mekanis, yang dengan memasang tiang atau dengan membuat dinding penahan.
- d) Dengan cara Geosintetik diantaranya Geotekstil, Geomembrane, Geogrid, Geonet, Geomat, Geosynthetic Clay Liner atau GCL, Geopipe, Geocomposit, dan Geocell

2.12 Penggunaan Geotekstil pada sebuah lereng

Geotekstil adalah bahan lulus air dari anyaman (*woven*) atau tanpa anyaman (*non woven*) dari benang-benang atau serat-serat sintetik yang digunakan dalam pekerjaan tanah. Geotekstil ini berbentuk lembaran sintesis yang tipis, fleksibel, permeable yang digunakan untuk stabilisasi dan perbaikan tanah.

Geotextile meliputi *woven* (tenun) dan *non woven* (tanpa tenun). Tenun dihasilkan dari ‘*interlaying*’ antara benang-benang melalui proses tenun, sedangkan non woven dihasilkan dari beberapa proses seperti *heat bonded* (dengan panas), *needle punched* (dengan jarum), dan *chemical bonded* (menggunakan bahan kimia). Baik *woven* maupun *non woven* dihasilkan dari benang dan serat polimer terutama polypropelene, poliester, polyethilene dan polyamide.

Sebenarnya geotekstil pada awalnya dibuat dari berbagai bahan seperti serat-asli (kertas, filter, papan kayu, bambu) , misalnya penggunaan jute untuk percepatan konsolidasi sebagai pengganti pasir sebagai bahan drainase (*vertical drain*) yang banyak dilakukan di India atau dilakukan di Belanda dengan menggunakan serat filter.

Beberapa fungsi dari geotekstil yaitu:

- Untuk perkuatan tanah lunak.
- Untuk konstruksi teknik sipil yang mempunyai umur rencana cukup lama dan mendukung beban yang besar seperti jalan rel, dinding penahan tanah, dan bendungan.

- Sebagai lapangan pemisah, penyaring, drainase dan sebagai lapisan pelindung.
- Bisa juga sebagai pengganti karung goni pada proses curing beton untuk mencegah terjadinya retak-retak pada proses pengeringan beton baru.
- Untuk merubah arah aliran rembesan pada suatu bendungan.

Berdasarkan fungsi diatas maka geotekstil dibagi menjadi 2 jenis yaitu :

1. *Woven Geotextile* (Anyaman)

Woven Geotextile adalah lembaran Geotextile terbuat dari bahan serat sintetis tenunan dengan tambahan pelindung anti ultra violet yang mempunyai kekuatan tarik yang cukup tinggi, yang dibuat untuk mengatasi masalah untuk perbaikan tanah khususnya yang terkait di bidang teknik sipil secara efisien dan efektif. Bahan baku material ini adalah Polypropylene polymer (PP) dan ada juga dari Polyester (PET) yang didukung oleh hasil test dan hasil riset di laboratorium, mengikuti standar ASTM, antara lain kekuatan tarik, kekuatan terhadap tusukan, sobekan, kemuluran dan juga ketahanan terhadap micro organisme, bakteri, jamur dan bahan-bahan kimia.

2. *Non-Woven Geotextile* (Bukan Anyaman)

Geotekstil Non Woven, atau disebut Filter Fabric (Pabrik) adalah jenis Geotextile yang tidak teranyam, berbentuk seperti karpet kain. Umumnya bahan dasarnya terbuat dari bahan polimer Polyesther (PET) atau Polypropylene (PP).

Penggunaan *Woven Geotextile* akan memberikan hasil yang lebih baik sebab arah gaya dapat disesuaikan dengan arah serat, sehingga deformasi dapat dikontrol dengan baik. Pada *non-Woven Geotextile* arah serat dalam struktur geotextile tidak terarah, sehingga apabila dibebani, maka akan terjadi deformasi yang sangat besar, dan sulit dikontrol.

Dalam penggunaan geotekstil sebaiknya menetapkan faktor apa saja yang dibutuhkan, berikut faktor-faktor yang harus diperhatikan;

1. Jenis geotekstil yang akan digunakan.
2. Sifat hubungan pembebanan dan regangan, hal ini diperlukan agar deformasi yang terjadi pada konstruksi perkuatan kecil.

3. Kondisi lingkungan, perubahan cuaca, air laut, kondisi asam atau basa serta mikro organisme seperti bakteri akan mengurangi kekuatan geotekstil.

4. Bahan timbunan yang akan digunakan

Geotekstil pada bendungan berfungsi sebagai lapis pemisah (separator) antara material timbunan dengan tanah dasar sehingga konstruksi jalan menjadi stabil, tidak bergelombang dan rata pada permukaannya. Beberapa keuntungan menggunakan geotekstil pada pembangunan bendungan, diantaranya :

- Mencegah kontaminasi agregat subbase dan base oleh tanah dasar lunak dan mendistribusikan beban konstruksi yang efektif melalui lapisan-lapisan timbunan.
- Mengurangi tebal galian stripping dan meminimalkan pekerjaan persiapan.
- Meningkatkan ketahanan agregat timbunan terhadap keruntuhan setempat pada lokasi beban dengan memperkuat tanah timbunan.
- Mengurangi penurunan dan deformasi yang tidak merata serta deformasi dari struktur jadi.

Geotekstil juga mempunyai kelemahan, yaitu sinar ultraviolet, karena bahan geosintetik akan mengalami degradasi yang cepat dibawah terik sinar matahari. Oleh karena itu dalam pemasangan geotekstil tersebut harus dengan cara pemasangan seperti berikut ini :

1. Geotekstil harus digelar di atas tanah dalam keadaan terhampar tanpa gelombang atau kerutan.
2. Sambungan geotekstil tiap lembarannya dipasang overlapping terhadap lembar berikutnya.
3. Pada daerah pemasangan yang berbentuk kurva (misalnya saluran irigasi), geotekstil dipasang mengikuti arah kurva.
4. Jangan membuat *overlapping* atau jahitan pada daerah yang searah dengan debit air (arah aliran air).
5. Jika geotekstil dipasang untuk terkena langsung sinar matahari maka digunakan geotekstil yang berwarna hitam.

Setelah memasang geotekstil tersebut maka dapat ditinjau kembali faktor keamanan pada lokasi tersebut. Peninjauan kembali dilakukan dengan menggunakan metode Bishop ataupun metode lainnya.