

Tinjauan Tentang Stabilitas Lereng



## TIMJAUAN TENTANG STABILITAS LERENG

Ir. J. B. SOEMARGA SOEMAATMADJA, DIP. H. E. DELET



DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM DIREKTORAT JENDERAL PENGALRAN PROYEK PPMPI-DIREKTORAT IRIGASI

AKAAN TBANG erjaan umum

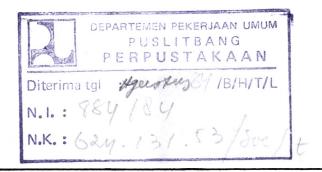
53

APAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

#### No.38

### TINJAUAN TENTANG STABILITAS LERENG

#### Ir. J. B. SOEMARGA SOEMAATMADJA, DIP. H. E. DELET





DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM DIREKTORAT JENDERAL PENGAIRAN PROYEK PPMPI-DIREKTORAT IRIGASI

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

# TINJAUAN TENTANG STABILITAS LERENG

Ir. J.B. SOEMARGA SOEMAATMADJA, DIP.H.E.DELFT

# KONPERENSI GEOTEKNIK INDONESIA KE 2 2<sup>nd</sup> INDONESIAN CONFERENCE ON GEOTECHNICAL ENGINEERING JAKARTA 1982

#### TINJAUAN TENTANG STABILITAS LERENG

J.B. Soemarga Soemaatmadja, Departemen Pekerjaan Umum, Universitas Pancasila. Fakultas Tehnik.

#### SYNOPSIS

Penyebab utama terganggunya stabilitas lereng adalah gempa / getaran dan air. Gempa tidak dibahas dalam makalah ini. Karena itu perlu diketahui dari mana datangnya air, perilaku air didalam tanah dan seberapa pengaruh air terhadap tanah yang dipadang sebagai bahan konstruksi. Tanah sebagai bahan alam murni perlu dikenali dengan baik, bagaimana ter bentuknya dan proses alam selanjutnya yang merubah bentuk dan sifat- sifat pisik yang lama dalam bentuk dan sifat-sifat pisik yang baru dalam proses geologi. Air pun mempunyai pengaruh yang besar terhadap sifat sifat pisik tanah (engineering properties) seperti dalam hai kekuatan geser dalam tanah dan adanya interaksi dengan beberapa mineral lempung. Keseimbangan lereng ditentukan oleh timbulnya tegangan geser dalam ta nah dan kekuatan geser dari tanah, dan untuk mencegah terjadinya kerun tuhan lereng maka perlawanan dari kekuatan geser dari tanah harus lebih besar dari pada tegangan geser yang timbul. Karena pengaruh dari air ma kakuatan geser dari tanah tidak tetap akan tetapi berubah-ubah. Dalam hal ini dapat dikemukakan bahwa dengan bertambah besarnya pore water pressure akan mengurangi besarnya tegangan efektip antar partikel partikel tanah yang mengakibatkan kekuatan geser dari tanah menurun.

Sehubungan dengan itu , terjadinya longsoran pada lereng alam selalu ber samaan dengan jatuhnya hujan atau pada musim yang banyak hujannya. Karena itu tinjauan tentang stabilitas lereng akan lebih lengkap apabila ditinjau dari aspek-aspek hidrologi, geologi dan geoteknik.

#### **PENGENALAN**

Untuk dapat mencari penyelesaian yang tepat dan efektip mengenai problema-problema terganggunya stabilitas lereng alam maupun lereng buatan yang mengakibatkan longsornya lereng tersebut maka merupakan per syaratan yang mutlak untuk mengenali dengan baik dan mendalam semua unsur yang mempunyai kaitan yang erat dengan problema tersebut.

Penanganan problema yang dimaksud tidak hanya terbatas pada problema-problema setelah terjadinya longsoran akan tetapi juga bagaimana mencegahnya atau setidak-tidaknya sudah mengetahui bahwa akan terjadi longsoran, terutama pada lereng alam, sehingga dapat dilakukan usaha-usaha untuk menghindari jatuhnya korban manusia dan harta.

Hilangnya keseimbangan pada lereng dapat disebabkan karena pengaruh pengaruh dari alam itu sendiri seperti gempa , gerakan geologi dan air, akan tetapi dapat disebabkan oleh manusia itu sendiri galian pada lereng-lereng alam untuk membuat jalan dan sebagainya . menambah beban dengan menimbun tanah pada lereng untuk berbagai-bagai keperluan dan penebangan vegetasi pada lereng sehingga menimbulkan erosi lereng dan merubah tata pengaturan air didalam tanah (water re gime). Dalam makalah ini tidak disinggung tentang gempa akan tetapi lebih dititik beratkan pada pengaruh air. Dalam melihat problema terganggunya stabilias lereng, sekiranya akan lebih dapat diatasi lereng buatan manusia seperti bendungan dari tanah, tanggul, timbunan tanah untuk jalan raya dan kereta api dari pada lereng alam, karena bahan tanah yang dipakai oleh manusia untuk membuat lereng buatan tersebut sudah terpilih, dapat dipadatkan dengan baik dan sudah dibuat dipikirkan suatu struktur yang dapat menghindari terjadi longsor ka rena air.

Seperti halnya konstruksi beton dan baja dalam geoteknik tanah dipandang sebagai bahan konstruksi (construction material ) yang perlu di kenal dan didalami tentang sifat-sifat pisiknya (soil engineering pro perties). Suatu ciri yang khas dari tanah adalah bahwa tanah merupa kan bahan alam murni yang tidak mengalami proses pembuatan oleh manusia seperti semen dan baja, dan tidak berfungsi tunggal sebagai bahan konstruksi saja akan tetapi berfungsi banyak diantaranya adalah se - sebagai bahan untuk tumbuhnya tanaman-tanaman. Sifat-sifat pisik dipengaruhi oleh terbentuknya tanah dalam proses geologi dan proses alam selanjutnya dalam hidrologi.

Air memegang peranan yang amat penting dalam rposes-proses tersebut - dan berpengaruh besar terhadap perubahan sifat-sifat pisik dari tanah. Dalam geologi, air dikenal sebagai salah satu unsur pelapukan (weather ing agent) yang merubah bentuk dan sifat-sifat tanah dan batu - batuan yang lama ke bentuk dan sifat-sifat yang baru, dan air juga berfungsi untuk mentransport bahan-bahan pelapukan ke tempat yang lain.

Air yang berasal dari precipitation jatuh di permukaan bumi dapat diterima langsung permukaan tanah maupun oleh vegetasi sebagai penutup permukaan tanah. Siklus air dalam hidrologi adalah bahwa sebagian akan menguap (evapo-transpiration) kembali ke atmosphere dan sebagian mengadakan infiltrasi, perkolasi dan sub surface flow didalam tanah dan bagian lain mengalir pada permukaan tanah sebagai surface runoff, dan setelah aliran-aliran tersebut terkumpul dalam sungai, danau dan laut diuapkan kembali ke atmosphere untuk selanjutnya dijadikan presipitasi.

Perilaku air didalam tanah mempunyai pengaruh pada perilaku tanah da - lam menentukan sifat pisiknya.

Pada umumnya longsoran terjadi bersamaan dengan intensitas hujan yang menjadikan tanah jenuh air yang berkelebihan dan menambah besar berat masa tanah yang akan longsor dan dipihak lain kekuatan geser dari tanah menurun.

Kekuatan geser tanah yang mengadakan perlawanan terhadap tegangan geser yang timbul didalam tanah ditentukan oleh tegangan efektip yang merupakan besarnya bidang kontak antar partikel-parrtikel dalam tanah. Dengan membesarnya pore water pressure maka tegangan efektip menjadi berkurang yang berarti kekuatan geser dari tanah berkurang yang dapat mengakibatkan keruntuhan lereng yang menghasilkan longsoran.

Kemiringan dari lapisan tanah ikut menentukan terjadinya longsoran pada lereng alam. Kebanyakan longsoran alam terjadi pada saat dimana - lapisan permukaan yang permeable jenuh berkelebihan air melongsor kebawah menurut kemiringan lapisan tanah dibawahnya yang relatip lebih - segar.

Suatu tinjauan tentang stabilitas lereng akan lengkap apabila problema terganggunya stabilitas lereng yang menghasilkan longsoran ditinjau da ri hidrologi, geologi dan geoteknik.



#### HIDROLOGI

#### I. PENGENALAN

Longsoran lereng adalah suatu gejala alam, dimana suatu lereng yang dikatakan seimbang pada suatu saat pada saat yang lain karena timbulnya faktor-faktor pengganggu keseimbangan maka keseimbangannya menjadi terganggu sehingga lereng itu akhirnya long sor.

Faktor-faktor pengganggu keseimbangan tersebut berasal dari alam sendiri. Salah satu faktor tersebut yangmempunyai pengaruh besar terjadinya kelongsoran pada lereng alam dan lereng buatan - manusia dan sangat menentukan adalah sir. Air mutlak dibutuh - kan bagi semua kehidupan dibumi karena tanpa sir tidak akan ada kehidupan. Air dapat pula memberi kesejahteraan bagi umat manusia tapi sebaliknya sir dapat mengakibatkan malapetaka. Per - tanyaannya adalah sampai sejauh mana manusia mampu menguasai atau mengendalikan agar malapetaka terhadap manusia dapat berkurang. Air dapat merubah suatu keadaan sehingga terciptalah suatu kondisi yang lain yang memerlukan perhatian manusia.

Dalam engineering geologi air adalah salah satu unsur pelapukan (weathering agent) yang dapat merubah perwujudan dan sifat pi - sik dari batu-batu dan tanah dari suatu lereng yangsemula sta - bil menjadi tidak stabil dan kemudian runtuh.

Dari segi engineering geoteknik, air menambah berat massa batu atau tanah sehingga meruntuhkan lereng karena keseimbangan terganggu. Selain dari pada itu air merubah soil engineering property dengan menjadikan kekuatan geser (shear strength) yang memberi perlawan terhadap longsoran menjadi kecil.

Tegangan air dalam tanah bertambah besar apabila pore water pressure meningkat dan mengakibatkan merenggangkan kontak an tar butir-butir tanah sehingga kekuatan geser tanah yang dida sarkan pada besarnya kontak tersebut menjadi berkurang dan tidak mampu melawan tegangan geser yang timbul dari massa tanah
yang longsor.

Aliran air tanah yang menuju pada permukaan lereng (seepage) dapat membawa butir-butir tanah sehingga stabilitas lereng terganggu dan dapat mengakibatkan longsor.

Banyak longsoran terjadi sesudah terjadi hujan lebat dengan periode yang agak lama sehingga tanah atau batu-batu dalam keadaan lebih dari pada jemuh air. Karena air merupakan salah satu faktor utama penyebab longsoran maka sebaiknya air dipelajari dan dipahami mengenai siklusnya yaitu dari mana air datang dan bagaimana
kelakuannya dan kemana air pergi. Harus diakui bahwa ada longsoran
lereng alam yang dapat diatasi dan ada yang tidak dapat atau belum
dapat diatasi oleh manusia.

Untuk dapat mengenal dengan baik tentang air sebaiknya dipelajari siklus air dalam hidrologi.

#### II. SIKLUS HIDROLOGI :

Precipitation yang jatuh dibumi sebagai hujan diterima oleh vege - tasi dan langsung oleh permukaan tanah. Hujan yang tertangkap oleh vegetasi, permukaan tanah dan air yang terbuka, diuapkan (evporati on) kembali dalam bentuk uap-uap air ke atmosphere.

Selain dari pada itu terjadi bentuk penguapan yang lain yaitu le - wat daun-daun vegetasi yang disebut transpiration.

Karena adanya dua macam penguapan pada vegetasi maka penguapan untuk vegetasi disebut evapotranspiration.

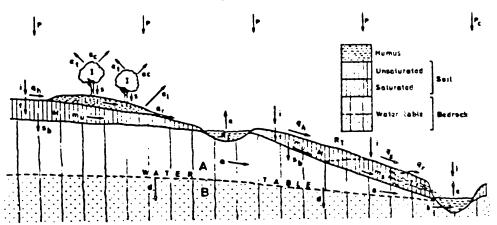
Air yang jatuh pada permukaan tanah sebagian memasuki permukaan ta nah (infiltration) dan seterusnya menerobos (percolation) lapisan-lapisan tanah yang ada dibawah permukaan tanah karena gaya gravi - tasi dan untuk selanjutnya berkumpul dengan permukaan air didalam tanah.

Air dalam tanah mengalir dan akan keluar pada permukaan yang bebas dalam bentuk mata air, sungai-sungai, danau dan laut dan akhirnya menguap dan kembali ke atmosphere.

Bagian lain dari air yang tidak dapat memasuki permukaan tanah a-kan mengalir pada permukaan tanah sebagai surface runoff untuk -menggabungkan diri dengan sungai yang seterusnya mengalir ke laut.

Penguapan (evaporation) dan transpiration merubah air dalam bentuk uap air kembali ke atmosphere dan karena terjadi kondensasi ber -

The hillslope hydrological cycle



Precipitation (gross rainfall)	P	Horton overland flow	<b>Q</b> r
Channel precipitation	Pc	Saturated overland flow	9,
Precipitation intensity	i	Return flow	q,
Evapotranspiration	•,	Pipe flow	t
Canopy interception loss	<b>e</b> c	Pipe storage	7
Interception and canopy storage	Ì	Unsaturated throughflow	m,
Stemflow and drip	3	Saturated throughflow	m,
Litter flow	1	Soil-moisture storage	M
Litter interception loss	€,	Seepage into bedrock	\$,
Litter storage	Ĺ	Interflow in bedrock	ě
Evaporation		Aeration zone storage	A
Depression storage	R.	Deep seepage	d
Detention storage	R,	Baseflow	b
Infiltration	1	Groundwater storage	В

Components of the hillslope hydrological cycle

ubah menjadi precipitation lagi. Siklus air yang demikian itu akan berulang terus.

Dapat dinyatakan bahwa siklus hidrologi adalah siklus gerakan air dari permukaan bumi (permukaan tanah, vegetasi, sungai, danau dan laut)ke atmosphere dan dikembalikan ke bumi lagi sebagai precipitation dengan perwujudan hujan dan seterusnya.

Tahap-tahap yang ditempuh siklus hidrologi dapat berdeda-beda misalnya siklus yang terpendek adalah jatuhnya precipitation lang sung di laut, sungai maupun danau. Selain dazi pada itu waktu yang ditempuh suatu siklus tidak sama. Intensitas dan prekwensi dari siklus tergantung dari geograpi dan iklim karena bekerjanya sebagai hasil dari radiasi solar yang berubah-ubah sesuai dengan latétude dan musim tahunan.

Dalam tinjauan stabilitas lereng maka yang perlu diperhatikan ada lah air yang masuk dalam tanah dan yang mengalir pada permukaan lereng karena dapat mengganggu stabilitas lereng.

#### **PRECIPITATION**

Hidrologi dari suatu region tergantung pada : iklim, topograpi , dan geologinya.

Bagian terbesar dari iklim tergantung pada posisi geograpis permukaan bumi. Faktor iklim yang penting adalah precipitation dan cara bagaimana terjadinya, kelembaban (humidity), temperatur dan angin, yang kesemuanya itu memberi efek pada penguapan (evaporati on) dan transpirations. Topograpi mempunyai arti yangpenting dalam arti memberi efek pada precipitation dan terbentuknya danau, tanah rawa serta aliran cepat dan lambat pada permukaan tanah (runoff). Pengaruh penting dari geologi adalah topograpi permuka an dan lapisan-lapisan batu dan tanah yang ada dibawahnya dimana air memasuki permukaan tanah dan bergerak dan mengalir bersama - air didalam tanah ke sungai, danau maupun laut.

Kebanyakan sumber hujan berasal dari lautan samudra.

Penguapan yang terjadi pada permukaan laut yang berupa uap air akan terserap oleh aliran udara yang melintasi permukaan lautan samudera.

Udara yang bermuatan uap air ini menjaga agar uap air itu terus terserap sampai mendingin dibawah temperatur titik embun atau - suatu temperatur yang cukup rendah untuk menjadikan uap air tersebut menjelma sebagai precipitation dalam perwujudan air hujan.

#### Precipitation diklasifikasikan sebagai :

#### - Convective precipitation

adalah precipitation yang disebabkan karena jatuhnya tempera tur dari suatu massa udara karena convection, artinya udara pa nas yang lembab naik dan mendingin kemudian untuk membentuk awan dan menjadi precipitation hujan.

#### - Orographic precipitation

adalah sebagai hasil adanya aliran udara diatas permukaan laut samudera yang meliwati daratan dan terbelok keatas karena pe - gunungan, pantai, untuk kemudian mendingin dibawah temperatur yang jenuh.

#### - Cyclonic precipitation

adalah apabila suatu daerah yang bertekanan rendah akan dapat menarik udara yang disekitarnya sehingga akan memindahkan udara yang bertekanan rendah ke atas untuk mendingin dan menjadi precipitation hujan.

Sebagian dari precipitation yang ditangkap dan ditahan vegetasi akan diuapkan (evaporation) kembali ke atmosphere sedangkan bagi-an lain yang jatuh pada permukaan tanah akan memasuki permukaan -tanah (infiltration) dan akan ada pula yang mengalir pada permu -kaan tanah yang berlereng yang dapat menimbulkan erosi.

#### INTERCEPTION

Interception adalah tertangkap dan tertahannya precipitation hujan dalam vegetasi oleh daun-daun dan dahan-dahannya yang untuk selanjutnya akan diuapkan kembali ke atmosphere.

HORTON memandang bahwa total interception terdiri dari 2 bagian :

- \* memenuhi persyaratan sebagai penyimpanan permukaan dari vegetasi (surface storage) dan
- \* terjadinya penguapan selama hujan

hal mana diperkuat oleh LINSLEY, KOHLER dan PAULHUS.

Persamaan untuk interception menjadi :

$$V_i = S_i + C_p F_a t_r$$

dimana :

V; = jumlah interception oleh vegetasi

S<sub>i</sub> = kapasitas penyimpanan (storage capacity)
setiap unit dari daerah yang diproyeksikan

C perbandingan antara daerah permukaan vegetasi dan daerah yang diproyeksikan

t = lamanya hujan

Kemudian oleh HOOVER diselidiki bahwa canopy interception mempunyai prosentasi yang besar pada hujan kecil dan prosentasi yang kecil pada hujan yang lebat.

Suatu analisa untuk canopy dan litter interception telah diberikan oleh HELVEY dan PATRIC ,

$$R = P - I = P - (C + L)$$
  
 $C = P - (T + S)$   
 $L = (T + S) - R$ 

P = jumlah hujan selurunnya (gross rainfall)

I = kehilangan karena interception (intercpetion loss)

C = hujan yang tertahan dalamc anopy

L = litter (daun-daun yang jatuh dibawah pohon-pohon)

T = air hujam yang jatuh langsung pada litter lewat celah-celah
 dalam canopy (throughfall)

S = aliran air yang lewat batang pokok pohon ke litter

R = air hujan yang mencapai tanah (net rainfall)

Hujan yang tertangkap canopy dan litter akan menguap kemudian, dan sebagian yang tertahan canopy dapat jatuh kebawah menambah - air yang tertangkap oleh litter dan dapat pula dipandang sebagai precipitation.

Dengan demikian jumlah air hujan yang jatuh pada permukaan tanah

dikurangi dengan interception oleh vegetasi yang kemudian diuapkan kembali ke atmosphere.

#### PENGUAPAN (EVAPORATION)

ia. .. to

Penguapan adalah suatu proses setelah precipitation mencapai per - mukaan bumi kembali ke atmosphere dalam bentuk uap air.

Dalam hal jumlah air yanghilang, seorang ahli hidrologi memandang bahwa jumlah kehilangan tersebut disebabkan karena penguapan (eva poration) yanglangsung dan yang tidak langsung yaitu lewat tumbuh tumbuhan yang disebut transpiration.

Penguapan yang langsung adalah penguapan air dari :

- \* permukaan air seperti sungai, danau, laut atau genang an air pada permukaan tanah.
- \* permukaan tanah yang rendah
- \* permukaan air yang tertahan pada daun dalam vegetasi

Penguapan yang tidak langsung adalah transpiration yang berasal dari tumbuh-tumbuhan (vegetasi). Kombinasi antara evaporation ber asal dari air, permukaan tanah, precipitation yang intercepted - oleh vegetasi dinamakan total evaporation atau evapotranspiraton

Evaporation adalah suatu bentuk transformasi dari bentuk cairan (liquid) ke gas atau uap air dan berkaitan dengan :

- \* perbedaan dalam vapor pressure pada permukaan air dengan udara yang ada di atasnya
- \* solar radiasi
- \* temperatur air dan udara
- \* angin
- \* tekanan atmosphere
- \* kelembaban relatip
- \* kwalitas air

Untuk merubah keadaan dari molekul air dari cair ke gas memorlu - kan suatu enersi sebagai input dan proses yang paling aktip ada - lah radiasi langsung dari matahari (solar radiasi).

Awan menghalangi pemberian spectrum sepenuhnya dari radiasi matahari ke permukaan bumi dan akan mengurangi enersi input sehingga proses evaporation menjadi lambat.

Dengan naiknya uap air ke atmosphere karena evaporation maka lapi san udara yang basah yang ada di atas permukaan bumi harus dipindahkan untuk diganti dengan udaran yang kering agar terjadi pro ses evaporation. Untuk memindahkannya diperlukan angin.

Apabila kelembaban udara naik maka kemampuan untuk menyerap uap air dari evaporation berkurang sehingga evaporation menjadi ber - kurang pula.

Seperti telah diuraikan di atas, untuk terjadinya evaporation diperlukan input enersi. Dengan demikian apabila temperatur udara dan permukaan bumi tinggi maka terjadinya evaporation akan lebih cepat daripada apabila temperatur sejuk (cool) karena enersinyalebih tersedia. Apabila kapasitas dari udara untuk menyerap uapair meningkat dengan meningkatnya temperatur maka temperatur udara mempunyai efek rangkap apabila dibandingkan dengan temperaturtanah dan air.

Kwalitas air mempunyai pengaruh terhadap kecepatan evaporation.

Kecepatan evaporation pada salt water kurang apabila dibandingkan terhadap fresh water, demikian pula berkurang apabila specific - gravity bertambah besar.

#### PERMUKAAN TANAH

Suatu faktor yang penting yang memberi efek pada besarnya volume evaporation dari suatu permukaan tanah adalah evaporation oppor - tunity atau tersedianya air.

Selama permukaan tanah jenuh air, ada kemungkinan bahwa kecepatan evaporation tidak akan berbeda besar dengan permukaan air bebas pada temperatur yang sama.

Apabila permukaan tidak jenuh air, kecepatan evaporation terbatas pada kecepatan air yang ditransfer dari bawah ke permukaan tanah. Karena panas spesifik untuk tanah lebih rendah dari pada air, maka temperatur dari permukaan tanah mempunyai variasi yang besar daripada muka air dalam danau atau reservoir. Perbedaan selanjut-

nya adalah surface cooling pada air menimbulkan convection currents yangbekerja sebagai stabilisasi temperatur pada permukaannya. Dengan sendirinya range tahunan dari kecepatan evaporation pada permukaan - tanah lebih besar daripada permukaan air.

#### **VEGETASI**

Sebagian dari seluruh precipitation tertahan (intercepted) oleh permukaan vegetasi yang terbuka. Dengan demikian air yang tertahan di - kembalikan ke atmosphere oleh evaporation. Seperti halnya pada eva - poration permukaan tanah, besarnya air yang hilang tergantung pada evaporation opportunity.

Karena daun-daun dari pohon-pohon atau semak-semak yang menahan air relatip luas setiap unit area maka bagaimana pun juga kecepatan eva-poration pada unit areanya lebih besar dari pada per unit area dari permukaan air. Air yang teresedia pada per unit area pada vegetasi lebih besar daripada muka air dipandang pada luas permukaan.

Air pada daun-daun pohon atau semak secara normal lebih cepat meng - auap karena lebih baik terbuka dan uap air lebih mudah bergerak wa - laupun oleh angin kecil. Sebaliknya air (moisture) yang tertahan dalam rumput yang rapat, mungkin udara dalam rumput sangat terbatas dan perbedaan tekanan uap dengan cepat menurun menjadi nol.

#### TRANSPIRATON

Transpiration adalah suatu proses dimana air didalam tanaman di - transfer ke atmosphere sebagai uap air. Semua jenis vegetasi memerlu kan air untuk hidup dan pertumbuhannya. Kebanyakan tanaman mempero - leh air dari tanah lewat akar-akarnya, batang pohon serta dahan-da - han dan untuk selanjutnya terjadi transpiration ke udara lewat daun-daun dari tanaman. Kecepatan transpiration akan berkurang banyak karena hujan, embun dan udara yang lembab, sedangkan kecepatan absorbsi air dalam tanah untuk tanaman tergantung dari :

- \* kapasitas air tanah untuk menyediakan air kepada jaringan akar
- \* tingkat kondisi atmosphere untuk transpirasi

Dalam kenyataan sulit kiranya dilapangan untuk memisahkan antara evaporation dan transpiration apabila tanahnya tertutup oleh vegetasi sehingga kedua proses disebut evapo-transpiration.

Jumlah air (moisture) yang hilang dari suatu daerah karena evapo transpiration tergantung dari :

- \* precipitation
- \* faktor-faktor iklim, temperatur dan kelembaban
- \* cara kultivasi dan vegetasi yang ada.

Pohon-pohon besar yang akarnya dapat memasuki tanah sampai dalam akan menyerap air ke atas untuk kemudian diuapkan lewat daun - daun (transpiration) dan permukaan tanah tidak terkena pengaruh evaporation.

Transpiration umumnya terjadi pada siang hari dibawah pengaruh - dari radiasi solar, dan pada malam hari pori (stomata) dari ta - naman tertutup sehingga hanya sedikit air (moisture) yang terbawa pada permukaan tanaman.

#### GUTTATION

Adalah suatu proses untuk mengeluarkan kelebihan air yang di-serap oleh akar untuk transpiration. Air dari guttation terkum -pul pada ujung-ujung dari daun-daun dan dalam keadaan yang luar biasa seluruh daun dapat tertutup air.

Guttation adalah disebabkan oleh tekanan didalam sistem tanamanyang disebut root pressure. Sejumlah air dapat hilang karena gut tation dan biasanya terjadi pada malam hari. Selain dari pada itu dapat pula terjadi pada siang hari asal tercipta kondisi yang sama untuk terjadinya guttation.

#### EVAPO-TRANSPIRATION

Untuk dapat memperkirakan besarnya precipitation yang efektip - yangmenghasilkan surface runoff, maka diadakan pendekatan untuk menghitung besarnya evapo-transpiration untuk kemudian dikurangi dari precipitation seluruhnya.

Penelitian ini diadakan oleh HORTON yang selanjutnya diteruskan

#### oleh PENMANN :

$$H = E + K = R_c (i - r) - R_p$$

dimana :

H = jumlah budget panas dari permukaan

E = enersi yang tersedia untuk evaporation dan evapotranspiration

K = enersi yang diperlukan untuk memanaskan udara

R = enersi yang diterima dari matahari

r = permukaan albedo

R<sub>p</sub> = enersi radiasi oleh bumi

#### INFILTRASI DAN PERCOLATION

Precipitation yang jatuh sebagai hujan pada permukaan bumi akan - membasahi permukaan tanah dan vegetasi. Setelah permukaan tanah - basah sama sekali maka air hujan akan mengadakan infiltrasi keda - lam lapisan permukaan tanah apabila permukaan tersebut permeable, dan akan mengalir pada permukaan sebagai surface ronoff sebagai - suatu aliran apabila permukaannya tidak permeable.

Yang penting dalam tinjauan tentang longsoran lereng adalah berapa bagian dari precipitation hujan yang jatuh pada permukaan tanah yang memasuki permukaan tersebut dan berapa yang mengalir pada per mukaan lereng, mengingat bahwa pengaruh air dapat merubah keadaan seimbang menjadi tidak seimbang dan merubah sifat-sifat fisik tanah dan batu.

Pertama-tama air hujan yang jatuh pada permukaan tanah akan mengadakan infiltrasi kedalam permukaan tanah sampai lapisan tanah
tersebut tidak dapat menerima air lagi dan sisa air hujan selanjut
nya akan mengalir pada permukaan sebagai surface runoff.

Pada lapisan permukaan tanah yang agak sulit dimasuki air, walau pun infiltrasi capacitynya belum tercapai maka sebagian air hujan
akan mengalir pada permukaan hal mana kemiringan lereng mempunyai
pengaruh. Mudah dan tidaknya air mengadakan infiltrasi kedalam per
mukaan tanah sampai pada lapisan-lapisan dibawahnya tergantung dari derajat besar kecilnya permeability dari lapisan-lapisan tersesebut.

Tanah yang tertutup oleh vegetasi selalu mempunyai suatu derajat permeability tertentu karena disebabkan karena pertumbuhan dari sistem akarnya.

Air yang mengadakan infiltrasi kedalam permukaan tanah dengan meliwati lapisan-lapisan yang ada dibawahnya akan menerobos (per
colation) terus kebawah dibawah pengaruh gravitasi sampai air
tersebut mencapai permukaan phreatic dari zone yang jenuh air.
Berbagai-bagai tanah mempunyai infiltration rate yang berbeda beda, dan setiap jenis tanah mempunyai infiltration capacity f
sendiri-sendiri yang diukur dalam mm/h.

Sebagai contoh dapat dikemukakan bahwa pada tanah granular yang mengandung gravel dan pasir yangmempunyai permeability besar air akan dengan mudah dan cepat mengadakan infiltrasi dan mem - bentuk permukaan phreatic dibawah permukaan tanah. Mungkin pada hujan lebatpun tidak akan menghasilkan surface runoff.

Sedangkan pada tanah yang berlempung, air sukar sekali mengada - kan infiltrasi, sehingga pada hujan yang kecilpun akan dapat menghasilkan surface runoff. Besarnya rate hujan yang jatuh i - memberi efek berapa banyaknya air hujan yangmengadakan infiltra si dan berapa yang runoff.

Tergantung dari beberapa faktor, maka runoff pada permukaan lereng dapat menghasilkan erosi pada lereng dan yang memasuki permukaan tanah menjadikan satuan massa tanahnya bertambah berat
dan dengan meningkatnya pore water pressure mengurangi tegangan
efektip antar butir-butir tanah berarti menurunnya kekuatan geser (shear strength) tanah dan akhirnya keseimbangan lereng terganggu dan longsor.

NASSIF dan WILSON mengadakan penelitian tentang besarnya infil - trasi rate dan sampai pada kesimpulan bahwa untuk setiap jenis - tanah dengan jatuhnya hujan yang konstan, infiltrasi rate- nya menurun sesuai dengan persamaan dari HORTON.

$$f = f_c + u^{e^{-kt}}$$

- f = maximum rate of instantaneous infiltration (mm/h) dari sesuatu tanah yang dapat menyerap air hujan
- f<sub>c</sub> = steady minimum infiltration rate (mm/h) , dengan anggapan bahwa untuk sesuatu tanah kurang lebih konstan.
- f = initial maximum infiltration rate pada permulaan hujan (mm/h )
- k = konstan yang positip dari permeability sesuatu tanah atau permukaan (min<sup>-1</sup>)
- t = waktu (dalam jam) mulainya hujan.

k adalah fungsi tekstur permukaan: apabila ada vegetasi maka k - adalah kecil pada permukaan tekstur yang halus seperti tanah gun-dul akan memberi harga k yanglebih besar.

Faktor-faktor f dan f :

adalah fungsi dari jenis tanah dan penutup permukaan tanah.

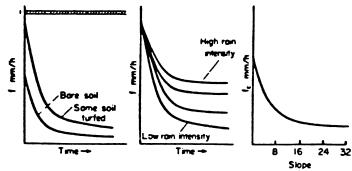
Tanah granular yang gundul mempunyai harga  $f_0$  dan  $f_c$  yang besar sedangkan tanah lempung yang gundul mempunyai harga  $f_0$  dan  $f_c$  yang ke cil, akan tetapi kedua harga  $f_0$  dan  $f_c$  akanmenjadi besar apabila pa da kedua jenis tanah tersebut ada rerumputan.

#### Faktor f :

- \* Adalah fungsi dari membesarnya kemiringan lereng sampai suatu batas tertentu (16% sampai 24%)
- \* Adalah fungsi dari kadar air mula-mula (initial moisture content) artinya makin kering tanah pada mula-mula, makin besar harga f.
- \* Adalah fungsi dari intensitas hujan. Apabila intensitas hujan i bertambah, bertambah pula harga f . Parameter i ini mempunyai efek yang besar terhadap f apabila dibandingkan dengan variabel yang lain.

Korelasi dari parameter tersebut diatas diwujudkan dalam bentuk gra fik sebagai berikut ;

GAMBAR



The variation of infiltration capacity

Harga-harga k, f dan f untuk bermacam-macam tanah dari penelitian tersebut di atas dicantumkan dalam suatu tabel dibawah ini.

Ternyata parameter k dan f adalah relatip stabil untuk tanah ter tentu dan tidak banyak berubah secara menyolok terhadap intensitashujan, sebaliknya f berubah banyak.

Representative values of K, fo and fe for different

 	soil types		_
Soil type	<b>f</b> o mm/h	fc mm/h	<i>K</i> min⁻¹

Soil t	ype	fo mm/h	∫¢ mm/h	<i>K</i> min⁻¹
standard	bare	280	6-220	1-6
agricultural	turfed	900	20-290	0.8
peat		325	2-20	1.8
fine sandy	bare	210	2-25	2-0
clay	turfed	670	10-30	1.4

Infiltrasi rate dari suatu tanah dinyatakan pula sebagai jumlah dari percolation dan air yang memasuki storage diatas permukaan air tanah.

Faktor-faktor lain yang mempunyai pengaruh terhadap harga f adalah

#### \* Tanah yang terbuka (exposed) :

Tetesan air hujan yang besar dan jauh dengan keras pada permukaan tanah mempunyai impek pemadatan dan membawa butir-butir tanah yang sangat halus memasuki pori-pori dalam tanah sehingga tanah tersebut lama kelamaan menjadi lebih sulit diterobos air (impermeable). De ngan demikian harga f $_{
m c}$  akan menurun dengan cepat. Demikian pula pe madatan yang dilakukan oleh manusia akan mengurangi infiltrasi capa city.

> \* Vegetasi yang rapat sebagai penutup permukaan tanah seperti rumput atau hutan membantu untuk memperbesar harga f, karena :

- Sistem akar yang rapat menembus tanah dibawah permukaan (sub soil)
- Lapisan organic debris membentuk permukaan seperti sponge
- Binatang dan insek membuat jalan keluar dan masuk dalam tanah
- Sebagai penutup permukaan mencegah terjadinya pemadatan tanahdan transpiration dari vegetasi memindahkan air dalam tanah , yang dengan demikian membantu proses infiltrasi.

#### AIR TANAH (ground water)

Air hujan yangmemasuki tanah dan menerobos kedalam lapisan-lapis an tanah dibawah permukaan disebut air tanah. Banyaknya air ini dapat dikumpulkan dalam suatu permukaan tergantung dari priori tas dari sub surface. Strata yang dapat menyimpan air disebut aquifers yang dapat terdiri dari bahan-bahan yang unconsolidated seperti pasir, gravel atau tanah yang consolidated seperti batu pasir atau batu kapur.

Batu kapur relatip impervious akan tetapi dapat larut oleh air dan biasanya mempunyai celah-celah yang lebar dimana larutan dapat melewatinya yangmenjadikan batu kapur bekerja sebagai aquifer.

Air yang berada dalam aquifer dikarenakan gaya gravitasi dan ber kehendak untuk mengalir kebawah melalui pori-pori tanah dan batu. Perlawanan terhadap aliran air dalam tanah berbeda banyak satu terhadap yang lain yang dinyatakan dalam permeability dari bahan. Aquifer dengan pori-pori besar seperti gravel kasar mempunyai - permeability yang besar apabila dibandingkan dengan tanah lem - pung yang berpori sangat kecil mempunyai permeability kecil.

Permukaan yang jenuh air dinamakan permukaan air tanah atau permukaan phreatic. Permukaan dapat mempynai kemiringan yang terjal dan akan tetap terjal apabila dapat cukup supplai air dari atas. Pada musim kering permukaan ini menurun dan pada musim hujan akan naik. Air dalam aquifer biasanya bergerak pelan-pelan dan me nuju ke permukaan air bebas yang terdekat seperti ke danau, sungai dan laut.

Air tanah dalam aquifer yang berada dibawah suatu lapisan yang impermeable berada dalam tekanan dan disebut confined aquifer -

dimana permukaan air dalam a quifer dapat naik, permukaan mana disebut piezometic surface.

Permeability adalah fungsi dari porositi, struktur dan sejarah - geologi dari bahan. Yang dimaksud dengan struktur adalah ukuran - butir, pembagiannya, orientasi, susunan dan bentuk dari partikel-partikelnya. Tanah yangmempunyai permeability yang berbeda antara arah vertikal dan horisontal adalah tanah anisotropic.

#### ALIRAN AIR DALAM TANAH

Aliran air dalam tanah mengikuti Darcy's Law, dengan asumpsi yang disederhanakan sebagai berikut :

- \* bahannya adalah homogen dan isotropis
- \* tidak ada zone kapiler
- \* aliran yang tetap (steady state flow)

Prinsip dari hukum Darcy adalah bahwa kecepatan aliran per satuan luas dari suatu aquifer adalah proporsional terhadap kemiringan - dari potential head yang diukur ke arah aliran.

Apabila dihubungkan dengan koefisien permeability,

$$v = ki$$

Untuk sesuatu aquifer dengan luas A, besarnya Q adalah ,

$$Q = vA = kiA$$

v = kecepatan air dalam m/hari yang dinamakan specific velo city

i = hydraulic gradient

 $i = \frac{d \phi}{d s}$ ,  $\phi$  adalah potential head

dengan demikian kecepatan menjadi,

$$v = -k \frac{d\emptyset}{dx}$$

$$q = -kH \frac{d\emptyset}{dx}$$

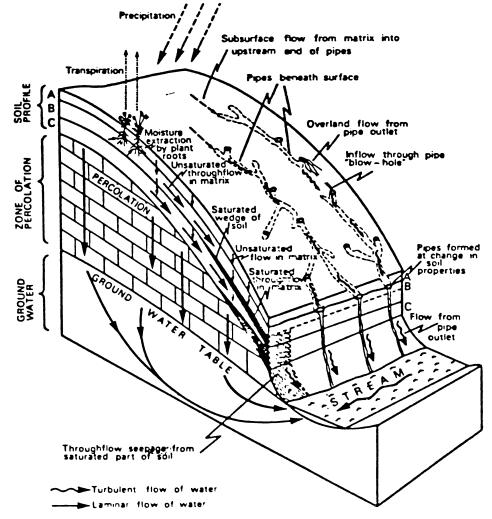
Apabila Ø potential headnya besar maka i menjadi besar berarti - kecepatan v menjadi besar pula, hal mana dapat membawa butir - butir bahan mengikuti aliran seepage keluar dari permukaan lereng

Dengan berjalannya waktu maka pada suatu saat lereng tersebut akan kehilangan keseimbangan dan bergerak untuk selanjutnya longsor.

# III. ALIRAN DIBAWAH PERMUKAAN TANAH PADA LERENG PERBUKITAN (Sub surface flow on hillslope)

Kebanyakan permukaan perbukitan tertutup oleh lapisan tanah dan dengan jatuhnya air hujan, airnya dapat mengadakan infiltrasi pada permukaan atau mengalir pada permukaan sebagai overland flow. Air yang memasuki permukaan tanah selanjutnya akan menyelusuri sejum - lah lintasan.

Pada hujan yang kecil airnya tertahan didalam tanah untuk kemudian diuapkan langsung maupun lewat daun-daun vegetasi (transpiration) sedangkan pada hujan yang lebat, sejumlah besar aliran air melin - tasi permukaan tanah sehingga kadar air tanahnya bertambah besar yang selanjutnya menerobos (percolation) vertikal kebawah lewat - propil tanah dan mengalir mendatar ke arah bawah lereng (downslope)



Flow routes followed by subsurface runoff on hillslopes

Gerakan dari soil moisture melewati matrix tanah yaitu melalui pori-pori antar granular dan struktur rongga-rongga (voids) yang kecil atau lewat pori-pori yang besar.

Gerakan yang melewati voids yang besar, lazimnya berwujud sebagai pipa dan mempunyai perlbagai ukuran mulai dari yang kecil yaitu beberapa sentimeter sampai yang berdiameter besar yaitu beberapa meter.

Gerakan air pada lereng perbukitan dibedakan antara,

- \* aliran matrix (matrix flow)
- \* aliran pipa (pipe flow)

#### Alira matrix

Aliran laminar dijumpai pada aliran matrix dan aliran terbuka pada aliran pipa.

Selanjutnya aliran matrix dibagi lagi dalam komponen :

- \* down slope
- \* vertikal

yang dapat terjadi pada kondisi jenuh air (saturated) dan tidak jenuh air (unsaturated). Dalam semua kasus, gerakan dari soil moisture mengi kuti suatu gradient dari hydraulic patential dan apabila laminar untuk
tunduk pada hukum Darcy.

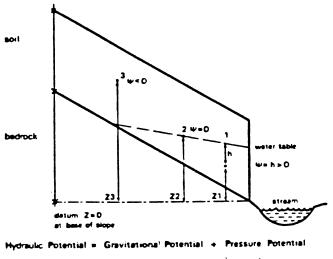
Soil moisture pada setiap titik seluruh propil dari lereng perbukitan - mempunyai suatu jumlah enersi tertentu yang berbeda-beda antara satu ti- tik ke titik yang lain.

Moisture yang bergerak sangat lambat didalam matrix mempunyai enersi yang hampir seluruhnya merupakan enersi potensial (potentian energy). Enersi potential ini tersusun oleh dua komponen :

- \* gravitasi
- \* potensi tekanan (pressure potential)

Potensi gravitasi (gravitational potential) adalah dikarenakan tinggi dari titik yang dipandang diatas suatu garis tetap (fixed datum) yang -biasanya diambil pada dasar lereng.

Pontesi tekanan adalah perbedaan antara tekanan air pori (pore water - pressure) dan tekanan atmosphere (atmospheric pressure) dan selain dari pada itu dapat pula dinyatakan dalam tinggi air (head of water) yang diperlukan untuk menghasilkan tekanan air pori yang ditinjaunya dan diukur dalam sentimeter air.



POINT 1	ø,	•	921	• '	h
POINT 2	<b>E</b> 2	•	922	•	0
FORT 3	ø.	•	62.	•	•

Definition of hydraulic potential for soil moisture on a hillslope

Dengan demikian jumlah potensi hidrolik (hydraulic potential) setiap unit air Ø adalah jumlah potensi gravitasi dan tekanan da - lam sentimeter.

$$\emptyset = z + \psi$$

z = tinggi titik yang dipandang diatas dasar lereng
Tekanan potensional diukur terhadap tekanan atmosphere.

- \* Apabila tekanan air pori lebih besar dari tekanan atmos phere, potensi yang demikian adalah positip. Dalam hal ini tanahnya jenuh air dan titik yang dipandang berada dibawah permukaan air dan tekanan positip (positive pressure) ini disebabkan karena berat kolam air yang diatas nya.
- \* Titik yang dipandang berada permukaan air memberikan te kanan potensi sama dengan nol selama tekanan air pori disitu adalah tekanan atmosphere.
- \* Titik yang dipandang berada di atas permukaan air dimana tanahnya tidak jenuh air hal mana timbul gaya-gaya tegang an permukaan (surface tesion forces) antara moisture de ngan dinding-dinding pori-pori sehingga menimbulkan

sedotan (suction) sehingga menjadikan tekanan-tekanan dalam moisture tanah kurang dari tekanan atmosphere. Perbedaan antara tekanan air pori dan tekanan atmosphere di sebut tegangan tarik (tension) dalam tanah atau potensi tekanan negatip (negative pressure potential)

Dalam hal ini diterima konvensi yang menyatakan: Apabila tekanan pori tanah lebih besar dari tekanan atmosphere, maka potensi te - kanannya adalah positip dan apabila kurang dari tekanan atmosphere adalah negatip.

Besarnya gaya tegangan permukaan (surface - tension forces) untuk sesuatu pori adalah berbanding terbalik proporsional terhadap radiusnya. Jadi, tekanan potensional untuk suatu lokasi tertentu da lam tanah ditetapkan oleh ukuran pori-pori yang terbesar yang ter isi dengan air ditempat lokasi tersebut.

Harga negatip yang besar dari tekanan potensial diberikan apabila hanya pori-pori yang terkecil terisi oleh air, sedangkan tekanan potensial sama atau mendekati dengan nol apabila semuanya akan tetap pori-pori yang terbesar dengan air.

Jelaslah bahwa untuk sesuatu tanah dengan distribusi ukuran poripori tertentu terdapat hubungan antara tekanan potensional dengan kadar air.

#### ALIRAN KEBAWAH LERENG (downslope flow)

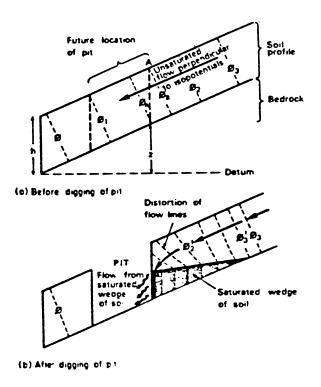
HEWLETT, HIBBERT dan WHIPKEY menyelidiki kecepatan dan dischargedari throughflow pada tanah permeable yang dapat mengalirkan se jumlah besar air ke bawah lereng (downslope) selama dan sesudah hujan lebat dan membandingkannya dengan situasi lereng perbukitan yang lain.

Yang dipelajari kebanyakan meliputi suatu permukaan tanah verti - kal yang terbuka (exposed) dan terkumpulnya air yang akan menga - lir keluar dengan mengadakan pengalian.

Penyelidikan mana identik dengan galian (cut) pada lereng perbu - kitan untuk keperluan pembuatan jalan, jalan kereta api maupun - saluran-saluran air.

Terkumpulnya air untuk merembes (seeping) keluar dari suatu permukaan bebas (free surface) hanya dapat terjadi pada sejumlah aliran yang jenuh (saturated). Hal ini disebabkan karena air pada permukaan bebas harus berada pada tekanan atmosphere agar air dapat meninggalkan pori-pori dalam tanah dan mengalir keluar. Jadi tanah yang berada pada permukaan tersebut harus jenuh air.

Apabila tanah pada permukaan sudah jenuh, maka air yang terkumpul yang menyebabkan tanah tersebut jenuh air meluas kearah atas dari lereng. Yang pertama-tama akan jenuh air adalah bagian bawah dari lereng.



Effects of a pit in distorting unsaturated downslope flow

Sebelum diadakan galian, aliran dan seluruh moisture menuju keba - wah lereng dan meliputi seluruh tebal tanah yang dalam kondisi yang tidak jenuh air.

Potensi tekanan dalam tanah seluruhnya adalah uniform. Sesudah di adakan galian, air dalam tanah yang belum jenuh itu tidak dapat me ninggalkan permukaan yang bebas itu sampai aliran moisture dari bagian atas lereng terkumpul kebawah untuk menjadikan tanah pada permukaan yang bebas jenuh air sehingga  $\psi \geqslant 0$ .

Dengan jadinya tanah pada permukaan bebas itu jenuh air maka hydraulic conductivity menjadi lebih besar daripada sebelumnya sehingga air yang mengalir keluar dari permukaan bebas tidak pada seluruh tebal tanah akan tetapi hanya dibagian bawah di mana tanahnya jenuh air.

Gejala semacam ini terjadi pada galian (cut) untuk pekerjaan - pekerjaan jalan misalnya yang pada permulaan galian pada din - ding galian vertikal dibagian atas lereng tidak menampakkan - suatu aliran air yang keluar dari dinding galian dan stabil , akan tetapi setelah selesainya pekerjaan konstruksi yang me - merlukan beberapa tahun, pada dinding tersebut kemudian meng - alirkan air dan menjadikan lereng yang terpotong tidak stabil.

Dengan demikian kondisi jenuh air akan memperluas permukaannya sejauh mana diperlukan untuk menerima aliran dari lereng bagian atas. Bagian permukaan yang jenuh air harus disokong oleh suatu tanah yang jenuh air berbentuk baji yang dapat memper - luas dirinya kearah atas lereng. Perluasan dan sebabnya baji initergantung dari aliran dari bagian atas lereng pada perubahan-perubahan apabila alirannya kembali, hal ini dapat dilihat pada ganbar dimana terbentuk suatu keadaan yang mantap (steady state) yang baru.

Potensi hydrolik sebelumnya telah berubah menjadi potensi hy - drolik yang baru dengan terbentuknya baji tanah yang jenuh air Apabila terjadi perubahan dan menjadikan tidak mantap (unsteady conditions) maka diperlukan pengaturan kembali dari distribusi dari moisture yang tetap meliputi propil tanah pada le - reng oleh perkerasan atau penyempitan dari baji tanah yang jenuh air itu.

Pola dari pengaturan kembali distribusi berbeda dengan pola sebelum diadakan penggalian tanah.

Aliran dibawah permukaan (sub surface flow) berbeda dari suatu tempat ke tempat lain yaitu terjadinya aliran yang cepat dan ada aliran yang lambat. Terbentuknya aliran dibawah permukaan adalah sebagai berikut

- \* Terutama pada lapisan propil tanah yang terdapat discontonuity dan organic matter dan dibawahnya tanahnya re latip impermeable
- \* Dalam propil tanah yang berbeda moisture conditionsnya dengan sebelumnya
- \* Perkembangan terjadinya lapisan-lapisan tanah, baik pe dogenic maupun sedimentary, dan tebal lapisan yang relevan adalah suatu faktor yangpenting dalam mementapkan distribusi dari aliran dibawah permukaan.
- \* Didalam tanah terjadi erosi hidrolik yang dapat memper besar pori-pori dan cracks menjadi pipa yang cukup besar yang dapat mengalirkan sejumlah besar air.
- \* Binatang-binatang dalam tanah, shrinkage cracks, lobanglobang akar termasuk faktor-faktor yang berpotensi pen ting terbentuknya channels tersebut, terutama pada dae rah - daerah dengan hujan lebat dan tanah organik.

Aliran air melewati voids sehingga voids dapat diklasifikasikansesuai dengan butir dan tipe struktural atau tekstural.

Sedangkan alirannya sendiri dapat diklasifikasikan sebagai

- \* Capilary (pori-pori terisi air)
- \* Non-capilary (sebagian dari pori-pori terisi air)
- \* Bulk (discontinous voids)
- \* Pipa (continous voids)

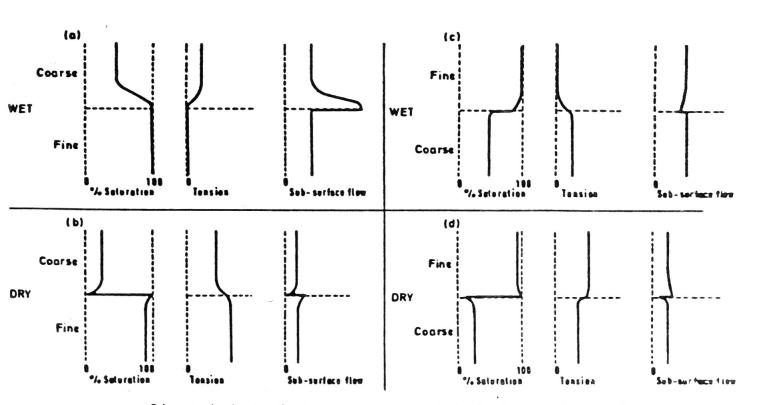
Gejala overland flow biasanya terjadi pada dasar dari lereng di mana tanah dibagian itu sudah jenuh air. Apabila aliran dibawah permukaan cepat dapat mengakibatkan naiknya permukaan tanah pada dasar lereng selama suatu hujan lebat yang tunggal saja. Demikian pula aliran dibawah permukaan yanglambat dapat menaikkan permukaan air tanah dibagian bawah lereng sesudah beberapa kali hujan lebat, sehingga mengakibatkan lebih basahnya moisture conditions pada dasar lereng apabila dibandingkan sebelumnya.

#### CONDISI UNTUK TERJADINYA LATERAL DIVESION OF FLOW

£liran didalam matrix tanah terutama adalah laminar mengikuti Hukum Dercy. Hydraulic conductivity bagaimana pun juga akan mengikat de - ngan kadar air dalam tanah dengan terisi pori-pori yang besar - be sar dan aliran utama akant erjadi meliwati pori-pori yang terbesar yang terisi air dan saling berhubungan.

Dengan demikian tanah yang berbutir kasar (coarse grained soil) dapat mengalirkan air yang banyak dan cepat apabila jenuh atau ham pir jenuh air, sedangkan pada tanah berbutir halus (fine grained soil) tidak dapat mengalirkan air banyak.

Dalam kondisi kering, pada soil moisture tension yang tinggi, poripori yang saling berhubungan pada tanah berbutir halus masih dalam keadaan jenuh air, sehingga alirannya seperti sebelumnya dan pada tanah berbutir kasar alirannya lebih kecil.



Schematic distribution of moisture content, tension and subsurface flow around a contact between different soil layers under wet or dry conditions and coarse overlying fine soil or vice-versa.

Dalam tanah yang berlapis memungkinkan terjadinya aliran yang menerus (throughflow).

Semisal tanah yang berbutir kasar berada diatas tanah yang berbutir halus pada bidang yang agak miring dengan kecepatan perkolasi mantap yang tinggi dari hujan, maka tanah yang berbutir kasar dengan mudah menerima infiltrasi air hujan pada moisture tension - yang rendah.

Dibawah bidang kontak, infiltrasi yang menjenuhkan lapisan yang berbutir halus mungkin kurang cepat apabila dibandingkan dengan intensitas hujan.

Meskipun demikian bahan-bahan yang halus menambah supaya menjadijenuh air, dan lapisan yang jenuh ini membantu bahan yang berbutir kasar yang ada diatasnya.

Karena pengaruh gravitasi, akan terjadi aliran dibawah permukaan ke arah bawah lereng pada semua lapisan yangmempunyai kemiringan itu, akan tetapi discharge dibawah permukaan yang terbesar akan terjadi tepat diatas bidang kontak dimana pori-pori yang besar terisi oleh air karena tanah tersebit adalah berbutir kasar dan jenuh air.

Dalam keadaan kering, tidak terjadi penambahan seperti hal tersebut diatas karena lapisan berbutir halus dapat lebih menerima infiltrasi dari air dari pada yang berbutir kasar.

Sebaliknya apabila lapisan yang berbutir halus berada diatas yang berbutir kasar, konsentrasi dari aliran dibawah permukaan yang terjadi tidak dapat dibandingkan.

Kecepatan aliran dapat bertambah besar sesuai dengan luas dari diameter pori, hal mana terjadi pada aliran jenuh air dibawah per mukaan yang predominant sehingga aliran tidak jenuh air diabai - kan.

Dalam kenyataan tidak dijumpai bidang kontak yang tegas antar lapisan akan tetapi terjadi perubahan yang bertahap dari sifat sifat tanah (soil properties) merupakan ciri-ciri yang normal yang
dapat menjadikan kecepatan yang besar pada aliran dibawah permu kaan dengan selama kondisinya memungkinkan untuk itu.

Berbagai-bagai komponen pisik pada lereng perbukitan yang memberi reaksi terhadap hujan , dipandang dari kecepatan dari reaksi tersebut adalah :

#### \* Infiltrasi excess overlad flow :

adalah apabila intensitas hujan lebih besar dari pada kapasitas infiltrasi.

#### \* Saturation overland flow

dapat dibagi dalam 2 tipe :

- tanahnya sebelumnya sudah jenuh air sehingga terjadi satura tion dan infiltration excess overland flow
- Pertumbuhan ke-jenuhan air dalam tanah selama hujan lebat jatuh dapat diperoleh dari downslope flow dari sub surface water yang cepat atau dari tambahan air perkolasi yang diperoleh dari arah vertikal.

Setelah kejenuhan air mencapai permukaan tanah hal mana memer lukan waktu, maka pada hujan selanjutnya akan menambah air danmembentuk overland flow.

#### \* Return flow :

adalah sub surface flow yang kembali ke permukaan selama terjadi hujan lebat atau sesudah terjadinya hujan dimana sub surface flow dipaksa muncul ke permukaan meliwati lapisan permeable yang tipis.

#### \* Saturated sub surface flow :

adalah aliran yang kontinyu ke dasar lereng didalam tanah dan selalu lebih lambat daripada overland flow kecuali dijumpai pipa-pipa.

#### \* Unsaturated sub surface flow :

karena reaksi yang lambat maka berkaitan dengan unsaturated flow

#### \* Groundwater flow :

Perbedaan antara saturated sub surface soil flow dan groundwa - ter flow adalah bahwa waktu perkolasi, hydraulic gradients dan permeabilities yang kesemuanya itu menunjukkan gejala lebih lambat pada groundwater flow. Groundwater flow seakan-akan me - lewati unsaturated dari pada saturated through flow dipandang - dari waktu yang ditempuhnya.

Bila sub soil dan bedrock permeable maka groundwater flow akan lebih cepat.

## FAKTOR-FAKTOR YANG MEMBATASI SUB SURFACE FLOW

Sifat pisik dan dalamnya tanah adalah merupakan faktor yang penting dalam hal sub surface flow production.

#### Tanah:

Pada tekstur yang kasar (predominan pasir dan batu) biasanya - didominir oleh aliran vertikal dan apabila tanah ini dalam ma-ka terjadinya sub surface flow akan terlambat.

Pada tekstur yang halus akan memberi perlawanan terhadap ali - ran vertikal dan lebih dahulu menghasilkan sub surface flow pa da kedalaman yang dangkal. Struktur tanah memegang peranan pen ting. Adanya retakan-retakan, celah-celah, lobang-lobang - lainnya pada tekstur tanah kasar tidak berpengaruh akan tetapi sangat berpengaruh pada tekstur tanah yang halus karena me - mungkinkan terbentuknya saluran-saluran untuk aliran jenuh air maupun tidak jenuh air.

## IV. VEGETASI SEBAGAI PENUTUP PERMUKAAN TANAH

Vegetasi yang secara langsung berkaitan dengan :

- \* terpeliharanya kapasitas infiltrasi
- \* efek dari bahan organik dan struktur tanah, kerapatan/ kepadatan dan porositi.

Efek vegetasi sebagai penutup yang perlu diperhatikan adalah :

- \* akar-akar yangmati dan membusuk yang dapat suatu kedalaman yang dalam dari permukaan tanah menjadikan celah celah yang dapat dimasuki air bebas kearah vertikal .
- \* baik akar-akar yang tumbuh maupun yang membusuk memberi efek pada struktur propil tanah sehingga pola sub surface flow sangat berbeda pada propil tanah yang tidak ada vegetasi.

Tanah dengan tekstur halus dapat menjadi lebih besar - saturated permeability characteristic-nya karena adanya

saluran-saluran bekas akar-akar yang menerobos lewat - lapisan-lapisan tanah yang menjadikan textural discontinuities.

## V. DEPRESION STORAGE

Dianggap, apabila intensitas hujan melebihi kapasitas infiltrasi permukaan maka bagian-bagian rendah(depression) yang ada pada - permukaan bumi akan terisi oleh air hujan dan selanjutnya mem - bentuk overland flow yang tipis yang mengalir ke arah bawah dari lereng yang merupakan discharge dari surface runoff.

Jadi yang dimaksud dengan depression storage adalah jumlah air yang tertahan dalam surface depression dan tidak ada runoff akan tetapi dengan sendirinya dapat menguap atau memasuki kedalam tanah.

Depression storage dapat menyebabkan gangguan stabilitas lereng karena dengan infiltrasi kebawah tanahnya menjadi lebih basah dan merubah sifat pisik tanah dengan berkurangnya kekuatan ge - ser tanah dan menambah berat tanah yang diperkirakan akan long - sor.

# VI. SURFACE DETENTION

Surface detention merupakan bagian hujan yang tetap berada pada permukaan tanah selama hujan lebat dan bergerak secara bertahap kebawah lereng oleh overland flow dan setelah hujan berhenti mengalir pada permukaan atau terserap oleh tanah.

Menurut VEN TE CHOW, surface detention adalah storage effect yang dikarenakan overland flow dalam transit. Cook telah menam - bah pengertian tentang effective surface storage yang dinyatakan sebagai dalamnya air yang berkehendak untuk runoff dan tidak untuk menjadikan surface storage.

# VII. ALIRAN PADA PERMUKAAN (overland flow)

HORTON menitik beratkan pandangannya tentang overland flow se -bagai perbedaan dari intensitas hujan dan infiltration rate dan sebagai asal mulanya storm hydrograph dan sebagai pendorong dari

erosi permukaan.

Urutan dari kejadian-kejadian apabila intensitas hujan melebihi infiltration rate dinyatakan COOK sebagai berikut :

- \* suatu lapisan tipis air terbentuk pada permukaan tanah dan merupakan permulaan dari surface dan downslope sur face flow.
- \* air yang mengalir terkumpul dalam surface depression
- \* setelah penuh, depression ini mulai dengan overflow
- \* overland flow memasuki saluran-saluran mikro, tergantung menjadi aliran kecil dan memasuki anak sungai kecil dan selanjutnya menuju ke sungai.
- \* aliran air permukaan sepanjang saluran pengumpul diterima saluran pengumpul.

W.W.EMMET memberikan gambaran bagaimana overland flow terbentuk.

Sebuah tetes air hujan jatuh dan tidak mencapai permukaan tanah karena intercepted oleh daun dari pohon atau atap rumah yang kemudian diuapkan atau karena transpiration kembali ke atmosphere.

Tetesan air hujan yang kedua jatuh pada surface depression alam maupun buatan (artificial). Sebagai depression storage artinya - tidak menghasilkan runoff.

Tetesan air hujan yanglain jatuh pada permukaan dan mengadakan - infiltrasi kedalam permukaan tanah. Besar infiltrasi rate berbeda beda antara berbagai tanah dan untuk suatu tanah tertentu pun akan berbeda tergantung pada kelembaban sebelumnya atau moisture terdahulu dari tanah.

Air yang mengadakan infiltrasi akan menjadi bagian dari moisture tanah, yang selanjutnya mengadakan perkolasi kedalam tanah - menuju ke permukaan air didalam tanah dan menjadi bagian dari sistem air tanah atau karena gravitasi pada tanah yang dalam men jelma menjadi interflow atau throughflow. Aliran ini dapat me - masuki aliran dalam saluran sebagai channel flow, menggabungkan dengan air tanah atau kembali ke permukaan tanah sebagai returnflow. Yang terkahir ini menjadi bagian dari surface runoff yang dinamakan overland flow.

Tetesan air hujan yang lain dapat jatuh langsung pada aliran dalam saluran (stream channel) atau pada permukaan air yang lain yang membantu terjadinya surface runoff. Air yang demikian dinamakan - channel precipitation dan tidak termasuk overland flow karena ti - dak mengalir pada permukaan tanah.

Masih ada tetesan air hujan yang lain jatuh pada permukaan tanah dan karena gravitasi mengalir kebawah menurut kemiringan permukaan tanah yang dinamakan overland flow, dan akan terjadi apabila jum - lah tetesan air atau besarnya precipitation melebihi infiltration capacity dari tanah dan depression storage capacity dari permukaan tanah.

Air yang mengalir kebawah lereng sebagai overland flow dinamakan - detention storage.

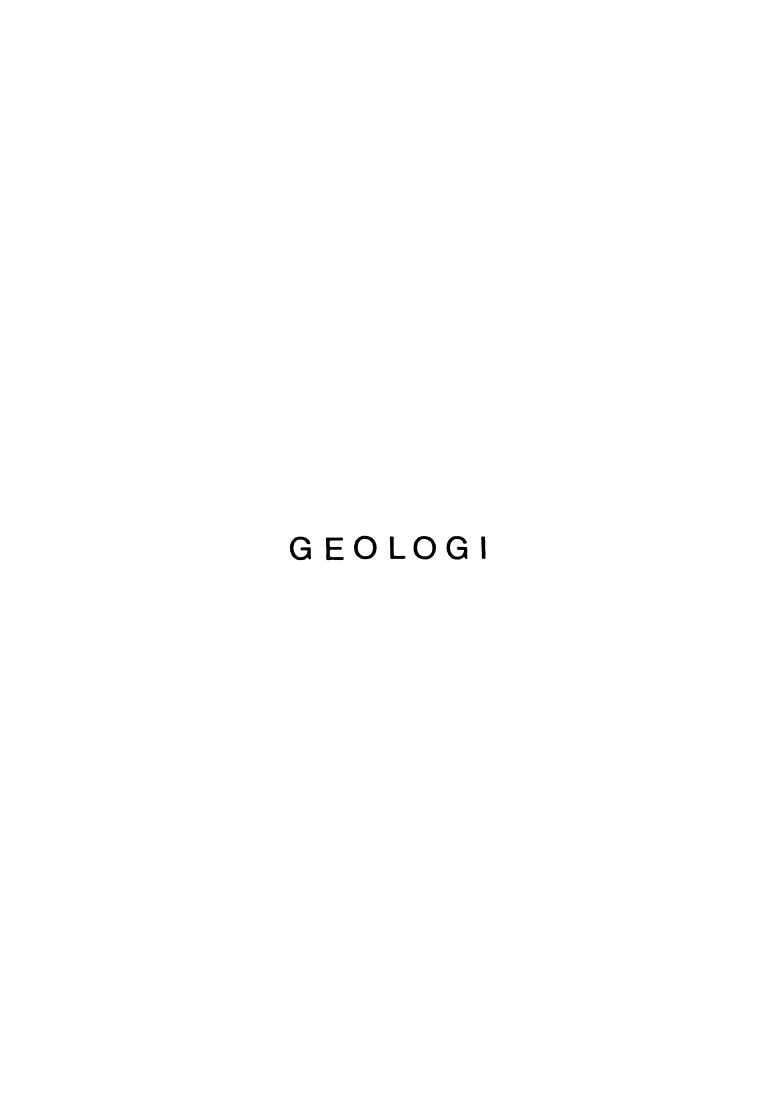
Dibandingkan dengan aliran dalam saluran (channel flow), maka overland flow mempunyai variable-vairiable yang lebih sulit untuk ditetapkan secara cermat dan penggunaan prosedure hidrolik yang se derhana untuk memperkirakan overland flow adalah sulit.

Overland flow adalah tidak steady dan berubah-ubah ruangnya selama disupply oleh hujan dan berkurang oleh infiltrasi.

Aliran dapat berupa aliran laminar, turbulent atau kombinasi ke - dua-duanya. Dalam aliran dapat dibawah atau diatas dalam yang kritikal atau dalamnya dapat berubah dari sub kritikal ke super kriti Dalam kondisi tertentu alirannya menjadi tidak stabil dan menimbul kan rollwayes atau rain wayes.

Bekerjanya impek tetesan air hujan pada sheet dari air yang mengalir memberi komplikasi pada overland flow. Tidak teraturnya permukaan topograpi pada lereng alam menyebabkan runoff mengadakan la teral concentration of flow yang akan mengakibatkan timbulnya ja ringan gelombang yangmenuju ke arah bawah lereng.

Aliran yang terganggu itu akan mampu untuk menggerus permukaan lereng dan mengangkat bahan yang digerusnya itu atau dengan kata lain erosi pada lereng alam.



#### I. PENGENALAN

Tinjauan tentang longsoran lereng (landslides) dan gerakan lereng (slope movements) yang lainnya mempunyai pendekatan yang berbeda antara pengeliatan sudut enjinering geolog dan enjinering sipil. Longsoran lereng pada lereng alam lebih kompleks apabila diban dingkan dengan longsoran pada lereng buatan manusia seperti tanah timbunan (fill) untuk jalan (embankment), tanggul saluran dan bendungan (earthdam) yang relatip lebih dapat dikontrol karena terdiri dari bahan yang selektip dan dapat dipadatkan sesuai de ngan persyaratan yang diminta.

Walaupun demikian tidak boleh dilupakan bahwa timbunan tanah tersebut buatan manusia diletakkan pada lapisan tanah/batu-batuan susunan alam sehingga harus pula ditinjau kestabilannya dari sudut geologi. Galian (cut) pada lereng alam yang dilakukan manusia untuk berbagai-bagai maksud, misalnya jalan raya, jalan kereta api dll.nya merubah kestabilan lapisan tanah/batu-batuan yang ada apabila dibandingkan dengan keadaan yang semula sebelum penggalian. Lapisan tersebut merupakan susunan lapisan dalam geologi, di mana setiap lapisan terdiri dari berbagai-bagai jenis tanah/ batu batuan yang masing-masing mempunyai perbedaan kekuatan pisik terhadap longsoran.

Phenomena longsoran lereng meliputi gerakan yang cepat dari longsoran batu-batuan yang akan membetuk suatu bidang longsor yang tegas dengan lapisan pendukung dibawahnya, dan gerakan yang lam bat merupakan deformasi jangka panjang dari suatu lereng yang pada umumnya tidak membentuk bidang geser yang tegas akan tetapi me
liputi suatu zone yang tebal dan terdiri dari suatu deformasi mana memiliki karakter dari suatu gerakan viscous yang disebut
creep.

Dalam peninjauan terhadap longsoran lereng dan gerakan lereng lainnya, seorang ahli geologi menitik beratkan perhatiannya pada pembentukan batu-batuan beserta susunan lapisan yang setelah terjadinya proses pelapukan maka sifat-sifat pisiknya berubah. Dalam geologi semuanya disebut sebagai batu sedangkan dalam enjinering sipil khususnya dalam mekanika tanah dibedakan antara batu dan tanah.

Unsur-unsur dalam geologi yang dipandang adalah :

- \* Pembentukan kulit bumi dimana pembentukan batu-batuan dipengaruhi oleh mineral, temperatur dan tekanan.
- \* Pelapukan (weathering) dari batu-batuan, pengangkutan bahan pelapukan (transportation) dan pengendapan (deposition).
- \* Struktur geologi yang meliputi stratigrafi, miringnya (dip), lipatan, patahan vertikal dan horisontal dari la pisan batu-batuan.
- \* Topograpi permukaan tanah
- \* Air dalam tanah dan gerakannya
- \* Vegetasi sebagai penutup permukaan tanah
- \* Waktu dalam sejarah geologi

Kestabilan lereng yang dicapai pada suatu saat akan berubah dengan berjalannya waktu dalam geologi karena terjadinya suatu siklus pem bentukan batu dan denudation dan deposisi sehingga akan merubah - sifat-sifat pisik dari batu-batuan untuk memberi perlawan terhadap longsoran lereng maupun gerakan pada lereng.

Siklus pembentukan batu-batuan adalah mulai dengan pembentukan batu beku (igneous rocks) yang setelah mengalami proses pelapukan - menjadi batu sedimen dan apabila memperoleh panas dan tekanan yang tinggi menjadi batu metamorphic, dan setelah terkena pelapukan menjadi batu sedimen. Apabila batu beku terkena panas dan tekanan tinggi dapat pula menjadi batu metamorphic.

Sifat-sifat batu beku, metamorphic dan sedimen berbeda-beda sedang kan berbeda pula untuk masing-masing jenis batu.

Siklus denudasi-deposisi adalah suatu proses untuk merendahkan batu-batuan yang menjulang diatas bidang permukaan keseimbangan dan dipihak lain menjulangkan batu-batuan yang rendahk ke atas. Pengertian denudasi disini adalah merendahkan apa yang ada diatas, yang secara pisik mengikuti hukum keseimbangan alam yaitu erosi dan melongsorkan butir batu-batuan ke suatu elevasi yang lebih ren dah atau karena gaya tektonis yang berasal dari dalam bumi diteng gelamkan sedangkan dilain tempat akan ada yang dinaikkan ke atas permukaan keseimbangan.

Dengan adanya siklus tersebut di atas, maka tidak akan ada suatu - kestabilan lereng yang abadi dalam pengertian waktu geologi. De - ngan dimulainya gangguan ketidak stabilan lereng maka lereng akan longsor dan seterusnya akan diikuti terus dengan gerakan longsor- an berikutnya sampai dicapainya suatu keseimbangan lereng yang menjadikan lereng tersebut stabil. Dengan berjalannya waktu geo - logi, kestabilan tersebut dapat terganggu karena banyak faktor yang antaranya adalah perubahan sifat pisik pada batu-batuan yang melemah sehingga terjadi gerakan longsor lereng.

Phenomena tanah longsor biasanya dipelajari dari dua pendekatan - yang berbeda.

Dari geologi dipandangnya sebagai suatu proses alam yang ikut serta merubah permukaan tanah. Selain dari pada itu dipandang sebagai salah satu proses denudasi yang penting yang dikaitkan dengan sebab-sebab semula, berjalannya proses dan bentuk permukaan yang dihasilkan.

Pendekatan dalam mekanika tanah adalah menyelidiki kemiringan lereng yang ditinjau dari segi faktor keamanan stabilitas lereng yaitu dengan mengembangkan metoda-metoda untuk memperoleh perkira an yang dapat dipercaya dari stabilitas lereng.

Penyelidikan secara kwantitatip dari stabilitas lereng terutama di dorong oleh kebutuhan dalam pembuatan timbunan tanah yang tinggi dan penggalian yang dalam untuk pembuatan jalan raya, jalan kereta api, saluran air dan sebagainya. Hasil yang terbaik dalam mem pelajari tanah longsor apabila dilakukan pendekatan dari kedua disiplin ilmu pengetahuan tersebut di atas.

Penetapan kwantitatp dari stabilitas lereng secara mekanika tanah seharusnya juga didasarkan pada pengetahuan centang struktur geo -

geologi daerah yang ditinjau, komposisi dan orientasi dari strata dan sejarah geomorphologi dari permukaan tanah.

Sebaliknya bagi seorang ahli geologi disamping tinjauan dari Ilmu Pengetahuan Geologi juga mendasarkan pada mekanika tanah dan meka nika batu.

### II. PEMBENTUKAN BATU DAN DENUDASI

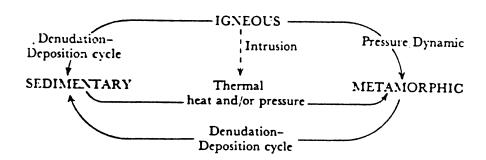
Pembentukan batu, pelapukan (weathering), pengendapan (deposition) dan air permukaan faktor yang penting dalam menentukan sifat-sifat pisik (physical soil properties) tanah dalam enjinering geoteknik. Gerakan lereng dan tanah longsor dalam enjinering geoteknik, di - sebabkan karena tegangan geser (shear stress) yang timbul dari ga- ya yang mendorong yang menyebabkan longsoran atau keruntuhan lereng melampaui kekuatan geser (shear strength) dari tanah yang memberi perlawanan atau gaya melawan.

Kekuatan geser tanah merupakan salah satu dari sifat pisik dari tanah dan tergantung dari pembentukan serta proses selanjutnya dalam geologi.

Sifat pisik dari batu beku (igneous rock) dipengaruhi oleh mineral mineral yang dikandungkan serta proses pembekuan yang dialami.

Batu beku ini karena terkena unsur-unsur pelapukan (weathering - agents) seperti air, udara dan living matters akan terjadi dis - integrasi dan terjadilah proses pelapukan pada batu beku yang ha - sil pelapukan akan terbawa oleh angin atau terbawa oleh aliran air kebawah untuk kemudian diendapkan (deposition). Dengan demikian terbentuklah batu sedimen dari hasil pelapukan dan sifat pisiknya dipengaruhi oelh mineral-mineral yang dikandungnya yang berasal da ri batu asal (parent rock) dan besarnya dari lapisan yang tertim - bun dan diatasnya untuk suatu waktu dalam geologi sehingga lapisan bawah akan mengalami berbagai-bagai derajat konsolidasi.

Adanya pengaruh temperatur dan tekanan (pressure) yang tinggi baik batu beku maupun batu sedimen berubah menjadi batu metamorph sehingga sifat pisik dari batu asalnya berubah.

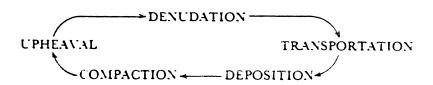


Hasil pelapukan batu-batuan terbawa air ke tempat yang lebih - rendah untuk selanjutnya diendapkan dan hal ini merupakan suatu phenomena alam untuk merendahkan tanah/batu-batuan yang tinggi ke suatu elevasi yang lebih rendah. Keruntuhan lereng yang meng akibatkan tanah longsor dan gerakan lereng termasuk dalam phe - nomena ini.

Setelah terjadinya longsoran tanah pada lereng maka lapisan tanah dan batu yang berada dibawah masa tanah yang longsor akan ekspose terhadap unsur-unsur pelapukan sehingga akan terjadi - proses pelapukan. Lazimnya lapisan batu tersebut masih relatip dalam keadaan segar sehingga untuk sementara tidak akan terjadi keruntuhan pada lereng.

Selain proses penurunan tersebut di atas ada penurunan yang disebabkan karena kekuatan tektonis dari dalam bumi yang mengakibatkan tenggelamnya suatu daerah permukaan dan terbentuknya dae rah permukaan baru yang menonjol keatas.

Denudasi (denudation) adalah suatu gerakan pisik untuk merendah kan daerah-daerah yang tinggi ke suatu elevasi yang lebih ren dah. Hukum gravitasi berlaku dalam hal ini.



# Proses pelapukan dibagi dalam dua proses yaitu

- \* Mechanical processes yang mengakibatkan disintegrasi (disintegration) dan
- \* Chemical processes yang mengakibatkan dekomposisi (de composition)

. Types of Sediment

Fragmental or mechanically formed		Chemically formed from solution		Organically formed	
Consolidated	l'account dated	Consolidated	Unconsolidated	Corvolidated	L'inconsolidated
Conglomerates	Boulders Cobbles Graveis Coarse sand	Limestone, CaCO, Oolitic limestone (honeycomb type grains)	Chalk Oolite Grains	Brown and bituminous coal Anthracite	Peat lignite decomposed plant matter
Sapdstones	Coarse Medium Fine Sands	Ironstone	Clay impreg- nated with Siderite (Car- bonate of iron)	Crinoidal Limestone	Crinoid remains of sea-lily or star fish
Silistones Shales Mudstones	Silts Muds and clays	Gypsum rock Reck salt Poush and soda salts Dolomite (magnesian lämestone)	Salt lake pre- cipitations  Chalk interact- ing with mag- nesium salts	Shells or coral important Prospherite Diatomite	Shell rubble and sand Coral reef Guano Datemacrous earth

Hasil dari mechanical weathering menghasilkan coarse grained soil sedangkan hasil dari Chemical weathering menghasilkan fine grained soil, pembagian mana dilakukan dalam geoteknik karena masing-masing mempunyai sifat pisik yang berbeda.

Mechanical Sedimentary Rocks

Grain size	Unconsolidated	Consolidated	Remarks
> 200 mm 200-60 mm 60-2 mm 2-0-6 mm 0-6-0-2 mm 0-2-0-06 mm 0-06-0-002 mm < 0-002 mm	Boulders Cobbles Gravels Coarse Medium Fine Silts Clays	Coarse Medium Sand- Fine Stone Siltstone (no lamination) Shale (laminated)	Water-borne particles are more or less sorted during transportation and deposition. Classification is that commonly used by civil engineers.

#### III. INTERAKSI ANTARA AIR DAN MINERAL LEMPUNG

Asosiasi dari mineral-mineral lempung dan lapisan air yang diserap (absorb) merupakan dasar pisik untuk struktur tanah masing - masing individu dari partikel lempung saling pengaruh mempengaru hi lewat masing-masing lapisan air yang diserap dan memberi efek dan membantu terbetuknya susunan struktur tanah yang biasanya di jumpai dalam deposit tanah di alam.

Adanya air dalam tanah lempung mempunyai pengaruh besar terhadap sifat-sifat tanah yang tidak demikian halnya pada tanah granular.

Mineral lempung mempunyai sifat sangat aktip elektro-kimianya dan menentukan sifat-sifat enjinering dari massa tanah tersebut. Selain dari pada itu mineral-mineral lempung mempunyai plastisi - tas dan karenanya berkohesi.

Tanah lempung terutama terdiri dari mineral-mineral montmorillo - nite, illite, chloride dan kaolinite.

Edge View	Typical Thickness (nm)	Typical Diameter (nm)	Specific Surface (km²/kg)	
Montmorillonite	3	100-1000	0.8	
Montmorillonite	3	100-1000	0.6	
Illite	30	10 000	0.08	
Chlorite	30	10 000	0.08	
Kaolinite	50-2000	300-4000	0.015	

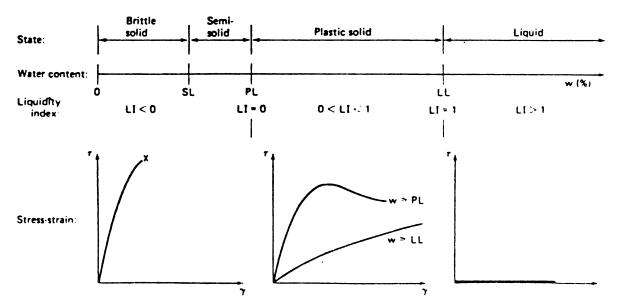
Average values of relative sizes, thicknesses, and specific surfaces of the common clay minerals (after Yong and Warkentin, 1975).

Sifat pisik tanah lempung yang dalam geoteknik di klasifikasikan sebagai fine grained sangat dipengaruhi oleh hadlirnya air di -dalamnya karena adanya interaksi antara air dan mineral lempung. Berbagai-bagai kadar air (water content) akan menunjukkan ber -bagai-bagai derajat plastisitas yang oleh ATERBERG diberi batas-an-batasan yang menunjukkan indikasi dari pengaruh ini, se -dangkan pembagian ukuran butir-butir (grain size distribution ) tidak begitu merupakan faktor yang menentukan dari tingkah laku (engineering behavior) tanah lempung yang berbutir halus.

Dengan diketahuinya kadar air dan dihadapkan pada batasan-batasan ATERBERG berarti bahwa dengan demikian besar dari enjinering - response sudah diketahuinya. Batasan-batasan ATERBERG adalah kadar air pada suatu batasan atau tahap kritis dalam perilaku tanah dan paling sedikit diperlakukan dua parameter untuk menetapkan - plasticity lempung, yaitu batasan atas dan bawah (upper and lower limits) dari plasticity.

Berapa batasan yang dikenal

- \* Batas atas dari aliran kental (viscous flow)
- \* Batas cair adalah batas bawah dari aliran kental
- \* Batas lengket adalah lempung kehilangan adhesi terhadap logam
- \* Batas kohesi adalah mulai tiadanya butir tidak berkohesi
- \* Batu plastis adalah batas bawah dari keadaan plastis
- \* Batas susut adalah bawah dari perubahan volume



Water content continuum showing the various states of a soil as well as the generalized stress-strain response.

Mineral lempung yang relatip mempunyai partikel-partikel kecil akan mempunyai permukaan luas spesifik yang luas sehingga akan memberi permukaan yang sangat aktip. Dengan demikian montmorillonite bekerja lebih aktip dari pada kaolinite.

Besarnya aktivitas lempung dinyatakan oleh

PI = indeks plastis

Fraksi lempung biasanya diambil sebagai prosentasi dari contoh yang kurang dari 2 um (skempton).

Adanya korelasi antara aktivitas dan tipe mineral lempung dapat dilihat di bawah ini .

Activities of Various Minerals\*

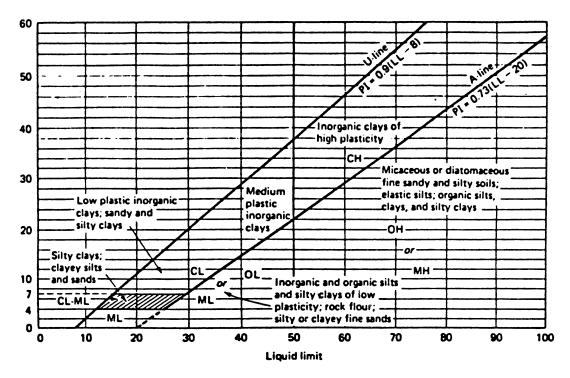
Mineral	Activity	
Na-montmorillonite	4-7	
Ca-montmorillonite	1.5	
Illite	0.5-1.3	
Kaolinite	0.3-0.5	
Halloysite (dehydrated)	0.5	
Halloysite (hydrated)	0.1	
Attapulgite	0.5-1.2	
Allophane	0.5-1.2	
Mica (muscovite)	0.2	
Calcite	0.2	
Quartz	0	

<sup>\*</sup>After Skempton (1953) and Mitchell (1976).

Mineral montmorillonite adalah mineral lempung yang paling besar aktivitasnya dibandingkan mineral lempung yang lain yang berarti pula paling peka terhadap air.

Partikel lempung yang terdapat dalam alam hampir seluruhnya hydrated artinya adanya lapisan air yang tipis yang menyelingi se tiap kristal dalam lempung. Air ini disebut " absorbed water "

GAMBAR ....



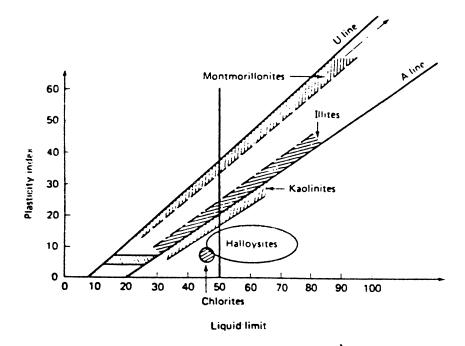
Casagrande's plasticity chart, showing several representative soil types (developed from Casagrande, 1948, and Howard, 1977).

Untuk memberi identifikasi dari mineral lempung diadakan pendekatan yang didasarkan oleh Prof. CASAGRANDA dengan menggunakan batasan - batasan dari ATERBERG. Mineral montmorillonite yang sangat aktip - mempunyai plasticity indices yang besar dan kemudian disusul illite dan kaolinite.

Mineral - mineral tersebut diplot dalam LL-PI chart dari CASAGRANDA dan montmorillonite berada diatas tepat dibawah garis U, berarti - bahwa perubahan tersebut adalah dikandungnya banyak mineral-mine - ral lempung yang aktip seperti montmorillonite. Meskipun apabila ta nah tersebut diklasifikasikan sebagai CL, sebagai contoh sandy clay (CL), masih di plot dekat garis U, dalam hal ini porsi yang predomi nan adalah montmorillonite.

Tanah lempung dengan predominan mineral illites dan kaolinite yang kurang aktip berada dekat garis A.

GAMBAR.



Location of common clay minerals on Casagrande's plasticity chart (developed from Casagrande, 1948, and data in Mitchell, 1976).

Tanah lempung yang kadar airnya banyak akan menjadi lunak dan akan kehilangan daya dukungnya. Sesuai dengan COULOMB maka kekuatan geser tanah lempung atau tanah berkohesi terutama terletak kepada besarnya c (kohesi). Semakin besar kadar air makin kecil nilai dari c dan makin kecil pula kekuatan geser tanah lempung.

Dengan demikian tanah lempung yang berkohesi akan mudah longsor - apabila kadar air dalam lempung bertambah besar.

Pengaruh air yang lain dalam tanah lempung adalah karena mineral lempung menyerap air maka volume tanah lempung akan berubah dan -bertambah besar dan disebut "swell' dan apabila kadar air ber -kurang banyak dan mendekati kering maka tanah lempung akan menyu -sut atau "shrinkage" sehingga terjadi retak-retak pada permukaan tanah lempung. Baik swell maupun shrinkage mengurangi atau malahan menghilangkan kekuatan geser tanah atau kohesi tanah lempung. Pada retakan yang dapat menjalar jauh kedalam dari permukaan tanah akan terisi air waktu hujan dan dapat mengakibatkan terjadinya longsoran pada lereng.

Pada permukaan lereng yang gundul yang sama sekali tidak ada vegetasi, semak ataupun rerumputan, setelah mengalami kekeringan permukaannya akan retak dan setelah hujan datang dengan intensitas tinggi maka lereng tersebut dapat longsor.

Shrinkage dalam tanah lempung disebabkan karena tegangan kapiler (cappilary stresses). Suatu contoh tanah yang mengering secara lam bat artinya sedang dalam proses pengeringan akan membentuk menisci kapiler diantara butir-butir individu dari tanah. Sebagai aki bat tegangan antar butir-butir akan mengikat (tegangan inter granular atau tegangan efektip) dan volume dari tanah akan berkurang. Apabila shrinkage ini berjalan terus, menisci menjadi kecil lagi dan tegangan kapiler membesar sehingga mengurangi lagi volumenya.

Suatu titik akan dicapai dimana tidak lagi terjadi pengurangan volume. Kadar air dimana hal tersebut terjadi disebut shrinkage li mit. Dalam menentukan shrinkage limit oleh ATTERBERG diperhatikan pula pada saat terjadinya perubahan warna, pada saat itu pula dicapai volume yang minimum.

TERZAGHI menyatakan bahwa volume kering dan massa yang kering dapat diukur, dan dihitung kembali kadar air pada titik dari volume minimum.

Shrinkage limit : 
$$SL = (\frac{V_{dry}}{M_s} - \frac{i}{s}) \times 100 (2)$$
  

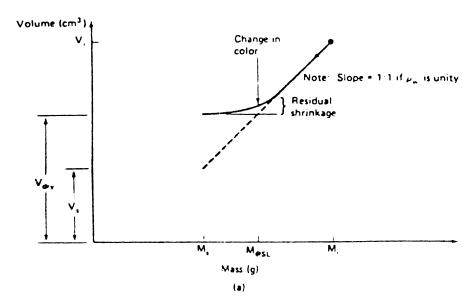
$$SL = W_i - (\frac{V_i - V_{dry}}{M_s}) \times 100 (2)$$

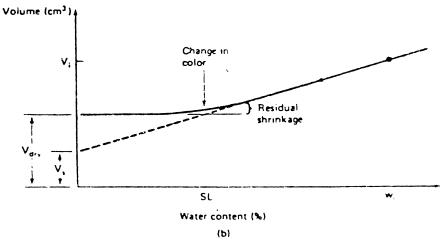
M = oven dry mass

Tanah dalam alam dan dalam keadaan tidak terganggu (natural un - disturbed state) sering kali SL (shrinkage limitnya) lebih besar dari pada SL (plastic limits) dikarenakan struktur dari tanah.

Hal ini terutama terjadi pada lempung yang kepekaannya sangat tinggi, sedangkan untuk leumpung dengan kepekaan sedang SL dekat pada -PL.

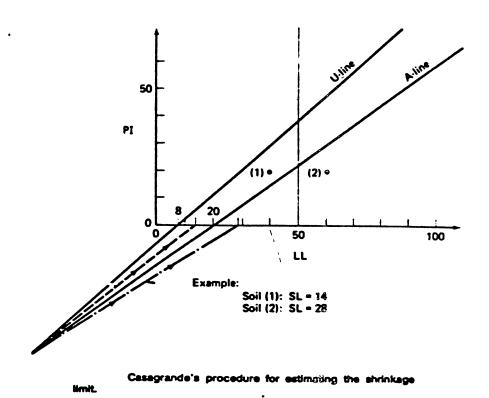
Untuk tanah organik, SL jauh dibawah PL





Determination of the shrinkage limit, based on (a) total mass, and (b) water content.

Prof. A. CASAGRANDE menganjurkan suatu pendekatan untuk memperoleh SL dari plasticity shart walaupun bukan prosedure yang eksak akan tetapi sudah memenuhi kebutuhan dalam pekerjaan geoteknik.



Sebagai catatan , tegangan kapiler akan besar sekali untuk tanah yang berbutir sangat halus dengan mineral lempung yang sangat ak - tip dekat pada garis U. Tanah macam ini akan mempunyai SL = + 8 se suai dengan procedure Casagrande dan SL = 6 untuk lempung mont - morillite . Tanah pada SL akan memperoleh void ratio yang sangat rendah yang disebabkan karena tegangan kapiler yang sangat besar malahan dapat diperoleh lebih dari pada yang diperoleh dengan compaction. Tanah lempung yang kering sangat keras, akan tetapi yang merugikan adalah terjadinya retak-retak pada permukaan tanah.

Shrinkage cracks dapat terjadi setempat apabila tegangan kapiler nya melebihi kohesi atau kekuatan tarik dati tanah. Shrinkage dan
shrinkage cracks disebabkan karena penguapan (evaporation) pada permulaan dalam iklim kering, merendahkan permukaan air dalam tanah dan isapan oleh akar-akar pohon-pohon pada saat yang kering.
Dan setelah iklimnya berubah dan mendapat kelebihan air maka ada
gejala volumenya bertambah besar yang dinamakan swell.

Cracks memberi efek yang langsung terhadap longsoran lereng sedang kan swell tidak secara langsung memberi efek akan tetapi memberi indikasi bahwa kadar air dalam lempung membesar sehingga kohesi ta nah lempung sebagai perlawanan geser (shear resistance) berkurang. Swell mempunyai pengaruh terhadap kerusakan yang terjadi pada pondasi bangunan dan jalan.

Tanah berbutir kasar (coarse grained soil) terutama diperoleh dari mechanical weathering dimana batu-batu menjadi fragmen-fragmen - yang lebih kecil tanpa suatu perubahan kimia yang berarti. Unsur - yang berperanan adalah air, perobahan temperatur yaitu dari panas ke dingin dan sebaliknya dan living matters misalnya akan dari tum buh-tumbuhan dan binatang-binatang kecil yang mengeluarkan asam . Hasil pelapukan merupakan tanah granuler klasifikasi tanah berbu - tir kasar ditentukan oleh besar kecilnya ukuran butir-butir batu - beserta pembagiannya.

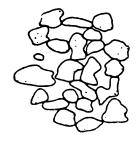
AASHTO Definitions of Gravel, Sand, and Silt-Clay

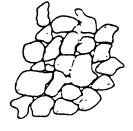
Soil Fraction	Size Range	
Boulders	Above 75 mm	
Gravel	75 mm to No. 10 sieve (2.0 mm)	
Coarse sand	No. 10 (2.0 mm) to No. 40 (0.425 mm)	
Fine sand	No. 40 (0.425 mm) to No. 200 (0.075 mm)	
Silt-clay (combined	Material passing the 0.075 mm (No. 200)	
silt and clay)	sieve	

## IV. KEKUATAN GESER

Kekuatan geser (shear strength) dari tanah berbutir kasar yang memberi perlawanan terhadap longsoran lereng terutama ditentukan - oleh susunan (fabric) butir seperti pembagian ukuran butir (grain-size distribution), interlocking dan besarnya bidang kontak antara butir-butir tanah.

Tanah yang padat memberikan kekuatan geser lebih besar dari pada - tanah yang lepas (loose). Kepadatan tanah dalam alam sangat dipe - ngaruhi oleh berbentuknya lapisan-lapisan tanah dalam proses geo - logi.





(a) Loose

(b) Danse

Single grained soil structures

Pengaruh air terhadap tanah berbutir kasar berbeda dengan tanah yang berbutir halus khususnya lempung. Dalam tanah yang berbutir kasar, pengaruh air adalah dalam bentuk tekanan air dalam pori (pore water pressure) yang menekan pada butir-butir tanah sehingga mengurangi luasnya bidang kontak antar butir.

Makin besar pore water pressure makin berkurang adanya bidang - kontak antar butir makin berkurang tekanan geser tanah yang ber arti pula makin kecil gaya perlawanan geser terhadap longsoran-lereng atau tanah longsor.

Akan lebih menguntungkan apabila kekuatan geser tanah dinyata - kan dalam tegangan normal efektip yaitu bidang kontak yang efektip antar butir dari pada dinyatakan dalam tegangan normal total.

Kekuatan geser dalam geoteknik dinyatakan oleh COULOMB :

c = kohesi

Ø = sudut gesekan dalam (angle of internal friction)

Air dalam tanah mempunyai pengaruh besar sekali terhadap gerakan lereng atau tanah longsor karena air dapat merubah keseim bangan lereng dan mengurangi kekuatan geser dari tanah.

Bentuk air dalam hal mempercepat longsoran adalah menambah be rat massa tanah sehingga memperbesar gaya dorong (driving force) untuk longsor, pore pressure mengurangi efektip sehingga kekuatan geser tanah mengecil mengurangi gaya melawan (resistance force) dan gaya seepage (seepage force) yang membawa butir tanah .

$$T = c' + (f_{tot} - u) \tan \theta$$

u = pore pressure

Longsoran lereng umumnya terjadi pada hujan dengan intensitas ting gi atau lebat dengan periode antara yang pendek dengan siklus yang banyak dapat mengakibatkan meningkatnya pore water pressure - u dengan cepat dan menjadikan tegangan normal yang efektip kecil dan kekuatan geser tanah dilampaui oleh tegangan geser yang tim - bul, disamping faktor-faktor yang lain yang memperbesar gaya men - dorong (driving force).

Dengan bertambah besarnya sudut gesekan dalam (angle of internal - friction) antar butir Ø'maka harga tan Ø' bertambah besar berarti menambah kekuatan geser dari tanah.

Besarnya  $\emptyset$ ' ditentukan oleh soil engineering property dari masing-masing jenis tanah granular. Tanah berbutir kasar mempunyai  $\emptyset$ 'yang lebih besar dari pada tanah berbutir lebih kecil.

Tanah granular seperti gravel dan pasir yang dengan jelas nampak sebagai tekstur kasar tidak plastis dan tidak berkohesi. Walaupun lanau (silt) termasuk klasifikasi tanah berbutir halus (fine grain ed soil) akan tetapi bersifat tidak plastis dan tidak berkohesi.

Dalam geoteknik tanah/batu-batuan dibedakan antara :

- \* tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus
- \* tanah tidak berkohesi seperti tanah granular dan tanah berkohesi seperti tanah lempung.

Hal tersebut perlu dilakukan karena kedua-duanya mempunyai perbeda an dalam soil engineering properties yang mempunyai pengaruh dalam analisa perhitungan kekuatan dan keseimbangan yang pendekatannya berbeda.

Didalam alam terdapat kombinasi dari kedua sifat dan disebut sebagai Ø - c soil sehingga selengkapnya persamaan COULOMB menjadi, = c' + Teffectan Ø'

Telah diuraikan di atas bahwa air mempunyai peranan yang penting dalam geologi seperti dalam proses pelapukan, transportasi dan pengendapan, merubah permukaan bumi diantaranya adalah denudasi termasuk longsoran dari lereng dan dipihak lain air diperlukan - vegetasi. Vegetasi sebagai penutup permukaan tanah mempunyai peranan tertentu terhadap sebagian dalam proses geologi.

### V. VEGETASI

Peranan dari vegetasi adalah sebagai berikut

- \* Memberi peluang untuk terjadinya proses pelapukan ter lebih-lebih di daerah tropis dengan intensitas hujan yang besar.
- \* Lapisan tanah dekat permukaan tanah menjadi lebih ter buka dan lepas (loose) yang disebabkan karena jaringan
  akar-akar, sehingga air hujan dengan mudah memasuki(infiltration) dalam kwantiti yang besar dimana sebagian
  ditahan oleh akar-akar dan bagian lainnya menerobos (percolation) kebawah karena gravitasi untuk bergabung
  dengan muka air tanah. Karena lapisan tanah dibawah vegetasi selalu basah maka berat tanah tersebut akan bertambah berat pada saat-saat banyak hujan turun yang berarti menambah besarnya gaya dorong longsor dan me ngurangi kekuatan geser tanah atau mengurangi gaya perlawanan terhadap longsor.
- \* Hujan yang tertangkap dan tertahan oleh daun-daun dan cabang-cabang dalam vegetasi (interception) sebelum sem pat menguap, menambah kuat tanah yang dibawahnya yang berarti menambah gaya dorong untuk longsor.

Sebagai contoh dari unsur tersebut diatas adalah tanah longsor - di lereng pegunungan Ciremai khususnya bukit Gegerhalang di alam Talaga, Kabupaten Majalengka, Jawa Barat. Oleh pimpinan proyek dilaporkan bahwa hujan lebat mulai tanggal 22 Desember 1980 sampai dengan 27 Desember 1980. Dengan demikian dapat diperkirakan lapisan tanah dibawah vegetasi yang terdiri susunan berbagai je-

jenis batuan hasil aktifitas Gunung Ciremai pada masa yang lalu yaitu satuan batuan hasil gunung api tua tidak teruraikan ter - diri dari breksi, lahar bersifat andesit dan basalt, satuan ba tuan hasil gunung api muda tidak teruraikan terdiri dari dari breksi, lahva andesit dan basalt, pasir tufaan, lipilli dengan tanah berwarna abu-abu kemerahan dan satuan batuan hasil gunung api muda lava andesit, dalam keadaan over saturated sehingga se bagian besar yang tidak dapat ditampungnya mengalir pada permukaan lereng sebagai surface runoff.

Hujan yang paling lebat terjadi pada tanggal 27 Desember 1980 - sejak jam 17.00 dan disekitar jam 19.00 - 20.00 terjadi banjir air dan diikuti dengan banjir lumpur, batu dan batang-batang po hon besar pada lereng yang longsor yang "debris avalance" dan telah menelan jiwa manusia dan harta benda. Longsoran ini ter - jadi pada daerah dengan vegetasi tebal akan tetapi dikarenakan lapisan tanah dibawah vegetasi terdiri pelapukan batu vulkanik- yang dapat menyimpan air maka pada saat terjadi longsor selain berat tanah dan vegetasi bertambah besar karena air hujan yang lebat dan lama, juga kekuatan geser tanah yang seharusnya melawan menjadi hilang terbukti dengan longsoran tanah sebagai cair an tanah yang mengalir. Dalamnya longsoran tanah sampai pada lapisan tanah yang masih relatip segar. Dengan demikian miring-nya lapisan-lapisan tanah ikut menentukan.

### Dilain pihak vegetasi melindungi permukaan tanah terhadap :

- \* Jatuhnya air hujan dengan deras langsung pada permukaan tanah yang dapat merusak permukaan tanah sehingga butir-butir tanah pada permukaan akan terlepas dan hanyut oleh aliran air pada permukaan (surface flow).
- \* Pengerusan permukaan tanah yang hebat karena vegetasi dapat mencegah dan menghambat arus yang deras dari aliran air pada permukaan tanah (surface runoff). Dengan demikian dapat terhindar terjadinya erosi hal mana erosi lereng termasuk dalam klasifikasi tanah longsor.
- \* Mengeringnya permukaan tanah dengan cepat terutama pada tanah lempung yang dapat menimbulkan retak-retak yang dalam pada -

permukaan tanah dan sewaktu hujan akan terisi dengan air menjadi kan panjang bidang longsor berkurang dan dengan masuknya air dalam celah-celah kekuatan geser berkurang pula sehingga secara ke seluruhannya gaya perlawanan terhadap longsor menjadi kecil. Dengan demikian retak-retak permukaan merupakan tempat yang lemah karena merupakan permulaan terjadinya kelongsoran.

Miringnya dan patahan dari lapisan tanah/batu ikut menentukan - terjadinya longsoran. Longsoran menurut miringnya lapisan banyak terjadi di Indonesia pada lereng alam dan pada galian-galian untuk jalan misalnya sehingga telah terganggu atau kehilangan ke - seimbangannya dan kemudian longsor.

Phenomena longsor yang demikian umumnya terjadi apabila lapisan tanah dibagian atas yang mempunyai permeability yang besar se - hingga dapat menerima dan menahan banyak air dalam tanah akhir - nya longsor menurut kemiringan bidang lapisan yang relatip lebih keras yang ada dibawahnya.

### VI. BENTUK KERUNTUHAN LERENG ALAM

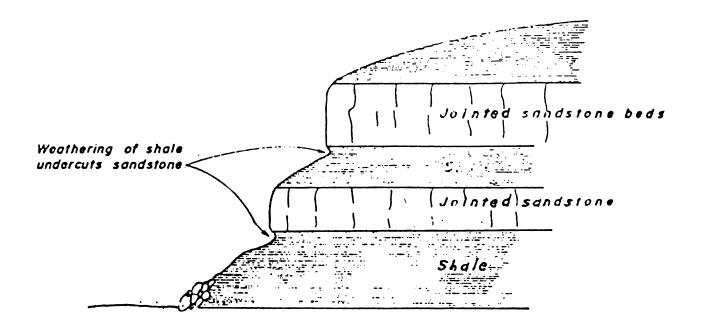
Sangat penting untuk mengenal berbagai-bagai bentuk karakteris tik gerakan masa tanah dalam keadaan geologi dan iklim yang
berubah-ubah guna dapat memperkirakan langkah yang diperlukan un
tuk menanggulanginya. Beberapa bentuk keruntuhan tidak dapat diperkirakan selain mengakui adanya suatu resiko yang harus diha dapi, dan ada pula bentuk keruntuhan yang tidak dapat dibuat ana
lisanya berdasarkan pengetahuan pada dewasa ini sedangkan masalah air bentuk keruntuhan yang tidak dapat dicegah.

VARNAS telah mengadakan klasifikasi dari keruntuhan lereng tentang falls, slides, avalanches dan flows.

## 1. Falls :

Rock falls dan soil falls biasanya terjadi pada keruntuhan - yang sekonyong-konyong pada lereng yang kurang lebih vertikal dimana bahan-bahan tersebut jatuh bebas kebawah. Soil falls - adalah hasil dari pengerusan oleh aliran sungai atau gelom - bang dibagian bawah dari tepi tebing, atau

atau oleh tekanan seepage rock falls terjadi pada patahan(joint) batu lapisan batu mana yang lebih kuat terletak pada lapisan - yanglebih lunak dan terkena gerusan (under cutting).

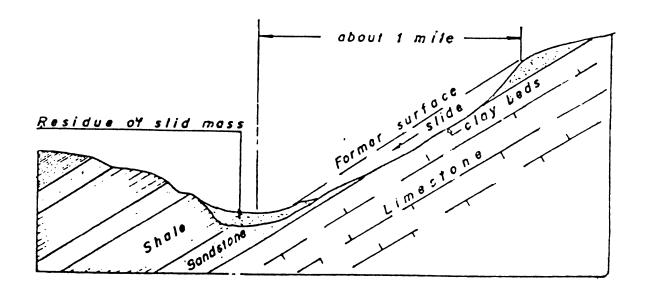


Montmorillonite dalam lapisan shale mengembang dan menimbulkan tekanan tinggi pada sand stone dan mengakibatkan retakan-retakan. Dengan terjadinya pelapukan pada lapisan shale yang relatip lunak dan terkupas maka lapisan sand stone di ujung kehilangan support dari bawah sehingga sand stone runtuh.

## 2. Planar slides

Banyak longsoran terjadi dalam massa tanah adalah gerakan translational kebawah lereng menurut bidang Planar. Longsoran yang berpotensi besar terjadi dalam massa batu atau tanah yang secara merata mempunyai bidang-bidang yang lemah berasal dari retak retak, patahan dan kemiringan lapisan (dip) sama atau kurang dari kemiringan lereng.

Contoh dari jenis longsoran ini adalah di alam Talaga, Jawa Barat.



Karaktristik jenis longsoran ini adalah terlibatnya sejumlah besar tebal massa tanah/batu yang tebal dalam gerakan cepat kebawah lereng sepanjang lapisan yang relatip lebih keras dan ada dibawahnya.

Dalam daerah pegunungan stabilitas dari massa ini dapat menjadi berkurang dalam waktu karena kecepatan tektonik memper besar sudut inklinasi dari lereng dan karena proses pelapukan mengurangi perlawanan geser (shearing reistance) dari tanah sepanjang lapisan yang relatip lebih keras atau masih segar . Dengan digalinya bagian bawah dan sepanjang lereng oleh manusia maka stabilitas lereng menjadi berkurang.

Hujan lebat memperbesar piezometer head sepanjang bidang permukaan lapisan akan mengurangi perlawanan geser pada titik di mana keruntuhan terjadi.

Keruntuhan dapat terjadi lambat dengan gerakan-gerakan yang bertahap atau karena suatu kondisi dapat melongsorkan massa - tanah secara mendadak dan cepat kebawah lereng.

### 3. Longsoran debris

Longsoran ini melibatkan bahan-bahan residual atau colluvial-dalam bentuk campuran tanah dengan fragmen-fragmen batu yang bergerak sebagai suatu satuan atau blocks menurut permukaan -planar dinamakan longsoran debris.

Pada umumnya longsoran semacan ini tidak dalam dan hanya dalam hal-hal tertentu saja dapat mencapai suatu kedalaman yang da - lam. Dalam banyak kejadian, lapisan tanah yang tidak dalam itu longsor sepanjang permukaan lapisan batu yang relatip lebih ke ra's dan yang berada dibawahnya dengan kemiringan lereng yang sedang dan terjal, dan lebih-lebih iklim basah ikut membantu - nya. Longsoran debris acap kali terjadi pada lereng alam selama terjadinya hujan yangluar biasa dan akan lebih menghebat - apabila untuk pembuatan jalan misalnya yang memotong lereng - tersebut.

Proses longsoran debris dimulai dengan gerakan lambat kebawah pada lereng dalam bentuk slump blocks kedalam bahan, dan se -bagian atas lereng timbul tension cracks yang terbuka yang dapat dimasuki air dan menumbuhkan gerakan yang progresip dan akhirnya dengan jatuhnya hujan akan mempercepat suatu gerakan lereng yang malaju dengan cepat kebawah.

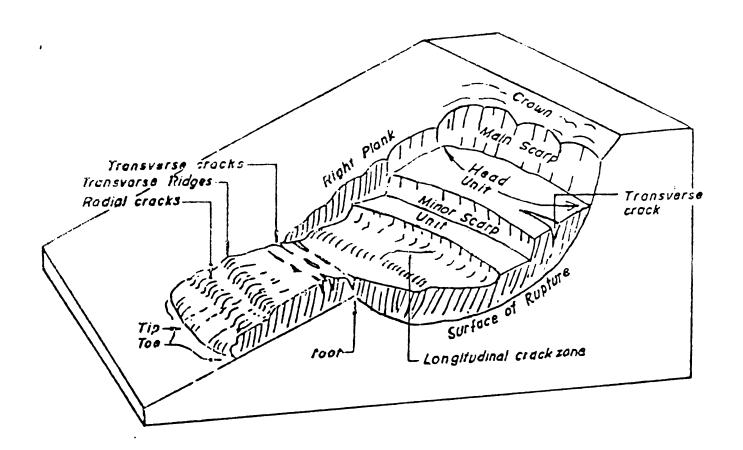
Hujan yang sangat lebat dapat menimbulkan longsoran avalance dan kejadian semacam itu banyak dijumpai diberbagai-bagai tempat di Indonesia.

# 4. Longsor rotational dalam tanah :

Longsoran didalam tanah dapat berwujud rotational maupun trans latimal dengan bentuk dari permukaan keruntuhan mulai dari lingkaran, shallow arc sampai planar.

Kerap kali longsoran yang demikian itu progresip dengan dimulai nya terlebih dahulu keruntuhan rotational yang kecil dan kemudian berkembang menjadi suatu serie keruntuhan rotational atau sesuatu reruntuhan yang menyebar melebar.

GAMBAR ....



Longsoran rotational umumnya terjadi dalam deposit yang tebal dari tanah yang berkohesi yang tidak mempunyai bidang lemah - yang predominan karena stratigrapi atau celah-celah.

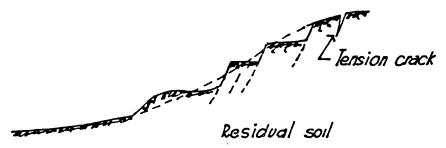
Longsoran rotational yang dalam lazimnya terjadi dalam soft dan firmclays, sedangkan longsoran yang dangkal sampai dalam dapat terjadi pada tanah residual.

Longsoran rotational yang dangkal selain terjadi pada tanah re sidual juga terjadi pada zone dari clay shales yang lembek yang sudah amat lapuk.

Umumnya longsoran ini tidak menghasilkan gerakan yang melibatkan sejumlah besar tanah dan hanya setempat dengan bentuk se bagai sendok apabila dikarenakan kondisi alam setempat.

Dimulainya dengan suatu kemerosotan dan diikuti dengan tumbuhnya tension cracks yang umumnya berbentuk lingkaran konsentris yang terbuka dibagian atas dari daerah yanglongsor (crown) dengan bentuk bidang keruntuhan sebagai busur lingkaran dan ta nah yang runtuh terhimpun dibagian bawah. Tidak jarang pula longsor rotational dalam tanah residual atau colluvial dimulai dengan suatu kemerosotan.

Selama periode hujan blocks bergerak kebawah secara progresip dan terhenti atau menjadi stabil pada periode kering. Apabila kadar air dan permukaan air meningkat dan terjadi hujan yang lebat maka longsoran yang mendadak tidak dapat dihindari.



### 5. Debris avalanches :

Suatu gerakan yang sangat cepat dari massa tanah maupun batu yang telah kehilangan seluruh struktur alamnya disebut sebagai "aliran" (flow). Avalanche adalah suatu bentuk aliran yang melibatkan debris batu-batuan atau campuran tanah dan batu. Debris avalanches ini biasanya terjadi di daerah pegunungan di karenakan hujan yang lebat, gempa bumi dan creep dan yielding secara bertahap dari strata. Gerakan ini berjalan dengan cepat dan mengerus tanah dari lapisan batu yang ada dibawahnya. Pengertian disini termasuk aliran fragmen batu, avalanches, alir an campuran dan aliran tanah.

Dalam kebanyakan kejadian maka hujan yang sangat lebat adalah sebab utama dari debris avalanches di daerah dengan iklim yang berubah-ubah seperti daerah tropis. Gaya seepage yang kuat melepaskan butir -butir tanah dan ikut mengalir dengan air ke bagian bawah dari lereng dengan kecepatan yang tinggi dan akhir nya diendapkan sebagai massa debris disekitar bagian bawah dari lereng.

Pencegahan kelongsoran ini termasuk sulit dan mahal.

Massa cairan yang bergrak sebagai aliran dapat mengalir jauh kedalam lembah sebelum terhenti.

Propil khas dari tanah residual adalah bahwa dekat pada permukaan adalah impervious dan permeability-nya akan membesar kebawah. Celah-celah dibagian luar dari tanah residual tertutup selama hujan sehingga menutup drainasi dan mengakibatkan tegangan - seepage yang makin tinggi sehingga akhirnya terjadi keruntuh-an yang mendadak.

Hal ini mengingatkan peristiwa debris avalanche yang terjadi di alam Talaga, Jawa Barat, dimana debris ini terdiri dari - cairan tanah, batu-batuan dan batang-batang pohon yang melan-da tanah ladang dan perumahan penduduk sampai jauh ke bawah . Kejadian ini terjadi dengan cepat sekali sehingga tidak mem - berikan kesempatan untuk menyingkir sehingga jatuh beberapa - korban manusia.

#### 6. Aliran debris :

Aliran debris sangat erat hubungannya dengan debris avalanche dengan perbedaan utama adalah pada jumlah air yang terlibat - didalamnya.

Ini merupakan bentuk karakteristik dari pencucian massa dalam daerah dengan iklim gersang, yang acapkali dimulai dengan satuan aliran kecil yang mengalir pada lereng yang terjal, dan karena kecepatan yang tinggi akan mampu membawa bahan erosi dalam jumlah besar dan dengan cepat menjadi suatu aliran yang membawa debris.

Massa tanah, batu dan air bergerak cepat ke bawah sehingga kuat membawa batu-batu besar. Kejadian ini terjadi didaerah ger sang seperti Nusa Tenggara Timur.

#### 7. Aliran tanah :

Aliran tanah atau soil flows dapat terjadi pada bahan granular yang kering seperti looss dan pasir akan tetapi lebih lazim apabila terdapat kadar fine granular soil penuh atau hampir penuh.

Penyebab dari aliran tanah ini adalah gempa bumi dan hujan - lebat.

# VII. PERTUMBUHAN LONGSORAN DALAM GEOLOGI DAN WAKTUNYA

Waktu merupakan salah satu faktor dari sekian banyak faktor pe - nyebab longsoran dan mempunyai peranan penting.

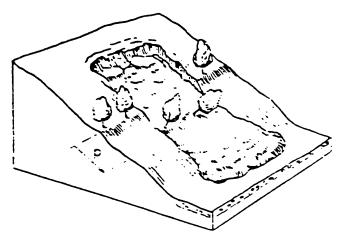
Dengan berjalannya waktu, setiap unsur individu dapat berubah sehingga dengan demikian longsoran pun mengalami beberapa ta hap perkembangan.

Pertama-tama perlu diketahui terlebih dahulu asal mulanya ter jadi longsoran dan bagaimana kelanjutannya.

Mula-mula terjadi gangguan keseimbangan pada lereng dan di -bagian atas nampak timbulnya retak-retak dan dilanjutkan de -ngan suatu gerakan yangmendorong massa yang sudah longsor itu melongsor kebawah lereng untuk seterusnya terendapkan se -cara bertahap.

Akumulasi dari massa yang longsor ini seakan-akan telah men - capai keseimbangan akan tetapi hanya bersifat sementara.

Dengan berjalannya waktu maka faktor-faktor penyebab gangguan keseimbangan dapat berubah sehingga dapat merubah keadaan se-imbang sementara untuk menjadikan massa tersebut longsor lagi.



The amount of movement (p) is determinable from the displacement of linear features.

Sesuai dengan tahap-tahap perkembangan longsoran maka longsoran dapat dibagi dalam :

- \* Initial landslide adalah longsoran tahap mula-mula
- \* Advance landslide adalah longsoran tahap lanjut
- \* Exhausted landslide adalah longsoran yang sudah tidak berdaya lagi yang dapat dilihat pada root area yang sudah kosong.

Apabila dipandang atas dasar derajat stabilitas lereng maka

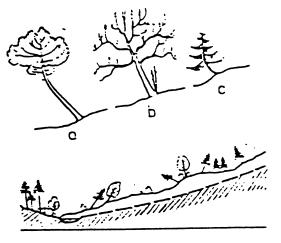
dapat dibedakan

longsoran aktip, tidak aktip dan stabil

Sedangkan tinjauan yang didasarkan waktu dibagi dalam longsoran:

contemporary dan fossil

Longsoran contemporary umumnya termasuk aktip dan mudah dikenal oleh bentuk permukaan yang dihasilkan dari gerakan massa akan tetap nampak dan tidak terhapus oleh hujan maupun erosi.



Disturbed vegetation cover reveals recent landslides; the age of movements is inferable from the curvature of trunks (a, c) and new growths (b).

Pohon-pohon tergeser dari tempat yang semula, jalan-jalan yang melintasi lereng terpotong dan gedung-gedung rusak atau berubah letak atau bentuk. Longsoran tersebut akan terhenti untuk sementara waktu dalam arti waktu yang sesungguhnya sampai timbul perubahan pada unsur-unsur individu yang merupakan faktor pengganggu stabilitas lereng untuk terjadi kelanjutan dari longsoran terse but. Dengan demikian longsoran dapat terjadi setiap saat.

Longsoran tidak aktip (dormant landslides) biasanya tertutup oleh vegetasi atau rusak oleh erosi sedemikian rupa sehingga bekas dari gerakan lereng yang terakhir tidak dapat dengan mudah dikenal dan dilihat.

Bagaimana pun penyebab asalnya dari longsoran ini tetap ada, se - hingga gerakan ini dapat terjadi lagi.

Longsoran fosil umumnya terjadi dalam pleistocene atau dalam peri ode - periode awal, dibawah kondisi morphologi dan iklim yang ber beda dan tidak dapat terulang kembali dengan sendirinya pada saat ini.

### VIII. PANDANGAN TENTANG KLASIFIKASI LONGSOR

Phenomena tentang longsor terdiri dari bermacam-macam proses dan faktor-faktor yang mengganggu keseimbangan sehingga memberi kemungkinan-kemungkinan yang tidak terbatas untuk klasifikasi.

Banyak tokoh-tokoh seperti HEIM (1882) HOWE (1909), ALINAGIA (1910), TERZAGHI (1925) LADD (1935), SHARPE (1938), EMELYANOVA - (1952) dan VARNAS (1958) mengusulkan klasifikasi gerakan lereng.

TERZAGHI sebagai bapak dari mekanika tanah mendasarkan pada si - fat-sifat pisik (physical properties) dari batu-batu yang terke-na, tinjauan mana dipandangnya dari engineering geologi.

Sedangkan SHARP (1938) membuat klasifikasi dengan pandangan terhadap :

- \* bahan dari massa yang bergerak
- \* tipe dan kecepatan dari gerakan
- \* hubungan antara massa yang bergerak terhadap siklus geo logi morphologi dan faktor-faktor iklim.

Kebanyakan dari kalsifikasi-klasifikasi tersebut hanya baik un tuk diterapkan pada daerah-daerah tertentu karena jelas dipengaruhi oleh kondisi dari daerah yang bersangkutan :

SAVARENSKI (1937) acapkali dipakai, yang ia dasarkan pada bentuk dari bidang longsor sebagai ciri yang nampak dengan jelas dan - membedakan antara asequent, consequent dan insequent landslides.

Longsoran asequent terjadi dalam tanah yang homogeen dan berkohe si. Gerakan ini menyelusuri suatu permukaan lengkung, silindrisyang kasar.

Longsoran consequent terjadi sepanjang bedding planes atau planes of separation inclined downslope (joints). Menggesernya deposit lereng pada permukaan lapisan batu termasuk dalam klasifikasi ini .

Longsoran insequent terjadi melintang lapisan dan biasanya diperolehnya dalam dimensi yang besar dan dapat longsor sampai jauh kedalam lereng.

Di Checkoslowakia : Klasifikasi dari gerakan longsoran dari lapisan batu-batuan didasarkan pada :

- \* karakter dati batu-batuan
- \* tipe gerakan
- . \* kondisi geologi regional

# dan dibagi dalam :

- 1. Gerakan lereng pada deposit superficial
- Longsoran dalam pelitic artinya batu-batuan yang sebagian atau sepenuhnya dalam keadaan konsolidasi (clays, clay stone)
- 3. Gerakan lereng pada solid rocks
- 4. Gerakan lereng yang khusus karena kondisi iklim.

### IX. FAKTOR-FAKTOR PENYEBAB GERAKAN LERENG :

Pandangan faktor-faktor penyebab gerakan lereng dari segi engineering geologi dan geoteknik pada umumnya bersamaan dan perbedaannya terletak dalam penelaahannya. Engineering geologi menitik beratkan pada proses-proses geologi sedangkan engineering geoteknik pada hukum-hukum keseimbangan dan engineering properties dari tanah dan batu sebagai bahan yang dipandangnya.

Untuk dapat menetapkan diagnose yang benar dan tepat dari gerakan lereng perlu dikenali terlebih dahulu dengan baik sebab-sebab yang
menjadikan mudah terjadinya suatu daerah yang berlereng longsor dan
faktor-faktor apa yang menggerakkan massa tanah dan batu untuk bergerak sebagai dasar untuk melakukan usaha-usaha perbaikan yang efek
tip. Bermacam-macam tipe longsoran telah menunjukkan adanya faktor
faktor yang beraneka ragam sebagai penyebab dari gerakan mula-mula.

Faktor-faktor penyebab yang dimaksud adalah :

## 1. Perubahan miring lereng :

Perubahan ini disebabkan oleh gangguan alam dan manusia seperti aliran erosi pada lereng dan galian-galian.

Teristimewa perubahan miringnya lereng yang disebabkan oleh kekuatan tektonik dengan terjadinya penurunan dan terangkatnya keatas suatu daerah. Makin terjal suatu lereng makin kurang stabil lereng tersebut karena terjadinya perubahan dalam tegangan da-lam massa tanah maupun batu-batuan dan keseimbangan menjadi terganggu karena meningkatnya tegangan geser.

Pada lereng yang sudah goyah, tegangan lateralnya menjadi berkurang dan memudahkan masuknya air.

2. Kelebihan beban oleh embankments, timbunan-timbunan dan pembuang an bahan-bahan yang tidak terpakai.

Pembebanan yang berkelebihan dapat menyebabkan meningkatnya te - gangan geser sebagai daya dorong untuk longsor dan pore water - pressure pada tanah lempung akan menjadikan kekuatan gesernya (shear strength) menurun. Makin cepat dilakukan pembebanan yang berkelebihan makin bahaya artinya makin cepat terjadinya gerakan pada lereng.

## 3. Goncangan dan getaran

Gempa bumi, peledakan besar, getaran dari mesin menghasilkan oskilasi dengan frekuensi yang berbeda-beda dalam batu-batuan sehingga terjadi perubahan sementara dari tegangan yang dapat meng ganggu keseimbangan dari lereng.

Pada tanah loess dan pasir lepas, goncangan dapat merupakan penyebab gangguan dari ikatan antar granular dan dengan sendirinya mengurangi kohesi atau gesekan dalam (internal friction).

Dalam pasir halus dan lempung peka (sensitive clay) yang jenuh - air (saturated), goncangan dapat mengakibatkan perpindahan atau rotasi dari butir-butir tanah dan menghasilkan suatu cairan ta - nah secara mendadak.

## 4. Perubahan kadar air

a. Efek dari precipitation adalah dengan masuknya air hujan kedalam celah-celah dari tanah dan batu-batuan akan menimbulkan
hydrostatic pressure. Dengan bertambah besar pore water pressure didalam tanah menyebabkan perubahan-perubahan dalam konsistensi tanah hal mana mengurangi besarnya kohesi dan gesekan dalam. Dalam hal gerakan lereng dan longsoran umumnya ter
jadi dalam tahun-tahun dengan hujan yang luar biasa.

b. Tanah lempung dalam periode kering akan menyusut pada permukaan tanah sehingga akan terjadi retak-retak yang besar dan dalam yang berarti kekuatan kohesinya sudah hilang. Dengan masuknya air didalam retak-retak tersebut maka besarnya kekuatan kohesi dan merupakan tempat-tempat yang lemah untuk dapat terjadinya longsor.

## c. Perubahan muka air yang mendadak

Perobahan yang demikian secara mendadak akan menjadikan butir-butir tanah berpindah tempat terutama dalam pasir halus dan slty sand. Perubahan muka air ini dapat terjadi pada muka air pada danau atau sungai.

Peningkatan pore water pressure yang mendadak dapat menyebab kan terjadinya pencairan tanah yang mendadak pula sehingga akan turun kebawah lereng sebagai suatu cairan kental.

### 5. Efek dari air tanah

- a. Aliran air dalam tanah dapat mendesak partikel-partikel ta nah yang dapat berakibat terganggunya kestabilan lereng.
- b. Air didalam tanah dapat mencuci bahan pengikat antar butir butir tanah yang larut sehingga melemahkan ikatan granular sehingga dengan demikian kohesinya menurun dan koefisien gesekan menurun dengan drastis.
- c. Air tanah yang bergerak mencuci keluar pasir halus dan butir butir lanau pada lereng. Rongga-rongga yang timbul akibat pencucian tersebut dibawah permukaan tanah dari lereng akan memperlemah stabilitas lereng.
- d. Confined ground water yang bekerja pada lapisan yang imper vious dapat menghasilkan uplift dan berakibat mengurangi stabilitas lereng.

### 6. Pelapukan dari batu

Proses pelapukan mekanis dan kimia (mechanical & chemical Weathering) secara bertahap mengganggu kohesi dari batu. Dari beberapa longsoran menunjukkan bahwa karena hidrasi sebagai perubahan unsur kimia yang disebabkan oleh air yang menerobos (percolation) lapisan dibawahnya maka kekuatan kohesinya menjadi berkurang.

Contoh tentang hal ini adalah daerah-daerah yang terbentuk - oleh lempung dan sand stones menunjukkan mudah terkena long-sor.

# 7. Perubahan vegetasi sebagai penutup pada lereng

Sistem dari vegetasi dapat menjaga stabilnya lereng karena mempunyai efek mekanis. Penebangan vegetasi yang menyebabkan permukaan terbuka akan merubah tata susunan air dalam tanah yang dapat memberi efek kepada kestabilan lereng.



## GEOTEKNIK

#### I. PENDAHULUAN

Dalam geoteknik, tanah alam murni dipandang sebagai bahan konstruksi (construction material) dan dibagi dalam dua kelompok besar yaitu:

- \* Tanah berbutir kasar (coarse grained soil) seperti gravel, pasir, dan sebagainya dan
- \* Tanah berbutir halus (fine grained soil) seperti lempung, lanau (silt) dan sebagainya.

Selain pembagian dalam dua kelompok tersebut dibedakan pula antara tanah yang tidak berkohesi dan tanah yang berkohesi.

Tanah berbutir kasar adalah tanah yang tidak berkohesi dan dalam ta nah berbutir halus hanyalah lempung yang termasuk tanah yang ber kohesi sedangkan lanau termasuk yang tidak berkohesi.

Kedua pembagian kelompok tersebut masing-masing mempunyai karakteris tiknya sendiri-sendiri. Tanah yang dijumpai dalam alam dapat pula - bersama-sama berkohesi dan tidak berkohesi yang disebut (0 - c)soil

Seperti halnya dengan bahan konstruksi yang lain maka tanah mempu - nyai sifat-sifat (engineering properties) yang khas. Sifat-sifat - ini dapat berubah karena pengaruh unsur yang lain yang dalam ke - banyakan hal selalu bersama dalam tanah yaitu air.

Pendekatan yang dilakukan terhadap bahan tanah alam ini semula hing ga sekarang didasarkan pada asumsi-asumsi.

Tanah sebagai bahan konstruksi dianggap sebagai bahan yang ideal , homogeen dan isotropis yang dalam kenyataan tidak demikian halnya.

Keruntuhan pada lereng disebabkan karena kekuatan geser tanah dilam paui oleh tegangan geser yang timbul. Tegangan geser dipengaruhi oleh pengaruh-pengaruh dari luar seperti penambahan beban pada lereng sedangkan kekuatan geser dipengaruhi oleh pengaruh-pengaruh di dalam tanah itu sendiri yang dalam banyak hal adalah air.

Parameter-parameter c' dan Ø' yang menentukan besarnya kekuatan geser tanah dapat diperoleh dari MOHR - COULOMB yang menyatakan bah-wa bahan akan runtuh karena geser.

Tegangan geser yang menyebabkan keruntuhan tersebut tergantung dari sifat yang dimiliki bahan yang dalam hal ini adalah kohesi dan sudut gesekan dalam dan besarnya tegangan normal yang bekerja pada bidang longsor tersebut.

Kekuatan geser tanah terutama terletak pada besarnya bidang kontak antar partikel-partikel tanah sehingga akan lebih efektip apabila - kekuatan geser dari tanah dinyatakan didalam tegangan efektip dari pada tegangan total.

Pore water pressure yang bertambah besar karena bertambahnya teka - nan air hidrostatis atau bertambah besarnya tekanan pada partikel - partikel tanah maka besarnya tegangan efektip menjadi berkurang - yang dengan sendirinya kekuatan geser tanah menjadi berkurang pula.

Suatu hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa uji coba (test) yang dilaksanakan dalam laboratorium mendekati keadaan yang nyata di - lapangan.

Analisa tentang limit equilibrium methods dapat dikelompokkan sesuai dengan bentuk permukaan longsoran yaitu :

### \* Berbentuk lingkaran

- metoda irisan (slices) dari FELLENIUS
- modified or simplified bishop's method

# \* Berbentuk bukan lingkaran

- J a n b u's generalized method of sicles
- Metoda dari Morgenstern Price
- Metoda dari Spencer

Bentuk bidang permukaan yang runtuh pada lereng alam yang ter - jadi pada umumnya berbentuk bukan lingkaran.

# II. KEKUATAN GESER DARI TANAH

(Shear strength of soil)

Kekuatan geser tanah merupakan salah satu sifat pisik yang paling - penting. Kekuatan geser tanah tidak tetap dan tergantung pada bannyak faktor terutama faktor air. Tidak demikian halnya pada bahan - bahan struktural yang lain seperti beton dan baja.

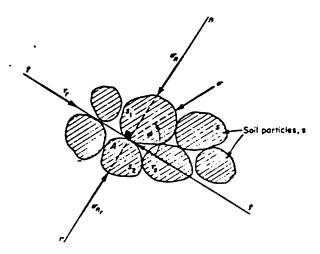
Terjadinya keruntuhan pada lereng disebabkan karena kekuatan geser dari tanah dilampaui oleh tegangan geser yang timbul akibat penga - ruh-pengaruh dari luar.

Kekuatan geser dari tanah didifinisikan sebagai perlawanan terhadap deformasi perpindahan geser dari partikel-partikel tanah secara kon tinyu atau sebagai perlawanan secara menyeluruh terhadap tegangan - geser/tangensial. Dengan lain kata,kekuatan geser merupakan perlawa nan maximum dari tanah terhadap tegangan geser.

Phenomena geser dalam tanah dan kekuatan geser dari tanah dapat diilustrasikan sebagai berikut :

Tegangan tekan ( yang bekerja pada titik kontak A diuraikan menurut normal dan tegangan geser.

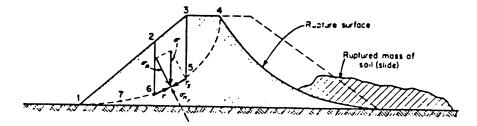
Akibat bekerjanya  $\mathbb{T}_s$  ini, akan mendesak dan memindahkan partikel - partiikel tanah satu terhadap yang lain, akan tetapi akan mendapat perlawanan oleh suatu reaksi tangensial  $\mathbb{T}_s$ .



Concept of shear in soil.

Untuk memenuhi persyaratan keseimbangan statis maka besarnya gaya perlawanan geser  $\tau_{\rm r}$  harus sama dengan tegangan geser  $\tau_{\rm s}$  :

Perlawanan geser maximum  $\mathcal{T}$  adalah yang dimaksud dengan kekuatan geser dari tanah. Apabila  $\mathcal{T}_s > \mathcal{T}$  maka akan terjadi perpindahan relatip dari partikel-partikel tanah sehingga terjadi keruntuhan geser dalam tanah.



Failure of slope in shear.

Faktor-faktor yang dapat memperbesar tegangan geser terutama disebab kan oleh :

- \* Bertambah besarnya timbunan atau beban lainnya pada timbun an atau pada lerengnya.
- \* Kejenuhan air dalam voids dari tanah
- \* Rapid-draw-down dari air
- \* Seismic dan gaya-gaya dinamis

Sedangkan kekuatan geser dari tanah terbentuk atas dasar

- \* Perlawanan struktural terhadap perpindahan partikel-partikel tanah karena saling mengunci (interlocking).
- \* Perlawanan gesekan (friction resistance) terhadap perpindahan tempat antar masing-masing individu partikel tanah pada titik kontaknya.
- \* Kohesi / adesi antar permukaan dari partikel-partikel ta nah

Tanah yang berkohesi (c-soil) kekuatan gesernya tergantung pada kohe sinya dan kohesi ini dipengaruhi oleh kadar air dalam tanah tersebut.

Tanah yang tidak berkohesi ( $\emptyset$  - soils) kekuatan gesernya terutama - tergantung pada gesekan antar granular dan pada saling menguncinya - partikel-partikel tanah.

Tanah ( $\emptyset$  - c) artinya tanah yang terdiri dari partikel-partikel ta - nah yang tidak berkohesi dan berkohesi, kekuatan gesernya tergantung dari kohesi dan gesekan dalam (internal friction).

COULOMB adalah yang pertama-tama menyelidiki kekuatan geser tanah dan menyatakan bahwa :

"Perlawanan gesekan (friction resistance) tidak mempunyai suatu nilai yang tetap akan tetapi berbeda-beda, bersama besarnya nilai tegangan normal yang bekerja pada bidang geser ".

Adapun anggapan-anggapan yang digunakan adalah :

- \* Besarnya perlawanan kohesi dianggap mempunyai nilai yang tetap dan tidak tergantung dari tegangan yang bekerja itu.
- \* Kohesi terbagi merata pada luas permukaan geser, artinya mempunyai nilai yang tetap atau sifat yang tetap untuk ti- pe tanah tertentu, pada suatu kadar air tertentu dan suatu kondisi uji tertentu pula.

Apa yang dimaksud oleh COULOMB dapat dinyatakan dalam suatu persamaan yang berupa suatu garis lurus dalam suatu sistem koordinat dengan sumbu tegak T dan sumbu horisontal C.

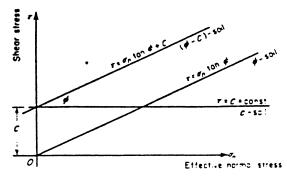
$$T = c + \int_{D} \tan \theta$$

T = kekuatan geser tanah auatu juga disebut tegangan geser pada keruntuhan

c = kohesi

🕻 = tegangan normal yang bekerja pada bidang geser

Ø = sudut gesekan dalam (angle of internal friction)



Shear strength graphically...

Kohesi dapat dibedakan antara :

True Cohesion adalah kohesi yang dikaitkan pada kekuatan geser dari

bahan pengikat (cementing agent) atau moisture film yang terserap dan mengelilingi dan memisahkan masing-masing individu partikel-partikel tanah.

Apparent Cohesion adalah kohesi yang dikaitkan pada tegangan permukaan air (moisture surface tension) didalam rongga-rongga (voids) dari tanah. Kohesi ini dapat pula diinterpretasikan sebagai gesekan dalam (internal friction) yang disebabkan oleh tekanan kapiler. Apabila rongga-rongga terisi penuh oleh air maka tegangan permukaan menjadi rusak dan apparent cohesion hilang karena berkurangnya dan sampai tia danya lagi tegangan permukaan air antar partikel-partikel tanah dan tinggal true cohesion saja.

Mineral lempung merupakan dasar utama yang penting dalam pembentukan kekuatan geser dari tanah berkohesi. Pada tanah lempung murni kekuatan gesernya diperolehnya dari kohesinya saja. Pada lempung yang mengandung air, pada kadar air yang rendah, tegangan permukaan dari moisture film yang mengelilingi partikel-artikel dari tanah menjadi - kan massa tanah memperoleh tegangan kompresip yang berarti menambah besarnya kekuatan geser dari tanah.

Dengan bertambahnya kadar air dalam tanah akan mengurangi luas dari permukaan air - udara dan akan merubah geometri dari moisture film - tersebut sehingga mengurangi tegangan kompresip tersebut diatas dan kekuatan geser dari tanah menjadi berkurang.

Apabila derajat kadar air bertambah oleh suatu proses yang cepat karena konsilidasi dari tanah perlawanan geser berkurang karena tekanan air dalam rongga-rongga tanah yang disebut pore water pressure u.

Persamaan COULOMB menjadi :

$$T = c + (\int_{n} - u) \tan \emptyset$$

$$T = c + \int_{n \text{ off}} \tan \emptyset$$

Tanah lempung murni  $\emptyset = 0$ , kekuatan geser tanah menjadi,

Besarnya kohesi dipengaruhi oleh berbagai-bagai faktor selain dari pada air tersebut diatas sehingga kohesi merupakan suatu kwantiti yang

variable.

Partikel-partikel tanah berpasir kuranglebih saling mengunci (interlocking). Intensitas dari saling mengunci ini ditentukan oleh :

- \* bentuk dan ukuran dari partikel-partikel
- \* cara deposisi atau sedimentasi
- \* derajat kepadatan dari susunan dari partikel-partikel

Campuran dari berbagai-bagai bentuk partikel-partikel akan memper - besar perlawanan interlocking. Untuk tanah lempung, interlocking ada lah lebih berupa suatu ikatan kimia.

Gesekan antar partikel - partikel tanah didalam massa tanah dinama - kan sebagai gesekan dalam dari tanah (internal friction), dan perla-wanan gesekan dinyatakan oleh sudut gesekan dalam Ø (angle of soil internal friction) atau suatu koefisien gesekan dalam yang tidak ber dimensi tan Ø.

Tanah berbutir kasar seperti pasir yang juga dinamakan tanah gesekan (friction soils) atau tanah yang tidak berkohesi (Ø - soils) memperoleh kekuatan geser seluruhnya dari gesekan antar granular (inter - granular friction).

Koefisien dari gesekan dalam untuk sesuatu tanah dengan anggapan bah wa tegangan normal adalah tetap dalam batas-batasnya tergantung dari kepadatan yang berarti satuan berat dari void ratio dari tanah.

Pengaruh air dalam tanah berbutir kasar berbeda dengan tanah yang -berkohesi. Satu-satunya pengaruh air yang dapat mengurangi kekuatan geser tanah tersebut adalah pore water pressure. Makin besar pore -water pressure makin kecil efektip yang mengakibatkan berkurangnya bidang kontak antara butir-butir dari tanah tersebut.

yang paling tepat untuk menyatakan kekuatan geser tanah adalah dinya takan dalam Vefektip.

Penetapan besar (, c dan Ø

Penetapan besarnya ultimate shear strength T, kohesi dan sudut gese kan dalam  $\emptyset$  biasanya dapat diperoleh secara eksperimental dengan salah satu test sebagai berikut ;

- \* direct shear test
- \* laterally confined compression test yang disebut triaxial compression test
- \* unconfined compression test
- \* cone penetration test
- \* vane shear test

Keruntuhan MOHR - COULOMB

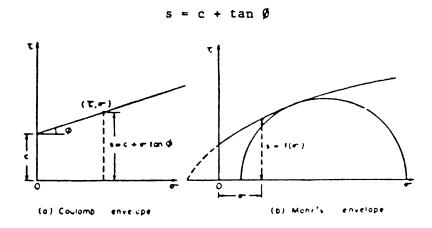
Teori tentang keruntuhan dalam tanah telah diformulir oleh MOHR . Hal-hal yang perlu diketahui dari teori kekuatan MOHR adalah :

- 1. Bahan runtuh karena geser (shear). Tegangan geser (shear stress) yang menyebabkan keruntuhan dan tergantung dari sifat-sifat (pro perties) dari tanah seperti halnya tegangan normal pada bidang keruntuhan.
- 2. Kekuatanultimate bahan ditetapkan oleh tegangan-tegangan dalam bidang keruntuhan yang potensional atau bidang geser.
- 3. Kriteria keruntuhan bahan tidak tergantung pada intermediate principle stress, pada bahan yang dikarenakan three dimesional principle stress  $\binom{r}{2}$ .

Kekuatan geser s sepanjang setiap bidang merupakan fungsi dari - tegangan normal pada bidang tersebut,

$$s = f(G)$$

Persamaan ini berupa suatu kurva pada sistem sumbu tegak s dan datar dan dinamakan Mohr's strength envelope sedangkan COULOMB mendefini sikan sebagai garis lurus pada sistem sumbu tegak dan datar dan dinamakan COULOMB strength envelope,



Failure envelopes

Parameter tersebut dinyatakan sebagai c = kohesi,  $\emptyset$  = sudut gesekan dalam dan  $\mathcal{T}$  = kekuatan geser tanah

Teori kekuatan dari COULOMB dan MOHR tentang garis-garis kekuatan atau envelope didasarkan adanya hubungan antara principle stresses, sudut gesekan dalam dan miringnya bidang keruntuhan.

### III. PERILAKU PASIR DAN LEMPUNG

#### PASIR

FAKTOR-FAKTOR YANG MEMBERI EFEK PADA KEKUATAN GESER DARI PASIR.

Pasir sebagai bahan "frictional "alam menambah besar perlawanan - gesekan (friction resistance) dan dengan sendiri menambah besarnya sudut gesekan dalam (angle of internal friction).

Faktor-faktor yangmempengaruhi Ø adalah

- \* void ratio atau kepadatan relatip
- \* bentuk partikel
- \* pembagian ukuran butir
- \* kekasaran permukaan partikel
- \* air
- \* intermediate principle stress
- \* ukuran butir
- \* overconsolidation atau prestress

Void ratio berkaitan dengan kepadatan pasir dan merupakan parameter tunggal yangpenting yangmemberi efek kepada kekuatan dari pasir secara umum dari drained test yaitu direct shear atau triaxial test diketahui bahwa makin kecil void ratio (kepadatan yang tinggi) akan memberikan kekuatan geser yang lebih besar.

Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa dengan mengecilnya void - ratio, kepadatannya bertambah besar sehingga sudut gesekan dalam a-tau sudut perlawanan geser Ø bertambah besar.

Pada MOHR ENVELOPE, Ø tidak tetap pada range dari confining pressure yang besar. Secara umum dikatakan bahwa Ø sebagai sesuatu yang tetap, akan tetapi sebenarnya garis keruntuhan MOHR envelope adalah suatu lengkung. Besarnya Ø akan bertambah dengan bertambah bentuk dan ketajaman partikel (angularity).

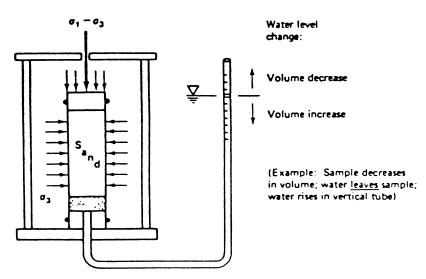
Pada kepadatan relatip yang sama, pasir yang lebih baik gradasinya mempunyai Ø yang lebih besar. Ukuran partikel pada ratio yang tetap mempunyai pengaruh besar terhadap Ø artinya pasir halus dan pasir kasar yang mempunyai void ratio yang sama akan mempunyai Ø yang kurang lebih sama.

Parameter yang lain adalah kekasaran permukaan partikel, makin kasar makin besar harga  $\emptyset$ .

### PERILAKU PASIR JENUH AIR PADA DRAINED SHEAR

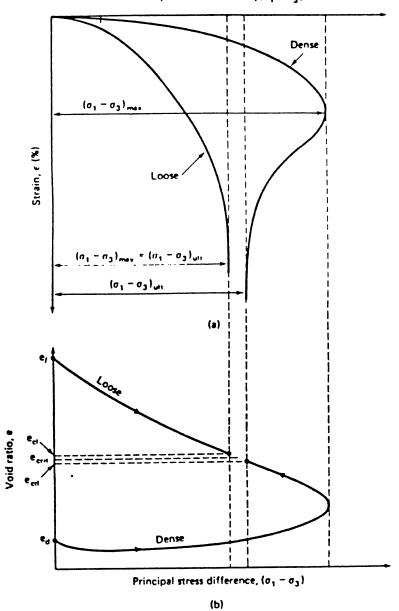
Test dilakukan terhadap pasir lepas dan pasir padat dengan kondisi test : consolidated drained (CD).

Keruntuhan terjadi pada dicapainya perbedaan dari principle stress yang meksimum (  $\mathfrak{I}_1 - \mathfrak{I}_3$  ) yang sama dengan compressive strengthnya.



Consolidated-drained triaxial test with volume change measurements





Triaxial tests on "loose" and "dense" specimens of a typical sand: (a) stress-strain curves; (b) void ratio changes during shear (after Hirschfeld, 1963).

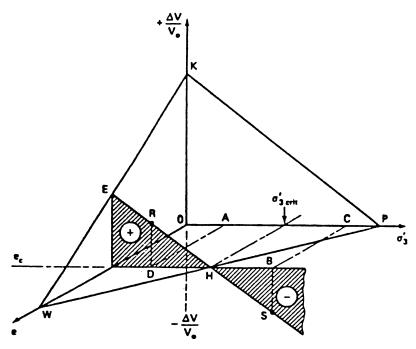
Pada pasir padat terjadi proses yang berlainan yaitu perbedaan dari principle stress ( $\mathbf{f}_1 - \mathbf{f}_3$ ) akan mencapai maksimum untuk kemudian menurun sampai suatu harga yangmendekati ( $\mathbf{f}_1 - \mathbf{f}_3$ ) ultimate untuk pasir lepas. Sedangkan bersamaan dengan itu void ratio menurun sedikit dalam volume untuk kemudian membesar e cd Kedua e cd saling berdekatan dan secara teoritis ada -

Kedua  $_{\text{cd}}^{\text{e}}$  dan  $_{\text{ci}}^{\text{e}}$  saling berdekatan dan secara teoritis ada - lah sama yang disebut void ratio kritis, demikian pula  $( f_1 - f_3 )$  ultimate sama untuk kedua pasir.

PERILAKU PASIR JENUH AIR PADA UNDRAINED SHEAR.

Kondisi test : consolidated undrained (CU)

Perbedaan dalam triaxial test untuk drained dan undrained adalah bah wa pada undrained tidak diperkenankan adanya perubahan volume selama diadakan pembebanan axial.



Peacock diagram, which combines Figs. 11.9a and b in an idealized graph to show the behavior of drained triaxial tests on sand.

Walaupun demikian, bagaimana pun juga akan dicapainya suatu confining pressure fining dimana volume akan berubah. Dalam hal ini ditunjuk diagram PEACOCK. Pada sample berkehendak volumenya menjadi berkurang dan tidak dapat maka akan timbul pore pressure yang positip dan menyebabkan berkurangnya effective stress. Dengan demikian batasan atau effective pressure yang minimum pada keruntuhan adalah facrit karena pada pressure ini V/V adalah nol atau tidak ada perubahan dalam volume.

Apabila tidak terjadi perubahan volume mengecil maka tidak ada ex - cess pore pressure, sehingga kemungkinan pore pressure yang maksimum adalah ( ( ' ' ' ' ' ' ' ' ) jarak HB.

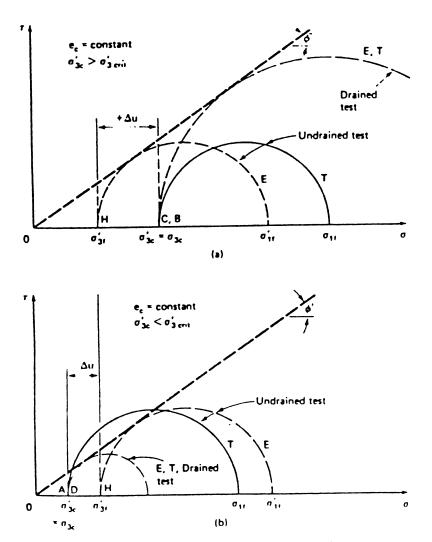
$$\Delta u = B - H = \int_{3c}^{\prime} - \int_{3f}^{\prime} = \int_{3c}^{\prime} - \int_{3crit}^{\prime}$$

Apabila confining pressure pada keruntuhan yaitu  $\mathfrak{T}_{3}^{'}$  maka com-

pression pressure pada terjadinya keruntuhan adalah ( $\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 3 \end{pmatrix}_f$  dimana apabila dihubungkan

$$( {}^{\prime}_{1} - {}^{\prime}_{3} )_{f} = {}^{\prime}_{3_{\text{crit}}} ( {}^{\prime}_{\frac{1}{\sqrt[4]{3}}} )_{f} - 1$$

Untuk membandingkan dengan drained test maka apabila confining pres sure dimulai dengan dan diperbesar maka kekuatan dari drained test akan lebih besar dari pada dari undrained test dan lingkaran Mohrnya akan menyinggung garis dari lingkaran Mohr ef fektip.



The Mohr circles for undrained and drained triaxial compression tests: (a) case where  $a_3'c>a_3'$   $_{\rm crit}$ : (b) case where  $a_3'c<a_3'$   $_{\rm crit}$ .

Keadaan sebaliknya apabila confining pressure kurang dari Garit maka volumenya akan membesar.

Selama volumenya tidak diperkenankan untuk membesar maka akan - timbul pore pressure yang negatip yang memperbesar effective - stress dari D atau A ke H yaitu ke Garit.

Dengan menggunakan ide dari diagram PEACOCK maka dapat diperkira-kan perilaku undrained dan drained dari pasir apabila diketahui - gejalan-gejala dari perubahan volume. Pada undrained test, dimu - lai dengan di A dan selama timbulnya pore water pressure, maka effective confining pressure akan bertambah besar sampai terjadinya keruntuhan pada H. Pada drained test dimulai pada dan lingkaran Mohr akan menyinggung garis envelope Mohr pada lingkaran efektip pada undrained test.

#### LEMPUNG:

STRESS DEFORMATION DAN STRENGTH CHARACTERISTICS DARI TANAH BERKO-HESI JENUH

Seperti halnya pada pasir, perubahan volume dapat terjadi pada - drained test dan kemana arah dari perubahan volume apakah membe - sar atau mengecil tergantung dari kepadatan relatip demikian pula pada confining pressure. Apabila geser terjadi pada undrained - test maka perubahan volume akan mengakibatkan timbulnya pore wa - ter pressure.

Demikian pula halnya dengan tanah lempung yang terkena geser.

Pada drained shear lempung, terjadinya perubahan volume apakah membesar atau mengecil tergantung pada kepadatan relatip, confi ning pressure dan stress history dari tanah.

Dalam undrained shear pertumbuhan dari pore pressure tergatung da ri apakah tanahnya normally consolidated atau overconsolidated. Aplikasi dari beban konstruksi lebih cepat daripada air yang da pat keluar dari pore-pore dalam tanah lempung dan dengan sendirinya menghasilkan excess hydraulic atau pore pressure. Apabila pada pembebanan tersebut tidak terjadi keruntuhan dan pore pressure menghilang maka terjadi proses perubahan volume yang disebut consolidation. Perbedaan utama perilaku antara pasir dan lempung dalam compressibility dari tanah adalah waktu diperlukan untuk perubahan volume.

Perbedaan waktu tergantung dari perbedaan permeability antara pasir dan lempung. Lempung mempunyai permeability yang lebih kecil sehingga air yang mengali. keluar memerlukan waktu yanglebih lama dari ta nah yang berkohesi itu.

Pore water pressure tidak dapat menekan tegangan geser dan hanya - struktur dari tanah yang dapat menahannya yang berarti kekuatan ge - ser tergantung hanya pada effective stress.

Dalam necari penyelesaian problema stabilitas diadakan pendekatan - pendekatan sebagai berikut :

- \* total stress
- \* effective stress

Pendekatan total stress adalah tidak diperkenankan adanya drainase selama test diadakan dan diasumsi bahwa pore water pressure yang ber arti effective stresses dalam test identik di lapangan.

Analisa metoda stabilitas yang dinamakan total stress analysys yang menggunakan total atau undrained shear strength  $\overline{t_i}$  dari tanah.

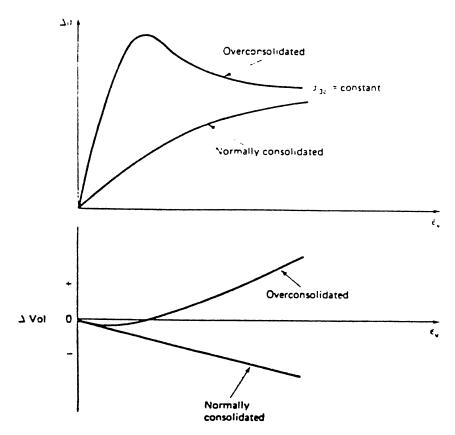
Hal ini dapat dilakukan di laboratorium dan di lapangan. Test di lapangan meliputi Dutch cone penetrometer vane shear.

Pendekatan lain yang didasarkan pada effective stress untuk menghi tung stabilitas pondasi, embankments, lereng dan sebagainya mengguna
kan kekuatan geser dalam effective stresses. Dalam hal ini diadakan
pengukuran atau perkiraan dari excess hydrostatic pressure baik da lam laboratorium maupun dalam lapangan . Setelah diketahui atau di perkirakan stress mula-mula dan total stresses yang diaplikasikan ,
dapat dihitung effective stresses yang bekerja dalam tanah. Analisa
metoda stabilitas ini dinamakan effective stress analysis dan meng gunakan drained shear strength atau kekuatan geser dalam effective stress. Drained shear strength biasanya dilakukan hanya di laboratorium.

### PERILAKU DARI CONSOLIDATED - DRAINED TEST

Apabila consolidated telah selesai maka CD test ini telah selesai pu la. Selama dilakukan drainase, perbedaan priciple stress diaplikasi kan sangat lambat agar tidak terjadi excess pore water pressure selama test diadakan.

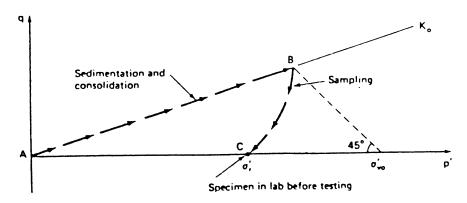
Suatu stress strain curves dan perubahan volume versus strain curves untuk mormally consolidated dan overconsolidated dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



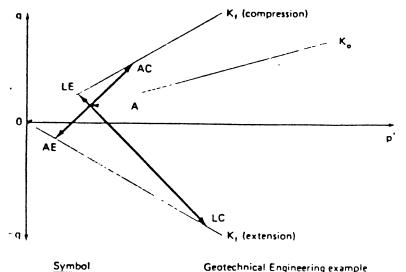
Typical stress-strain and volume change versus strain curves for CD axial compression tests at the same effective confining stress.

Lempung yang overconsolidated mempunyai kekuatan yang lebih besar dari pada yang normally consolidated, dan sewaktu terjadinya geser lempung yang overconsolidated bertambah besar volumenya sedangkan-yang normally consolidated mengecil.

Hal ini identik dengan pasir lepas untuk lempung normally consolidated dan pasir padat untuk lempung overconsolidated. Stresspath CD triaxial test seperti dibawah ini



Stress paths during sedimentation and sampling of normally consolidated clay, where  $K_{\rm o} < 1.$ 



SymbolGeotechnical Engineering exampleAC:Axial CompressionFoundation loading – increase  $\sigma_v$ ,  $\sigma_h$  constantLE:Lateral ExtensionActive earth pressure – decrease  $\sigma_h$ ,  $\sigma_v$  constantAE:Axial ExtensionUnloading (excavation) – decrease  $\sigma_v$ ,  $\sigma_h$  constantLC:Lateral CompressionPassive earth pressure – increase  $\sigma_h$ ,  $\sigma_v$  constant

Stress paths during drained loadings on normally consolidated clays and sand (after Lambe, 1967).

Penggunaan CD strength dalam engineering practice adalah kritis untuk long-term steady seepage case untuk embankment bendungan dan long-term stability pada galian atau lereng-lereng dalam tanah lempung yang lunak dan kuat.

## PERILAKU DARI CONSOLIDATED - UNDRAINED TEST

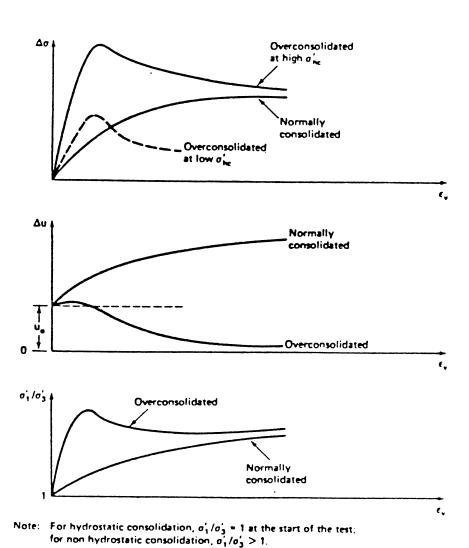
Sesudah consolidation selesai maka lobang drainase ditutup dan contoh dibebani sampai runtuh dalam undrained shear.

Pertumbuhan pore water pressure selama geser diukur dan kedua total dan effective stresses dapat dihitung selama geser dan pada kerun - tuhan. Test ini dapat merupakan total atau effective stress test dan dinamakan sebagai R test.

△ u adalah excess pore pressure dan dapat merupakan positip dan ne gatip, ini disebabkan karena contoh mengecil atau membesar selama - geser. Pada undrained test tidak diperkenankan adanya perubahan volume sehingga air tidak dapat masuk dan keluar dalam dan keluar con toh selama geser.

Karena tidak boleh terjadi perubahan volume sedangkan volume mempunyai kehendak untuk berubah maka timbul suatu pore water pressure. Apabila contoh berkehendak untuk mengecil atau consolidate selama geser maka pore water pressure adalah positip dan terjadi pada lem pung yang normally consolidated.

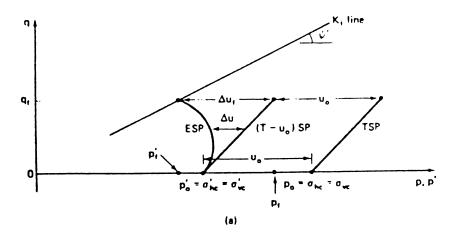
Sebaliknya apabila contoh berkehendak membesar akan tetapi tidak dapat maka timbul pore water pressure yang negatip dan hal ini - terdapat pada lempung yang overconsolidated. Harus diingat bahwa pore water pressure mula-mula adalah lebih besar dari nol yang di sebut back pressure u

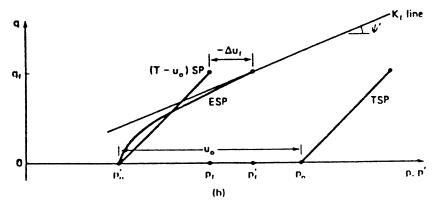


Typical  $\sigma_{<}$ ,  $\Delta u$ , and  $\sigma_1'/\sigma_3'$  curves for normally and overconsolidated clays in undrained shear (CU test).

Pada stress-strain curve, nampak bahwa pada lempung yang over - consolidated dengan meningkat stress akan mencapai suatu puncak un tuk kemudian menurun dengan turunnya stress sedangkan strainnya - bertambah terus seakan-akan memperlemah bahan.

Pada normally consolidated, pore pressurenya yang timbul adalah po sitip sedangkan pada yang overconsolidated mula-mula sedikit naik untuk kemudian turun menjadi negatip terhadap back pressure u O Stress path dari kedua test seperti gambar dibawah ;





Stress paths for the hydrostatically consolidated axial compression tests on (a) normally consolidated clays, (b) overconsolidated clays.

Penggunaan CU Strength dalam engineering praktis dimana pore water pressurenya diukur, biasanya digunakan untuk menetapkan parameter - kekuatan geser dalam total dan effective stresses.

CU Strength digunakan untuk problema-problema stabilitas dimana ta nahnya pertama-tama menjadi consolidated sepenuhnya dan berada dalam keseimbangan dengan stress system yang ada. Selanjutnya untuk beberapa alasan, diadakan tambahan stresses secara cepat dengan tidak terjadinya drainase .

Contoh-contoh yang praktis adalah :

- \* rapid drawdown pada embankment bendungan, lereng reservoir dan saluran
- \* penimbunan (embankment) secara cepat pada lereng alam
- \* pembuatan timbunan (embankment) pada lapisan tanah yang consolidated dimana dibawahnya terdapat lapisan bedrock.

### IV. SEEPAGE

Seepage dapat terjadi pada lereng-lereng alam maupun pada lereng-le reng buatan manusia seperti tanggul dan bendungan dari tanah.

Seepage pada lereng alam, aliran didalam tanah berasal dari air didalam tanah sedangkan pada lereng buatan manusia aliran air didalam tanah berasal dari adanya perbedaan permukaan air kedua sisinya.

Dalam pembuatan design suatubendungan dari tanah, pengaruh seepageperlu diperhitungkan karena selain merupakan kebocoran juga meng ganggu stabilitas dari bendungan tersebut.

Apabila air didalam massa tanah berada dalam keadaan diam maka efek terhadap partikel-partikel tanah terbatas pada tekanan keatas hidro statis. Tidak demikian halnya pada air yang mengalir melewati massatanah, karena air yang mengalir akan mendesak partikel-partikel tanah dan hydrodynamic seepage pressurenya bekerja dalam arah aliran dan bertangesial pada garis aliran. Besarnya tekanan seepage meru pakan fungsi dari hydraulic gradientnya.

Terjadinya aliran seepage dikarenakan adanya tekanan yangmendorong (driving pressure )daripada yang merupakan fungsi dari perbedaan - permukaan air (head),

$$dp = \gamma_w dh dA$$

dimana :

 $\gamma_w$  = satuan berat air

dA = luas penampang melintang aliran

dl = panjang aliran yang dipandang

Tekanan dari pada merupakan tekanan hidrodinamik total, dari aliran seepage yang dapat dinyatakan dalam satuan volume :

$$\frac{dp}{dV} = \frac{dp}{dA \cdot d1} = \frac{\sqrt{u \cdot dh \cdot dA}}{dA \cdot d1}$$

Karena kecepatan dari seepage biasanya rendah maka gaya inersia dari air yang bergerak diabaikan.

Gaya seepage untuk setiap satuan volume menjadi ,

$$D = \int_{\mathbf{w}} i$$
 (berat/kubik)

dimana :

$$D = \frac{dp}{dA \cdot d1}$$

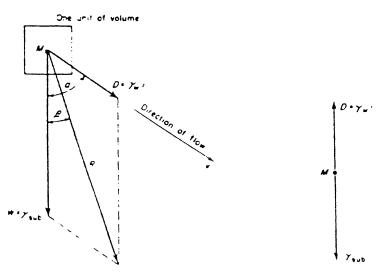
$$i = \frac{dh}{dl}$$
 = hydraulic gradient

dan bekerja sepanjang arah aliran air.

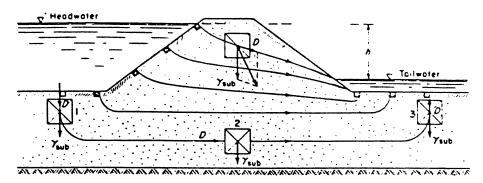
Persamaan tersebut menunjukkan bahwa gaya seepage D merupakan fungsi dari satuan berat air  $\gamma_w$  dan hydraulic gradient i dari sistem aliran dan merupakan fungsi dari h (head) dan panjang infiltrasi L oleh aliran air.

Dari persamaan tersebut nampak pula bahwa gaya seepage D tidak tergantung dari kecepatan aliran maupun dari permeability dari tanah . Ini berarti bahwa gaya hidrodinamik untuk tanah yang berkohesi akan sama dengan tanah yang tidak berkohesi meskipun kecepatan alirannya berada secara nyata.

Penggabungan gaya seepage dengan gaya gravitasi dari massa tanah W yang dilalui aliran akan memberi arah resultant R



Combination of seepage Fig 14-19 Oppositely directed sectors force with gravity force



Hydrodynamic pressure conditions of seeping water in soil.

$$R = \sqrt{D^2 + W^2 + 2 DW \cos}$$
sudut :  $\beta = \arctan \frac{D \sin}{W + D \cos}$ 

apabila : 
$$\alpha = 45^{\circ}$$

$$R = \sqrt{D^2 + W^2}$$

$$\beta = \arctan \frac{D}{W}$$

Tekanan hidrodinamik mempunyai mengaruh besar terhadap stabilitas tanah. Tergantung kepada arah dari aliran didalam tanah maka tekanan hidrodinamik dapat merubah besarnya satuan berat tanah. Apabila aliran air mengalir vertikal kebawah ( $\alpha = 0$ ) resultant R mengarah kebawah dan tekanan hidrodinamik D, seakan-akan memper - besar satuan berat tanah W. Didalam hal ini gaya seepage mempunyai effek untuk lebih memadatkan massa tanah yang berarti memperbesar tegangan efektip antar partikel-partikel tanah dan lebih memantap-kan kedudukan dari partikel-partikel tanah yang berarti stabil. Sebaliknya apabila aliran air mengalir vertikal keatas ( $\alpha = 180^\circ$ ), tekanan hidrodinamik mengurangi satuan berat efektip dari tanah se hingga merengganggkan partikel-partikel tanah.

Apabila dicapai suatu keadaan dimana gaya seepage sama dengan : an berat tanah dalam air (submerged),

$$D = \gamma_{sub}$$

maka tanahnya nampaknya tidak mempunyai berat dan massa tanah ter menjadi tidak stabil.

Kasus yang demikian itu merupakan suatu kondisi hidrolis yang kusyang dinamakan kritis, sehingga hydraulic gradient-nya disebut hyulic gradient kritis  $i_c$  dan kecepatan aliran kritis  $v_c$ . Tekanan hidrodinamik pada kondisi yang kritis menjadi

$$D = \gamma_w i_c$$

apabila :

kecepatan aliran  $v > v_c$  dan  $D > f_{sub}$ 

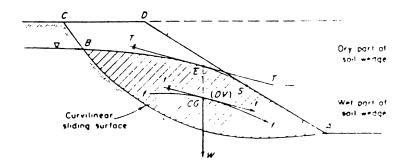
menjadikan  $\gamma_{\rm eff}$  menjadi negatip.

Ini berarti bahwa partikel-partikel tanahnya melepaskan diri satu hadap yang lain dan menjadi apa yang disebut "quick conditions"

Phenomena ini dikenal sebagai " quick sand" conditions dan membah kan karena hilangnya kestabilan.

Keadaan yang demikian itu dapat dijumpai pada tanggul-tanggul bendungan-bendungan tanah dimana didalam tanah dibawah tanggul bendungan terjadi suatu aliran air akibat dari adanya tekanan hid dinamik karena adanya perbedaan permukaan air pada kedua sisi-sis

Bekerjanya gaya hidrodinamik pada keruntuhan lereng karena seepag pat dilihat pada gambar dibawah ini.



Position of hydrodynamic force in a ruptured seeping slope

Timbulnya seepage pada bagian bawah lereng alam perlu mendapat perhatian guna mencegah terjadi keruntuhan lereng. Karena gaya seepage, partikel-partikel tanah pada permukaan lereng dari sedikit demi sedikit dapat melepaskan diri dan dengan berjalannya waktu maka pada suatu saat kestabilan terganggu dan dapat runtuh. Hal ini dapat dicegah dengan memberi filter dengan gabion agar partikel-partikel ti dak ikut aliran seepage dan air seepage tetap bisa mengalir keluar.

Kadang-kadang timbulnya seepage pada galian dari lereng untuk jalan atau jalan kereta api tidak segera, akan tetapi setelah beberapa la ma seperti telah diuraikan dalam bab hidrologi karena tanahnya belum jenuh air sepenuhnya. Karenanya setiap galian seperti itu harus diawasi secara terus menerus.

Sedangkan timbulnya seepage pada lereng buatan manusia seperti bendungan tanah sudah diperhitungkan terlebih dahulu dalam design dengan membuat suatu konstruksi sistem drainase dalam bendungan ter sebut.

#### V. STABILITAS LERENG

TERZAGHI membagi sebab-sebab keruntuhan lereng dalam 2 efek :

### \* Internal

Keruntuhan yang terjadi tidak disebabkan karena efek dari external conditions akan tetapi karena perubahan yang terjadi pada sifat - pisik dari tanahnya (bahan) yaitu berkurangnya kekuatan geser tanah (shear strength) yang pada umumnya disebabkan karena bertam - bah besarnya pore water pressure.

### \* External

Keruntuhan yang terjadi disebabkan karena tambahan beban atau tim bulnya getaran-getaran/gempa bumi yangme ngakibatkan bertambah be sarnya tegangan geser (shearing resistance) dalam tanah dan me - lebihi ultimate perlawan geser dari tanah atau kekuatan geser tanah.

Bertambah berat sebagai penambahan beban dapat terjadi pada lereng akibat hujan yang terus menerus yang menjadikan massa tanah bertam-

bertambah berat sebagai efek external dan sekaligus memperbesar pore water pressure yang berakibat berkurangnya kekuatan geser tanah se - bagai efek internal, sehingga keseimbangan lereng tersebut terganggu dan akhirnya runtuh.

#### ASSUMSI ANALISA STABILITAS LERENG

Metoda analisa untuk stabilitas lereng yang dipergunakan dewasa ini sebagian besar masih menggunakan assumsi dan observasi pada abad ke-18 dan ke 19. Meskipun demikian pengertian dalam aspek-aspek tertentu, khususnya dalam perlawan geser dalam tanah (shearing resistance of soil) telah maju dengan pesat sejak itu, dimana asumsi-asumsi dasarnya tidak berubah.

Asumsi-asumsi yang dimaksud adalah sebagai berikut :

- \* Keruntuhan pada suatu lereng tanah terjadi menurut suatu bidang permukaan longsor tertentu. Keruntuhan tersebut dianggap dapat dinyatakan dalam two-dimensional plane problem.
- \* Massa yang runtuh bergerak sebagai suatu rigid body dan deformasinya tidak berpengaruh pada problemnya.
- \* Perlawanan geser dari masa tanah pada berbagai-bagai titik disepanjang permukaan yang runtuh tidak tergantung dari orientasi dari permukaan yang runtuh yaitu sifat-sifat kekuatan (strength properties) adalah isotropis.
- \* Faktor keamanan dinyatakan dalam tegangan geser rata-rata sepan jang permukaan yang runtuh dan kekuatan rata-rata sepanjang bi dang permukaan yang runtuh itu dan bukan harga-harga tersebut pada titik-titik tertentu. Jadi kekuatan geser dari tanah dapat saja le bih besar pada beberapa titik permukaan yang longsor asal faktor yang dihitung memberi hasil lebih dari satu.

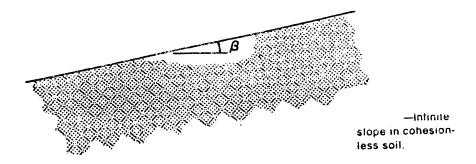
### LONGSOR MENURUT BIDANG DATAR

\* Stabilitas lereng yang tidak terhingga (infinite slope) dari tanah yang tidak berkohesi,

Sudut miringnya lereng =  $\beta$ Lereng terdiri dari tanah yang tidak berkohesi dan homogen : c' = 0 Dalam batas-batas keseimbangan stabilitas lereng, maka suatu lereng atau skan stabil apabila  $\beta > \emptyset$  faktor keamanan :

$$FS = \frac{\tan \emptyset}{\tan \beta}$$

\* Stabilitas lereng dari tanah lempung murni Lereng timbunan atau galian dari tanah yang berkohesi ( $\emptyset = 0$ )



Dari keseimbangan lereng diperoleh

$$\frac{c_{\text{req}}}{2^{\text{H}}} = \frac{\sin i \sin (\beta - 1)}{2 \sin \beta}$$

 $\frac{c_{req}}{2^{r}H}$  dinamakan stabilitas number dan tidak mempunyai dimensi .

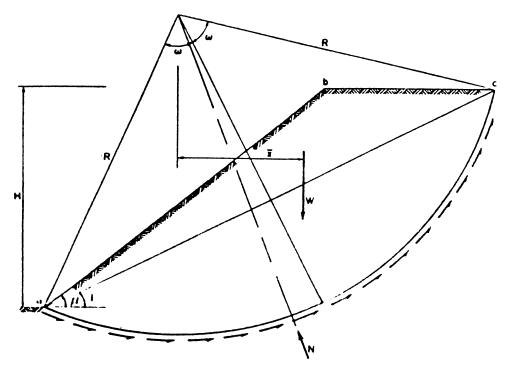
Stability number merupakan suatu perbandingan yang sederhana dari komponen kohesi yang memberi perlawanan terhadap geser terhadap gang diperlukan untuk mempertahankan stabilitas lereng yang berarti pula sebagai faktor keamanan = 1.

Untuk memperoleh besarnya sudut i dari bidang yang mempunyai potensi untuk lereng maka untuk memperoleh bidang longsor yang kritis ini, c<sub>req</sub> / h harus maximum,

$$\frac{\partial}{\partial i} \left( \frac{c_{\text{req}}}{\gamma_{\text{H}}} \right) = \frac{\partial}{\partial i} \quad (\sin i \sin (\beta - i) = 0)$$

COLLIN dalam mengadakan observasi pada keruntuhan stabilitas lereng di lapangan menemukan bahwa permukaan longsor tidak berupa suatu bidang datar akan tetapi suatu bidang berbentuk kurva.

Untuk mempermudah perhitungan maka permukaan bidang longsor diang - gap berbentuk lingkaran. Cara ini masih banyak digunakan di Indonesia baik untuk memeriksa kestabilan suatu lereng yang telah ada mau pun untuk mendesain suatu lereng buatan.



—Stability analysis of slope in cohesive soil ( $\phi=0$ ), for an assumed circular failure surface (shallow failure)

Untuk dapat memperoleh keseimbangan maka momen yang men - dorong untuk longsor harus dapat ditahan oleh momen perlawanan yang melawan terhadap longsor tersebut.

Momen-momen tersebut dipandang terhadap titik pusat lingkaran longsor. Momen pendorong adalah berat massa tanah diperkirakan akan longsor dikalikan jarak antara horisontal titik pusat lingkaran dengan garis kerja berat massa tanah.

Momen perlawan adalah kekuatan geser tanah yang bekerha sepanjng bidang longsor yang berupa sebagai suatu busur lingkaran dikalikan jajari-jari lingkaran longsor,

Kestabilan lereng hanya terjamin apabila perbandingan antara momen perlawanan (resisting moment) dengan momen pendorong (driving moment) memberi hasil lebih dari satu.

Jadi faktor keamanan

$$FS = \frac{M_{\text{Perlawan}}}{M_{\text{pendorong}}} > 1$$

$$FS = \frac{\text{T.ac.R}}{W x}$$

Untuk memperoleh hasil yang lebih teliti maka massa tanah yang di - perkirakan akan longsor dibagi-bagi dalam irisan-irisan, sehingga-faktor keamanan menjadi :

$$FS = \frac{\begin{bmatrix} c \ge \Delta l_i + \tan \emptyset & N_i \end{bmatrix}}{\sum T_i} > 1$$

1; = lebar setiap irisan yang lazimnya dibuat sama

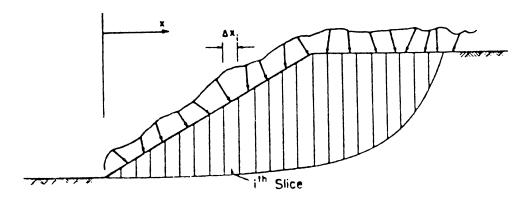
N<sub>i</sub> = gaya normal yang bekerja pada setiap irisan sebagai komponen normal dari berat W<sub>i</sub> masing-masing irisan

T<sub>i</sub> = Gaya tangensial yang bekerja pada setiap irisan sebagai komponen tangensial dari berat W<sub>i</sub> masing-masing irisan

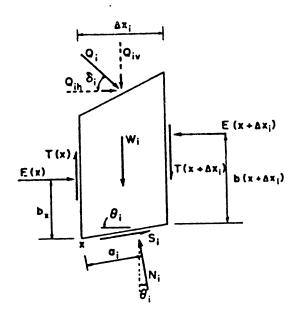
Lingkaran longsor atau lingkaran yang kritis adalah lingkaran yang menghasilkan faktor keamanan yang terkecil dan < 1.

Karenanya untuk memperoleh lingkatan yang kritis harus dilakukan de ngan cara coba-coba (trial and error).

Tokoh dalam hal ini adalah FELLENIUS yang kemudian oleh BISHOP di - adakan modifikasi dengan nama Bishop Simplified Method of Sicles.



# a) - Sliding Mass



-Division of general slide mass into slices.

b) - Thin Slice of Sliding Mass

# dimana :

△ x<sub>i</sub> = lebar irisan

Q<sub>i</sub> = beban luar yang bekerja pada irisan
T<sub>x</sub> = gaya geser

 $T(x + \triangle x_i) = gaya geser$ 

E<sub>x</sub> = horisontal

 $E(x+ \Delta x_i) = horisontal$ 

S<sub>i</sub> = gaya geser yang bekerja pada irisan

N; = gaya normal yang bekerja pada irisan

BISHOP tetap memandang bentuk bidang longsor sebagai lingkaran.

Penyederhanaan yang dilakukan oleh BISHOP adalah bahwa dipandangnya bahwa untuk keseimbangan,

$$\sum (T_x - T_{x+\Lambda x}) = 0$$

sehingga faktor keamanan menjadi :

$$\sum \left[ \frac{c_i \Delta x_i (W_i + Q_{ir}) tan \phi_i}{\cos \theta_i} + \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_i} \right]$$

$$\sum \left[ (W_i + Q_{ir}) \sin \theta_i - Q_{ik} \frac{d_i}{R} \right]$$

Harga  $\cos \theta$  i +  $\frac{\sin \theta$  i tan  $\theta$  i dapat diperoleh dengan mengguna grafik dari JANBU

Apabila ada terdapat pore water pressure maka faktor keamanan tersebut diatas dirubah pembilang pada pecahan diatas garis pembagi menjadi

$$c_{i}^{\dagger} \Delta x_{i} + (W_{i} + Q_{iv} - u_{i} \Delta x_{i}) \tan \theta_{i}$$

dan bagian-bagian dari pecahan tetap sama. Karena pore water pressure diperhitungkan maka c'i dan Ø'i dinyatakan pula dalam tegangan efektip.

# LONGSORAN MENURUT BUKAN LINGKARAN

Longsoran lereng yang menuruti suatu bentuk permukaan longsoran bukan lingkaran, perhitungan keseimbangan lereng adalah lebih kom pleks apabila dibandingkan dengan yang berbentuk bidang datar dan lingkaran.

Dalam kenyataan terutama longsoran pada lereng alam bentuk bidang - longsor berbentuk bukan lingkaran.

Dalam analisa limit equilibrium methods yang pada umumnya dipakai - dengan menggunakan prinsip-prinsip irisan (slices) dengan memper - hitungkan,

- \* geometri yang kompleks
- \* tanah yang berbeda-beda (variable soil)
- \* kondisi dari pore water pressure

Metode-metode yang biasanya banyak dipakai adalah :

- \* JANBU's Generalized Method of Slices
- \* Morgenstern Price's method
- \* Spencer's method

yang menghasilkan bentuk permukaan bidang longsor bukan lingkaran (non circular), dapat memenuhi semua persamaan keseimbangan-dan dapat dipakai menghitung faktor keamanan menuruti bentuk permukaan longsor yang mana pun juga.

Metoda keseimbangan yang dapat memenuhi semua kondisi keseimbangan itu memberi ketelitian tidak berbeda lebih dari + 5 % dari jawaban yang "correct" yang dimaksud dengan jawaban yang correct adalah hasil yang diperoleh dengan metode log spiral karena dapat memenuhi semua kondisi keseimbangan.

Dikatakan pula Bishop's Simplified Method mempunyai ketelitian - yang sama.

Dalam hal memilih bentuk permukaan longsoran yang mana akan digunakan apakah yang lingkaran atau yang bukan lingkaran maka perlu diperhatikan geometri dari problemnya dan stratigrapi dari propil tanah.

Secara umum dapat dikatakan kelongsoran geser yang terjadi pada lereng yang terjal dengan tanah yang homogeen bentuk bidang long-sornya adalah lingkaran.

Akan tetapi bila terdapat lapisan-lapisan yang lunak pada propil tanah tersebut, permukaan dari longsoran tersebut akan berupa ben tuk bukan lingkaran.

Apabila dalam hal ini ditempuh bidang longsoran menurut lingkaran maka ada kemungkinan bahwa faktor keamanannya menjadi berkelebihan (overestimated) dan tidak sesuai dengan permukaan yang paling kritis.



## KESIMPULAN

- 1. Keruntuhan yang terjadi pada lereng disebabkan karena tegangan geser yang timbul didalam tanah melampaui kekuatan geser dari tanah. Kekuatan geser tanah ini tidak selalu mempunyai harga yang tetap akan tetapi dapat berubah menjadi lebih kecil dari harga yang semula kare na pengaruh dari air.
  Selain dari pada itu, air pun dapat menambah berat massa tanah yang akan longsor yang berarti memperbesar tegangan geser yang timbul da
- 2. Air merupakan salah satu unsur pelapukan (weathering agent) pada batu-batuan dan tanah. Dengan terjadinya proses pelapukan engineering-properties-nya berubah pula termasuk kekuatan geser dari batu dan tanah berubah menjadi lebih kecil.

lam tanah.

- 3. Air mengadakan interaksi dengan mineral-mineral lempung seperti mine ral montmorillonite, illite dan kaolinite yang dapat menyebabkan lem pung mengembang (swell) dan menyusut (shrinkage) sehingga menimbulkan etak-retak (cracks) pada permukaan tanah.
  - Dengan terisinya retak-retakan dengan air hujan, menjadikan tempat tempat tersebut, tempat yang lemah sehingga memungkinkan terjadinya longsoran pada lereng.
  - Retak-retakan memberi efek langsung pada terjadinya longsoran sedang kan mengembangnya lempung memberi indikasi kadar air yang berkelebih an pada lempung.
- 4. Aliran air pada permukaan lereng yang tidak ada tanaman/vegetasi da pat mengakibatkan terjadinya erosi yang juga termasuk kelongsoran le
  reng . Dengan berjalannya waktu, kemiringan lereng menjadi lebih ter
  jal dan mengurangi stabilitas lereng.
- 5. Aliran air dibawah permukaan (sub surface flow) tidak hanya berupa aliran yang merata akan tetapi dapat berupa aliran konsentrasimele wati terowongan-terowongan kecil maupun besar Karena struktur geologi dan struktur akar-akar dari tanaman/vegetasi dan bersama air didalam tanah (ground water) menyusun suatu tata pengaturan air (water regime) dalam tanah dan bersama-sama membentuk suatu keseimbangan lereng alam secara menyeluruh.

Setiap perubahan oleh alam atau oleh manusia misalnya galian (cut) timbunan tanah (embankment) dan penebangan vegetasi pada lereng akan merubah pengaturan air dalam tanah dan dapat berakibat terganggunya stabili tas lereng secara menyeluruh dan baru berhenti setelah dicapainya ke seimbangan baru.

- 6. Aliran air dari dalam tanah yang keluar pada permukaan lereng (seepage) dibagian bawah dapat mengadakan erosi hidrolis didalam tanah dan butir-butir tanah terbawa aliran air. Dengan berjalannya waktu maka kestabilan lereng terganggu.
- 7. Vegetasi mempunyai fungsi sebagai pelindung permukaan tanah dari suatu lereng alam terhadap terjadinya erosi dan penahan air oleh sistem akar akarnya.

Sebaliknya karena sistem akar tersebut maka tanahnya menjadi permeable dan kekuatan geser tanah menurun. Selain dari pada itu proses pelapukan dari lapisan tanah yang relatip lebih segar dan yang berada dibawah lapisan tanah yang ditempati oleh sistem akar vegetasi akan menjadi - lebih cepat.

Pada saat-saat jatuh hujan dengan intensitas tinggi dan prekwensi yang pendek, massa tanah tersebut menjadi tambah berat sedangkan kekuatan - geser tanah menurun dengan drastis dan sistem akarnya tidak dapat mena han maka terjadi longsoran.

- 8. Struktur kemiringan lapisan-lapisan tanah, celah-celah dan patahan-patahan dalam geologi ikut menentukan terjadinya longsoran lereng alam . Banyak longsoran lereng alam yang terjadi dipengaruhi oleh faktor-faktor dalam geologi.
  - Ada longsoran lereng yang dapat dicegah akan tetapi ada pula longsoran lereng yang sukar atau tidak dapat dicegah dikarenakan struktur geologinya.
- 9. Lereng buatan manusia pada umumnya lebih dapat dikuasai karena di desain dari pada lereng alam yang lebih sukar dirabanya. Walaupun demikian masih perlu ditinjau pula struktur lapisan-lapisan geologi di bawahnya yang mempunyai pengaruh terhadap terganggunya stabilitas le reng tersebut.

- 10. Pengaruh air dalam tanah dalam analisa keseimbangan lereng adalah adanya tekanan hidrostatis pada partikel-partikel tanah yang disebut sebagai pore water pressure yang mengurangi besarnya bidang kontak antar partikel-partikel tanah yang berarti pula mengurangi kekuatan geser tanah yang berarti pula mengurangi kekuatan geser tanah Makin besar pore water pressure makin kecil kekuatan geser tanah.

  Untuk menyatakan besarnya kekuatan geser tanah lebih tepat apabila dinyatakan dalam tegangan efektip daripada tegangan total.
- 11. Membesarnya pore water pressure dapat disebabkan karena bertambah be sarnya tekanan hidrostatis karena hujan dan tegangan (stress) pada par tikel-partikel tanah yang mendesak air dalam rongga-rongga (voids) dalam tanah karena beban tambahan.
  - Pore pressure yang positip menjadikan tegangan efektip berkurang se dangkan pore pressure yang negatip menjadikan tegangan efektip lebih besar.
- 12. Pengenalan dan pengertian yang lebih baik tentang sifat-sifat tanah (soil engineering properties) khususnya tentang perilaku dari tanah a-kan sangat membantu dalam melihat permasalahan kestabilan lereng baik dalam dalam membuat desain maupun mengatasinya.
- 13. Dalam pembuatan desain suatu galian (cut) pada lereng alam untuk sesua tu perencanaan pembuatan jalan atau saluran, maka tidak cukup dengan mengadakan penyelidikan tanah saja akan tetapi dilengkapi dengan penyelidikan geologi dan tata pengaturan air dalam lereng alam itu.
- 14. Percobaan uji coba di laboratorium harus sedapat-dapatnya mewakili keadaan yang sesungguhnya di lapangan.
- 15. Bentuk permukaan longsoran yang terjadi pada lereng buatan manusia yang relatip homogen dari pada lereng alam, adalah berbentuk lingkaran se dangkan yang terjadi pada lereng alam yang tidak homogen adalah berben tuk bukan lingkaran.

# DAFTAR PUSTAKA

E.M. WILSON ENGINEERING HYDROLOGY

LINSLEY

KOHLER APPLIED HYDROLOGY

**PAULUS** 

M.H. de FREITAS

M.J. KIRKBY HILLSLOPE HYDROLOGY

J. BUNDRED BASIC GEOLOGY FOR ENGINEERS

QUIDO ZARUBA 🗸 ✓ LANDSLIDES AND THEIR CONTROL ✓ VOJTECH MENCL V

F.G.H. BLYTH A GEOLOGY FOR ENGINEERS

LOUIS BERGER GENERAL ASPECT OF SLOPE INTERNATIONAL INC

PART I

ALFREDS R JUMIKIS THEORETICAL SOIL MECHANICS

SOIL MECHANICS

\* 1 MECHANICS OF SOIL

TERZAGHI SOIL MECHANICS IN ENGINEERING

PECK PRACTICE

G.N. SMITH ELEMENTS OF SOIL MECHANICS

FOR CIVIL AND MINING ENGINEERS

STABILITY IN SOIL AND ROCK

TIEN HSING WU

SOIL MECHANICS

B.C. PUNMIA

SOIL MECHANICS AND FOUNDATIONS

WILLIAM H. PERLOFF

SOIL MECHANICS

WILLIAM BARON

PRINCIPLES and APPLICATIONS

ROBERT D. HOLTZ

AN INTRODUCTION TO

WILLIAM D. KOVACS

GEOTECHNICAL ENGINEERING

IX ICSMFE

VOLUME 3

1977 ТОКУО

X ICSMFE

GENERAL REPORT

1981 STOCKHOLM

VOLUME 3

TGL. PINJAM	HARUS KEMBALI	TGL. KEMBALI
16-2.05	31 . 9 . 13	29-7:05
17-7-07	6-3-88	30-9-27
3-12-90		24-R-g
	/	

MILIK PERPUSTAKAAN PUSLITBANG PU

