

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tanah

3.1.1 Umum

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, disamping itu tanah berfungsi sebagai pendukung pondasi dari bangunan (Braja M. Das, 1988).

Tanah terdiri dari tiga bahan yaitu butiran tanahnya sendiri, air dan udara yang terdapat dalam ruangan antara butir-butir tersebut. Ruangan ini disebut pori (*voids*). Apabila tanah sudah benar-benar kering maka tidak akan ada air sama sekali dalam porinya. Sebaliknya jika pori tanah tidak mengandung udara sama sekali maka pori tersebut penuh terisi air yang disebut tanah jenuh air (*fully saturated*) (Joseph E. Bowles, 1986).

3.1.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitasnya.

Sistem ini diperkenalkan oleh Cassagrade (1942) yang kemudian dimodifikasi oleh *United States Bureau of Reclamation* (1952). Sistem klasifikasi *Unified* mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar berikut ini :

1. Tanah berbutir kasar (*coarse grained soil*)

Kerikil dan pasir termasuk dalam golongan tanah ini dimana kurang dari 50 % berat contoh tanah lolos ayakan no. 200. Simbol dari kelompok ini diawali dengan huruf G untuk kerikil (*gravel*) atau tanah berkerikil, dan huruf S untuk pasir (*sand*) atau tanah berpasir.

2. Tanah berbutir halus (*fine grained soil*)

Merupakan tanah dimana lebih dari 50 % berat total contoh tanah lolos ayakan no. 200. Simbol dari kelompok ini diawali huruf M untuk lanau (*silt*) anorganik, huruf C untuk lempung (*clay*) anorganik dan huruf O untuk lanau organik dan lempung organik. Simbol PT digunakan untuk tanah gambut (*peat*) dan tanah-tanah lain dengan kadar organik tinggi.

Simbol lain yang digunakan pada klasifikasi menurut USCS adalah:

W = *Well graded* (tanah dengan gradasi baik)

P = *Poorly graded* (tanah dengan gradasi buruk)

L = *Low plasticity* (plastisitas rendah)

H = *High plasticity* (plastisitas tinggi)

Tabel 3.1 Sistem Klasifikasi Unified

Divisi utama		Simbol Kelompok	Nama umum		
Tanah berbutir kasar Lebih dari 50 % butiran tertahan pada ayakan No. 200	Pasir Lebih dari 50 % fraksi kasar lolos ayakan no. 4	Kerikil bersih (hanya kerikil)	GW Kerikil bergradasi baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Kerikil dengan butiran halus	GP Kerikil bergradasi buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
			GM Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau		
		CC Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung			
	Kerikil 50 % atau lebih dari fraksi kasar tertahan pada ayakan no. 4	Pasir bersih (hanya pasir)	SW Pasir bergradasi baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
			SP Pasir bergradasi buruk dan pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus		
		Pasir dengan butiran halus	SM Pasir berlanau, campuran pasir lanau		
			SC Pasir berlempung, campuran pasir-lempung		
			Tanah berbutir halus 50 % atau lebih lolos ayakan no. 200	Lanau dan lempung batas cair 50 % atau kurang	ML Lanau anorganik, pasir halus sekali, serbuk batuan, pasir halus berlanau atau berlempung
					CL Lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai dengan sedang lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung "kurus" (<i>lean clays</i>)
OL Lanau organik dan lempung berlanau organik dengan plastisitas rendah					
Lanau dan lempung batas cair lebih dari 50 %	Lanau dan lempung batas cair lebih dari 50 %	MH Lanau anorganik atau pasir halus diatome, atau lanau diatome, lanau yang elastis			
		CH Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung "gemuk" (<i>fat clays</i>)			
		OH Lempung organik dengan plastisitas sedang, sampai dengan tinggi			
Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		PT	Peat (gambut), muck dan tanah-tanah lain dengan kandungan organik tinggi		

Tabel 3.2 (Lanjutan)

Klasifikasi berdasarkan persentase butiran halus Kurang dari 5 % lolos ayakan no. 200 GW, GP, SW, SP Lebih dari 12 % lolos ayakan no. 200 GM, GC, SM, SC 5 % sampai 12 % lolos ayakan no. 200 klasifikasi perbatasan yang memerlukan penggunaan dua simbol	Kriteria klasifikasi $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4 ; C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ antara 1 dan 3}$	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas Atterberg diatas garis A atau PI > 7	
	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6 ; C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \text{ antara 1 dan 3}$	
	Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW	
	Batas-batas Atterberg di bawah garis A atau PI < 4	Batas-batas Atterberg yang digambar dalam daerah yang diarsir merupakan klasifikasi batas yang membutuhkan simbol ganda
	Batas-batas Atterberg diatas garis A atau PI > 7	

Index Plastisitas

Batas Cair

Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat dalam
ASTM Designation D-2488

3.2 Tanah Lempung

3.2.1 Sifat-sifat Umum Tanah Lempung

Lempung mempunyai diameter butir efektif lebih kecil dari 0,002 mm, sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopik dan submikroskopik yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral-mineral lempung dan mineral lainnya.

Fraksi tanah yang mempunyai diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm ini dapat menimbulkan pengertian yang berbeda. Hal ini berkenaan dengan mineral lempung yang merupakan substansi kristal, terutama dihasilkan dari proses pelapukan kimia pada pembentukan mineral batuan, biasanya tidak terdapat ukuran partikel besar (Young & Warkentin, 1975).

1. Hidrasi

Partikel lempung selalu terhidrasi yaitu dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul yang disebut air terserap (*absorbed water*). Lapisan ini umumnya mempunyai tebal dua molekul dan disebut dengan difusi (*diffuse layer*) atau lapisan difusi ganda. Lapisan air ini dapat hilang pada temperatur yang lebih tinggi dari 60⁰C sampai dengan 100⁰C dan akan mengurangi plastisitas tanah. Pada umumnya, jika lapisan ganda mengalami dehidrasi pada temperatur rendah, sifat plastisitasnya dapat dikembalikan lagi dengan cara mencampur air yang cukup dan dicuring selama 24 jam hingga 48 jam.

2. Aktifitas

Tipe mineral lempung mempunyai muatan negatif, ini menyebabkan terjadinya usaha untuk menyeimbangkan muatan dengan tarikan kation. Aktifitas

digunakan pula sebagai indeks untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang (*swelling*) tanah lempung (tabel 3.3) Aktifitas berkaitan pula dengan perubahan volume yang mana dengan sitat aktifnya lempung akan menyerap air disekelilingnya yang menyebabkan lempung bersifat plastis.

Tabel 3.3 Aktifitas mineral lempung (Mitchell, 1976)

Mineral	Aktifitas
Montmorillonite	1 - 7
Illite	1,5 - 1
Kaolinite	0,5
Halloysite (2H ₂ O)	0,5
Halloysite (4H ₂ O)	0,1
Attapulgit	0,5 - 1,2
Allophane	0,5 - 1,2

3. Flokulasi dan Dispersi

Struktur lempung bersifat terdispersi yaitu terbentuk oleh partikel-partikel lempung yang mengendap secara individu. Lempung yang terdispersi ini partikelnya akan saling berjauhan. Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya jarak antar partikel-partikel, gaya tolak-menolak antara partikel akan lebih besar daripada tarik-menarik (ikatan Van Der Waals). Apabila butiran lempung yang pada mulanya terdispersi dalam air kemudian posisinya berubah saling berdekatan karena adanya gerakan acak, butiran-butiran akan mengumpul dalam gumpalan besar. Apabila gumpalan besar ini mengendap akan membentuk struktur terflokulasi.

4. Pengaruh air

Air akan menentukan sifat plastisitas lempung. Fenomena utama dari lempung adalah bahwa massanya yang telah mengering dari suatu kadar air awal

mempunyai kekuatan yang cukup besar. Apabila bongkahan ini dipecah menjadi partikel-partikel kecil, bahan tersebut akan berperilaku sebagai bahan yang tidak kohesif. Apabila air ditambah kembali, bahan tersebut akan menjadi plastis dengan kekuatan yang lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan yang lebih kering. Apabila lempung basah ini dikeringkan lagi, akan terbentuk bongkahan yang keras dan kuat. Terlihat bahwa kerapatan yang lebih tinggi akibat pemampatan, akan memberikan kekuatan yang sangat tinggi. Dengan demikian air akan mempunyai pengaruh yang penting terhadap mineral lempung.

3.2.2 Pengaruh Kandungan Air Terhadap Lempung

Perilaku tanah berbutir halus sangat dipengaruhi oleh kandungan airnya. Tingkatan plastis tanah dapat ditentukan apabila batas plastis dan batas cairnya telah diketahui. Dengan melihat perbedaan antar batas cair dan batas plastis suatu tanah dapat ditentukan indeks plastisitasnya (PI) yaitu :

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots (1)$$

Untuk tiap jenis lempung, batas cair dan batas plastis tanah bervariasi. Harga batas cair lebih besar daripada batas plastis. Besaran plastisitas menunjukkan bahwa semakin besar nilai numeriknya semakin besar terjadinya susut pada waktu proses menjadi kering. Pengelompokan sifat plastis tanah dapat dilihat pada tabel 3.4 dan tabel 3.5.

Berdasarkan nilai indeks plastisitasnya, Atterberg membagi tingkatan plastis tanah dalam selang antara 0% sampai lebih besar dari 17% sedangkan menurut Burmsiter tingkat plastis tanah dibedakan dalam selang antara 0% sampai lebih besar dari 40% (tabel 3.4 dan tabel 3.5)

Tabel 3.4 Tingkatan Plastisitas Tanah Menurut Atterberg, 1911

Indeks Plastisitas	Tingkat Plastisitas	Jenis Tanah
0	Non Plastis	Pasir
$0 < PI < 7$	Rendah	Lanau
$7 < PI < 17$	Sedang	Lempung berlanau
$PI > 17$	Sangat Plastis	Lempung/tanah liat

Tabel 3.5 Tingkatan Plastisitas Tanah Menurut Burmsitter, 1976

Indeks Plastis	Tingkat Plastis
0	Tidak plastis
1 – 5	Sedikit plastis
5 – 10	Plastis rendah
10 – 20	Plastis Sedang
20 – 40	Plastis Tinggi
>40	Sangat Plastis

3.2.3 Pengaruh Perubahan Volume Pada Tanah Lempung

Setiap tanah kohesif akan mudah mengalami penyusutan sehingga menyebabkan terjadinya perubahan volume, terutama pada tanah yang mengandung mineral lempung *montmorillonite*. Lempung sebagai tanah ekspansif yaitu tanah yang mudah mengembang, mempunyai sifat sangat keras pada keadaan kering akibat tegangan penyusutan, bahkan pada kadar air yang lebih kecil tanah tersebut akan padat dan keras. Hal ini kan menyebabkan retakan-retakan akibat penyusutan, yang akan mempengaruhi tingkat kejenuhan tanah akibat infiltrasi dari permukaan.

Sifat pengembangan dan penyusutan tanah lempung yang menyebabkan perubahan volume pada umumnya tergantung pada sifat plastisitasnya. Semakin plastis mineral lempung akan semakin potensial untuk menyusut dan mengembang. Pada tabel 3.6 dapat dilihat hubungan antara potensi perubahan

volume terhadap indeks plastisnya. Jika tanah mempunyai indeks plastis lebih besar dari 20 maka perlu adanya perbaikan-perbaikan tanah dimana salah satunya dengan stabilisasi tanah.

Tabel 3.6 Hubungan antara batas Atteberg dan potensi volume
(Holtz & Gibbs, 1956)

Indeks Plastisitas			
Potensi Perubahan Volume	Daerah Kering	Daerah Lembab	Batas Susut (SL)
Kecil	0 – 15	0 – 30	> 12
Sedang	15 – 30	30 – 50	10 – 12
Tinggi	> 30	> 50	< 10

1. Faktor-faktor yang menyebabkan naiknya tegangan, yaitu :
 - a. Naiknya berat jenis tanah karena pembasahan
 - b. Adanya beban eksternal seperti bangunan
 - c. Bertambahnya kecuraman lereng karena erosi alami atau karena penggalian
 - d. Bekerjanya beban guncangan
2. Faktor-faktor yang menyebabkan turunannya kekuatan, yaitu :
 - a. Adanya air
 - b. Adanya beban guncangan dan beban berulang
 - c. Pengaruh pembekuan atau pencairan
 - d. Berkurangnya daya ikat/lekat material akibat naiknya tekanan pori secara berkala

Berdasarkan pengamatan kelongsoran yang dilakukan oleh Collin 1946, menunjukkan bahwa peristiwa kelongsoran tanah yang sering terjadi cenderung dalam bentuk bidang longsor yang berupa lengkungan (*sirkuler*) dan hingga saat

ini kebanyakan analisa kestabilan lereng didasarkan pada bentuk kelongsoran *sirkuler*.

3.3 Tanah Pasir

Pasir merupakan jenis tanah granuler yang bersifat tidak kohesif dan tidak plastis. Susunan tanah granuler berupa butiran tanah lain (butiran lebih besar 0,02 mm) akan berupa susunan tunggal. Berat butiran menyebabkan butiran mengendap. Susunan tanah mungkin tidak padat (angka pori tinggi atau kerapatan rendah) atau padat (angka pori rendah atau kerapatan tinggi). Angka pori tergantung pada distribusi ukuran butiran, susunan serta kerapatan butiran.

Tanah granuler dapat membentuk hubungan sarang lebah (*honeycomb*) yang dapat mempunyai angka pori yang tinggi. Lengkungan butiran dapat mendukung beban statis, tapi susunan itu sangat sensitif terhadap longsoran, getaran atau beban dinamis. Adanya air dalam susunan butiran tanah yang sangat tidak padat dapat mengubah sifat-sifat teknisnya.

3.4 Lereng

3.4.1 Jenis Kerusakan (*Failure*)

Kerusakan dibagi menjadi dua tipe, yaitu:

- 1) *Slope failure* (kerusakan lereng)
 - a. *Cut slope* (pemotongan lereng)

Ada tiga jenis kerusakan akibat pemotongan lereng :

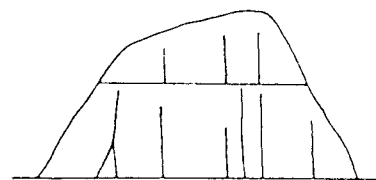
1. *Shallow surface failure*

Terjadi pada daerah dengan batuan sedimen yang mudah tererosi, sifat agak pasiran sampai pasir, non kohesif, abu vulkanik, sudah agak lapuk. Biasa terjadi setempat karena adanya rembesan air yang memotong permukaan lereng, dekat permukaan. Kerusakan ini terdiri dari 4 (empat) macam yaitu :

- a. *Surface erosion due to dry wet weather, rainfall* yaitu kerusakan permukaan lereng yang diakibatkan oleh perubahan cuaca panas atau dingin serta turunnya hujan. (Gambar 3.1.a)
- b. *Fall of boulder* yaitu kerusakan permukaan lereng berupa terlepasnya batu-batu besar dari lereng. (Gambar 3.1.b)
- c. *Failure due to accelerated weathering caused by cutting* yaitu kerusakan permukaan lereng yang diakibatkan oleh pemotongan tebing yang dipercepat oleh perubahan cuaca. (Gambar 3.1.c)
- d. *Failure along cracks inside of rock layer* yaitu kerusakan permukaan lereng berupa retak-retak lapisan batuan bagian dalam. (Gambar 3.1.d)



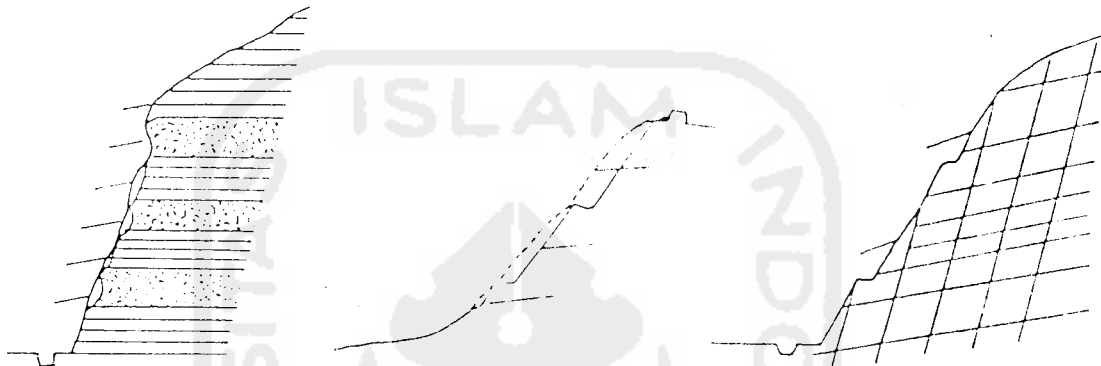
3.1.a. *Surface erosion due to dry wet weather, rainfall*



3.1.b. *Fall of boulder*



3.1.c. *Failure due to accelerated weathering caused by cutting*



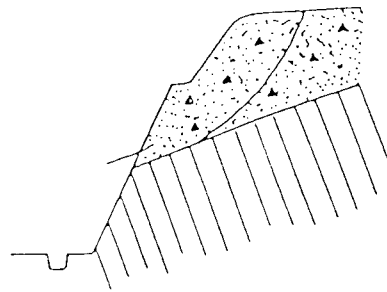
3.1.d. *Failure along cracks inside of rock layer*

Gambar 3.1 *Cut Slope, Shallow Surface Failure*

2. *Deep cut failure*

Terjadi karena adanya pengaruh perlapisan atau rekahan, agak dalam pada lapisan batuan yang bersifat kristalin dan mempunyai skala agak besar. Kerusakan ini terdiri dari 3 (tiga) macam yaitu :

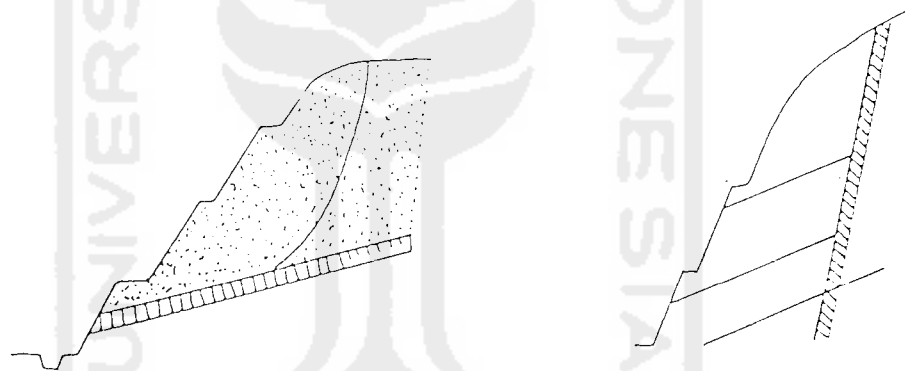
- a. *Failure due to different kind of layer* yaitu kerusakan lereng akibat perbedaan jenis lapisan tanah. (Gambar 3.2.a)
- b. *Failure on soft soil layer* yaitu kerusakan lereng yang terjadi pada lapisan tanah lunak. (Gambar 3.2.b)
- c. *Failure due to shattered zone* yaitu kerusakan lereng yang diakibatkan oleh daerah lereng yang telah rusak. (Gambar 3.2.c)



3.2.a. Failure due to different kind of layer



3.2.b Failure on soft soil layer



3.2.c. Failure due to shattered zone

Gambar 3.2 Cut Slope, Deep Cut Failure

3. Deep wide failure

Terbentuknya mempunyai skala yang besar dan dalam, terjadi karena pengaruh fluktuasi air tanah setelah hujan, atau karena pengaruh sewaktu pelaksanaan pemotongan lereng. Bisa dijumpai pada lapisan lempung dan pergerakannya ditandai dengan adanya rekahan pada permukaan tanah, gerakannya lambat dan mempunyai bidang gelincir. Kerusakan ini terdiri dari 2 (dua) macam yaitu :

- a. *Failure due to rock movement along back slope* yaitu kerusakan lereng yang diakibatkan oleh gerakan batuan di belakang tebing. (Gambar 3.3.a)
- b. *Failure due to creep of soft soil in high ground water zone* yaitu kerusakan lereng akibat gerakan tanah lunak dalam tanah dasar yang memiliki kandungan air tinggi. (Gambar 3.3.b)



3.3.a *Failure due to rock movement along back slope*

3.3.b. *Failure due to creep of soft soil in high ground water zone*

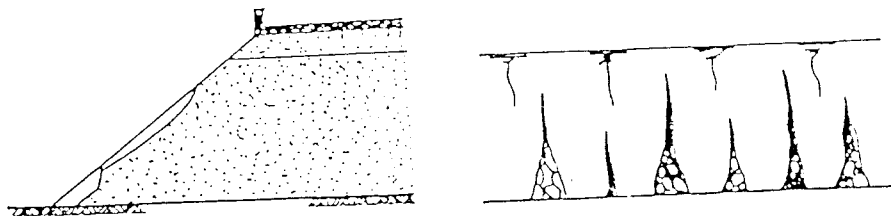
Gambar 3.3 *Cut Slope, Deep Wide Failure*

- b. *Fill slope* (penimbunan lereng)

Ada tiga jenis kerusakan akibat penimbunan lereng :

1. *Shallow surface failure*

Terjadi dekat permukaan tanah timbunan yang mudah tererosi, penyebabnya karena air hujan tidak dapat mengalir yang disebabkan oleh drainasi yang tidak bagus.



Gambar 3.4 *Surface erosion, Fill Slope, Shallow Surface Failure*

2. *Deep fill failure*

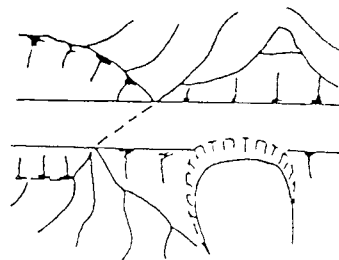
Terjadi pada tanah lempung yang kadar airnya tinggi, penyebabnya adalah meningkatnya tekanan air pori pada timbunan yang tinggi. Kerusakan ini terdiri dari 3 (tiga) macam yaitu :

- a. *Failure due to pore water pressure* yaitu kerusakan lereng akibat tekanan air pori dalam lereng. (Gambar 3.5.a)
- b. *Failure on step base layer* yaitu kerusakan lereng yang terjadi pada bagian dasar lereng. (Gambar 3.5.b)
- c. *Failure due to ground water supply from outer areas* yaitu kerusakan lereng akibat adanya persediaan air yang berasal dari luar lereng. (Gambar 3.5.c)



3.5.a. *Failure due to pore water pressure*

3.5.b. *Failure on step base layer*



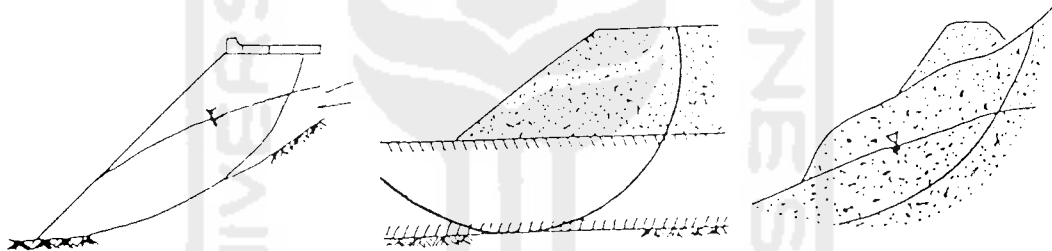
3.5.c. *Failure due to ground water supply from outer areas*

Gambar 3.5 *Fill Slope, Deep Fill Failure*

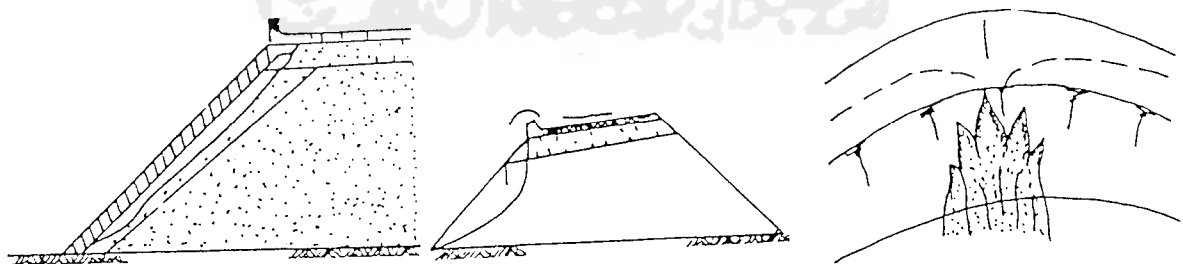
3. *Failure reaching foundation ground*

Terjadi pada kaki lereng timbunan, tanah dengan dua jenis lapisan yang berbeda, lereng yang curam, dan lereng yang bertumpu di daerah longsoran lama. Kerusakan ini terdiri dari 2 (dua) macam yaitu :

- a. *Failure together with base layer* yaitu kerusakan lereng yang terjadi bersamaan dengan lapisan dasar lereng. (Gambar 3.6.a)
- b. *Surface slide due to infiltration of rain water* yaitu kerusakan lereng yang diakibatkan oleh perembesan atau masuknya air hujan. (Gambar 3.6.b)



3.6.a. *Failure together with base layer*



3.6.b. *Surface slide due to infiltration of rain water*

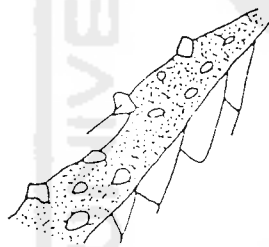
Gambar 3.6 *Fill Slope, Failure Reaching Foundation of Rain Water*

2) *Rock failure* (kerusakan batuan)

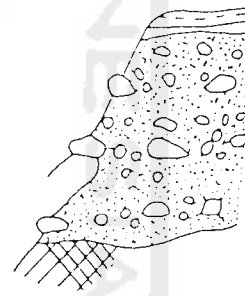
a. *Rolling down failure* (kerusakan peluncuran ke bawah)

Kerusakan ini terdiri dari 4 (empat) macam yaitu :

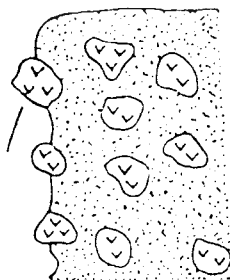
- a. *Accumulation of talus shape* yaitu kerusakan batuan berbentuk timbunan talus. (Gambar 3.7.a)
- b. *Terrace type* yaitu kerusakan batuan berbentuk teras atau bertingkat-tingkat. (Gambar 3.7.b)
- c. *Volcanic sediment* yaitu kerusakan batuan akibat endapan gunung berapi. (Gambar 3.7.c)
- d. *Weathered granite* yaitu kerusakan batuan yang diakibatkan oleh perubahan cuaca. (Gambar 3.7.d)



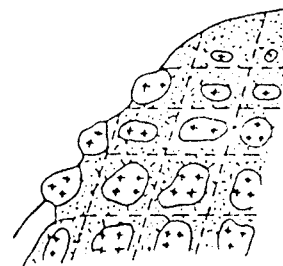
3.7.a. *Accumulation of talus shape*



3.7.b. *Terrace type*



3.7.c. *Volcanic sediment*



3.7.d. *Weathered granite*

Gambar 3.7 *Rock Failure, Rolling Down Failure*

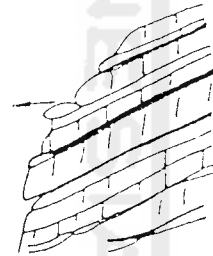
b. *Separation type* (perbedaan jenis)

Kerusakan ini terdiri dari 4 (empat) macam yaitu :

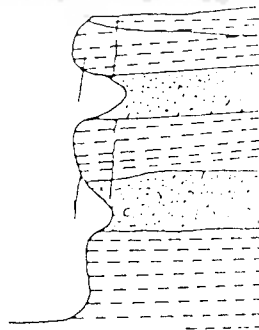
- a. *Rock with progressed joint crack* yaitu kerusakan batuan berupa lapisan batuan yang mengalami retak-retak secara individu dan berkelompok. (Gambar 3.8.a)
- b. *Rock with bedding and crack* yaitu kerusakan batuan dengan lapisan jenis batu yang berselimut (tertutup) dan retak-retak. (Gambar 3.8.b)
- c. *Layer of soft and hard rock* yaitu kerusakan batuan pada jenis batuan keras dan lunak. (Gambar 3.8.c)



3.8.a. *Rock with progressed joint/crack*



3.8.b. *Rock with bedding and crack*



3.8.c. *Layer of soft and hard rock*

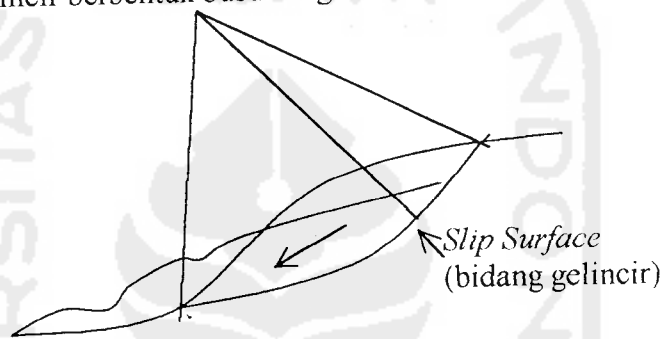
Gambar 3.8 *Rock Failure, Separation Type*

3.4.2 Stabilitas Lereng (*Slope Stability*)

Pada setiap lereng kemungkinan terjadinya longsor selalu ada. Longsor ini bergerak pada suatu bidang tentu yang disebut bidang gelincir (*slip surface*) atau bidang geser (*shear surface*). Ada 4 (empat) macam tanah longsor yaitu :

a. *Rotational Slide*

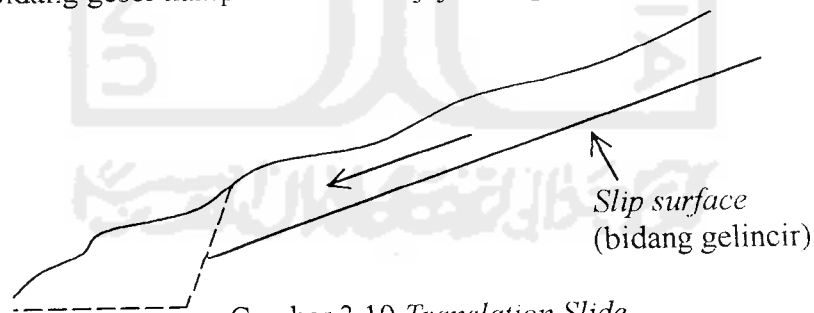
Bidang gelincir berbentuk busur lingkaran



Gambar 3.9 *Rotational Slide*

b. *Translation Slide*

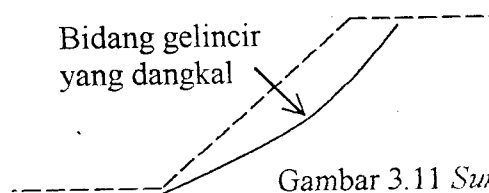
Bidang geser hampir lurus dan sejajar dengan muka tanah.



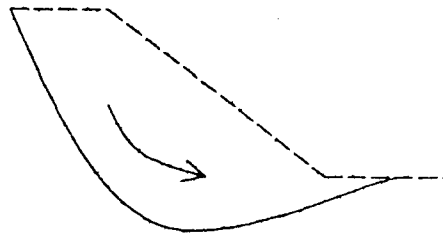
Gambar 3.10 *Translation Slide*

c. *Surface Slide*

Bidang gelincir yang dangkal



Gambar 3.11 *Surface Slide*

d. *Deep Slide*

Bidang gelincir yang dalam

Gambar 3.12 *Deep Slide*

Tanah longsor berarti kekuatan geser tanah telah dilampaui yaitu perlawanan geser pada bidang gelincir tidak cukup besar untuk menahan gaya-gaya yang bekerja pada bidang tersebut.

Pada musim kering tidak ada tegangan air pori, sedangkan pada musim hujan tegangan air pori bisa menjadi tinggi. Oleh karena itu tanah longsor biasanya terjadi pada waktu musim hujan, pada waktu tegangan air pori paling tinggi.

Cara memperbaiki atau menstabilkan kelongsoran :

a. Memperkecil gaya penggerak / momen gerak

Gaya penggerak dapat diperkecil hanya dengan cara merubah bentuk lereng yang bersangkutan, yaitu :

1. Membuat lereng lebih datar (mengurangi sudut kemiringan)
2. Memperkecil ketinggian lereng

Umumnya cara ini hanya dapat dipakai pada lereng yang ketinggiannya terbatas.

b. Memperbesar gaya melawan / momen melawan

Gaya melawan dapat ditambah dengan cara :

1. Memakai *counterweight*

Yaitu tanah timbunan pada kaki lereng agar momen melawan bertambah besar dibandingkan dengan momen penggerak dan faktor keamanan menjadi lebih kecil. Cara ini mudah dilaksanakan asal ada tempat pada kaki lereng yang dipakai untuk keperluan ini.

2. Mengurangi tegangan air pori di dalam lereng

Caranya dengan membuat selokan secara teratur (*drainage*) pada lereng. Dengan demikian kekuatan geser tanah akan naik dan gaya melawan kelongsoran akan ikut naik. Selokan ini dibuat pada arah memanjang lereng (bukan arah melintang) dan pada dasar selokan dipasang pipa, dengan sambungan terbuka supaya air dapat masuk. Di atas pipa tersebut selokan diisi kembali dengan batu-batu dan kerikil.

3. Mekanis dengan memasang tiang atau membuat dinding penahan.

Caranya dengan membuat dinding penahan atau memancang tiang pada lapisan batuan atau tanah keras di bawah tanah yang longsor. Ini hanya dapat dipakai pada lereng yang agak kecil, karena pada lereng tinggi tekanan dari tanah yang longsor sangat besar sekali.

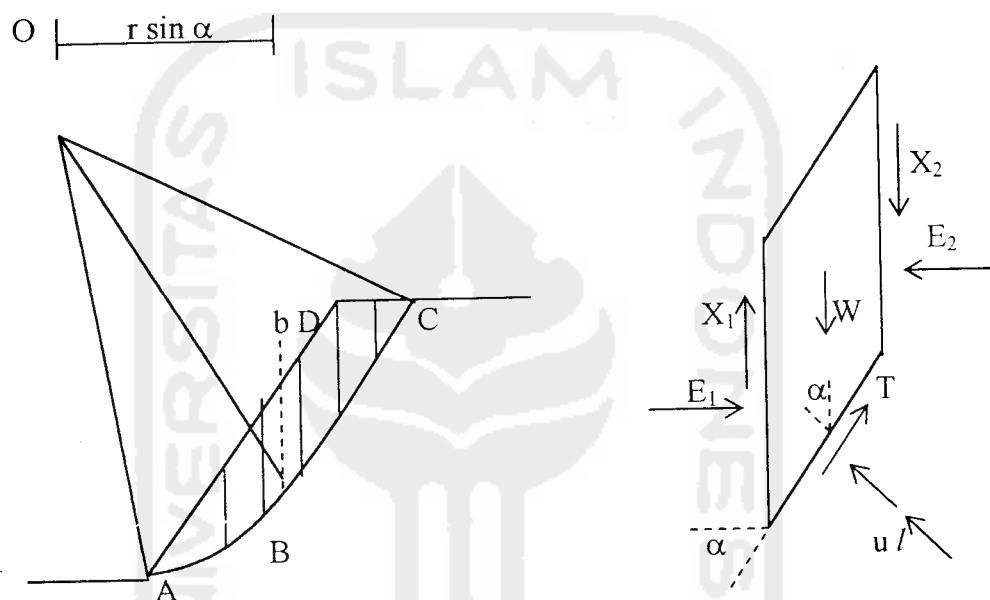
4. Injeksi

Dengan menggunakan bahan kimia atau semen yang dipompa melalui pipa supaya masuk ke dalam lereng. Ini hanya

dapat dilakukan pada lereng yang memiliki tanah dengan daya rembesan yang tinggi (permeable), tidak pada lempung atau lanau.

Untuk menganalisa stabilitas lereng ini ada tiga metode, yaitu :

1. Metode irisan



Gambar 3. 13 Metode Irisan

W = berat total irisan = $\gamma \cdot b \cdot h$

N = gaya normal total pada dasar = $u \cdot l$

l = panjang dasar

T = gaya geser pada dasar = $\tau m \cdot l$

E_1 dan E_2 = gaya normal pada sisi-sisi

X_1 dan X_2 = gaya geser pada sisi-sisi

Dalam metode ini permukaan runtuh potensial pada potongan, diasumsikan berbentuk busur lingkaran dengan pusat O dan jari-jari r . Massa

tanah (ABCD) di atas permukaan runtuh coba-coba (AC) dibagi oleh bidang-bidang vertikal menjadi sejumlah irisan dengan lebar b , seperti pada gambar 3.13. Dasar dari setiap irisan, sudut yang berbentuk oleh dasar irisan dan sumbu horisontal adalah α dan tingginya, yang diukur pada garis sumbu adalah h . faktor keamanan didefinisikan sebagai rasio kekuatan geser yang ada (τ_f) terhadap kekuatan geser (τ_m) yang harus dikerahkan untuk mempertahankan syarat betas keseimbangan, yaitu :

$$SF = \frac{\tau_f}{\tau_m} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan meninjau momen terhadap O maka jumlah momen akibat gaya-gaya geser T pada busur keruntuhan AC harus sama dengan momen akibat berat massa tanah ABCD. Untuk setiap irisan, lengan momen W adalah $r \sin \alpha$, sehingga

$$\Sigma Tr = \Sigma W r \sin \alpha \dots\dots\dots (2)$$

Sekarang,

$$T = \tau_m l \frac{\tau_f}{F} \dots\dots\dots (3)$$

$$\therefore \Sigma \frac{\tau_f}{F} l = \Sigma W \sin \alpha \dots\dots\dots (4)$$

$$\therefore F = \frac{\Sigma \tau_f l}{\Sigma W \sin \alpha} \dots\dots\dots (5)$$

Untuk analisis yang menggunakan tegangan efektif,

$$F = \frac{\Sigma(c' + \sigma' \tan \phi') l}{\Sigma W \sin \alpha} \dots\dots\dots (6)$$

atau

$$F = \frac{c' L_a + \tan \phi' \Sigma N'}{\Sigma W \sin \alpha} \dots\dots\dots (7)$$

L_a = panjang busur AC

2. Metode Fellenius

Metode ini mengasumsikan bahwa untuk setiap irisan, resultan gaya-gaya antar irisan adalah nol. Penyelesaian tersebut meliputi penyelesaian ulang untuk gaya-gaya pada setiap irisan yang tegak lurus terhadap dasar, yaitu :

$$N' = W \sin \alpha - u l \dots\dots\dots (8)$$

Faktor keamanan

$$F = \frac{c' L_a + \tan \phi' \Sigma(W \cos \alpha - u l)}{\Sigma W \sin \alpha} \dots\dots\dots (9)$$

Untuk analisis yang dinyatakan dalam tegangan total, digunakan parameter-parameter c_u dan ϕ_u dan nilai u pada persamaan 9 adalah nol. Bila $\phi_u =$

0 faktor keamanannya adalah

$$F = \frac{c_u L_a}{\Sigma W \sin \alpha} \dots\dots\dots (10)$$

3. Metode Bishop

Metode ini mengasumsikan bahwa resultan gaya pada sisi irisan adalah horisontal, yaitu

$$X_1 - X_2 = 0$$

Untuk keseimbangan gaya geser pada dasar setiap irisan adalah

$$T = \frac{1}{F} (c' + N' \tan \phi) \dots \dots \dots (11)$$

Dengan menyelesaikan kembali gaya-gaya dalam arah vertikal

$$W = N' \cos \alpha + u / \cos \alpha + \frac{c' l}{F} \sin \alpha + \frac{N'}{F} \tan \phi' \sin \alpha$$

$$N' = (W \frac{c' l}{F} \sin \alpha - u / \cos \alpha) / (\cos \alpha + \frac{\tan \phi' \sin \alpha}{F}) \dots \dots \dots (12)$$

Dengan mensubstitusikan

$$l = b \sec \alpha$$

maka persamaan 7 sesudah disusun kembali didapatkan :

$$F = \frac{1}{\sum W \sin \alpha} \left[\sum \left(c' b + (W - u b) \tan \phi' \right) \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \phi' \tan \alpha}{F}} \right] \dots \dots \dots (13)$$

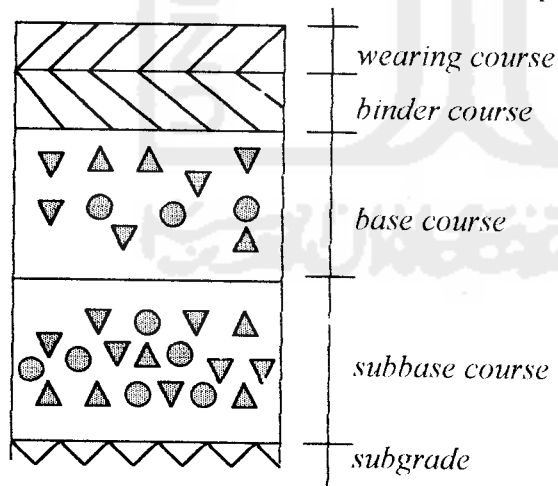
3.5 Jalan

3.5.1 Konstruksi Perkerasan Jalan

Perencanaan konstruksi perkerasan merupakan pekerjaan pokok pada proyek jalan raya yang berfungsi menerima beban kendaraan baik langsung maupun tidak langsung.

Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke lapisan dibawahnya yaitu lapisan-lapisan pondasi dari perkerasan sampai lapisan yang paling bawah atau tanah dasar, sehingga tebal dan bahan perkerasan akan berpengaruh terhadap kemampuan perkerasan dalam mendukung beban.

Bahan perkerasan lentur terdiri dari bahan ikat (aspal) dan agregat. Perkerasan ini umumnya terdiri atas tiga lapis atau lebih yaitu lapis permukaan, lapis pondasi atas, lapis pondasi bawah dan lapis dasar (*subgrade*).



Gambar 3.14 Struktur Lapis Perkerasan

Lapis penetrasi makadam

Lapisan ini terdiri dari batu (agregat) pokok dan batu (agregat) pengunci, bergradasi terbuka dan seragam yang diikat oleh aspal dengan cara disemprotkan di atasnya dan dipadatkan lapis demi lapis, pada lapis permukaan diberi laburan aspal dengan batu penutup (Subarkah)

3.5.2 Bentuk Kerusakan Jalan

Bentuk kerusakan yang mungkin terjadi pada jalan akibat bencana alam adalah sebagai berikut :

1. Jalan tertimbun akibat longsor tebing. Longsor tanah dapat menimbun atau menutupi sebagian permukaan jalan atau seluruh permukaan jalan.



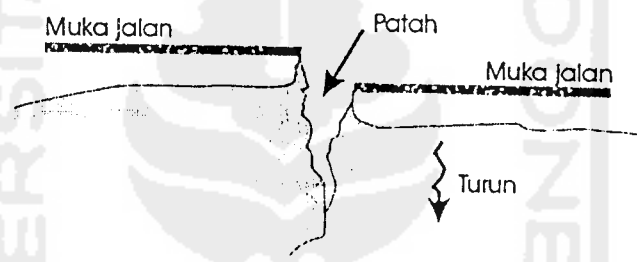
Gambar 3.15 Muka jalan tertimbun oleh longsor tebing

2. Jalan mengalami kelongsoran. Kelongsoran yang terjadi dapat seluruh badan jalan atau sebagian badan jalan. Tebing tidak mampu menahan berat tanah dan berat badan jalan. Hal ini akan terjadi akibat dari guncangan gempa atau meningkatnya kandungan air pada tanah lereng tebing.



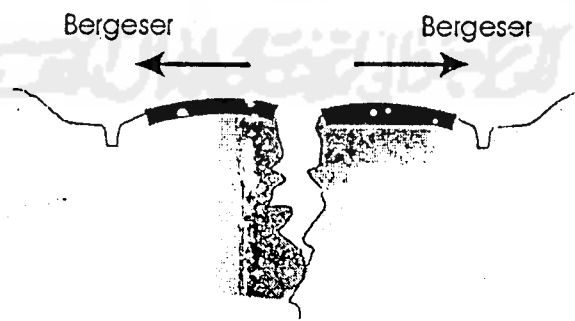
Gambar 3.16 Sebagian badan jalan mengalami longsor

- Badan jalan terputus secara melintang jalan atau terjadi patahan pada badan jalan. Hal ini dapat terjadi biasanya akibat gempa bumi.



Gambar 3.17 Badan jalan patah pada arah melintang

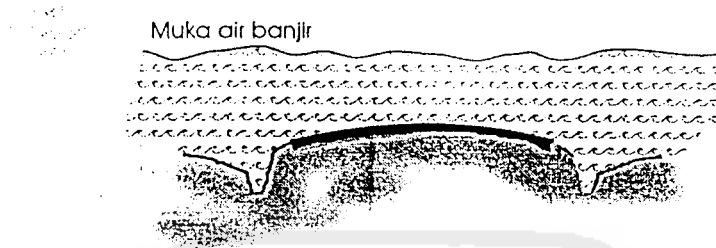
- Badan jalan terbelah pada arah memanjang jalan. Hal ini terjadi akibat gempa bumi atau tebing penyangga badan jalan mengalami longsor.



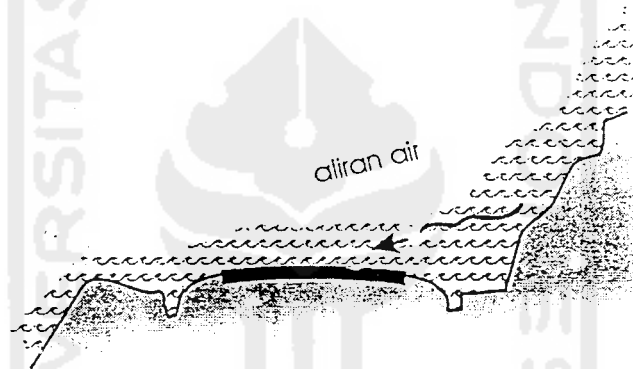
Gambar 3.18 Badan jalan pecah pada arah memanjang

- Pada daerah dataran rendah bencana alam yang sering terjadi adalah berupa banjir. Akibat banjir dapat memutuskan hubungan transportasi

darat dari suatu wilayah ke wilayah lain. Untuk memberikan bantuan pada korban bencana alam berupa banjir tentu yang paling sesuai adalah menggunakan transportasi air. (Subarkah & Bachnas)



Gambar 3.19 Muka jalan tergenang oleh air banjir



Gambar 3.20 Air mengalir melintasi jalan

3.6 Metode Penanggulangan Longsor Tebing

3.6.1 Tembok penahan

Tembok adalah suatu bangunan yang dibangun untuk mencegah keruntuhan tanah yang curam atau lereng yang dibangun ditempat dimana kemantapannya tidak dapat dijamin oleh lereng tanah itu sendiri, dipengaruhi oleh kondisi gambaran topografi tempat itu, bila dilakukan pekerjaan tanah seperti penanggulangan atau pemotongan tanah. Terutama, bila jalan dibangun berbatasan dengan sungai atau danau atau tanah paya, tembok penahan itu

dibangun untuk melindungi kemiringan tanah, dan melengkapi kemiringan dengan pondasi yang kokoh (Suyono Sosrodarsono dan Kazuto Nakazawa, 1981).

Macam tembok penahan yang digolongkan menurut bahan-bahan yang dipakai untuk bentuk bangunannya.

1. Tembok Penahan Tembok Batu Dan Yang Berupa Balok

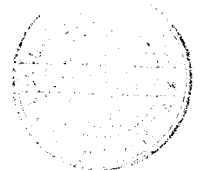
Tembok penahan jenis ini digunakan terutama untuk pencegahan terhadap keruntuhan tanah, dan lebih lanjut digunakan apabila tanah asli dibelakang tembok itu cukup baik dan tekanan tanah dianggap kecil. Hal ini termasuk kedalam kategori dimana kemiringannya lebih curam dari satu banding satu dan dibedakan dari pemasangan batu dengan kemiringan muka yang lebih kecil.

Tembok penahan jenis ini digunakan luas sebagai dinding penahan tanah rendah karena biaya pekerjaannya rendah dan pelaksanaan pekerjaannya mudah dilakukan sesuai dengan sumbu jalan (Gambar (a)).

2. Tembok Penahan Beton Tipe Gravitasi (tipe semi gravitasi)

Tembok penahan macam gaya berat bertujuan untuk memperoleh ketahanan tekanan tanah dengan beratnya sendiri. Karena bentuknya yang sederhana dan juga pelaksanaan yang mudah, jenis ini sering digunakan apabila dibutuhkan konstruksi penaha yang tidak terlalu tinggi atau bila tanah pondasinya baik.

Sama halnya dengan tembok penahan semi gravitasi, yaitu mendapatkan kemantapan dengan beratnya sendiri, tetapi dalam jenis ini batang tulangan disusun karena adanya tegangan tarik pada badan tembok dan ini digunakan sama



halnya seperti pada tembok penahan jenis gravitasi yang besar dan kebutuhannya sesuai dengan yang diperlukan. (Gambar (b) dan (c))

3. Tembok Penahan Beton dengan Sandaran (*Lean against type*)

Tembok penahan dengan sandaran sebenarnya juga termasuk dalam kategori tembok penahan gravitasi tetapi cukup berbeda dengan fungsinya. Jenis ini berbeda dalam kondisi kemantapan dan direncanakan supaya keseimbangan tetap terjaga dengan keseimbangan berat sendiri badan tembok dan tekanan tanah pada permukaan tanah bagian belakang atau dengan kata lain, dengan dorongan dari kedua gaya tersebut. Tembok ini tidak dapat digunakan apabila tanah pondasi ada dalam bahaya penurunan ataupun bahaya gelincir. (Gambar (d)).

4. Tembok Penahan Beton Bertulang dengan Balok Kantilever

Tembok penahan dengan balok kantilever tersusun dari suatu tembok memanjang dan suatu plat lantai. Masing-masing berlaku sebagai balok kantilever dan kemantapan dari tembok didapatkan dengan berat badannya sendiri dan berat tanah di atas tumpuan plat lantai. Karena tembok penahan jenis ini relatif ekonomis dan juga mudah dilaksanakan maka jenis ini juga dipakai dalam jangkauan luas. (Gambar (e)).

5. Tembok Penahan Beton Bertulang dengan Penahan (*Buttress*)

Suatu pendekatan mengenai kemantapan tembok penahan dengan penahan dilakukan sama halnya pada tembok penahan tipe balok kantilever, kecuali bahwa tipe ini dibangun pada sisi tembok di bawah tanah tertekan untuk memperkecil gaya irisan yang bekerja pada tembok memanjang dan plat lantai.

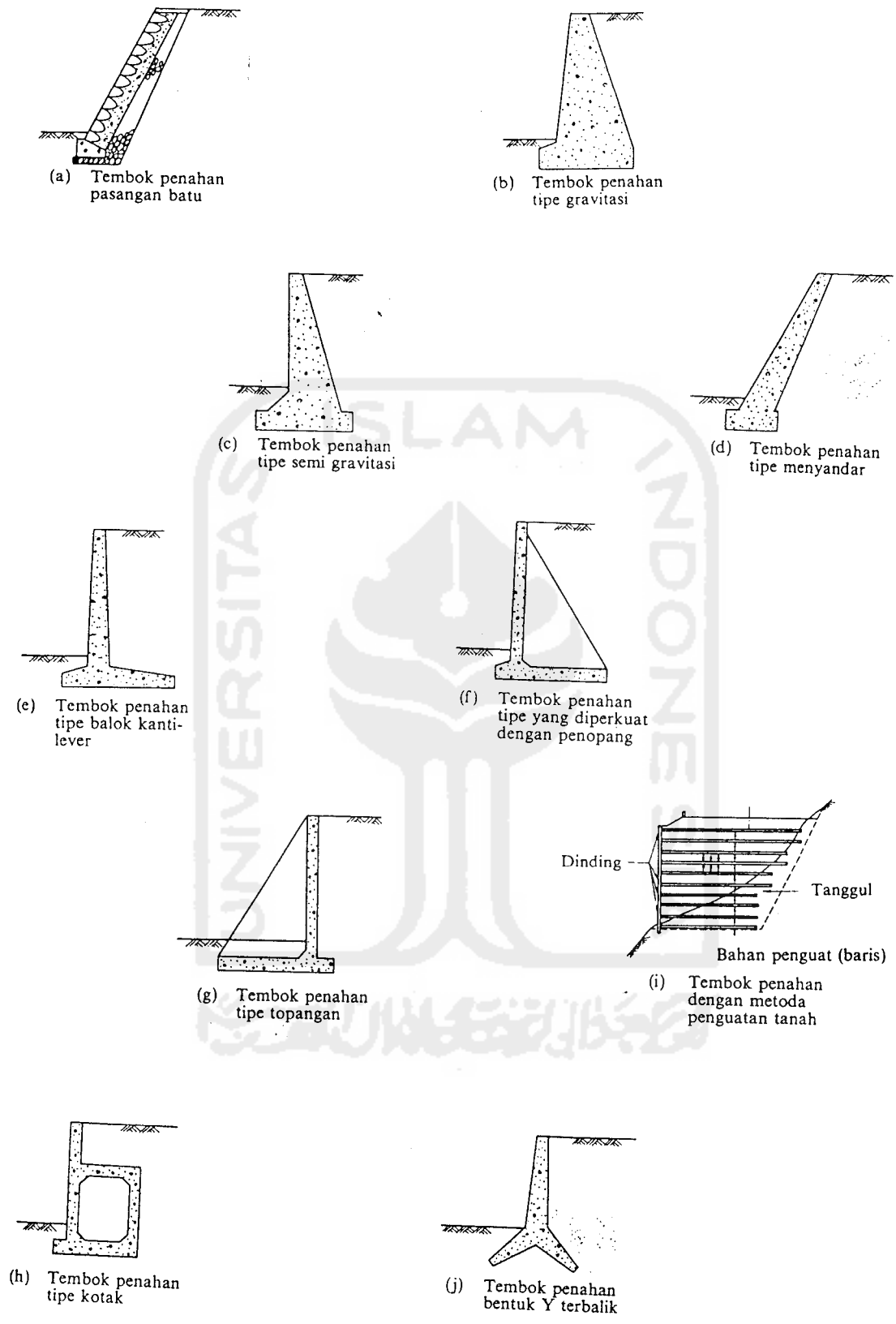
Dalam kenyataannya, tembok penahan jenis ini pada umumnya hanya membutuhkan bahan yang sedikit. Jenis ini digunakan untuk tembok penahan yang cukup tinggi. Kelemahan dari tembok penahan jenis ini adalah pelaksanaannya yang lebih sulit daripada jenis lainnya dan pemadatan dengan cara *rolling* pada tanah dibagian belakang adalah jauh lebih sulit. (Gambar (f)).

6. Tembok Penahan Beton Bertulang dengan Tembok Penyokong

Tembok penahan dengan tembok penyokong berfungsi sama seperti dinding penahan dengan penahan, tetapi tembok penyokong yang berhubungan dengan penahan ditempatkan pada sisi yang berlawanan dengan sisi dimana tekanan tanah bekerja. Berat tanah di atas bagian tumpuan plat lantai tidak dapat digunakan untuk menjamin kemantapan, maka dibutuhkan lebar plat lantai yang besar dan akibatnya jenis ini tidak dapat dipakai lebih dari yang dibutuhkan kecuali dalam hal dimana suatu kondisi khusus yang tak memungkinkan membangun plat lantai dibelakang tembok penahan dapat teratasi. (Gambar (g)).

7. Tembok Penahan Khusus

Jenis ini adalah tembok penahan khusus dalam tembok penahan yang disebutkan dalam jenis tembok penahan di atas. Jenis ini dibagi menjadi tembok penahan macam rak, tembok penahan tipe kotak, tembok penahan terbuat di pabrik, tembok penahan yang menggunakan jangkar, tembok penahan dengan cara penguatan tanah dan tembok penahan berbentuk Y terbalik. (Gambar (h), (i) dan (j)).



Gambar 3.21| Macam Tembok Penahan

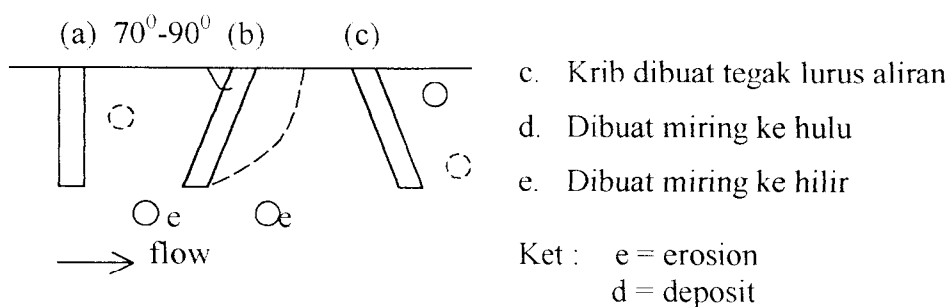
3.6.2 Krib

Krib adalah bangunan yang dibuat mulai dari tebing sungai ke arah tengah guna mengatur arus sungai dan tujuan utamanya adalah :

1. Mengatur arah arus sungai.
2. Mengurangi kecepatan arus sungai sepanjang tebing sungai, mempercepat sedimentasi dan menjamin keamanan tanggul atau tebing sungai terhadap gerusan.
3. Mempertahankan lebar dan kedalaman air pada alur sungai.
4. Mengkonsentrasikan arus sungai dan memudahkan penyadapan.

Krib biasanya direncanakan pada bagian hilir pada alur curam atau pada daerah alluvial yang memiliki dasar landai dan lebar. Apabila krib direncanakan pada kedua tebing sungai hampir tegak lurus alur, maka pengaturannya harus dibuat simetris. Krib yang simetris biasanya direncanakan dengan maksud menurunkan dasar alur yang baru dan untuk membuat endapan diantara krib-krib tersebut.

Krib pada belokan sungai dibuat pada bagian hulu longsor tebing untuk menjaga agar aliran menjauh dari kaki tebing. Untuk alur sungai yang tidak begitu panjang longsor tebing dapat dicegah dengan krib yang cukup tinggi dan tak terlampaui air, diletakkan pada bagian paling hulu daerah longsor. Sedang untuk daerah longsor cukup panjang, dipakai krib yang besar untuk mengalirkan aliran dari kaki lereng yang longsor.



Gambar 3.22 Krib

Arah krib dibuat tegak lurus aliran, tetapi untuk aliran air di lereng yang curam arah krib dibuat miring ke arah hulu. Pada umumnya krib dengan sudut 70° – 90° terhadap arah aliran cukup memenuhi syarat.

Pada krib tegak lurus aliran, endapan sedimen terjadi diantara 2 krib yang berdekatan dan *scouring* terjadi pada kepala krib. Pada krib yang miring ke hilir endapan sedimen lebih sedikit dibanding dengan krib yang tegak lurus aliran tetapi *scouring* pada kepala krib lebih kecil. Sedang pada krib yang miring ke hulu endapan sedimen yang terjadi akan lebih besar tetapi *scouring* di kepala krib paling besar.

3.6.3 Bronjong

Bronjong adalah kotak-kotak persegi terbuat dari kawat logam yang dianyam dengan pola segi enam. Perkuatan di pojok dan pinggir menggunakan kawat yang lebih kuat dan diisi dengan batu atau karang.

Struktur bronjong karena kelenturannya dapat menahan gerakan tanah dengan sangat efisien dan kokoh untuk melindungi gerusan. Ketebalan bronjong tergantung dari kecepatan aliran sungai, makin besar kecepatan aliran sungai ketebalan bronjong makin besar, terutama bronjong yang diletakkan mendatar

pada sisi lereng. (*Volcanic Sabo Technical Center, Japan International Cooperation Agency*)

Kelebihan dari bronjong adalah fleksibel, dapat dikerjakan dengan cepat dan cukup ekonomis. Pada sungai biasa yang airnya tawar, biasanya bronjong kawat dapat bertahan hingga 10 (sepuluh) tahun. Akan tetapi pada sungai dengan air yang asam, maka kawat akan sangat cepat berkarat dan bronjong kawat akan hancur dalam waktu yang singkat (Suyono Sosrodarsono dan Masateru Tominaga).

