

**PENGENDALIAN EROSI PADA JALAN RAYA
DI DAERAH LERENG
(STUDI LITERATUR)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Melengkapi Persyaratan Ujian Sarjana

Oleh :

ANDY PUTRA GINTING
NIM : 03 811 0011



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2007**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)7/9/23

ABSTRACT

Recently highway plays an important role as land transportation, because newly built highways are intended to increase the ability of carrying heavier load and to allow the vehicles to move in a larger speed. It is important to use the small stabile granulars, but in economic consideration generally, it has forced the use of another, but similar, materials without dealing with organic material of composition.

As both density and traffic weight increase, top section of refilling will press downward and with time this filled land will suffer from sliding, in ascending and turning area of mountain, this is a factor of erosion in slope area.

Planning a slope stability on highway is one of two method, i.e : Fellenius and Bishop Analysis. Generally these both analysis indicate different factor of safety. To get a real factor of safety. It can be made by experiment.

Completion by Bishop and Fellenius analysis are similar, they use sliding cross section, but the greater factor of safety gained is from Fellenius analysis.

For a slope stability of highway controlled, to prevent the danger from erosion in slope area by placing the protective construction, it must be adjusted to location, and a careful design and consideration.

KATA PENGANTAR

Pertama sekali penulis mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang mana telah memberikan rahmat kepada hambanya karena tanpa - nya penulis tidak akan dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Adapun judul Tugas Akhir ini adalah **“Pengendalian Erosi Pada Jalan Raya Di Daerah Lereng”**

Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi tugas dan memenuhi syarat untuk menempuh ujian sarjana pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Medan Area.

Terwujudnya penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan dan pengarahan serta saran - saran dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini, secara tulus penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan yang setinggi - tingginya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H.A. Ya'kub Matondang, MA, selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Bapak Drs. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Bapak Ir. H. Edy Hermanto, selaku Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Bapak Ir. H. Zainal Arifin, Msc selaku Dosen Pembimbing Satu (I) yang telah dengan sabar dan penuh perhatian dalam memberikan arahan, petunjuk dan bimbingan kepada penulis dalam pembuatan Tugas Akhir ini

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)7/9/23

5. Ibu Ir. Nuril Mahda Rangkuti selaku Dosen Pembimbing Dua (II) yang telah dengan sabar dan penuh perhatian dalam memberikan arahan, petunjuk dan bimbingan kepada Penulis dalam pembuatan Tugas Akhir ini.
6. Ayahanda (Alm) Ir. R. Djadah Ginting dan Ibunda Ir. Rio Ritha Sembiring yang tercinta dan tersayang, yang telah bersusah payah membantu penulis serta memberikan dorongan semangat serta finansial sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Thanx Mom
7. Abanghanda Leonardho Ginting Amd dan Istri Sudarti, yang telah banyak memberikan semangat dan dorongan dalam menyelesaikan perkuliahan ini.
8. Kakanda Riah Ukur Ginting Ssi, yang telah banyak memberikan semangat dan dorongan dalam menyelesaikan perkuliahan ini.
9. Rekan - rekan Ikatan Mahasiswa Karo (IMKA) UMA Arih Ersada.
10. Rekan - rekan seperjuangan penulis terutama angkatan 03, Thanks for all

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan serta kelemahan yang penulis lakukan sehingga Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan saran serta kritik yang konstruktif dari semua pihak agar dimasa yang akan datang penulis dapat berbuat lebih baik lagi.

DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR NOTASI	vii
BAB I : PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Maksud dan Tujuan	3
I.3. Permasalahan	3
I.4. Pembatasan Masalah	4
I.5. Metodologi	4
BAB II : TINJAUAN KEPUSTAKAAN	5
II.1. Proses Erosi	5
II.2. Jenis - Jenis Erosi	6
II.3. Pengaruh Sifat Fisik Tanah Terhadap Besarnya Erosi	7
II.3.1. Sifat – Sifat Tanah	7
II.3.2. Tekstur Tanah	7
II.3.3. Struktur Tanah	8
II.3.4. Infiltrasi	9

II.3.5. Air Tanah	10
II.4. Pengaruh Yang tidak Disadari Manusia	11
II.5. Contoh Contoh Keruntuhan Lereng Yang Beresiko Terhadap Nyawa Manusia Dan Ekonomi	11
II.6. Topografi	14
BAB III : STABILITAS LERENG PADA JALAN RAYA	15
III.1. Umum	15
III.2. Klasifikasi Berdasarkan Pola Pergerakan	16
III.2.1. Gelincir (Slide)	16
III.2.2. Jatuhan (Fall)	20
III.2.3. Aliran (Flow)	21
III.3. Klasifikasi Berdasarkan Pembentukan	23
III.4. Faktor Faktor Yang Mempengaruhi Stabilitas Lereng Pada Jalan Raya	24
III.5. Kekuatan Geser Tanah	25
III.6. Analisa Kestabilan Lereng	28
III.6.1. Lereng Tak Terbatas	28
III.6.2. Lereng Terbatas	33
III.7. Metode Analisa Kestabilan Lereng	34
III.7.1 Cara Analisa Potongan (Fellenius)	38
III.7.2 Cara Analisa Bishop.....	43

BAB IV : PENGENDALIAN EROSI PADA JALAN RAYA DI DAERAH LERENG	50
IV.1. Teknologi Penanggulangan	50
IV.1.1. Prinsip Dasar Metode Penanggulangan	
Keruntuhan Lereng	50
IV.1.2. Pendekatan Penanggulangan	51
IV.1.3. Pencegahan Keruntuhan Lereng	53
IV.1.4. Pemilihan Tipe Penanggulangan	54
IV.1.4.1. Pengubahan Geometri Lereng	54
IV.1.4.2. Mengendalikan Air Permukaan	59
IV.1.4.3. Mengendalikan Air Rembesan	
(Drainase Dibawah Permukaan)	62
IV.1.4.4. Penambatan	66
IV.1.4.4.1. Penambatan Tanah	67
IV.1.4.4.2. Penambatan Batuan	73
IV.3.5. Tindakan Lain	81
BAB V : APLIKASI PERHITUNGAN	85
BAB VI : KESIMPULAN	93
DAFTAR PUSTAKA.....	94

PENDAHULUAN

I. 1. Latar Belakang

Sejarah jalan pada hakekatnya yang dimulai bersama dengan sejarah manusia. Sejak manusia ada di bumi, maka jalan pun sudah ada yang merupakan kebutuhan dari manusia itu sendiri walaupun masih sangat sederhana. Setelah manusia itu hidup berkelompok, dimana kelompok - kelompok itu sering berpindah - pindah untuk mendapatkan kebutuhan hidupnya dari suatu daerah ke daerah lain, maka mereka membuat jalan yang berfungsi hanya sekali saja, karena itu seterusnya jalan itu tidak dipakai lagi.

Dengan adanya penambahan penduduk, maka manusia yang berkelompok - kelompok tadi sudah menempati daerah - daerah yang lebih luas dan membentuk suku - suku bangsa yang saat itulah mempergunakan jalan yang tepat dan tetap, untuk mengadakan hubungan dagang dengan cara tukar - menukar barang dagangannya yang diperlukan untuk kehidupannya. Dengan adanya penemuan - penemuan baru oleh manusia guna memenuhi kebutuhan hidupnya yang semakin meningkat, maka pada saat itulah pertama kali mempergunakan roda untuk angkutan darat yang ditarik oleh hewan, oleh karena itu penggunaan jalan pun mengadakan pembaharuan dengan mengadakan perkerasan pada tanah pendasar. Seperti yang dibuat Bangsa Romawi, Bangsa Persia yang menghubungkan Daratan Eropa, Afrika dan bahagian Barat Asia Kecil yang merupakan jalan yang mengagumkan baik teknik maupun bentuknya.

Kemudian penggunaan gerobak - gerobak yang ditarik oleh hewan untuk jarak dekat dan jarak jauh tidak berfungsi lagi dengan ditemukannya mesin penggerak yang dibuat untuk digunakan sebagai kebutuhan negara dan kebutuhan perang, sehingga tanah pendasar mengalami perubahan kembali dengan membuat perkerasan jalan dengan menggunakan batu - batu pecah yang diperkenalkan oleh Mc. Adam pada tahun 1756.

Sejalan dengan perkembangan zaman dan teknologi dimana perkembangan lalu lintas meningkat dengan cepat, maka untuk merencanakan jalan raya haruslah memperhitungkan ikut sertanya peralatan - peralatan modern yang diproduksi oleh negara - negara maju, sehingga teknik pembuatan jalan raya dapat disesuaikan dengan kebutuhan lalu lintas. Untuk mendapatkan kondisi lalu lintas yang aman melewati jalan tersebut diperlukan pengaturan lereng pada daerah jalan raya tersebut. Lereng - lereng yang meliputi pada tebing disamping jalan raya terutama pada daerah tanjakan maupun tikungan dipergunakan.

Untuk menetapkan geometrik lereng - lereng ini khususnya lereng - lereng dari tebing - tebing pada daerah jalan tersebut sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah didaerah tersebut. Untuk mengendalikan erosi pada jalan raya digunakan beberapa pelindung seperti : gaban rumput, pasangan batu, perkerasan dengan beton dan pondasi beronjong kawat silinder.

I. 2. MAKSUD DAN TUJUAN

Didalam membahas suatu topik permasalahan, sudah barang tentu harus mengetahui hal - hal yang berkaitan atau mempengaruhi masalah tersebut. Didalam tulisan ini sesuai dengan judulnya yaitu : **Pengendalian Erosi Pada Jalan Raya Di Daerah Lereng**, maka perlu diketahui hal - hal yang berkaitan dengan erosi maupun longsoran agar supaya bisa mengadakan perencanaan terhadap ataupun longsornya sebuah lereng pada jalan raya.

Maksud

Menganalisa erosi dan gaya geser serta sifat fisik tanah di daerah lereng pada jalan raya.

Tujuan

Menjaga agar tidak terjadi bahaya erosi pada kemiringan lereng yang dapat menimbulkan terjadinya keruntuhan struktur tanah.

I. 3. PERMASALAHAN

Pada masa belakangan ini sering terjadinya putusnya hubungan lalu lintas akibat terjadi longsornya tanah pada jalan raya, sehingga penulis merasa tertarik untuk membahas hal - hal yang berkaitan dengan masalah yang tersebut diatas.

Adapun masalah yang didapat disini adalah sebagai berikut :

1. Karakteristik tanah yang berhubungan dengan erosi dan kelongsoran tanah.
2. Faktor-faktor yang mengakibatkan erosi, antara lain :

a. Gaya geser tanah

b. Daya dukung tanah

UNIVERSITAS MEDAN AREA

c. Getaran ataupun terjadinya gempa bumi

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)7/9/23

d. Kandungan air tanah

e. Pengaruh hujan

f. Penurunan tanah dasar

I. 4. PEMBATAAN MASALAH

Karena luasnya permasalahan mengenai erosi dan data-data yang berkaitan dengannya, maka perlu diadakan pembatasan study yang antara lain : hanya membahas masalah erosi di daerah lereng pada jalan raya, yang diakibatkan oleh faktor - faktor :

Kandungan air tanah kapiler dan gravitasi serta gaya geser tanah

I. 5. METODOLOGI

Metode yang digunakan penulis dalam penyusunan tugas akhir ini adalah dengan penelitian pustaka (Library Research) dengan langkah langkah sebagai berikut :

1. Diperoleh dari buku - buku referensi sebagai acuan dalam penulisan tugas akhir ini.
2. Menganalisa hasil bacaan.

TINJAUAN PUSTAKA

II. 1. PROSES EROSI

Proses erosi adalah terkikisnya tanah atau bagian tanah dari suatu tempat yang terangkut ke tempat lain, baik disebabkan oleh pergerakan air maupun angin. Bahaya erosi ini banyak terjadi di daerah–daerah lahan kering terutama yang memiliki kemiringan lereng sekitar 15 % atau lebih.

Tanah kering yang mudah tererosi terutama adalah tanah Podsolik merah kuning yang menempati areal luas di Indonesia, dan termasuk juga tanah latosol yang dengan kemiringan lereng agak curam, ini terdapat pada tanah–tanah yang tidak tertutup oleh tanaman.

Tetes air hujan dapat menimbulkan pembentukan lapisan tanah keras pada lapisan permukaan, akibatnya maka air infiltrasi berkurang, sedangkan air yang mengalir di permukaan sebagai faktor utama terjadinya erosi pada daerah lereng.

Suatu daerah yang lembab dengan curah yang intensitasnya melebihi, maka air sumber utama penyebab dari terjadinya erosi. Pada daerah yang panas ataupun daerah yang kering maka angin faktor utamanya yang menimbulkan erosi.

Proses erosi tanah kerig disebabkan oleh air yang mencakup tiga tahap yang terjadi dalam keadaan normal di lapangan yakni antara lain :

- a) Pemecahan agregat tanah kedalam bentuk butir - butir kecil atau partikel

- b) Pemindahan ataupun pengangkutan butir - butir yang kecil sampai pada yang sangat halus tersebut.
- c) Pengendapan partikel - partikel tersebut di tempat yang lebih rendah atau didasar sungai.

Faktor - faktor lainnya yang menyebabkan besarnya laju erosi yakni : iklim, tanah, topografi, ataupun bentuk wilayahnya serta pengaruh yang tidak disadari manusia

II. 2. JENIS - JENIS EROSI

Selama berlangsungnya hujan turun limpasan permukaan berubah terus dengan cepat, akan tetapi pada waktu mendekati akhir dari pada hujan tersebut limpasan permukaan berkurang dengan laju yang sangat rendah, ini umumnya tidak akan dapat menimbulkan erosi. Jatuhnya hujan pada lapisan permukaan tanah dan diikuti air limpahan permukaan akan menimbulkan terkikisnya lapisan permukaan tanah atas ini dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis erosi, yakni :

a. Erosi Permukaan

Erosi permukaan ini dapat mengakibatkan kehilangan beberapa milimeter lapisan tanah yang dimulai dari lapisan yang paling atas.

b. Erosi Percikan

Erosi percikan ini terjadi pada saat hujan mulai turun, intensitasnya mulai meningkat dengan meningkatkan ukuran butiran hujan tersebut.

c. Erosi Alur

Erosi Alur yang diakibatkan oleh adanya pengumpulan aliran air limpasan permukaan sehingga dapat menimbulkan yang lebih besar.

II. 3. PENGARUH SIFAT FISIK TANAH TERHADAP BESARNYA EROSI

II. 3. 1. Sifat - Sifat Tanah

Sifat - sifat penting tanah dalam sebuah proyek tergantung dari jenis proyek tersebut. Adapun sifat sifatnya antara lain :

– Permeabilitas (Permeability)

Sifat ini untuk menentukan kemampuan tanah dilewati air melalui pori porinya. Sifat ini penting dalam konstruksi bendung tanah urugan (Earth Dam) dan persoalan drainase

– Konsolidasi (Consolidation)

Pada konsolidasi dihitung dari perubahan isi pori tanah akibat beban. Sifat ini dipergunakan untuk menghitung penurunan (Settlement) bangunan.

– Tegangan geser (Shear Strength)

Untuk menentukan kemampuan tanah menahan tekanan tekanan tanpa mengalami keruntuhan. Sifat ini dibutuhkan dalam perhitungan stabilitas pondasi yang dibebani, stabilitas tana isian dibelakang bangunan penahan tanah dan stabilitas timbunan tanah

II. 3. 2. Tekstur Tanah

Tekstur tanah adalah perbandingan relatif dari berbagai golongan besar pada parikel tanah dalam suatu massa tanah, terutama perbandingan antara fraksi-fraksi liat, debu dan pasir. Tekstur tanah dapat juga menentukan tata air dalam tanah yaitu berupa kecepatan infiltrasi, penetrasi dan kemampuan pengikatan oleh air pada tanah.

Dalam menentukan terjadinya aliran permukaan tanah tergantung kepada

2 hal sifat tanah, yakni :

- a. Infiltrasi adalah : proses masuknya air hujan ke permukaan tanah akan bergerak sebagai limpasan permukaan
- b. Permeabilitas adalah : sifat dari bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dan cairan yang berupa air ataupun minyak mengalir lewat rongga pori - porinya

Di dalam tanah, sifat dari pada aliran mungkin laminar atau turbulen.

Tahanan terhadap aliran bergantung pada jenis tanahnya, ukuran butiran, bentuk butiran, rapat massa serta bentuk geometik rongga pori.

II. 3. 3. Struktur Tanah

Struktur tanah adalah susunan agregat - agregat primer tanah yang secara alami menjadi bentuk tertentu. Pengaruh struktur tanah terhadap tata air dan tata udara tanah, terutama terhadap permeabilitas ataupun semua jenis tanah yang mempunyai rongga pori yang dapat meloloskan air

Tanah-tanah yang mempunyai struktur yang mantap terhadap permukaan air, memiliki permeabilitas dan drainase yang sempurna serta tidak didispersikan oleh air hujan. Tanah dengan pori - pori yang besar dan struktur yang baik memiliki kecepatan infiltrasi yang besar.

11.3.4. Infiltrasi

Pada umumnya air hujan yang masuk ke permukaan tanah akan bergerak sebagai limpasan permukaan atau disebut juga infiltrasi. Besar dan kecilnya curah hujan akan mempengaruhi terhadap kapasitas yang mengakibatkan bahaya erosi di daerah lereng. Air yang mengalir di permukaan tanah menginfiltrasi ke dalam tanah, sehingga dapat meningkatkan kelambatan pada tanah dan akan menuju ke air tanah.

Infiltrasi dapat berubah-ubah sesuai dengan intensitas curah hujan. Akan tetapi setelah mencapai limitnya, banyak infiltrasi akan berlangsung terus sesuai dengan kecepatan absorpsi maksimum pada tanah tersebut. Pada tanah yang sama kapasitas infiltrasinya berbeda - beda tergantung dari kondisi permukaan tanah.

Faktor faktor yang mempengaruhi infiltrasi adalah :

- Dalamnya genangan diatas permukaan tanah dan tebal lapisan yang jenuh
- Kelembaban tanah
- Pemampatan oleh curah hujan
- Penyumbatan oleh bahan - bahan yang halus
- Pemampatan oleh orang dan hewan
- Struktur tanah
- Tumbuh-tumbuhan
- Udara yang terdapat dalam tanah

Disamping faktor - faktor tersebut diatas, ada faktor - faktor lain yang mempengaruhi kapasitas infiltrasi adalah pengurangan kelembaban tanah oleh transpirasi melalui tumbuh - tumbuhan, variasi ketebalan air dalam ruang-ruang tanah akibat suhu tanah, efek pembekuan.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

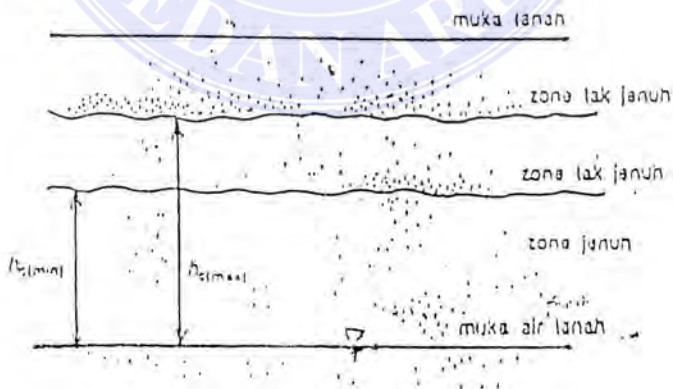
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

11.3.3. Air Tanah

Air tanah adalah air yang bergerak dalam tanah yang terdapat di dalam ruang-ruang antara butir - butir tanah yang membentuk itu dan di dalam retak retak dari batuan. Salah satu sumber utama dalam air ini adalah berasal dari air hujan yang meresap kebawah lewat ruang pori diantara butiran tanahnya. Air biasanya sangat berpengaruh kepada sifat-sifat teknis tanah, khusus tanah berbutir halus. Demikian juga halnya air merupakan faktor yang sangat penting dalam masalah - masalah teknis yang berhubungan dengan tanah, seperti penurunan, stabilitas pondasi, stabilitas lereng dan lain-lain.

Pada umumnya lapisan tanah, ada beberapa zone pada lapisan tersebut yakni : zone jenuh air, zone kapiler, zone jenuh sebahagian. Pada zone jenuh atau zone dibawah permukaan tanah, air mengisi seluruh rongga-rongga tanah. Maka pada zone ini tanah dianggap dalam kedudukan paling atas. Zone yang berbeda didekat permukaan tanah ini dapat dipengaruhi oleh penguapan dan akar tumbuhan-tumbuhan, ini akan dilihat pada gambar 2. 1



Gambar 2.1 : Geometri meniskus pada kenaikan air kapiler dan posisi air kapiler pada lapisan tanah.

Sumber : Mekanika Tanah 1.

UNIVERSITAS MEDAN AREA : Hary Christady Hardiyatmo

II. 4. PENGARUH YANG TIDAK DISADARI MANUSIA

Erosi yang disebabkan oleh pengaruh yang tidak disadari oleh manusia seyogyanya tidak diabaikan begitu saja yang diantaranya adalah :

- Penggundulan hutan
- Bercocok tanam diatas lereng – lereng pegunungan
- Penggalian di kaki lereng
- Penambahan beban diatas lereng
- Adanya irigasi dibagian atas lereng
- Adanya kegiatan penambangan

Pada semua keadaan tersebut ketahanan butiran tanah terhadap titik - titik air yang menyimpannya dan terhadap aliran permukaan sangat menurun, sehingga keseimbangan mekanis dari lorong - lorong tersebut terganggu, penyebab akan timbulnya erosi lereng, keruntuhan atau tanah longsor. Selanjutnya erosi yang mengakibatkan timbulnya sedimen dari lereng-lereng tersebut dan tertimbunnya didasar lembah - lembah ataupun didaerah kaki lereng.

II. 5. CONTOH-CONTOH KERUNTUHAN LERENG YANG BERESIKO TERHADAP NYAWA MANUSIA DAN EKONOMI

Ada beberapa contoh kondisi yang perlu diperhatikan dalam suatu keruntuhan lereng ditinjau dari segi resikonya terhadap nyawa manusia dan terhadap Ekonomi, yaitu :

a. Terhadap Nyawa Manusia

Contoh-contoh kondisi	Resiko terhadap nyawa manusia		
	Tak diperhatikan	Rendah	Tinggi
(1) Keruntuhan berpengaruh pada suatu taman-taman rekreasi udara terbuka dengan intensitas pemakaian yang jarang	√		
(2) Keruntuhan berpengaruh pada jalan raya dengan kepadatan lalu lintas rendah.	√		
(3) Keruntuhan berpengaruh pada gudang penyimpanan (bahan-bahan tidak berbahaya)	√		
(4) Keruntuhan berpengaruh pada area terbuka yang sering digunakan, fasilitas-fasilitas rekreasi (misalnya area untuk berkumpulnya massa, area bermain anak-anak, area parkir kendaraan)		√	
(5) Keruntuhan berpengaruh pada jalanan dengan intensitas penggunaan tinggi atau dengan kepadatan lalu lintas yang tinggi.		√	
(6) Keruntuhan berpengaruh pada area publik sebagai tempat menunggu (semacam stasiun kecil untuk menunggu kereta api, pemberhentian bis, stasiun pengisian bahan bakar).		√	
(7) Keruntuhan berpengaruh pada bangunan-bangunan yang sedang digunakan (misalnya area permukiman, area pendidikan, area komersial, area perindustrian).			√
(8) Keruntuhan berpengaruh pada bangunan-bangunan yang menyimpan bahan-bahan berbahaya.			√

Sumber : Hedy Rahadian, Dr, Ir, Msc, Slamet Prabudi Setianto, ST, Saroso,

B.S, Ir, Andi Sata, ST, MT (Pusat Litbang Prasarana Transportasi)

WWW.PDFFACTORY.COM

b. Terhadap Ekonomi

Contoh-contoh kondisi	Resiko Ekonomi		
	Diabaikan	Rendah	Tinggi
(1) Keruntuhan berpengaruh pada suatu taman-taman rekreasi yang besar.	√		
(2) Keruntuhan berpengaruh pada jalan penghubung antar kota (B), jalan untuk distribusi distrik dan distribusi lokal dan bukan merupakan akses satu-satunya.	√		
(3) Keruntuhan berpengaruh pada area terbuka tempat parkir kendaraan.	√		
(4) Keruntuhan berpengaruh jalan penghubung antar kota (A) atau jalan distribusi utama yang bukan merupakan akses satu-satunya.		√	
(5) Keruntuhan berpengaruh pada pusat-pusat servis utama yang dapat menyebabkan untuk sementara waktu kehilangan fungsi layannya.		√	
(6) Keruntuhan berpengaruh pada jalan-jalan penghubung antara kota atau dalam kota dengan kepentingan yang strategis.			√
(7) Keruntuhan berpengaruh pada pusat-pusat servis utama yang menyebabkan hilangnya fungsi layan untuk waktu yang panjang.			√
(8) Keruntuhan berpengaruh pada bangunan-bangunan yang dapat mengakibatkan kerusakan struktural yang parah.			√

Sumber : Hedy Rahadian, Dr, Ir, Msc, Slamet Prabudi Setianto, ST, Saroso,

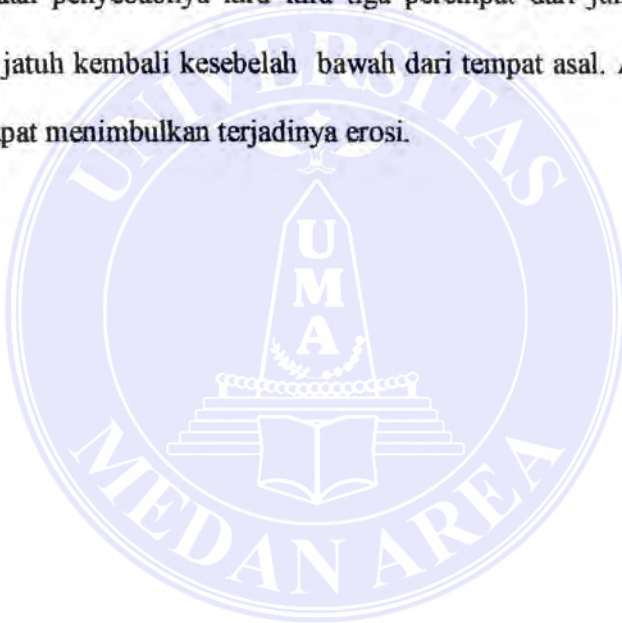
B.S, Ir, Andi Sata, ST, MT (Pusat Litbang Prasarana Transportasi)

WWW.PDFFACTORY.COM

II. 6. TOPOGRAFI

Untuk derajat dan panjang lereng merupakan dua sifat yang utama dari topografi yang mempengaruhi erosi. Dengan makin curamnya dan makin panjang lereng makin besar pula kecepatan aliran permukaan dan bahaya erosi.

Tanah yang datar untuk kecepatan tetesan dan intensitas curah hujan ini akan membawa dampak buruk dalam kestabilan lereng tersebut. Jumlah tanah maximal dalam percikan air kira-kira pada waktu 2-3 menit setelah hujan mulai turun, yaitu setelah tanah tertutup oleh lapisan air. Lereng yang dengan kemiringan 10 % dan penyebabnya kira-kira tiga perempat dari jumlah tanah yang terpecik akan jatuh kembali kesebelah bawah dari tempat asal. Akibat dari hal tersebut akan dapat menimbulkan terjadinya erosi.



BAB III

STABILITAS LERENG PADA JALAN RAYA

III. 1. UMUM

Tinjauan kestabilan suatu lereng yang berada baik di samping jalan raya maupun pada badan jalan raya dan kemampuannya untuk longsor harus diadakan, bila gerakan dari lereng yang ada atau direncanakan akan menimbulkan akibat longsohnya tanah akan menutupi permukaan jalan raya, sehingga bisa mengakibatkan terputusnya hubungan lalu lintas atau membahayakan keselamatan pemakaian jalan raya.

Lereng yang sudah stabil akan longsor bila timbul perubahan gaya-gaya yang bekerja pada lereng tersebut akibat pengaruh alam ataupun perbuatan manusia. Perubahan kondisi alam bisa dihasilkan dari adanya gempa bumi, runtuhnya gua-gua bawah tanah, erosi, perlemahan lereng karena terjadinya retak tarik atau susut yang mana air akan merembeskan kedalamnya, perubahan muka air tanah atau perubahan aliran permukaan lereng yang menimbulkan gaya-gaya aliran yang baru.

Perubahan yang terjadi akibat perbuatan manusia antara lain :

- Penambahan beban pada lereng
- Penggalan tanah bawah lereng
- Penajaman sudut lereng (lereng dibuat lebih curam)

Lereng buatan dibuat karena adanya persyaratan perubahan ketinggian guna keperluan proyek yang telah ditetapkan misalnya pembuatan jalan raya, lapangan terbang atau tanggul-tanggul pada bendungan.

III. 2. KLASIFIKASI BERDASARKAN POLA PERGERAKAN

Klasifikasi berdasarkan pola pergerakan terbagi dalam tiga jenis, yaitu gelincir (*slide*), jatuhan (*fall*) dan aliran (*flow*).

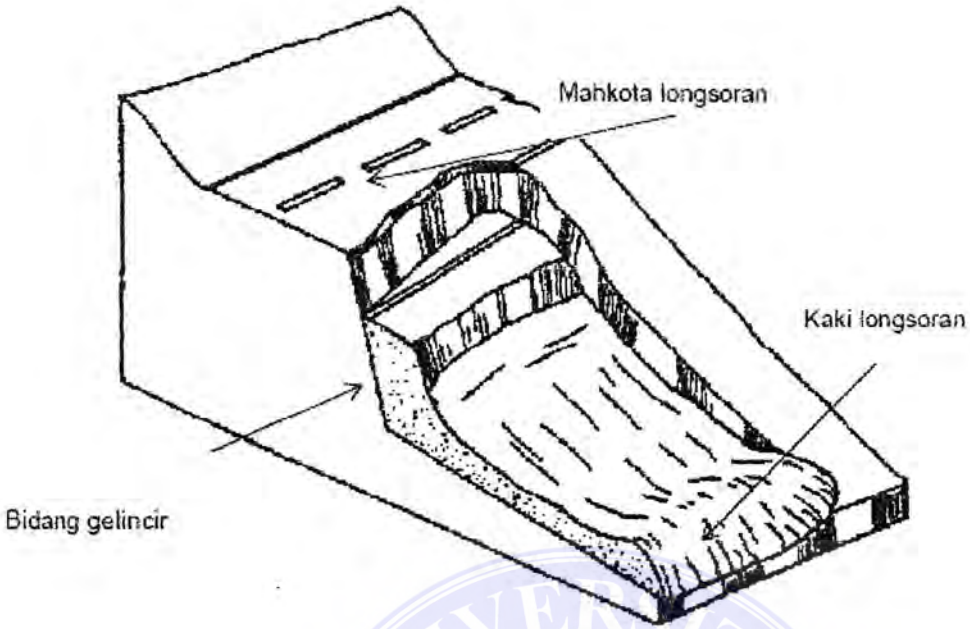
III. 2. 1 Gelincir (*slide*)

Gelincir terjadi akibat massa tanah bergerak pada suatu bidang yang disebut bidang gelincir. Jenis-jenis gelincir berupa translasi, rotasi atau kombinasi keduanya (majemuk).

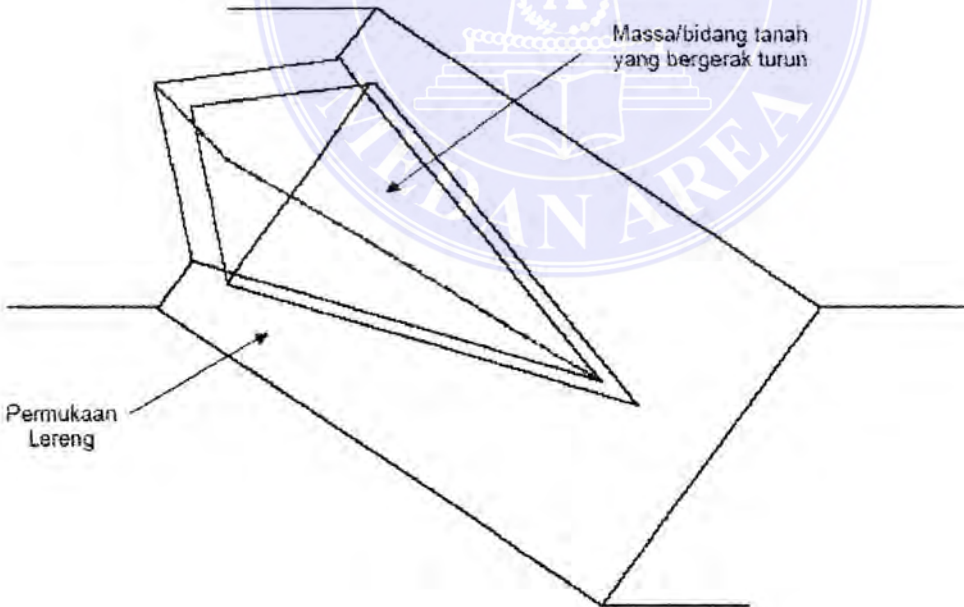
a. Gelincir Translasi (Gambar 3)

- Keruntuhan terjadi sepanjang zona lemah baik pada tanah ataupun batuan
- Massa tanah dapat bergerak jauh sebelum mencapai titik diamnya.
- Umum terjadi pada tanah berbutir kasar, sedangkan pada batuan biasanya terjadi bila posisi bidang lemahnya searah dan memotong kemiringan lereng.

Keruntuhan translasi ada yang berbentuk gelincir baji (*wedge slides*), jenis ini terjadi ketika massa tanah atau batuan terpecah belah sepanjang kekar-kekar (*joints*), sisipan (*seams*), rekahan (*fissures*) atau zone lemah sebagai akibat, misalnya, pembekuan air. Massa yang terpecah bergerak sebagai blok dan bergerak turun dalam bentuk baji (Gambar 4).



Gambar 3 Tipe keruntuhan gelincir translasi



Gambar 4 Tipe keruntuhan translasi/gelincir baji pada batuan (wedge failure, tampak atas)

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)7/9/23

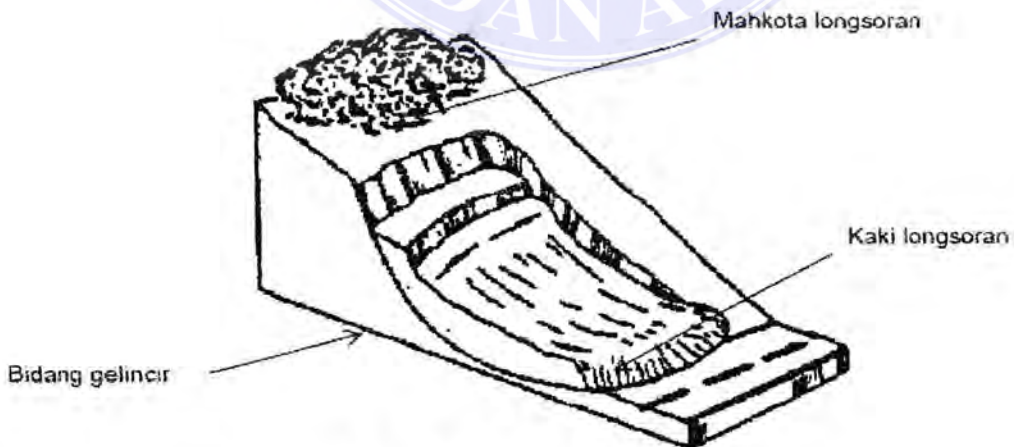
b. Gelincir Rotasi;

* Rotasi pada batuan

Tipe ini ditandai dengan adanya bentuk “sendok”. Bagian lereng atas terbentuk melengkung dan di bagian tengah longsor terdapat bagian yang labil dan nampak adanya gelombang yang tidak rata (*bulging*). Jenis keruntuhan lereng ini sangat umum terjadi pada batuan contohnya pada serpih lapuk (*shale-marine*) dan mengalami retakan cepat. Gerakannya progresif serta meliputi daerah yang cukup luas.

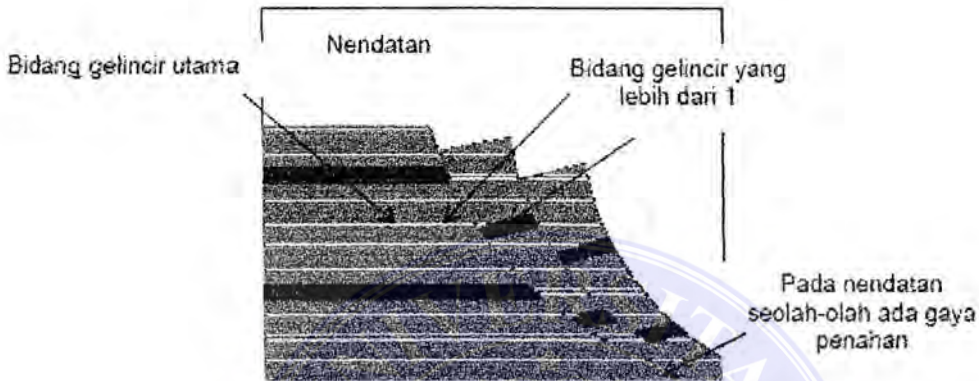
* Rotasi pada tanah

Tipe ini ditandai dengan adanya bidang gelincir lengkung dan gerakan rotasi. Penyebab utama terjadinya keruntuhan lereng rotasi adalah gaya-gaya rembesan air tanah atau kemiringan lereng yang bertambah pada tanah residual. Bidang gelincir yang dalam biasanya terjadi pada tanah lempung lunak dan kenyal. Keruntuhan lereng rotasi pada tanah koluvial biasanya dangkal. Morfologi keruntuhan lereng rotasi pada tanah dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5 Tipe keruntuhan gelincir rotasi

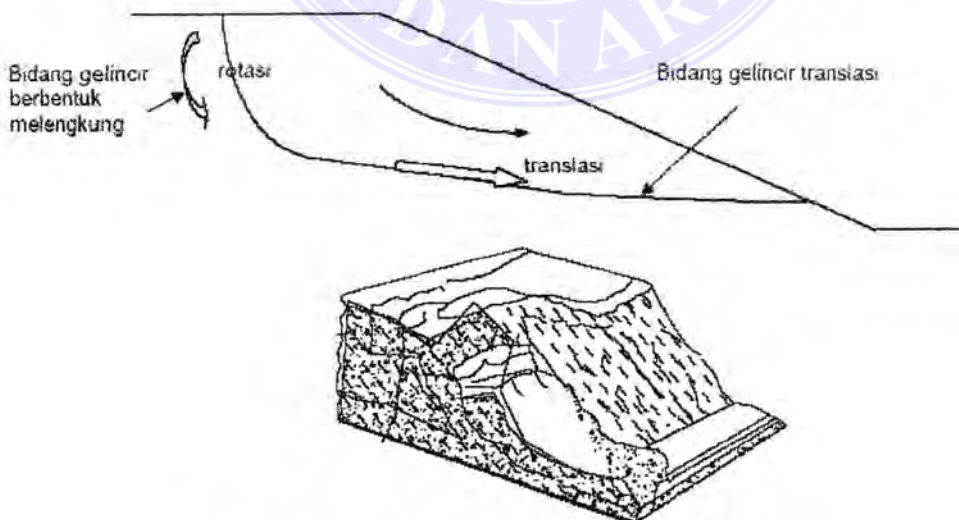
Contoh gelincir yang termasuk dalam gelincir rotasi adalah nendatan (*slump*), yaitu pergerakan tanah/batuan ke arah bawah dan keluar. Jumlah bidang gelincir yang terjadi adalah satu atau lebih (Gambar 6). Jenis pergerakan ini sering terjadi setelah kemiringan lereng dirubah.



Gambar 6 Tipe pergerakan nendatan

c. Gelincir Kombinasi.

Gelincir kombinasi merupakan bentuk gabungan gelincir translasi dan rotasi (Gambar 7). Tipe gelincir ini terjadi pada tanah maupun batuan lapuk.



Gambar 7 Tipe keruntuhan gelincir kombinasi

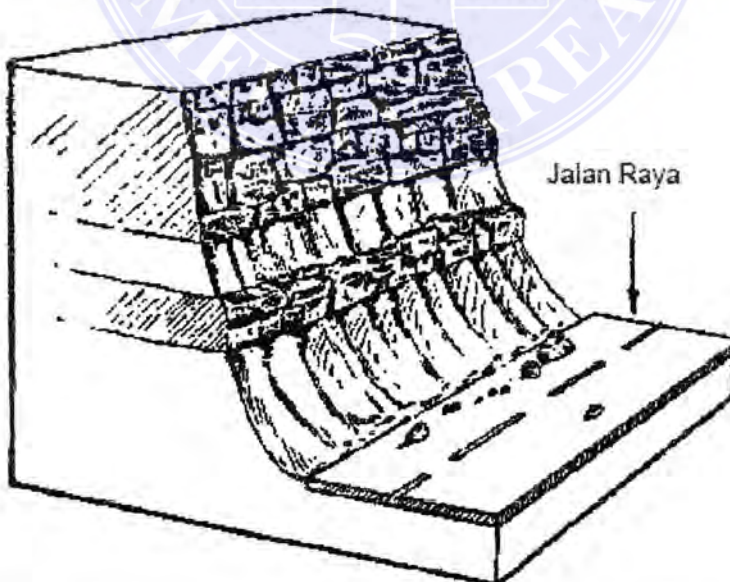
III. 2. 2 Jatuhan (fall)

Termasuk ke dalam kategori jatuhan adalah jatuh bebas (*free fall*) dan *rolling* serta jungkiran.

- a. Jatuh bebas dan *rolling* adalah material jatuh bebas yang kehilangan kontak dengan permukaan batuan. Pergerakan massa bergerak dari ketinggian tertentu melalui udara (Gambar 8);



a. Tipikal gerakan keruntuhan jatuhan



b. Kasus keruntuhan jatuhan pada lereng yang terdapat perbedaan tingkat pelapukan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

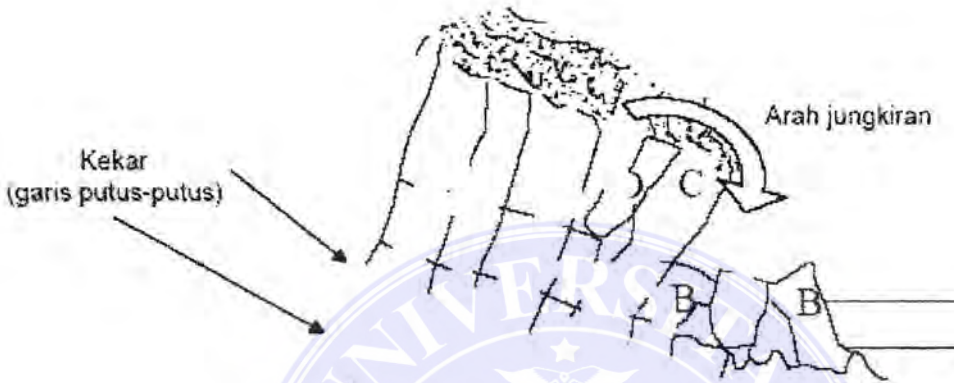
Gambar 8 Tipe gerakan keruntuhan jatuhan

Document Accepted 7/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)7/9/23

- b. Jungkiran (*topless*) terjadi akibat momen guling yang bekerja pada suatu titik putar dibawah titik massa. Jungkiran terjadi pada batuan yang mempunyai banyak kekar (Gambar 9);



Gambar 9 Tipe gerakan keruntuhan jungkiran

III. 2. 3 Aliran (flow)

Aliran adalah suatu material lepas (batuan lapuk atau tanah) yang setelah mengalami proses penjumlahan akan mengalir seperti sifatnya fluida. Jenis aliran adalah sebagai berikut :

a. Aliran Batuan Lapuk Atau Material Lepas ;

Aliran pada batuan lapuk termasuk ke dalam deformasi yang terus menerus, termasuk juga rangkakan. Aliran jenis ini umumnya melibatkan rangkakan dalam yang lambat dan perbedaan pergerakan antara unit –unit yang utuh.

Ciri-ciri pergerakan aliran pada batuan lapuk adalah :

- Terjadi di sepanjang permukaan geser yang tidak saling berhubungan;
- Distribusi kecepatan mirip aliran fluida yang kental.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

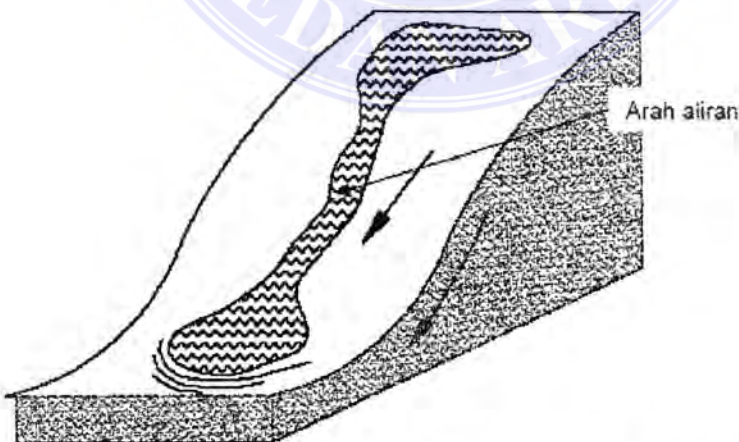
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)7/9/23

b. Aliran Pada Tanah.

Aliran pada tanah adalah pergerakan material yang menyerupai fluida kental. Permukaan gelincir pada bidang material yang bergerak dapat berupa permukaan tajam, perbedaan pergerakan atau suatu zona distribusi geser (Gambar 10). Rentang pergerakan mulai dari sangat cepat sampai sangat lambat.

Ciri-ciri pergerakan aliran pada tanah adalah :

- * pergerakan aliran terjadi ketika kondisi internal dan eksternal menyebabkan tanah berperilaku seperti cairan dan mengalir ke bawah meskipun kemiringan lerengnya landai ;
- * tanah mengalir bergerak ke berbagai arah serta tidak memiliki permukaan keruntuhan yang terdefinisi secara jelas;
- * permukaan keruntuhan berganda terbentuk dan berubah secara terus menerus selama proses aliran terjadi; dan
- * pergerakan aliran terjadi pada tanah kering maupun tanah basah.

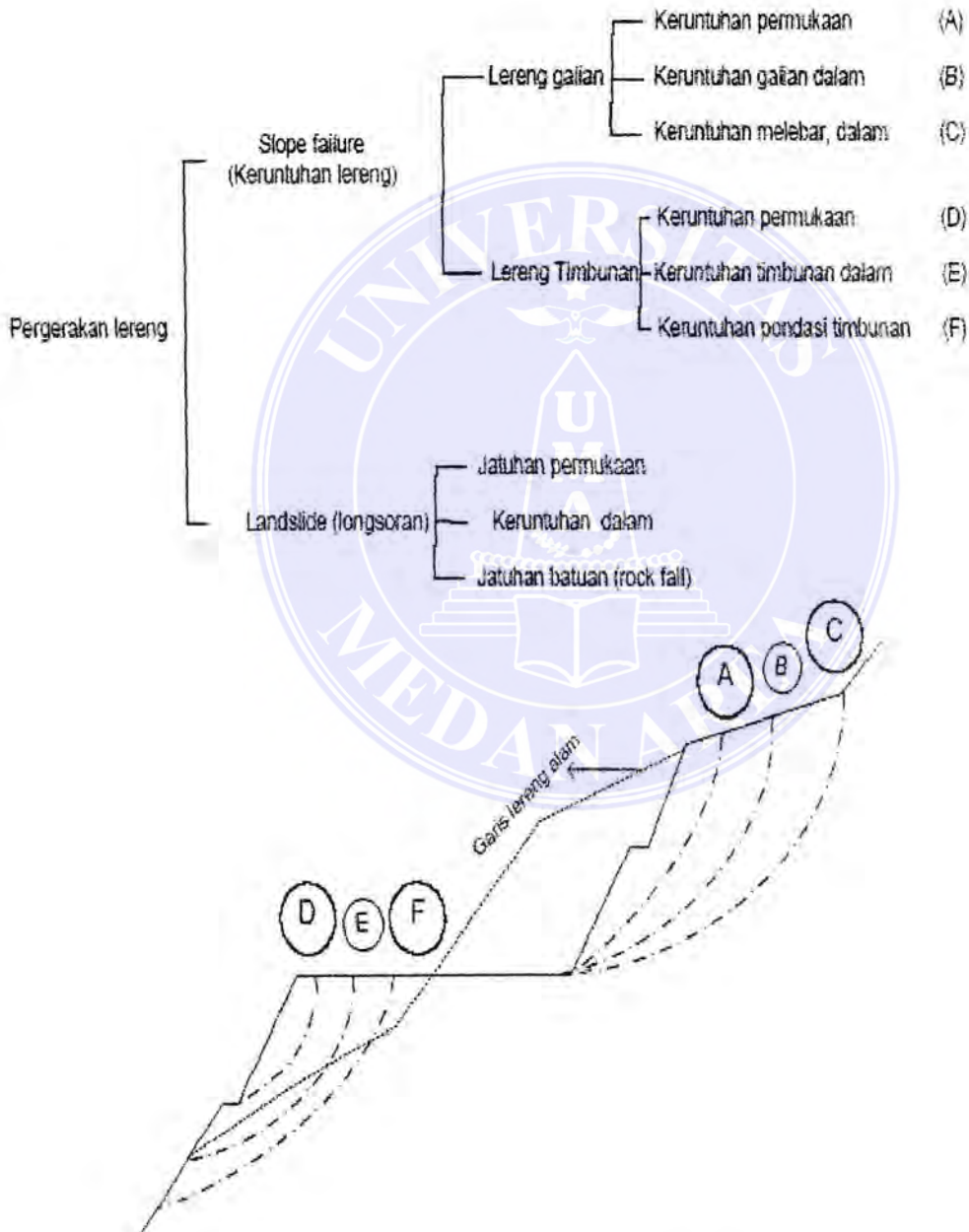


Keterangan : Gambar arsiran menunjukkan bentuk keruntuhan yang tidak berpola.

Gambar 10 Tipe keruntuhan lereng aliran dengan bentuk keruntuhan yang tidak berpola

III. 3 KLASIFIKASI BERDASARKAN PEMBENTUKAN

Lereng berdasarkan pembentukannya dibagi menjadi dua tipe, yaitu lereng alam dan lereng buatan. Lereng buatan dapat dibagi lagi menjadi dua tipe, yaitu lereng timbunan dan lereng galian. Pergerakan lereng berdasarkan jenisnya dapat dikategorikan sebagai berikut (Gambar 14):



Gambar 14 Pergerakan lereng ditinjau dari jenis lerengnya

Pergerakan lereng dengan tipe keruntuhan lereng pada umumnya terjadi akibat kurang tepatnya perencanaan maupun pelaksanaan konstruksi lereng. Pergerakan lereng dengan tipe keruntuhan lereng umumnya sangat berkaitan dengan kondisi geologinya. Terkadang keruntuhan lereng disebut juga keruntuhan geologi. Faktor geologi yang dominan di antaranya adalah lereng yang terdapat pada deposit serpih dan material porous (breksi, batu pasir, dll.) yang menumpang pada lereng serpih. Selain akibat kondisi geologinya (morfologi, topografi dan lain sebagainya), keruntuhan dapat juga terjadi akibat bentuk topografinya (cut & fill) yang merupakan hasil aktifitas keruntuhan lereng terdahulu.

III. 4. FAKTOR - FAKTOR YANG MEMPENGARUHI STABILITAS LERENG PADA JALAN RAYA

Kestabilan suatu lereng pada jalan raya tergantung kepada faktor-faktor sebagai berikut :

- a. Kondisi tanah / batuan stempat
 - Lunak dan lemah, sensitif dan material telah lapuk
 - Adanya retakan, kekar dan patahan
 - Variasi sifat fisik (permeabilitas, plastisitas, mineral dan sebagainya)
- b. Morfologi
 - Pergerakan / pengangkatan tanah akibat gerak tektonik atau vulkanik aktif
 - Proses erosi (pengendalian lateral)
 - Proses penggerusan vertikal (scouring)
 - Penambahan beban tanah / tanah buangan di daerah puncak lereng
 - Pengupasan vegetasi akibat kekeringan atau kebakaran

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

c. Kondisi fisik disekitar lereng

- Hujan yang deras dan lama (banjir)
- Drawdown yang cepat
- Gempa bumi
- Letusan gunung berapi
- Kembang susut batuan lempeng merin
- Tekanan artesis

Pada umumnya suatu lereng sudah dikatakan dalam keadaan stabil apabila faktor keamanan sudah lebih besar dari pada satu ($FK > 1$). Tetapi sangat dianjurkan agar faktor keamanan diambil lebih besar atau minimal sama dengan 1,5 ($FK > 1,5$) terutama pada pekerjaan timbunan yang baru.

III. 5. KEKUATAN GESER TANAH

Bila pada suatu daerah lereng pada jalan raya yang sering terjadi deformasi yang diakibatkan oleh gaya-gaya yang bekerja diatasnya akan mengalami keruntuhan yang sangat besar dari tanah dibawah lereng tersebut secara tidak langsung. Keruntuhan ini dikaitkan dengan kekuatan geser tanah yang bersangkutan, yang mana merupakan tegangan-tegangan maksimum atau batas yang dapat dipikul oleh tanah tersebut.

Didalam stabilitas daerah lereng pada jalan raya kekuatan geser tanah menjadi tinjauan utama sebab keruntuhan-keruntuhan yang terjadi pada lereng yang ditimbulkan pada akibat gaya-gaya pergerakan diatas permukaan lereng.

Kekuatan geser tanah dapat terdiri dari dua bagian, yaitu :

1. Gesekan dalam, yang sebanding dengan efektif yang bekerja pada bidang geser
2. Kohesi yang tergantung pada jenis tanah dan kepadatannya.

Tanah pada umumnya digolongkan sebagai berikut :

- a. Tanah berkohesi atau berbutir halus (misalnya lempung)
- b. Tanah tidak berkohesi atau berbutir kasar (misalnya pasir)
- c. Tanah berkohesi gesekan atau ada c dan Φ (misalnya lanau)

Hipotesa mengenai kekuatan geser tanah dianjurkan oleh Coulumb

(tahun 1773) sebagai berikut :

$$S = c + \sigma \tan \Phi \dots\dots\dots (3.1)$$

dimana :

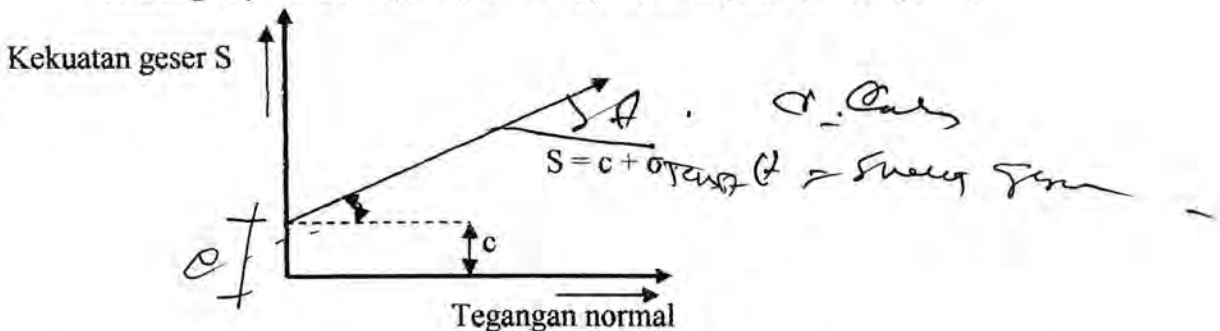
S = kekuatan geser tanah

C = kohesi tanah

Φ = sudut geser tanah

σ = tegangan normal pada bidang kertas kritis

Hubungan persamaan (3.1) diatas dapat dilihat pada gambar (3.2)



Gambar 3.2 : Grafik hubungan kekuatan geser tanah dengan tegangan normal

Sumber : Mekanika Tanah, Ir. Sunggono kh
UNIVERSITAS MEDAN AREA

Dalam tanah tidak berkohesi, kekuatan gesernya hanya terletak pada gesekan antara butir tanah saja ($c = 0$), sedangkan pada tanah berkohesi dalam kondisi jenuh, maka $\Phi = 0$ dan $S = c$.

Kemudian dari rumus Coulumb dirubah oleh Terzaghi (tahun 1925) dengan memasukan unsur tegangan air pori dan dibuktikan pula oleh Hvoslev (tahun 1973), oleh karena itu persamaan Coulumb – Hvorslev.

$$S = c' + \sigma' \tan \Phi \dots\dots\dots (3. 2)$$

Dimana :

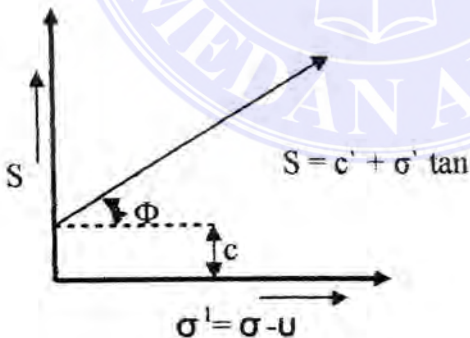
S = kekuatan geser tanah

c' = kohesi tanah aktif

σ' = tegangan normal efektif, $\sigma' = \sigma - U$

U = tegangan air pori

Φ = sudut geser dalam efektif



Gambar 3.3 : Grafik hubungan kekuatan geser tanah dengan tegangan normal efektif

Sumber : Mekanika Tanah, Ir. Sunggono kh

Ada beberapa percobaan untuk mendapatkan kekuatan geser tanah, antara lain :

- a. Percobaan geser langsung (Direct Shear Test)
- b. Percobaan tekan bebas (Unconfined Compression Test)

III. 6. ANALISA KESTABILAN LERENG

III. 6. 1. Lereng Tak Terbatas

Lereng tak terbatas ialah suatu tanah yang mempunyai permukaan yang terletak diatas lapisan batu dengan kemiringan permukaan yang semua dan mempunyai ketinggian yang sangat lebih besar dibanding dengan kedalamannya

A. Tanah tak berkohesif

Tanah tak berkohesi ialah suatu tanah yang mempunya susunan gradasi dimana butirnya paling banyak dan tidak ada kohesif pada waktu kering Untuk lereng yang serba sama, gaya gaya yang bekerja disuatu potongan yang diambil disebelah atas bidang longsor yang diandaikan digambarkan pada gambar 3. 4 kekuatan geser tanah dilereng tersebut dinyatakan sebagai :

$$S = \sigma \tan \Phi$$

dimana

S = kekuatan geser maksimum atau tahanan yang dapat terjadi pada bidang

σ' = tegangan tekan efektif, tegangan dalam butir tanah intergranular stress

Φ = sudut geser dalam adalah sifat tanah yang dipengaruhi oleh ukuran partikel,

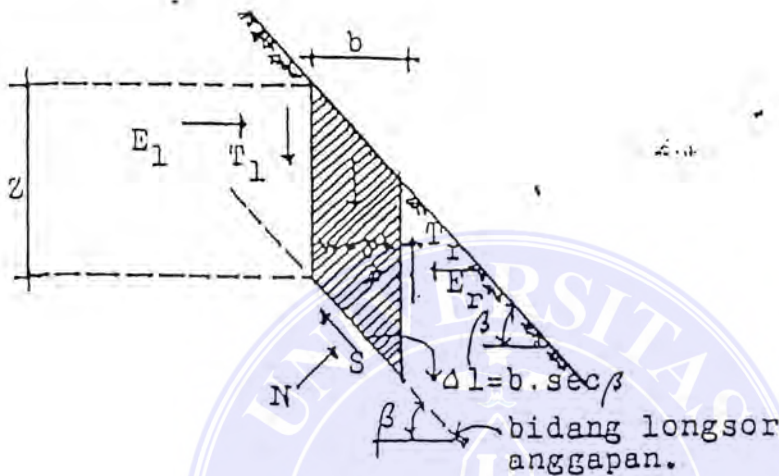
bentuk dan komposisi mineral

Lereng terdiri dari tanah yang tak berkohesif, sama dengan :

Ω = berat jenis tanah

$S = \sigma \tan \Phi$

$S = \Omega . z . \sin \beta . \cos \beta$



Gambar 3.4 : Gambaran gaya-gaya bekerja pada suatu potongan yang diambil pada lereng tak terbatas, serta sama dari tanah tak berkohesi

W = berat elemen
 $= \Omega . b . z$

N = Gaya normal (reaksi) pada bidang longsor yang diandaikan
 $= W \cos \beta$
 $= a . b . z . \cos \beta$
 $= \Omega . z . \cos^2$

S = Gaya geser pada bidang longsor
 $= W . \sin \beta$
 $= \Omega . b . z . \sin \beta$

$= \Omega . z . \sin \beta . \cos \beta$
 UNIVERSITAS MEDAN AREA

Untuk lereng yang serba sama, luasnya tertentu, gaya-gaya tengensial (T_1 dan T_r) dan suatu potongan adalah sama besar. Pada waktu lereng diambang kelongsoran disepanjang bidang yang diandalkan, semua gaya-gaya yang bekerja pada potongan tersebut dalam keadaan seimbang guna mencari hubungan S dan N, penjumlahan gaya-gaya dalam arah horizontal, memberikan :

$$\begin{aligned} \sum F_H &= 0 \\ S \cdot \cos \beta &= N \cdot \sin \beta \\ S &= N \frac{\sin \beta}{\cos \beta} \\ S &= N \cdot \tan \beta \end{aligned}$$

Tahanan geser total maksimum yang dapat terjadi dalam tanah pada bidang longsor yang diambil :

$$S = \sigma \cdot l \cdot \tan \phi$$

dimana $\sigma \cdot l$ adalah gaya normal efektif maximum N yang bekerja pada bidang tersebut, sehingga : $N \cdot \tan \beta = N \cdot \tan \phi$.

Keadaan seimbang batas untuk potongan-potongan yang lain terjadi bersama-sama bila hubungan antara W, N dan s seperti dalam gambar 3.4.

Keadaan ii dipenuhi hanya bilamana longsor dan permukaan tanah sejajar, karena itu sudut lereng maximum sebelum longsor terjadi adalah : $\tan \beta = \tan \phi$

$$\beta = \phi \text{ (Untuk tanah kering tak berkohesi) (3.3)}$$

Jadi bila β sama dengan ϕ , faktor keamanan (perbandingan gaya-gaya yang menahan longsor yang menyebabkan longsor), didasarkan atas kokoh (kekuatan) geser tanah adalah satu

Untuk sudut lereng yang lebih kecil dari ϕ maka faktor keamanan akan lebih besar dari satu. Jika I adalah sudut lereng nyata, sudah ada atau yang telah dibuat, faktor keamanan terhadap longsoran dinyatakan sebagai :

$$F.K = \frac{\tan \Phi}{\tan I} \dots\dots\dots (3.4)$$

Cara-cara membuat analisa lereng didasarkan pada konsep yang telah dibicarakan tersebut diatas disebut dengan cara analisa keseimbangan batas.

Seperti yang telah diuraikan, cara ini mencakup penentuan geser total yang dibutuhkan atau dimobilisir oleh tanah sepanjang bidang longsor yang diandaikan guna mempertahankan keseimbangan lereng, jadi suatu faktor keamanan terhadap longsor dinyatakan sebagai perbandingan kekuatan geser yang tersedia (kekuatan maximum tanah), terhadap kekuatan geser total yang dibutuhkan atau dimobilisir untuk keadaan keseimbangan tersebut.

Jika lereng terendam air, berat jenis efektif tanah dalam potongan yang ditinjau direduksi menjadi berat jenis tanah terendam, sebagai harga-harga N dan S pada tiap potongan akan berkurang secara proposional.

Untuk keadaan dimana lereng terendam terkena aliran air yang berjalan sejajar dengan permukaan lereng, gaya-gaya aliran yang timbul menambahkan gaya-gaya yang menyebabkan longsoran, dan harga sudut lereng maximum yang aman adalah :

$$\tan \beta \frac{\Omega_{sub}}{\Omega_{total}} \tan \Phi \dots\dots\dots (3.5a)$$

Ω total = Berat jenis tanah bawah diatas air

Ω Sub = Berat jenis tanah terendam

UNIVERSITAS MEDAN AREA

Bila $\Omega_{sub} = \Omega_{total}$ maka :

$$\tan \beta = + \tan \phi \dots \dots \dots (3.5b)$$

Persamaan tersebut diatas (3.5a dan 3.5b) menyatakan kondisi apabila faktor keamanan sama dengan satu. Faktor keamanan untuk sudut lereng yang lebih kecil ditentukan dari :

$$F.K = \frac{\Omega_{Sub.}(\tan \Phi)}{\Omega_{total.}(\tan i)} \dots \dots \dots (3.6)$$

(untuk lereng yang terendam, tanah tak berkohesi, terkena aliran air tanah), dimana I adalah sudut nyata dari lereng yang ada atau dibuat

B. Tanah Kohesif

Tanah Kohesif : Karakteristik fisi yang selalu terdapat massa butiran tanah pada pembaharuan penggunaannya yang menyusun butiran tanah bersatu sesama sehingga suatu gaya akan diperlukan

Dari gambar .3.4 tegangan geser yang bekerja pada dasar dari sutau potongan lereng :

$$S = \Omega . z . \sin \beta . \cos \beta$$

Untuk keadaan tak terendam. Bila tanah dalam keseimbangan tetapi diambang kelongsoran. Diketahui : $\Omega . z . \cos^2 \beta$, maka :

$$\Omega . z . \sin \beta . \cos \beta = c + \Omega . z . \cos^2 \beta . \tan \phi$$

Jika faktor keamanan terhadap kelongsoran diambil sebagai perbandingan dari kekuatan geser tanah yang tersedia dengan nsatu yang ditentukan dari kekuatan geser dan tekanan geser yang baru saja dibicarakan, yaitu :

$$F.K = 1 = \frac{c + \Omega z . \cos^2 \beta . \tan \Phi}{\Omega . z . \sin \beta . \cos \beta} \dots \dots \dots (3.7a)$$

Untuk sudut lereng sebesar i (diamati $< \beta$), harga faktor keamanan ditentukan dari :

$$F.K = \frac{c}{\Omega.z.\sin i.\cos i} \frac{\tan \phi}{\tan i} \text{ (keadaan tak terendam) (3.7b)}$$

Untuk lereng terendam penuh, berat jenis tanah dalam persamaan (3.7.b) dipakai

Ω_{sumber} (berat jenis tanah terendam). Bilamana seluruh tinggi lereng terkena aliran air tanah saja permukaan lereng, faktor keamanan ditentukan dari :

$$F.K = \frac{c}{\Omega.z.\sin i.\cos i} + \frac{\Omega_{\text{subtan}} \cdot \tan \Phi}{\Omega_{\text{tan air}} \cdot \tan i}$$

(lereng terendam, terkena aliran air tanah) (3.7c)

III. 6. 2. Lereng Terbatas

Lereng terbatas ialah Suatu bentuk tanah yang sudah ditentukan sudut kemiringan, momen dan faktor keamanannya

Tanah berkohesi

Para penyidik membuktikan bahwa lereng dari tanah isotropis, kohesi (lempun dan tanah campuran), yang mengalami kelongsoran tersebut akan bergerak turun keluar relatif terhadap kedudukan lereng. mula-mula dengan cara bergeser sepanjang bidang gelincir ini dianggap berbentuk lingkaran walaupun sebenarnya adalah besar didekat pusat busur longsor dan mengecil dibagian atas busur tersebut. Anggapan bidang longsor berbentuk logaritma spiral ternyata tak memberi perbedaan dengan anggapan bidang tersebut berbentuk lingkaran.

Sifat-sifat kekuatan tanah yang berbentuk suatu lereng mempunyai pengaruh pada letak umum bidang longsor kaki lereng. Dimana untuk lereng

yang mempunyai gaya geser dalam, terutama tanah tak berkohesi, bentuk

longsoran akan lebih dangkal dibandingkan dengan lereng isotropis, lembek atau

lempung yang terkosolidasi normal. Gambar 3.5 menunjukkan bidang longsor lereng tanah yang mempunyai geseran dalam melalui bagian depan lereng, kadang kadang sedikit melalui daerah dibawah muka kaki lereng. Sebaiknya, longsor pada lereng tanah lempung membentuk bidang longsor yang melewati jauh dibawah kaki lereng (dikelompokkan sebagai suatu longsor didasar). Dan bahkan kadang kadang menyinggung pada lapisan tanah keras yang tebal dibawahnya. Umumnya kelongsoran lereng yang landai memberikan daerah longsor yang lebih dalam dibandingkan dengan lereng yang curam.

III. 7. METODE ANALISA KESTABILAN LERENG

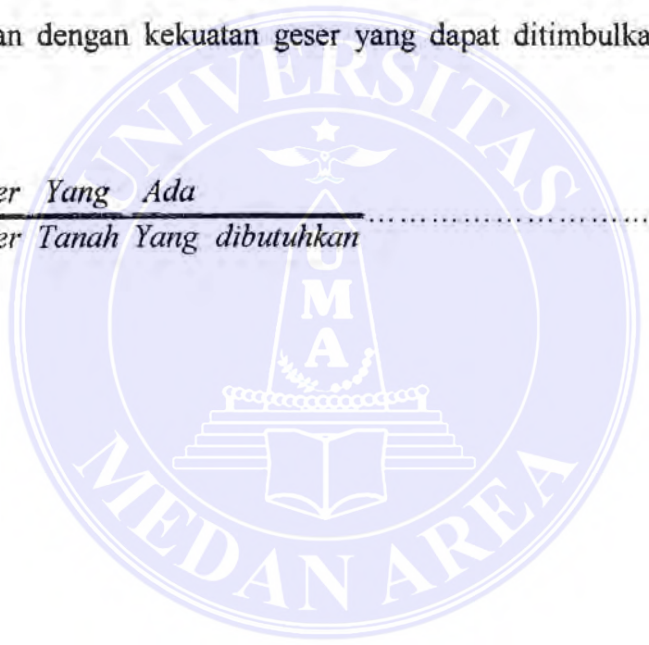
Bilamana kestabilan lereng dianalisa kemungkinan longsohnya dengan menggunakan anggapan longsor sepanjang bidang longsor lingkaran, maka dasar - dasar perhitungan statika dapat digunakan untuk menentukan keadaan stabil atau tidaknya lereng tersebut. Bila longsor tanah total dianggap silindris atau berbentuk “ sendok “ seperti terlihat pada gambar 3.6 satuan lebar pada sepanjang bagian depan diambil untuk dianalisa, bidang longsor penampang lereng itu merupakan busur suatu lingkaran lihat pada gambar 3.7a. Gaya gaya yang mempengaruhi keseimbangan dari massa longsor anggapan tersebut ditentukan, dan momen momen dari gaya - gaya tersebut terhadap titik pusat dari busur lingkaran dihitung. Dengan cara ini, berat tanah yang akan longsor serta beban - beban luar yang dimuka dan diatas lereng menimbulkan momen - momen yang menyebabkan longsor. Gaya geser pada bidang longsor yang ditinjau merupakan penahan longsor lihat pada gambar 3.7b.

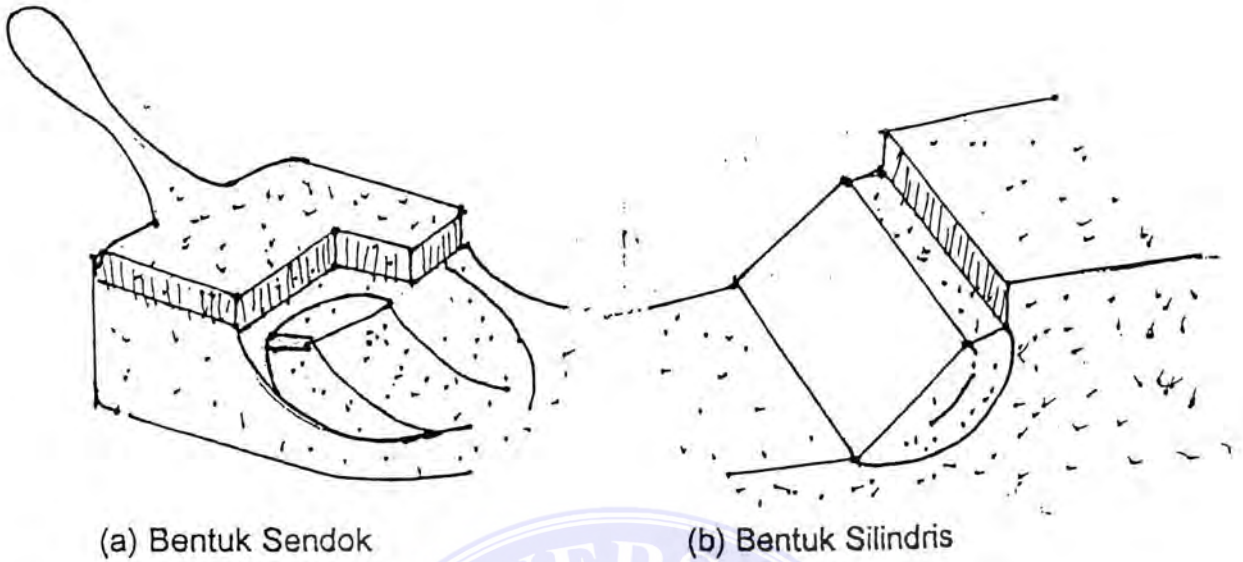
Gaya geser maximum yang ada pada tanah tersebut digunakan dalam menghitung momen penahan. Kelongsoran akan dimulai tampak bila momen yang menyebabkan melebihi dari momen penahannya. Faktor keamanan terhadap kelongsoran atau pergerakan dinyatakan :

$$F.K = \frac{\text{Momen Penahan Longsor}}{\text{Momen Penyebab Longsor}} \dots\dots\dots (3.8a)$$

Harga F.K = 1 berarti lereng diambang kelongsoran. Cara lain yang dilakukan adalah tahan geser yang diperlukan disepanjang bidang longsor yang andai dibandingkan dengan kekuatan geser yang dapat ditimbulkan oleh tanah tersebut

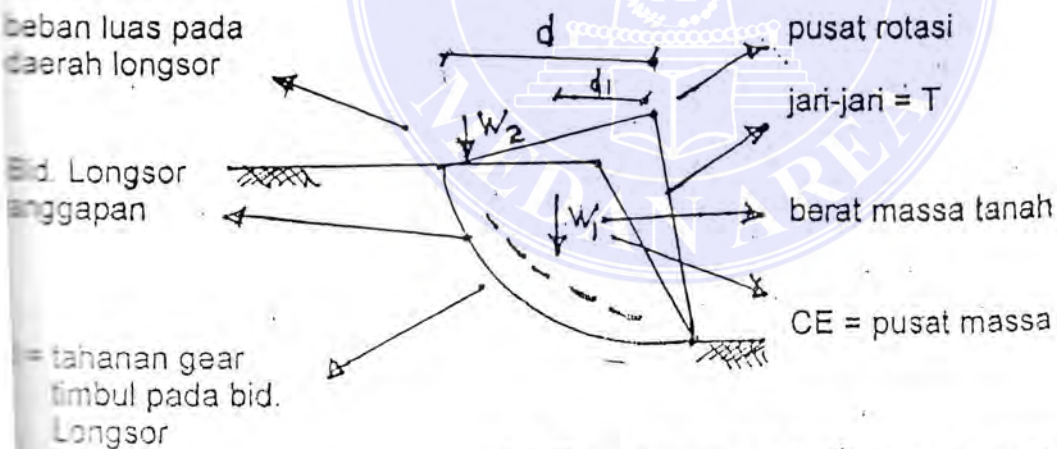
$$F.K = \frac{\text{Gaya Geser Yang Ada}}{\text{Gaya Geser Tanah Yang dibutuhkan}} \dots\dots\dots (3.8b)$$





Gambar 3.6 : Bentuk-bentuk Longsoran rotasi

Sumber : Analisa. kesetabilan Lereng.
Oleh Ir. Heranto W. (hal 5).



(b) Gaya-gaya yang bekerja pada massa longsoran yang diandaikan

Gambar 3.7. : Metode dasar analisa stabilitas lereng

$$\text{Momen Penyebab longsor} = (W_1 \cdot d_1) + (W_2 \cdot d_2)$$

$$\text{Momen penahan longsor} = t \cdot L \cdot r$$

Perhitungan faktor keamanan

ambil $\gamma = \gamma_{\max}$ = kekuatan geser tanah maksimum

$$F \cdot k = \frac{\gamma_{\max}}{(W_1 \cdot d_1) + (W_2 \cdot d_2)} \dots\dots\dots (3.8c)$$

ambil : γ_p = kekuatan geser yang diperlukan untuk keseimbangan

maka :

$$\gamma_p \cdot L \cdot r = (W_1 \cdot d_1) + (W_2 \cdot d_2)$$

$$\gamma_p = \frac{(W_1 \cdot d_1) + (W_2 \cdot d_2)}{L \cdot r}$$

$$F \cdot K = \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_p}$$

$$F \cdot K = \frac{\gamma_{\max}}{\gamma_{\text{perlu}}} \dots\dots\dots (3.8d)$$

Untuk lereng tanah lempung, isotropis, faktor keamanan untuk sesuatu bidang longsor yang ditinjau dapat ditentukan dengan langsung dengan memakai persamaan (3.8c) atau (3,8d) bila ditinjau tersebut atas dasar keadaan $\phi = 0$. pada kasus ini, gaya geser total yang dipakai adalah harga kohesi c dari undrained shear test (Unconsolidate Undrained Test / Unconfined Compression Test).

Harga Tegangan efektif dari bidang longsor yang ada tak perlu ditentukan karena tidak ada mempengaruhi besarnya harga tahanan geser yang dipakai. Tetapi jika tanah mempunyai nilai yang $\phi \neq 0$ yang mana memberi tekanan pada tahanan geser disepanjang yang longsor, cara perhitungan harus mencakup penentuan harga tegangan efektifitas tegak lurus pada titik-titik disepanjang

bidang longsor yang ditinjau untuk mendapatkan harga tahanan / tegangan geser

dari faktor $\sigma' \tan \phi$. Cara analisa lereng dengan kondisi $\phi = 0$, yaitu cara potongan / kepingan yang akan dibahas pada bagian selanjutnya.

Letak sumbu putar (momen) mempunyai pengaruh yang besar pada faktor keamanan yang akan dihitung, sebab hal tersebut menentukan posisi dan panjang bidang longsor yang akan diandaikan dan ukuran massa tanah longsor. Kadang-kadang diperlukan membuat analisa kestabilan untuk sejumlah bidang-bidang longsor yang diandaikan untuk menentukan sumbu putar / momen yang memberikan lingkaran longsor yang paling kritis (bidang longsor yang memberikan faktor keamanan terendah yang paling mudah longsor dalam kondisi sebenarnya). Lihar gambar 3.8a pola petak (grid) dapat dibuat untuk merubah secara sistematis letak pusat momen-momen. Dengan menandai tiap titik pada petak (grid) tersebut dengan faktor keamanan yang telah dihitung, garis-garis kontur yang menyatakan faktor keamanan yang sama dapat ditentukan (cara sama dengan menetapkan garis-garis kontur pada proses pemetaan). Dengan menggambarkan garis-garis kontur atas dasar seperti yang dibuat, letak-letak pusat momen dan bidang-bidang longsor akan makin tampak seperti pada gambar 3.8

III. 7.1. CARA ANALISA POTONGAN (METODE FELLENIUS)

Untuk suatu bidang longsor yang ditinjau mulai lapisan tanah dimana tegangan atas geseran dalam dan tegangan efektif maka metode potongan ini merupakan cara yang praktis untuk menentukan tahanan geser yang berbeda-beda yang timbul disepanjang bagian yang berlainan dari bidang longsor yang

Cara ini mencakup pembagian massa tanah diatas bidang longsor yang diandaikan menjadi potongan-potongan vertikal seperti pada gambar 3.9a. lebar dari potongan ini dipilih sembarangan, bagian busur didasar tiap potongan harus hanya melewati satu jenis satu tanah, dan lembar potongan diambil sedemikian sehingga lengkung busur didasarkan potongan tersebut dapat dianggap garis lurus.

Berat total tanah pada suatu potongan termasuk berat air bila lereng terendam air dan beban luar yang bekerja pada permukaan lereng tersebut adalah W_1 dalam gambar 3.9. W_1 diuraikan dalam komponen tegak lurus dan tangensial pada dasar potongan. Dengan cari ini, pengaruh gaya-gaya T dan E yang bekerja disamping potongan diabaikan. Faktor keamanan adalah perbandingan momen-momen penahan longsor dengan penyebab longsor terhadap sumbu / pusat longSORan untuk potongan dalam gambar 3.9b. momen tahanan geser pada bidang longSOR adalah :

$$M_{\text{penahan}} = s \cdot r$$

dimana : s adalah gaya geser total dan

r jari-jari busur longSOR lingkaran dasar potongan adalah

Tahanan geser pada tiap dasar potongan adalah :

$$S = \sigma \cdot l$$

$$l \cdot (c' + \sigma' \cdot \tan \Phi)$$

dimana : $\sigma' = W_t \cdot \cos \alpha / l$

sedangkan untuk tanah yang terendam, maka :

$$S = \sigma' l + \frac{W_t \cdot \cos \alpha}{l} \cdot l \cdot \tan \Phi$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

$$S = c \cdot l + W_t \cdot \cos \alpha \cdot \tan \Phi$$

Jadi momen penahan yang ada sebesar :

$$M_{\text{penahan}} = r \cdot (c \cdot l + W_t \cdot \cos \alpha \cdot \tan \Phi)$$

Komponen tegak lurus W_t melalui pusat putaran akan menimbulkan momen sebesar nol. Komponen tangensial W_t bekerja sebagai penyebab longsor menimbulkan momen penyebab :

$$M_{\text{penyebab}} = (W_t \cdot \sin \alpha) \cdot r$$

Faktor keamanan dari lereng tersebut dapat membandingkan jumlah moment penahan dari dengan jumlah momen penyebab :

$$F.k = \frac{r \cdot \sum (c \cdot l + W_t \cdot \cos \alpha \cdot \tan \Phi)}{r \cdot \sum (W_t \cdot \sin \alpha)}$$

$$F.K = \frac{\sum (c \cdot b \sec \alpha + \cos \alpha \cdot \tan \Phi)}{\sum (W_t \cdot \sin \alpha)}$$

Jika lereng tersebut terendam air atau jika muka air tanah diatas kaki lereng tekanan air pori akan bekerja pada dasar (bagian bawah) ptongan-potongan yang ada dibawah air tersebut. Tekanan netral u akan mengurangi tekanan efektif, berarti juga tahanan geser sepanjang dasar potongan akan berkurang juga. Di dalam pemakaiannya kedalam metode Fellenius cara praktis menghitung pengaruh tekanan netral tersebut adalah menggunakan berat jenis terendam (sumber *ged unit weight*) untuk bagian tanah yang dibawah air. Bila menghitung harga W_t dalam pembilang persamaan 3.9 adalah :

$$\sum (c \cdot b \cos \alpha + (E_t \cdot \cos \alpha - ul) \tan \Phi)$$

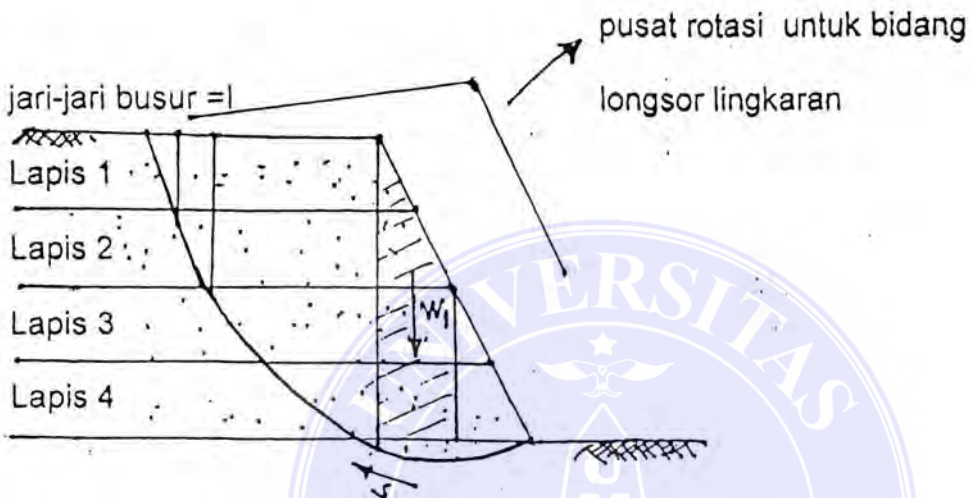
diamna $u = \Omega_w \cdot Z_w$ (Z_w = kedalam dibawah permukaan air)

Untuk harga W_t dalam penyebut tetap ditentukan dengan menggunakan berat total

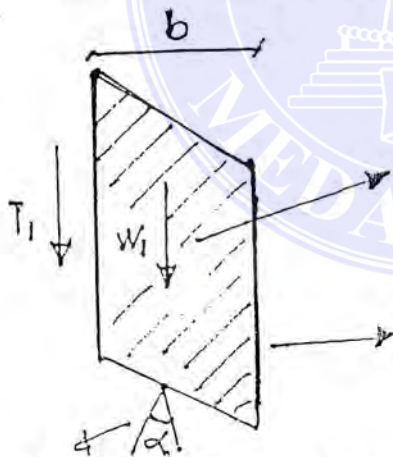
(berat) tanah untuk tiap potongan.

Cara penelitian untuk menentukan momen penahan dan momen penyebab longsor adalah sama bagi tiap potongan.

Gambar 3.9b, menunjukkan diagram gaya-gaya pada suatu potongan yang digunakan sebagai dasar untuk menghitung faktor keamanan lereng



(a) Memilih potongan-potongan agar dasar busur hanya pada satu jenis tanah



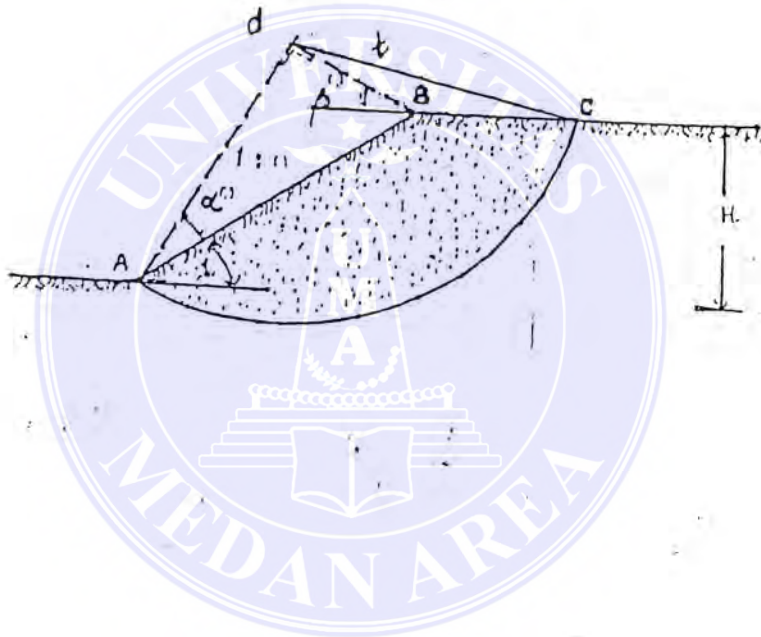
W_L = berat tanah potongan, dan beban beban luar dibidang lereng dan berat-air jika lereng terendam

Gaya T dan E pada perbatasan vertikal potongan adalah gaya-gaya geser dan lateral karena potongan disebelahnya.

$N = W \cos \alpha$ (bila tanah tak terendam)

(b) Gaya-gaya yang bekerja pada potongan tunggal

Pada metode Fellenius juga mencakup cara penentuan letak lingkaran longsor paling kritis suatu lereng. dimana sudut Fellenius adalah sudut-sudut α yang masing-masing dibentuk oleh jari-jari OA dengan lereng dan garis OB dengan horizontal sedemikian sehingga pusat rotasi kritis dapat diperoleh secara pendekatan dan dalam hal ini dimana lereng berbeda haruslah tanah kohesi (c), lihat gambar 3.10



Gambar 3.10 : Sudut arah Fellenius untuk menentukan pusat lingkaran kritis

Untuk kemiringan lereng 1 : n (1 vertikal, n horizontal) Fellenius memperoleh :

Kemiringan	α°	β°
1 : 1	28 ⁰	38 ⁰
1 : 1,5	26 ⁰	35 ⁰
1 : 2	25 ⁰	35 ⁰
1 : 3	25 ⁰	35 ⁰
1 : 5	25 ⁰	37 ⁰
1 : 60 ⁰	29 ⁰	40 ⁰

III. 7.2 CARA ANALISA BISHOP

Cara analisa yang dibuat oleh : A.W. Bishop (1955) menggunakan cara potongan dimana gaya-gaya yang bekerja pada tiap potongan dimana gaya-gaya yang bekerja pada tiap potongan ditunjukkan dalam gambar 3.11 , persyaratan keseimbangan dipakai pada potongan-potongan yang pembentuk lereng tersebut, faktor keamanan terhadap longsor didefinisikan sebagai perbandingan kekuatan geser maximum yang dimiliki tanah dibanding longsor yang diandaikan (\leftrightarrow tersedia) dengan tahanan geser yang diperlukan untuk keseimbangan (σ_{perlu}), atau :

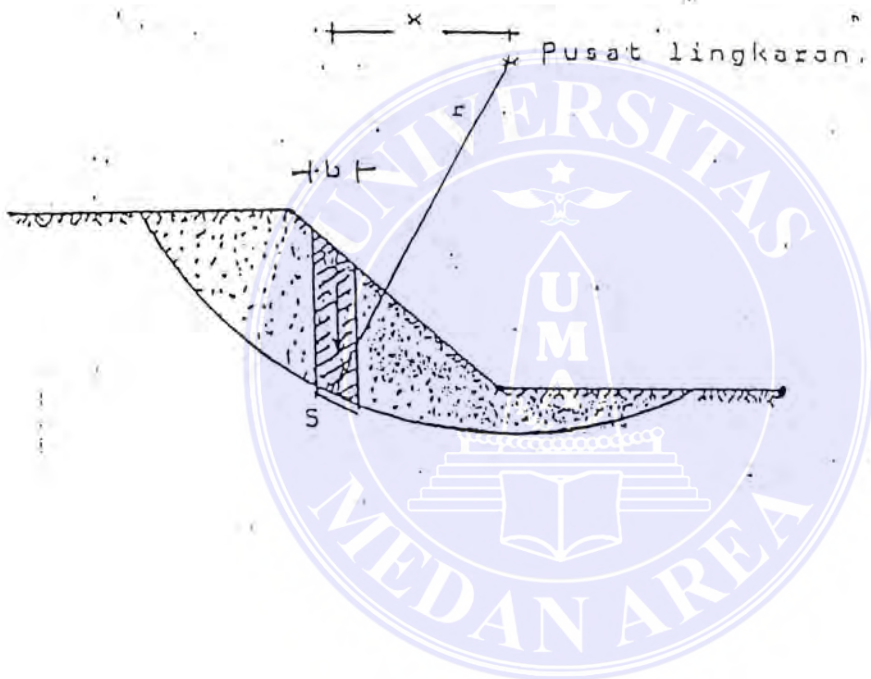
$$F.K = \frac{\sigma_{tersedia}}{\sigma_{perlu}}$$

Bila kekuatan geser tanah adalah :

$$\begin{aligned} \Sigma_{tersedia} &= c + \sigma \cdot \tan \Phi \\ &= c + (\sigma - u) \cdot \tan \Phi \end{aligned}$$

maka tahanan geser yang diperlukan untuk keseimbangan adalah :

$$\sigma_{perlu} = \frac{1}{FK} \cdot (c' + (\sigma - u)) \cdot \tan \phi$$



(a) Metode dasar untuk analisa stabilitas lereng menurut Bishop

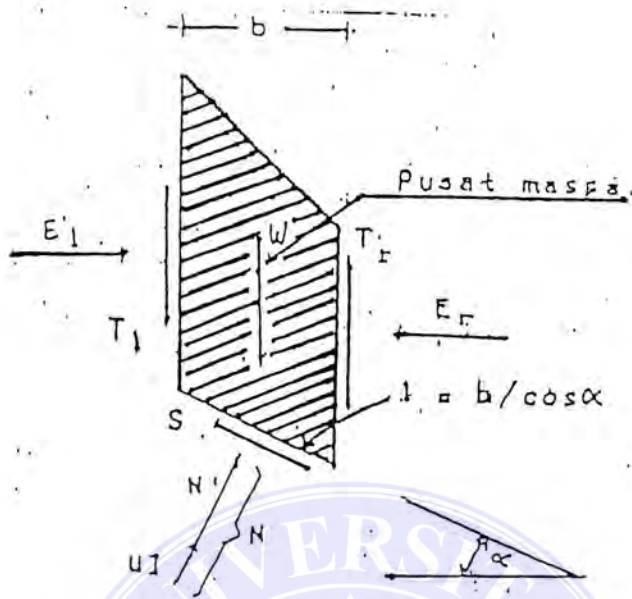
Gambar 3.11a : Dasar cara kestabilan lereng dengan cara potongan menurut Analisa Bishop

Sumber : Analisis Kestabilan Lereng

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Oleh : Ir. Herianto W.

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area



(b) Gaya-gaya yang bekerja pada suatu potongan lereng menurut anggapan analisa Bishop

Gambar 3.11b : Dasar cara kestabilan lereng dengan cara potongan menurut analisa Bishop

W = berat tanah dan beban di atasnya yang ada bila ada

$$N = N' + u \cdot l$$

dimana,

N = Gaya normal total

N' = Gaya normal efektif

$u \cdot l$ = Gaya akibat tekanan air pori

u = tekanan air pori yang bekerja didasar potongan sebesar W . dimana W adalah

Untuk keseimbangan, momen-momen terhadap pusat putaran yang bekerja sebagai penyebab longsor dan penahan longsor harus seimbang :

$$\sum W . x = \sum s . r = \sum \sigma . l . r$$

bila

$$F.K = \frac{\sigma_{ada}}{\sigma_{perlu}}$$

$$\sum W . x = \sum \frac{1}{FK} . (c + (\frac{N}{l} - u) . \tan \phi) . r . l$$

$$FK = \frac{\sum r}{\sum w . x} . (c + (N - ul) . \tan \phi)$$

Untuk $x = r . \sin \alpha$

$$= \frac{\sum (c . l + N) \tan \phi}{\sum W . \sin \alpha} \dots \dots \dots (A)$$

Penjumlahan gaya-gaya vertikal yang bekerja pada potongan, didapat :

$$W = N' . \cos \alpha + \cos \alpha \cdot 9 + S . \sin \alpha + (T_r - T_l)$$

untuk $S = \sigma . l$

$$W = N' . \cos \alpha + \cos \alpha \cdot 9 + S . \sin \alpha + (T_r - T_l) + \frac{1}{(FK)}$$

$$(c + (\frac{N}{l} - u) . \tan \phi) . \sin \alpha$$

$$W = N' . \cos \alpha + u . l \cos \alpha + (T_r - T_l) + \frac{c . l . \sin \alpha}{(F.K)} + (N - u . l) \frac{\tan \phi . \sin \alpha}{(F.K)}$$

$$W = N' . \cos \alpha + u . l \cos \alpha + (T_r - T_l) + \frac{c . l . \sin \alpha}{(F.K)} + N' (T_r - T_l)$$

$$W - u . l . \cos \alpha - \frac{c . l . \sin \alpha}{(F.K)} - (T_r - T_l) = N' [\cos \alpha + \frac{\tan \phi . \sin \alpha}{(F.K)}]$$

untuk : $b = 1 \cdot \cos \alpha$

$$N = \frac{w - ub - \frac{c \cdot 1 \cdot \sin \alpha}{(F \cdot K)} - (T_r - T_1)}{\cos \alpha + \left[\frac{\tan \phi \cdot \sin \alpha}{(F \cdot K)} \right]}$$

Masukkan harga N kedalam persamaan (A) diatas didapat :

$$F \cdot K = \frac{\sum \left[c \cdot 1 + \tan \phi \left[\frac{W - ub - \frac{c \cdot 1 \cdot \sin \alpha}{(F \cdot K)} - (T_r - T_1)}{\cos \alpha + \frac{\tan \phi \cdot \sin \alpha}{(F \cdot K)}} \right] \right]}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

Jika pengaruh $(T_r - T_1)$ dianggap kecil dan dibandingkan dan diambil :

$$m_a = \cos \alpha + \frac{\tan \phi \cdot \sin \alpha}{(F \cdot K)}$$

$$F \cdot K = \frac{\sum \left[c \cdot b \cdot \sec \alpha + \frac{W - ub - \frac{c \cdot 1 \cdot \sin \alpha}{(F \cdot K)}}{m_a} \right]}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

$$F \cdot K = \frac{\sum \left[c \cdot b \cdot \sec \alpha + \frac{W - ub - \frac{c \cdot 1 \cdot \sin \alpha}{(F \cdot K)}}{m_a} - \frac{c \cdot b \cdot \tan \phi \cdot \tan \phi}{(F \cdot K)} + (W - ub) \tan \phi \right]}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

$$F \cdot K = \frac{\sum \frac{1}{m_a} \left[c \cdot b \cdot \sec \alpha \cdot \cos \alpha + \frac{c \cdot b \cdot \sec \alpha \cdot \tan \phi \cdot \sin \alpha}{(F \cdot K)} - \frac{c \cdot b \cdot \tan \phi}{(F \cdot K)} (W - ub) \tan \phi \right]}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

$$\text{Untuk : } \sec \alpha = \frac{1}{\cos \alpha}$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

$$F . K = \frac{\sum \frac{1}{m_a} \left[c \cdot b \left[\frac{\cos \alpha}{\cos \alpha} + \left(\frac{\tan \phi}{(F.K)} \right) \left(\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} - \frac{\tan \phi \cdot \tan \alpha}{(F.K)} \right) \right] + (W - u \cdot b) \tan \phi \right]}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

dan $\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha$, didapat :

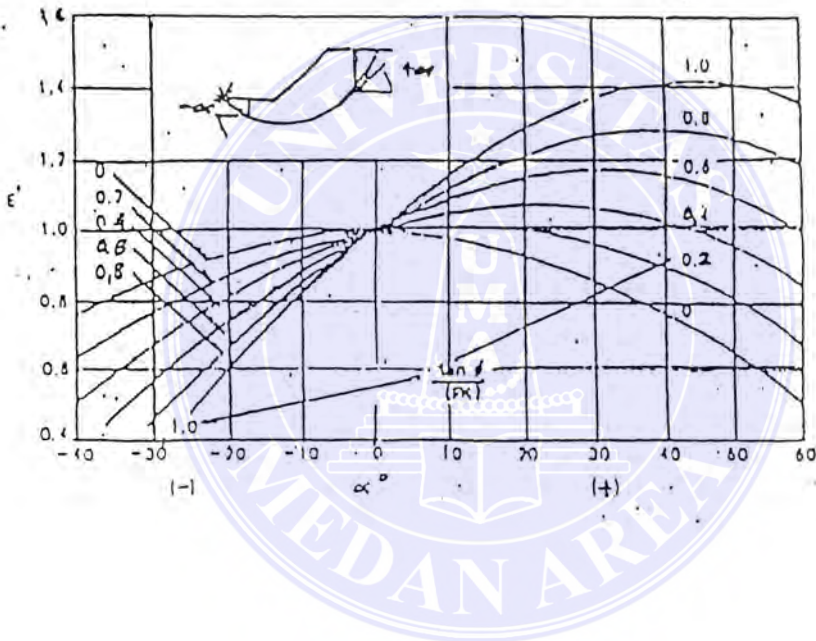
$$F . K = \frac{\sum \frac{1}{m_a} [c \cdot b + (W - u \cdot b) \tan \phi \cdot z]}{\sum W \cdot \sin \alpha} \dots\dots\dots (3.10)$$

Bentuk akhir persamaan 3.10 adalah hasil dari pertimbangan bahwa pengaruh total gaya-gaya tagensial disamping potongan-potongan adalah kecil, dapat diabaikan tanpa menimbulkan akibat yang besar (yaitu pengaruh dari (T_r - T₁) adalah kecil). Cara analisa ini disebut cara Bishop sederhana (Simplified Bishop Methoe) :

$$F . K = \frac{\sum \frac{1}{m_a} [c \cdot b + (W - u \cdot b) \tan \phi \cdot z]}{\sum W \cdot \sin \alpha} \dots\dots\dots (3.10)$$

Harga-harga m_a dapat ditentukan dari gambar 3.12, cara penyelesaian mencakup dengan mengandaikan harga fsaktor keamanan F.K diruas kiri persamaan 3.10 dengan menggunakan gambar 3.12 untuk mempercepat perhitungan-perhitungan. Bila F.K yang layak telah digunakan untuk mengandaikan. Untuk praktisnya ketetapan harga F.K dibidang longsor yang diandaikan tidak perlu diteliti sekali. Hasilnya adalah suatu massa longsor tertentu yang diandaikan yang mempunyai kemungkinan terbesar untuk lon gsor atau yang mempunyai faktor keamanan terendah yang didapat dari suatu seri coba-coba.

Keterbatasan cara Bishop ini adalah faktor keamanan menjadi tidak sesuai dengan kenyataan bila sudut negatif tidak sesuai dengan kenyataan bila sudut negatif alpha ($-\alpha$) untuk bagian lereng paling bawah besarnya mendekati 30^0 . kondisi ini bisa timbul bila lingkaran longsor sangat dalam atau pusat rotasi yang diandaikan diatas dekat dengan puncak rotasi yang diandaikan diatas dekat dengan puncak lereng. faktor keamanan yang didapat dari Fellenius.



Gambar 3.12 : Harga m_a untuk persamaan Bishop

BAB IV

PENGENDALIAN EROSI PADA JALAN RAYA DIDAEARAH LERENG

IV.1. TEKNOLOGI PENANGGULANGAN

Penanggulangan keruntuhan lereng dalam petunjuk ini bersifat pencegahan dan tindakan korektif. Pencegahan dimaksudkan untuk menghindari kemungkinan terjadinya keruntuhan lereng pada daerah yang berpotensi longsor, sedangkan tindakan korektif dapat berupa penanggulangan darurat (bersifat sementara dan sederhana) dan permanen.

Pemilihan metode penanggulungan keruntuhan lereng tergantung dari beberapa faktor yaitu:

- Identifikasi penyebab (penggerusan pada kaki lereng, penimbunan pada kepala keruntuhan lereng, pemotongan pada kaki lereng dan sebagainya)
- Faktor teknik (luas daerah keruntuhan lereng), jenis deposit material lereng dan sebagainya.
- Kemungkinan pelaksanaan (biaya, teknik pelaksanaan, kemampuan pelaksana dan sebagainya)
- Faktor ekonomi (material setempat dan sebagainya).

IV.1.1. Prinsip dasar metode penanggulangan keruntuhan lereng

Pada suatu lereng bekerja gaya pendorong dan gaya penahan. Gaya pendorong adalah gaya tangensial dari berat massa tanah, sedangkan gaya penahan berupa tahanan gesertanah. Analisis kemandapan suatu lereng harus dilakukan dengan memperhitungkan besarnya gaya pendorong dan gaya penahan.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

Suatu lereng akan longsor bila keseimbangan gaya – gaya yang bekerja

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)7/9/23

terganggu, yaitu gaya pendorong lebih besar dari gaya penahan. Oleh karena itu prinsip penanggulangan keruntuhan lereng adalah mengurangi gaya pendorong atau menambah gaya penahan. Penanggulangan yang baik adalah penanggulangan yang dapat mengatasi masalah secara tuntas dengan biaya yang relatif murah dan mudah pelaksanaannya. Penanggulangan sangat tergantung pada tipe dan sifat keruntuhan lereng, kondisi lapangan serta kondisi geologi. Penanggulangan yang hanya didasarkan pada metode coba-coba umumnya kurang berhasil. Kurang berhasil karena penanggulangan tidak tepat dan belum memadai.

Untuk jenis keruntuhan lereng yang kompleks, penanggulangannya memerlukan analisis yang lebih teliti berdasarkan data yang lebih lengkap. Penanggulangan keruntuhan lereng dengan mengurangi gaya pendorong dilakukan antara lain dengan cara pemotongan dan pengendalian air permukaan. Sedangkan penanggulangan dengan menambah gaya penahan antara lain dengan cara pengendalian air rembesan, penambatan dan penimbunan pada kaki lereng.

IV.1.2. Pendekatan penanggulangan

Pendekatan penanggulangan berdasarkan umur kestabilan lereng dapat digolongkan kedalam dua kategori, yaitu penanggulangan darurat dan penanggulangan permanen. Penanggulangan darurat adalah tindakan penanggulangan yang sifatnya sementara dan umumnya dilakukan sebelum penanggulangan permanen dilaksanakan.

Penanggulangan darurat dilakukan dengan cara sederhana seperti:

- Mencegah masuknya air permukaan ke dalam daerah keruntuhan lereng dengan membuat saluran terbuka

lereng.

- Mengalirkan genangan air dan mata air yang tertimbun maupun yang terbuka.
- Menutup rekahan dengan tanah liat.
- Membuat pasangan bronjong pada kaki keruntuhan lereng.
- Penimbunan kembali bagian yang rusak akibat keruntuhan lereng.
- Pelebaran ke arah tebing
- Membuang runtuh tebing ke bagian kaki lereng
- Membuat bangunan penahan dari karung diisi tanah.
- Pemotongan bagian kepala keruntuhan lereng.

Penanggulangan permanen memerlukan waktu untuk penyelidikan, analisis dan perencanaan yang matang. Metode penanggulangan keruntuhan lereng dibedakan dalam tiga kategori yaitu :

1. Mengurangi gaya-gaya yang menimbulkan gerakan tanah dengan cara:

- Pengendalian air permukaan
- Mengubah geometri lereng

2. Menambah gaya-gaya yang menahan gerakan dengan cara:

- Pengendalian air rembesan
- Penambatan
- Penimbunan pada kaki lereng (beban kontra).

3. Jika kedua metode di atas tidak dapat mengatasi keruntuhan lereng yang terjadi maka lakukan penanggulangan dengan tindakan lain (stabilisasi, relokasi, bangunan silang dan penggunaan bahan ringan).

IV.1.3. Pencegahan keruntuhan lereng

Pencegahan adalah tindakan pengamanan untuk mencegah kemungkinan terjadinya kerusakan yang lebih berat pada lokasi-lokasi yang menunjukkan adanya gejala keruntuhan lereng atau pada daerah yang berpotensi longsor.

Pencegahan ini dapat dilakukan dengan tindakan - tindakan antara lain :

- Menghindari penimbunan di atas lereng dan pemotongan pada bagian kaki lereng
- Mencegah terjadinya penggerusan sungai yang akan mengganggu kemantapan lereng antara lain dengan “check dam” (penggerusan vertikal) dan krib (penggerusan lateral).
- Mengeringkan genangan air (kolam, kubangan dan sebagainya) pada bagian atas lereng.
- Menutup/meratakan lekukan-lekukan yang memungkinkan terjadinya genangan.
- Penghijauan daerah gundul dengan tanaman tertentu (lamtorogung, sedakeling, bambu dan lain sebagainya).
- Mengendalikan air permukaan pada lereng sehingga tidak terjadi erosi yang menimbulkan alur semakin dalam (gully).
- Penggunaan bangunan penambat (tiang, tembok penahan dan sebagainya), pengaturan tata guna tanah.
- Untuk lereng atau tebing tanah yang berpotensi longsor, pemotongan dapat pula digunakan sebagai pencegahan.

Keruntuhan lereng tebing batuan dapat dicegah dengan cara penyemprotan, pengangkeran batu, melapis dengan pasangan tipis, tumpuan beton, baut batuan, pengikat beton, jala kawat dan dinding penahan batu.

IV.1.4. Pemilihan tipe penanggulangan

Pemilihan tipe penanggulangan gerakan tanah & batuan disesuaikan dengan tipe gerakan, faktor penyebab dan metode yang telah diuraikan di muka. Selanjutnya disusun kemungkinan penanggulangan untuk tipe gerakan jatuhan, gelincir dan aliran dapat dilihat pada Tabel 11.

Dalam penentuan metode penanggulangan perlu juga memperhatikan faktor - faktor lainnya yang berkaitan dengan pelaksanaan, antara lain tingkat kepentingan dan aspek sosial.

IV.1.4.1. Perubahan geometri lereng

Pengubahan geometri lereng dapat dilakukan dengan pemotongan dan penimbunan. Bagian yang dipotong disesuaikan dengan geometri daerah keruntuhan lereng, sedangkan penimbunan dilakukan pada bagian kaki lereng. Pemotongan geometri terdiri dari pemotongan kepala, pelandaian tebing, penanggaaan, pemotongan habis, pengupasan tebing dan pengupasan lereng. Perlu diingat bahwa keuntungan pemotongan adalah untuk mengurangi tegangan.

Hal ini dapat dicapai dengan pemotongan di bagian yang lebih banyak menimbulkan tegangan tangensial daripada tahanan geser. Sebagai contoh, pemotongan di ujung kaki lereng dapat mengurangi tahanan geser. Cara pemotongan ini hanya dapat dilakukan untuk keruntuhan lereng yang mempunyai massa relatif kecil baik sebagai penanggulangan maupun pencegahan dan juga

harus diperhatikan kemungkinan yang akan memicu keruntuhan lereng baru di

bagian atas. Tebing yang rawan longsor dan mempunyai sudut kemiringan lebih besar dari sudut geser dalam tanahnya dapat pula dilandaikan dengan sudut lereng yang cukup aman.

Penetapan metode ini perlu mempertimbangkan mekanisme keruntuhan lereng yang terjadi. Pemotongan untuk tipe keruntuhan lereng berantai yang gerakannya dimulai dari kaki menjadi tidak efektif. Cara pemotongan ini tidak disarankan untuk tipe aliran, kecuali jika disertai dengan tata salir (drainase). Perubahan geometri dengan cara penimbunan dilakukan dengan memberikan beban berupa timbunan pada daerah kaki yang berfungsi untuk menambah momen perlawanan. Penanggulangan ini hanya tepat untuk keruntuhan lereng rotasi tunggal yang massa tanahnya relatif utuh dimana bidang putarnya terletak di dalam daerah keruntuhan lereng.

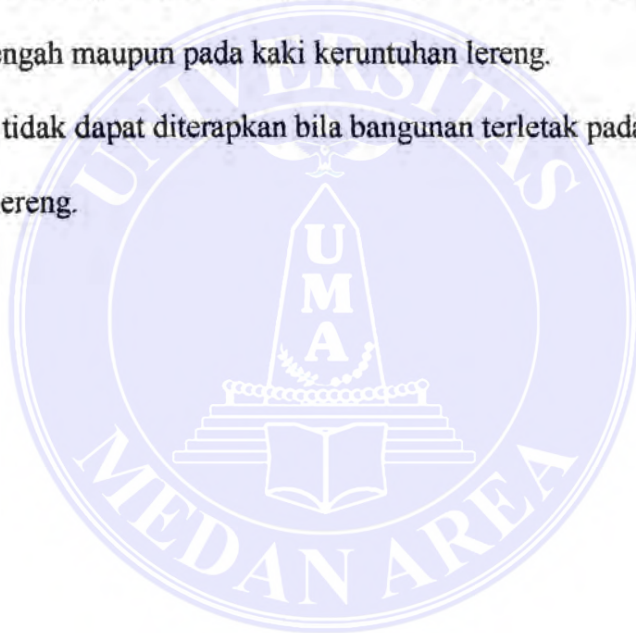
Dalam pemilihan metode penimbunan harus diperhatikan hal-hal berikut :

- Tidak mengganggu kemantapan lereng di bawahnya
- Tidak mengganggu drainase permukaan (pembentukan cekungan/tangga)
- Letaknya di antara bidang netral dan ujung kaki keruntuhan lereng.

Untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas mengenai cara mengubah geometri lereng dapat dilihat pada Gambar 29. Di samping itu letak bangunan di sekitar daerah keruntuhan lereng merupakan faktor-faktor yang menentukan dalam penanggulangan ini.

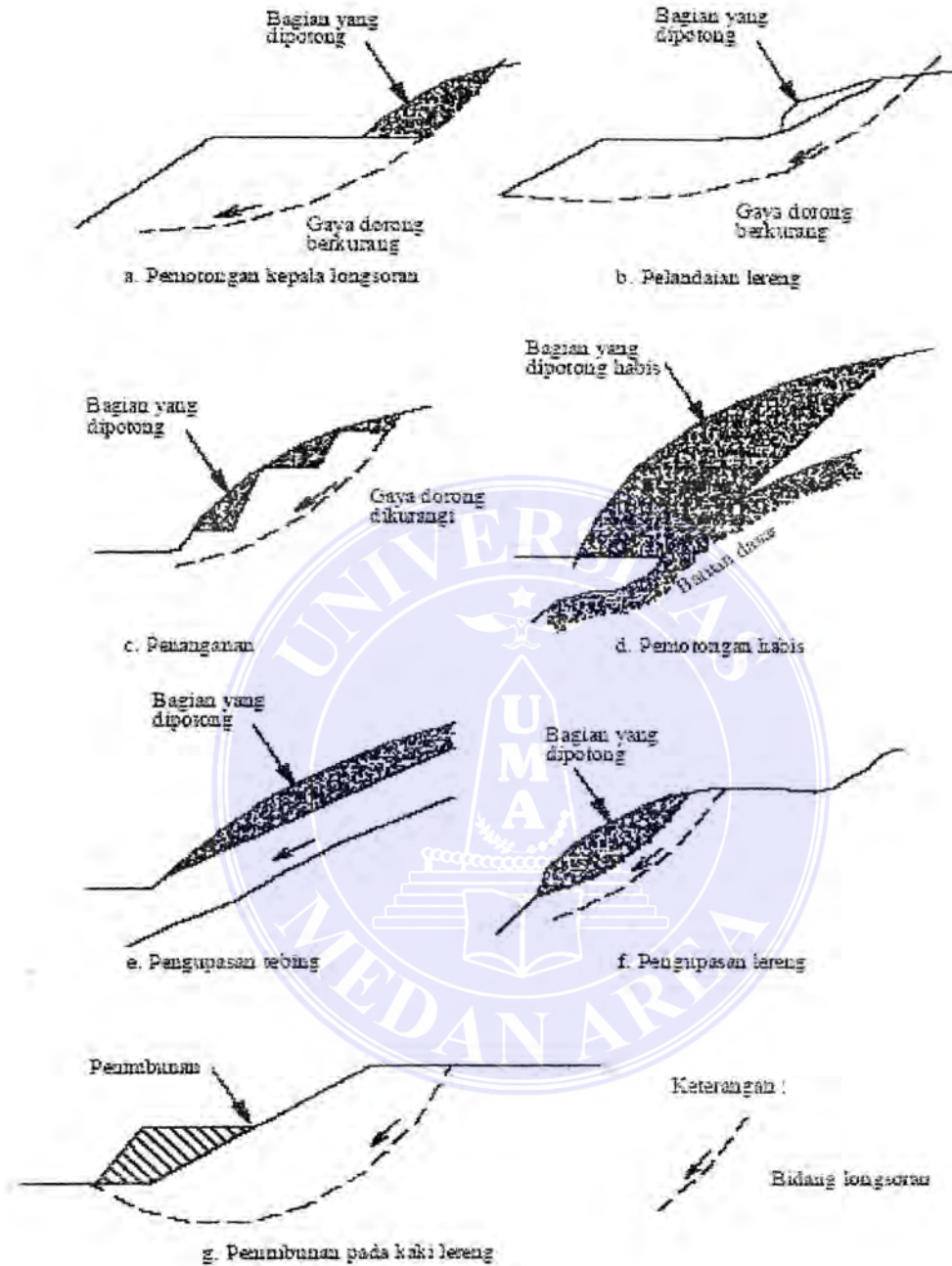
Hal - hal yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut :

- Potongan di kepala keruntuhan lereng umumnya tidak dilakukan bila terdapat bangunan di dekatnya
- Pelandaian dapat diterapkan bila bangunan terletak pada kaki keruntuhan lereng
- Pemotongan seluruhnya hanya dapat diterapkan bila bangunan terletak pada ujung kaki keruntuhan lereng
- Penanggaan umumnya dapat diterapkan bila letak bangunan baik di dekat kepala, di tengah maupun pada kaki keruntuhan lereng.
- Penimbunan tidak dapat diterapkan bila bangunan terletak pada kaki keruntuhan lereng.



Tabel 11 Pemilihan penanggulangan berdasarkan tipe pergerakan

KLASIFIKASI GERAKAN	TIPE - TIPE PENANGGULANGAN																												Keterangan											
	Mengubah Geometri Lereng				Mengalirkan Air Permukaan				Mengendalikan Alir Rembesan								Penambatan								Tindakan Lain															
	Pemotongan Kepala	Kelandaian Lereng	Peninggian (Benching)	Pemotongan habis	Pengupasan Tebing	Pengupasan lereng	Timbunan pada kaki lereng	Menanam tumbuhan	Memutup rekahan	Tata salir (saluran permukaan)	Perbaikan permukaan lereng	Sumur dalam (Deep well)	Penyalir tegak (Vertikal drain)	Penyalir Mendatar (Horizontal drain)	Pelantar (Drainage Gallery)	Sumur pelaga (Relief well)	Penyalir pari pencopot (interceptor drain)	Penyalir liput (Blanket drain)	Elektro Osmosis	Bronjong	Tembok penahan (*)	Sumuran	Tiang (Pancang, bor, turap, baji)	Teknik penguatan tanah	Dinding penopang isian batu (buttress)	Tumpuan beton	Bauf batuan	Pengikat beton		Jangkar kabel (pengangkeran batu)	Geosintetis	Tembok penahan batu	Beton semprot	Dinding lips	Bahan ringan	Penggantian material	Stabilisasi	Jembatan	Relokasi	
I Jatuhan/Runtuhan	x	x	0	x	x	x	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	x	x	x	0					
- Batuan		1	1	2					2	1										1	2					2	3	2	3			2	2	1				3	2	
- Tanah		1	1	2				1	2	1										1	2																	3	2	
- Bahan lepas		1	1	2				1	2	1										1	2																	3	2	
II Gelincir																																								
- Rotasi Batuan	1	1	1	2	2	3	2		2	1	1	2	3	2	3	3	1			1	2		3		1											3	3	3	3	
- Rotasi Tanah		1	1	1	2	3	1	1	2	1	1		3	2	3	3	1	3	3	1	2	3	2	3	1												3	3	3	3
- Translasi Batuan			1	2	2	3		1	2	1	1	2	3	2	3	3	1			1	2		3		1												3	3	3	3
- Translasi Tanah			1	2	2	3		1	2	1	1		3	2	3	3	1			3	1	2	3	2	3	1												3		
III Aliran																																								
- Batuan		1	2					2	1	1		3	2							3																			3	2
- Tanah		1	2		2	3	1	2	1	1		3	2							3																			3	2
- Lumpur				2	2		1		1	1		3	2							3	2																		3	2
- Lumpur				2	2		1		1	1		3	2							3	2																		3	2



Gambar 29 Tipikal penanggulangan dengan cara mengubah geometri lereng

IV.1.4.2. Mengendalikan air permukaan

Mengendalikan air permukaan merupakan langkah awal dalam setiap rencana penanggulangankeruntuhan lereng. Pengendalian air permukaan akan mengurangi berat massa tanah yang bergerak dan menambah kekuatan material pembentuk lereng. Dua hal yang harus diperhatikan adalah air permukaan yang akan mengalir pada permukaan lereng dan air permukaan yang akan meresap/masuk ke dalam tanah.

Setiap upaya harus dilakukan untuk mencegah air permukaan yang menuju daerah keruntuhan lereng, sedangkan mata air, rembesan dan genangan di daerah keruntuhan lereng dialirkan ke luar melalui lereng. Mengendalikan air permukaan (drainase permukaan) dapat dilakukan dengan cara menanam tumbuhan, tata salir, menutup rekahan dan perbaikan permukaan lereng.

* Menanam tumbuhan

Penanaman tumbuhan dimaksudkan untuk mencegah erosi tanah permukaan, mengurangi peresapan air permukaan dan pengaruh cuaca. Penanaman tumbuhan dapat dilakukan antara lain dengan penaburan biji rerumputan atau lempengan rumput. Untuk mempercepat air limpasan permukaan, lereng juga dapat disemprot aspal.

* Tata salir

Tata salir/saluran permukaan sebaiknya dibuat pada bagian luar keruntuhan lereng dan mengelilingi keruntuhan lereng sehingga dapat mencegah aliran limpasan yang datang dari lokasi yang lebih tinggi. Untuk saluran terbuka yang dipasang pada daerah keruntuhan lereng harus diberi kemiringan sedemikian

UNIVERSITAS MEDAN AREA

...rupa sehingga dapat mengalirkan air secara cepat agar air tidak meresap ke dalam

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

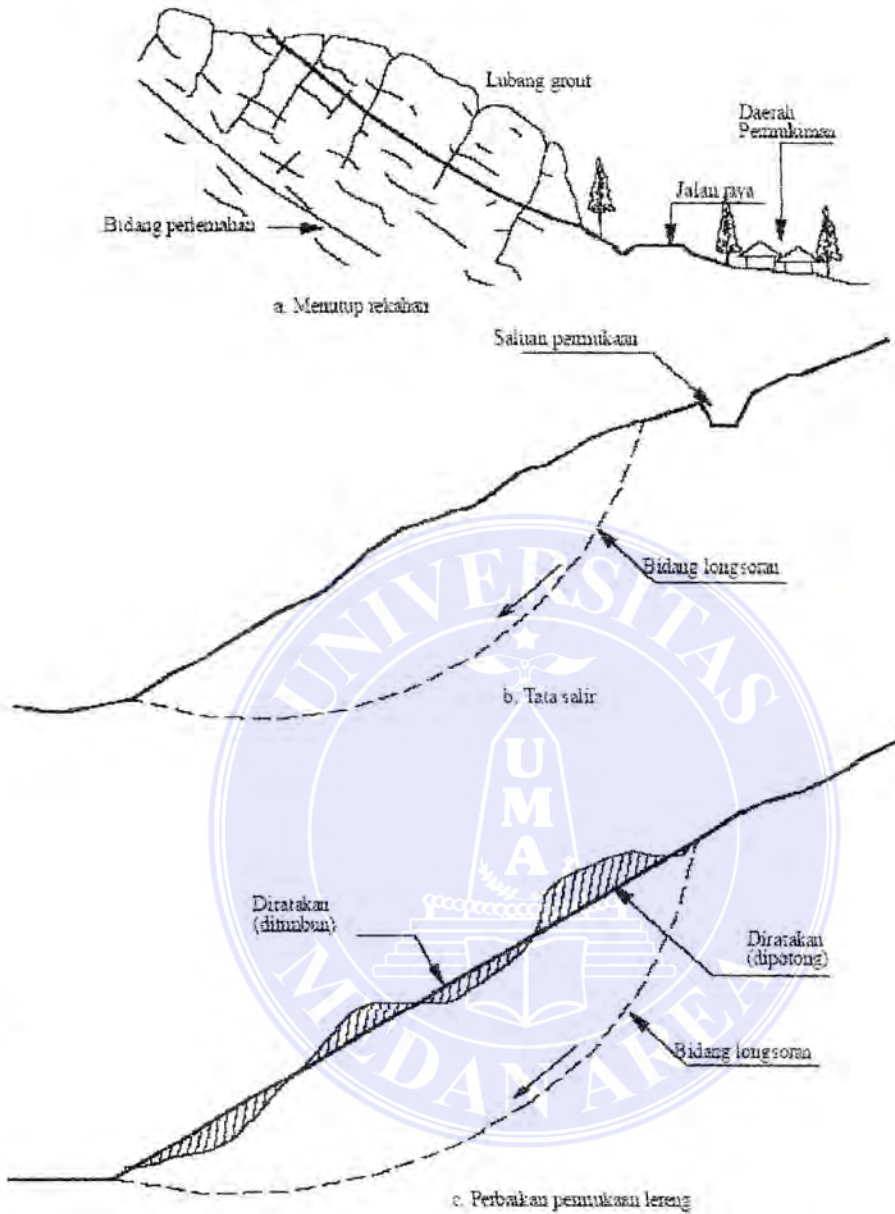
daerah keruntuhan lereng. Alas saluran terbuka dilapis dengan material yang kedap. Dimensi dan kemiringan saluran terbuka harus pula diperhitungkan terhadap debit dan kecepatan pengaliran yang dikehendaki. Bila melewati daerah dengan material lepas, sebaiknya dibuat saluran tertutup.

*** Menutup rekahan**

Penutupan rekahan dapat memperbaiki kondisi pengaliran air permukaan pada lereng. Rekahan dapat ditutup dengan tanah lempung, aspal atau semen yang disesuaikan dengan jenis tanahnya. Penutupan rekahan akan mencegah masuknya air permukaan, sehingga tidak akan menimbulkan naiknya tekanan hidrostatik atau lembeknya massa tanah yang bergerak.

*** Perbaiki permukaan lereng**

Perbaikan permukaan lereng dapat dilakukan dengan merapatkan permukaannya (adanya tonjolan, cekungan) sehingga dapat mempercepat aliran limpasan dan memperkecil rembesan air. Metode pengendalian air permukaan dapat digunakan baik secara terpisah maupun bersamaan. Metode ini dapat pula dikombinasikan dengan metode penanggulangan lainnya.



Gambar 30 Macam-macam penanganan keruntuhan lereng dengan cara mengendalikan air permukaan

IV.1.4.3. Mengendalikan air rembesan (drainase bawah permukaan)

Usaha mengeringkan atau menurunkan muka air tanah dalam lereng dengan mengendalikan air rembesan biasanya cukup sulit dan memerlukan penyelidikan yang cermat. Metode pengendalian air rembesan yang dapat digunakan adalah sumur dalam, penyalir tegak, penyalir mendatar, pelantar, sumur pelega, penyalir parit pencegat, penyalir liput dan elektro osmosis.

* Sumur dalam (*deep well*)

Sumur dalam telah banyak digunakan untuk menanggulangi keruntuhan lereng yang bidang longsornya dalam. Cara ini dinilai mahal karena harus dilakukan pemompaan terus menerus. Pada sumur ini biasanya dipasang indikator muka air tanah sehingga dapat diketahui kapan pemompaan mulai dilakukan. Cara ini efektif untuk daerah keruntuhan lereng yang mempunyai material sifat penyimpan air.

* Penyalir tegak/saluran tegak (*vertikal drain*)

Metode ini dilakukan dengan mengalirkan air tanah sementara ke lapisan lulus air dibawahnya, sehingga dapat menurunkan tekanan hidrostatik. Efektifitas metode ini tergantung dari kondisi air tanah dan perlapisannya.

* Penyalir mendatar/saluran mendatar (*horizontal drain*)

Penyalir mendatar dibuat untuk mengalirkan air atau menurunkan muka air tanah pada daerah keruntuhan lereng. Metode ini dapat digunakan pada keruntuhan lereng besar yang bidang longsornya dalam dengan membuat lubang setengah mendatar hingga mencapai sumber airnya. Air dialirkan melalui pipa dengan diameter 5 cm atau lebih yang berlubang pada dindingnya. Penempatan

UNIVERSITAS MEDAN AREA.

pipa penyalir tergantung dari jenis material yang akan diturunkan muka air

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

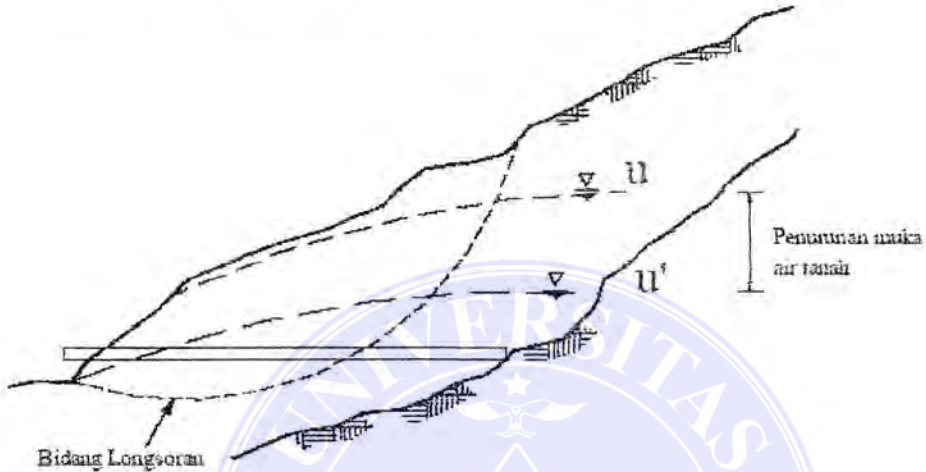
Document Accepted 7/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)7/9/23

tanahnya. Untuk material yang berbutir halus jarak masing – masing pipa antara 3-8 meter, sedangkan untuk material berbutir kasar dengan jarak antara 8-15 meter. Efektifitas cara ini tergantung dari permeabilitas tanah yang akan menentukan banyaknya air yang dapat dialirkan keluar.



Gambar 31 Contoh drainase bawah permukaan

*** Pelantar (*drainase galery*)**

Pelantar sangat efektif untuk menurunkan muka air di daerah keruntuhan lereng yang besar, tetapi pemasangannya sulit dan mahal. Cara ini lebih banyak dilakukan pada lapisan batu, karena umumnya memerlukan penyangga yang relatif sedikit daripada bila dilakukan pada tanah. Agar dapat berfungsi secara efektif, pelantar ini digali di bawah bidang longsor. Kemudian dari atas dibuat lubang yang berhubungan dengan pelantar untuk mempercepat aliran air dalam material yang longsor.

* Sumur pelega (*relief well*)

Pada umumnya sumur pelega efektif untuk menanggulangi keruntuhan lereng berukuran kecil yang disebabkan oleh rembesan. Sumur tersebut dibuat dengan menggali bagian kaki keruntuhan lereng, dan galian ini harus segera diisi dengan batu. Hal ini untuk menjaga agar tidak kehilangan gaya penahan yang dapat mengakibatkan terjadinya keruntuhan lereng lebih besar.

* Penyalir parit pencegat/saluran pemotong (*interceptor drain*)

Penyalir parit pencegat dibuat untuk memotong aliran air tanah yang masuk ke daerah longsoaran. Parit ini digali di bagian atas mahkota sampai ke lapisan kedap air., sehingga air tanah terpotong oleh parit tersebut. Pada dasar galian dipasang pipa dengan dinding berlubang untuk mengalirkan air tanah. Pipa ini kemudian ditimbun dengan material yang dapat berfungsi sebagai filter. Cara ini dapat digunakan bila kedalaman lapisan kedap tidak lebih 3-5 meter. Efektifitas cara ini tergantung dari kondisi air tanah dan per lapisannya.

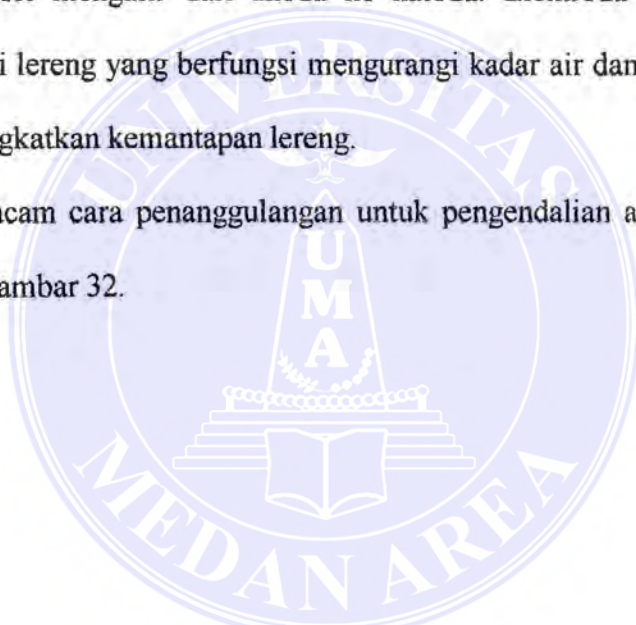
* Penyalir liput (*blanket drain*)

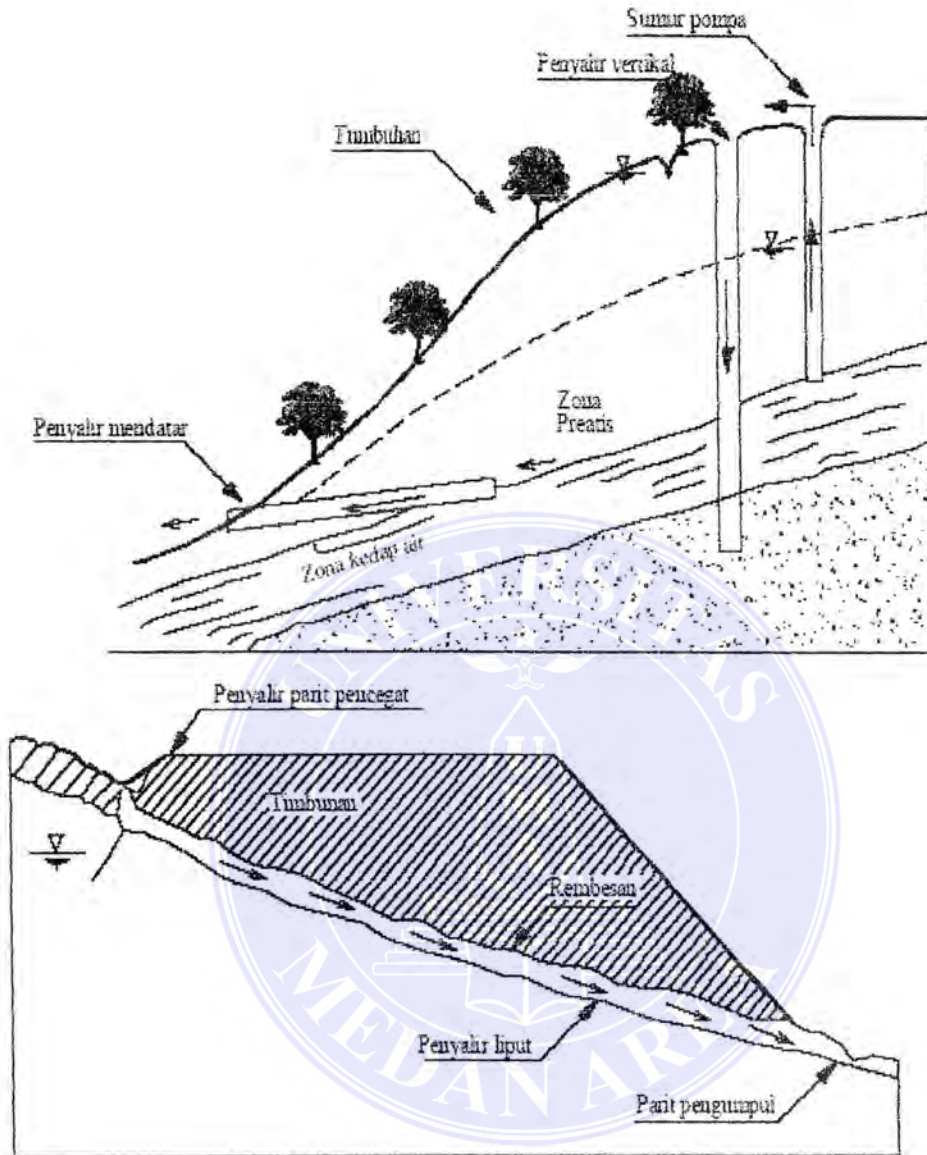
Penyalir liput dipasang di antara lereng alam dan timbunan yang sebaiknya dilakukan pengupasan pada lereng alam sampai mencapai tanah keras. Sebelum penyalir liput dipasang, material berbutir dari penyalir ini dihamparkan menutupi seluruh lereng alam yang akan ditimbun. Air yang mengalir melalui penyalir liput ini ditampung pada penyalir terbuka yang digali di bawah kaki timbunan

* Elektro osmosis

Elektro osmosis merupakan salah satu cara penanggulangan keruntuhan lereng khususnya untuk lanau dan lempung lanauan. Cara ini relatif mahal dan jarang digunakan, karena tidak dapat menyelesaikan masalah secara tuntas jika proses elektro osmosis tidak berjalan dengan baik. Metode ini dilakukan dengan menempatkan dua elektroda sampai kedalamam lapisan jenuh air yang akan dikeringkan, untuk kemudian dialiri arus listrik searah. Arus listrik terimbas menyebabkan air pori mengalir dari anoda ke katoda. Elektroda diatur agar tekanan air menjauhi lereng yang berfungsi mengurangi kadar air dan tekanan air pori sehingga meningkatkan kemantapan lereng.

Macam - macam cara penanggulangan untuk pengendalian air rembesan dapat dilihat pada Gambar 32.





Gambar 32 Cara pengendalian air rembesan

IV.1.4.4. Penambatan

Penambatan atau penempatan struktur perkuatan adalah tindakan yang merupakan cara penanggulangan bersifat mengikat atau menahan massa tanah dan batuan yang bergerak.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

IV.1.4.4.1. Penambatan tanah

Penambatan untuk menanggulangi keruntuhan lereng tanah dapat dilakukan dengan menggunakan bangunan penambat antara lain bronjong, tembok penahan, sumuran, tiang, teknik penguatan tanah dan dinding penopang isian batu. Berikut akan dijelaskan satu per satu.

1) Bronjong

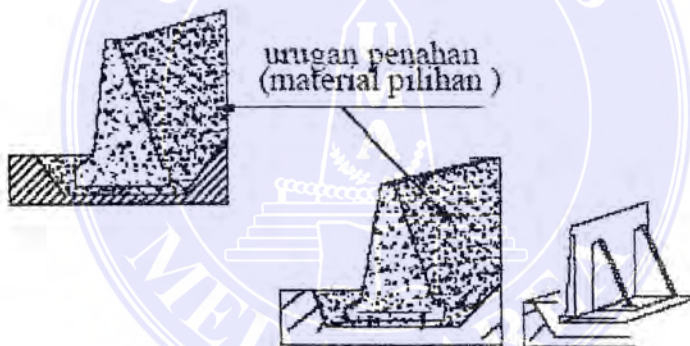
Bronjong merupakan bangunan penambat tanah dengan struktur bangunan berupa anyaman kawat yang diisi batu belah. Struktur bangunan berbentuk persegi dan disusun secara bertangga yang umumnya berukuran 2x1x0,5 m. Bangunan bronjong adalah struktur yang tidak kaku sehingga dapat menahan gerakan baik vertikal maupun horizontal dan bila runtuh masih bisa dimanfaatkan lagi.

Di samping itu bronjong mempunyai sifat lulus air, sehingga tidak akan menyebabkan terbenyungnya air permukaan. Bronjong umumnya dipasang pada kaki lereng yang disamping pada kaki lereng yang disamping sebagai penahan keruntuhan lereng, juga berfungsi untuk mencegah penggerusan. Keberhasilan penggunaan bronjong sangat tergantung dari kemampuan bangunan ini untuk menahan geseran pada tanah di bawah alasnya. Oleh karena itu bronjong harus diletakan pada lapisan yang mantap di bawah bidang keruntuhan lereng.

Bronjong akan efektif untuk keruntuhan lereng yang relatif dangkal tetapi tidak efektif untuk keruntuhan lereng berantai. Bronjong banyak digunakan karena material yang digunakan tidak sulit diperoleh, pelaksanaannya mudah dan biayanya relatif murah.

2) Tembok penahan

Tembok penahan merupakan bangunan penambat tanah dari pasangan batu, beton atau beton bertulang. Tipe tembok penahan terdiri dari dinding gaya berat, semi gaya berat dan dinding pertebalan. Sama halnya dengan bronjong, keberhasilan tembok penahan tergantung dari kemampuan menahan geseran, tetapi perlu pula ditinjau stabilitas terhadap guling. Selain digunakan untuk menahan pergerakan tanah, tembok penahan juga digunakan juga untuk melindungi bangunan dari keruntuhan. Tembok penahan harus diberi fasilitas drainase seperti lubang penetes dan pipa salir yang diberi bahan filter supaya tidak tersumbat, sehingga tidak menimbulkan tekanan hidrostatik yang besar.



Gambar 33 Penambatan tanah dengan tembok penahan

3) Geosintetis

Bahan geosintetis merupakan material polimer lentur yang digunakan sebagai perkuatan dinding penahan tanah, stabilisasi tanah dan pondasi tanah. Material ini bisa dalam bentuk geotekstil ataupun geogrid tergantung kebutuhan dan kondisi tanahnya. Geotekstil merupakan polimer yang berbentuk anyaman

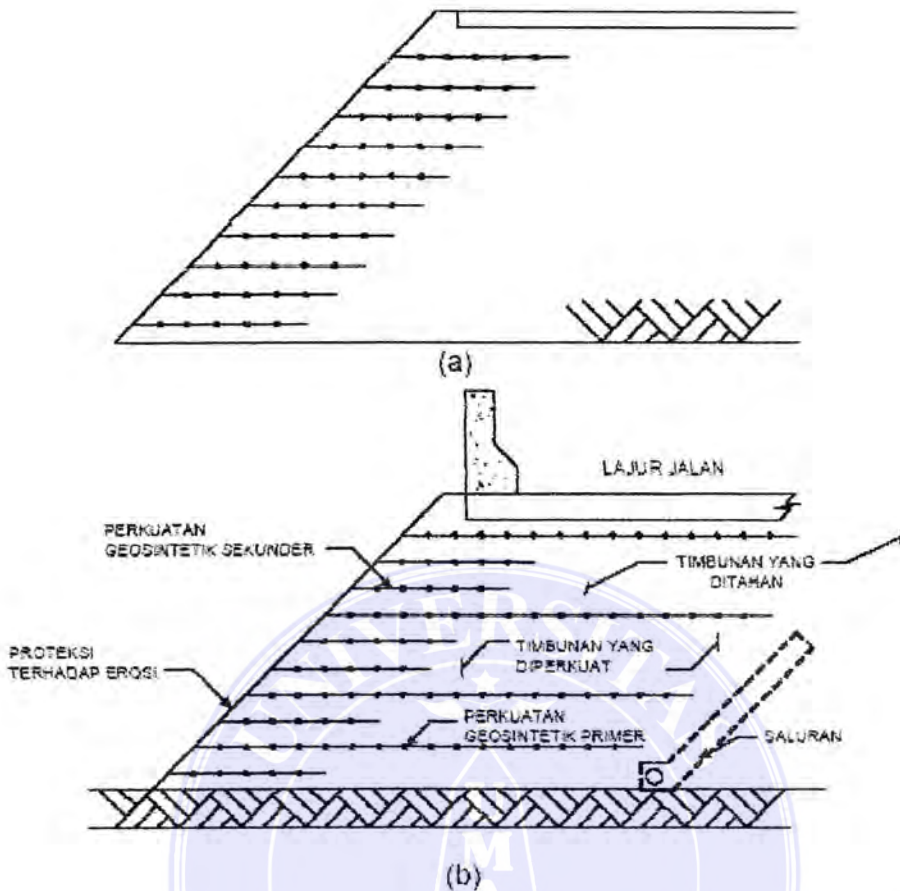
UNIVERSITAS MEDAN AREA
anyaman bukan anyaman. Sedangkan geogrid merupakan material polimer yang

terdiri dari kesatuan jaringan elemen tarik yang berbentuk kisi-kisi, yang dihubungkan satu sama lain melalui ekstrusi atau pengikatan.

Lereng yang diperkuat merupakan suatu bentuk stabilisasi tanah secara mekanis yang menginkorporasikan elemen perkuatan planar pada pembuatan struktur lereng dengan sudut permukaan yang kurang dari 70° . Sedangkan struktur tanah yang distabilisasi secara mekanis dengan sudut permukaan 70° s.d 90° diklasifikasikan sebagai dinding penahan

Fungsi utama perkuatan lereng, adalah sebagai berikut :

- meningkatkan stabilitas lereng, terutama jika diinginkan sudut kemiringan lereng lebih besar tetapi tetap aman dibandingkan dengan lereng yang tidak diperkuat, atau setelah terjadinya keruntuhan (lihat 34a).
- meningkatkan pemadatan di kaki lereng, sehingga mengurangi kecenderungan tergelincirnya permukaan lereng (lihat 34b)

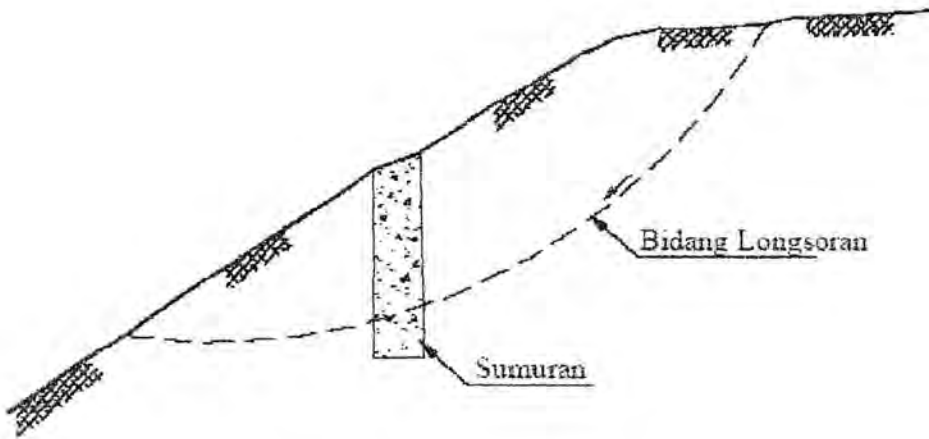


Gambar 34 Lereng yang diperkuat dengan geosintetik untuk meningkatkan stabilitas

4) Sumuran

Sumuran (dengan diameter 0,5-2 m) dapat digunakan untuk menahan gerakan tanah dengan tipe keruntuhan lereng yang relatif tidak aktif, sumuran ini terdiri dari cincin-cincin beton pracetak dan dimasukkan pada sumuran yang digali sampai mencapai kedalaman di bawah bidang longsornya. Cincin ini kemudian diisi dengan beton tumbuk, beton cyclop atau material berbutir tergantung dari kuat geser yang dikehendaki. Pelaksanaan cara penanggulangan ini sebaiknya dilakukan dalam musim kemarau pada waktu tidak terjadi gerakan.

Cara ini cocok untuk keruntuhan lereng dalam, karena dapat dibuat sampai kedalaman 15 meter.



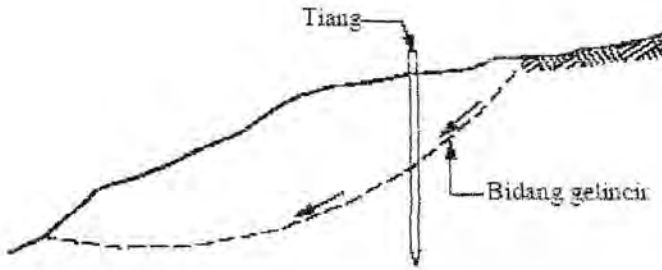
Gambar 35 Penambatan tanah dengan sumuran

5) Tiang

Tiang dapat digunakan baik untuk pencegahan maupun penanggulangan keruntuhan lereng. Cara ini cocok untuk keruntuhan lereng yang tidak terlalu dalam, tetapi penggunaan tiang ini terbatas oleh kemampuan tiang untuk menembus lapisan keras atau material yang mengandung bongkah – bongkah. Cara ini tidak cocok untuk gerakan tipe aliran, karena sifat tanahnya sangat lembek yang dapat lolos melalui sela tiang.

Penanggulangan keruntuhan lereng dapat menggunakan tiang pancang, tiang bor, turap baja. Untuk lapisan keras disarankan menggunakan tiang baja terbuka pada ujungnya atau tiang bor, walaupun demikian tiang bor mempunyai keterbatasan yang hanya dapat diterapkan pada keruntuhan lereng yang relatif diam. Tiang pipa baja dapat pula diisi beton atau komposit beton dengan baja profil untuk memperbesar modulus perlawanannya. Tiang pancang tidak disarankan untuk jenis tanah yang sensitif, karena dapat menimbulkan pencairan

UNIVERSITAS MEDAN AREA



Gambar 36 Penanggulangan keruntuhan lereng dengan tiang

6) Teknik penguatan tanah

Tanah bertulang mempunyai fungsi untuk menambah tahanan geser yang prinsipnya hampir serupa dengan dinding penopang isian batu atau bronjong. Konstruksi ini terdiri dari timbunan tanah berbutir yang diberi tulangan berupa pelat – pelat strip dan panel untuk menahan material berbutir. Bangunan ini umumnya ditempatkan di ujung kaki lereng dan dipasang pada dasar yang kuat di bawah bidang keruntuhan lereng.

7) Dinding penopang isian batu

Cara penanggulangan dengan dinding penopang isian batu dilakukan dengan penimbunan pada bagian kaki keruntuhan lereng dengan material berbutir kasar yang dipadatkan dan berfungsi menambah tahanan geser. Penanggulangan ini dapat digunakan untuk keruntuhan lereng rotasi dan translasi.

Dalam pemilihan metode ini harus memperhatikan hal – hal sebagai berikut :

- tidak mengganggu kemantapan lereng di bawahnya
- alas isian batu diletakkan di bawah bidang keruntuhan lereng sedalam

1,5 – 3,0 meter

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

IV.1.4.4.2. Penambatan batuan

Sebagian besar lereng batuan setelah mengalami ekskavasi materialnya, memerlukan beberapa bentuk perbaikan untuk memastikan stabilitas selanjutnya. Tabel 12 memberikan rentang penerapan atau variasi dari perhitungan stabilitas, dan Gambar 37 memperlihatkan situasi tipikal, dimana metode-metode di bawah ini dapat digunakan.

1) Penskalaan

Segera sesudah proses ekskavasi (*bulk excavation*), blok-blok batuan atau boulder harus segera dipindahkan dari permukaan lereng batuan yang terekspos. Blok-blok yang berpotensi untuk menjadi tidak stabil diangkat dan dipindahkan secara hati-hati, tidak dengan cara peledakan untuk mencegah lebih banyaknya batuan yang terlepas dari permukaan

2) Dinding penopang isian batu (*Buttresses*)

Buttresses dibangun untuk menahan massa batuan yang tidak stabil, terbuat dari beton atau struktur gravitasi pasangan batu, yang dapat diperkuat lagi dengan angker untuk meningkatkan stabilitas. Drainase harus disediakan di belakang struktur *buttresses* tersebut untuk mencegah terjadi tekanan air yang terbentuk pada celah-celah batuan yang tertutup.

3) Dentisi





Ikatan material yang lembut yang terekspos pada permukaan batuan harus diangkat dari permukaan tersebut. Kemudian bagian-bagian tersebut diisi dengan material filter yang sesuai, dilindungi oleh pasangan batu atau beton dengan perkuatan untuk mencegah erosi dari material lembut tersebut. Pada batuan

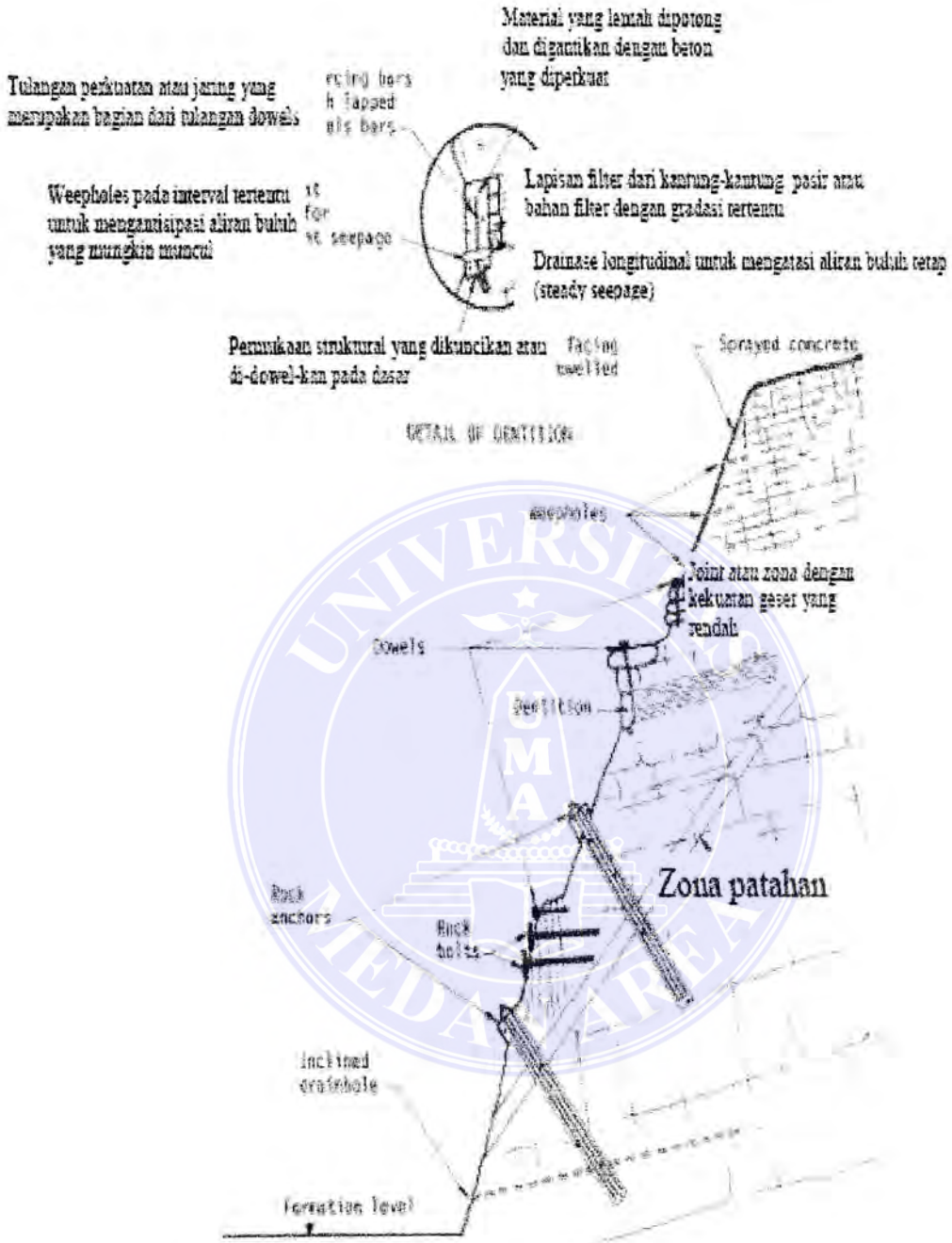
terjadi di sepanjang kekar, patahan atau pada saluran yang terbentuk pada batuan. Pelapukan yang menembus hingga ke dalam mengindikasikan adanya aliran air.

Dengan demikian, lubang suling-suling (weepholes) harus tersedia di bagian depan struktur penahan untuk memastikan bagian yang lembut tersebut teralirkan hingga tekanan air tinggi tidak terbentuk. Rongga-rongga, batuan yang menggantung dan kekar yang terbuka dapat di atas dengan cara yang sama seperti yang berhadapan dengan batuan dengan beton atau pasangan batu dapat dipakukan ke dalam batuan yang lebih kuat dan keras, dimana jalinan lembut terjadi.



Tabel 12 Tindakan-tindakan stabilisasi pada lereng batuan

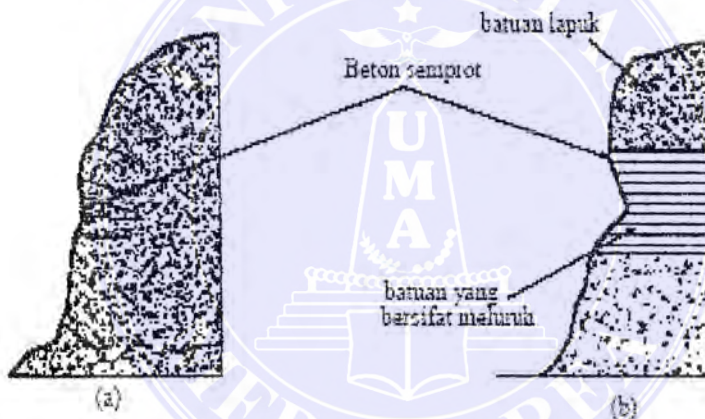
Tipe keruntuhan	Tindakan-tindakan stabilisasi																				
	Ekskavasi			Penyangga secara struktural					Drainase		Kontrol terhadap reruntuhan batuan										
Nama	Sketsa	Pelandaian lereng	Pembuatan bench	Ekskavasi Lokal	Pemukakan gunite (gunite facing)	Pasangan batu	Struktur lokal "dentition"	Pembuatan "buttress"	Dinding dengan ankur (anchored wall)	Dowel	Baut batuan (bolt)	Angkur (Anchor)	Saluran drainase (drainage ditch)	Screeded (paved) surface.	Lubang-lubang pengaliran larak pendek (short drainholes)	Lubang-lubang pengaliran larak panjang (long drainholes/slots)	Pindahan struktur/jalan yang terkena pengaruh keruntuhan	Membuat saluran penangkap reruntuhan batuan.	Membuat pagar/dinding penangkap batuan	Membuat jaring (netting)	
Keruntuhan Bidang (Plane failure)		Y	Y																		
Keruntuhan baji (Wedge failure)		Y																			
Keruntuhan rebah (Toppling failure)		Y																			
Reruntuhan batuan atau serpih batuan dan penurunan reruntuhan secara umum		Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y



Gambar 37 Berbagai macam metode yang dapat digunakan untuk menstabilkan lereng batuan

4) Penyemprotan beton

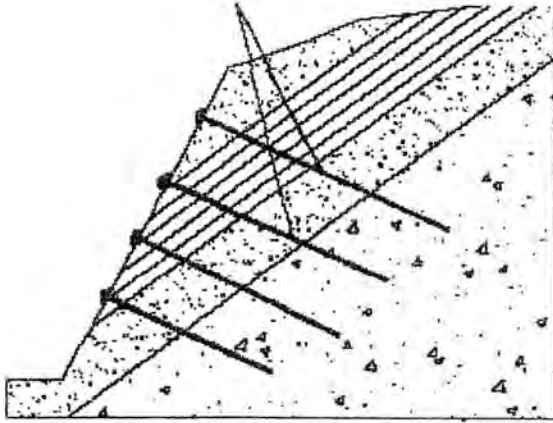
Penyemprotan beton dapat digunakan untuk menyediakan perlindungan pada permukaan untuk zona yang terdiri dari retakan batuan yang lemah hingga berintensitas tinggi. Pada lokasi dimana beton yang diperlukan direntangkan di antara baut batuan atau struktur penunjang lainnya, lebih baik lagi jika diperkuat dengan baja fabrikasi yang diletakkan pada permukaan batuan dengan bantuan pasak baja dan baut (*bolt*) sebelum penyemprotan dilakukan. Sediakan suling-suling yang mencukupi ditempat-tempat yang diperlukan untuk mencegah terbentuknya tekanan air di belakang dari permukaan.



Gambar 38 Beton semprot

5) Pasak baja (dowel)

Pasak-pasak yang terbuat dari baja, biasanya dengan diameter 25 mm hingga 32 mm, dengan panjang 1 meter hingga 3 meter, dengan pola ulir di sepanjang permukaannya yang kemudian dibor ke dalam batuan. Pasak baja digunakan untuk memperkuat lereng batuan yang memiliki kekar yang berdekatan dan sebagai perkuatan dari anker, beton atau pasangan batu dan blok-blok kecil



Gambar 39 Pasak baja

Prinsip desain pasak baja, tekanan akan berpengaruh pada pasak ketika terjadi pergerakan di sepanjang diskontinuitas yang akan distabilkan. Pada batuan yang keras, perluasan terjadi sebagai perpindahan di sepanjang diskontinuitas. Persiapkan suatu panjang pengikatan yang mencukupi pada masing-masing sisi diskontinuitas, terhadap tarik dan geser yang terjadi yang akan mempengaruhi pasak. Besaran dari gaya-gaya ini tergantung dari kekasaran pada bidang diskontinuitas, orientasi dari pasak terhadap diskontinuitas dan momen relatif, diperlukan untuk membentuk kekuatan geser puncak dan perluasan puncak. Simplifikasi metode desain pasak baja diberikan oleh Sage (1977) dan Bjurstrom (1974).

Untuk pasak baja dengan tingkat kelelahan sedang dan tinggi, tegangan maksimum harus dibatasi hingga 50% dari kekuatan regang batas yang digaransikan. Kelebihan ketebalan hingga 2 mm diijinkan untuk mengantisipasi efek korosi, penambahan grouting hingga 6 mm harus tersedia di sekeliling batang baja tersebut. Tidak diharuskan untuk menggunakan baja prestress untuk pasak

kecuali bila telah tersedia perlindungan ganda terhadap korosi.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

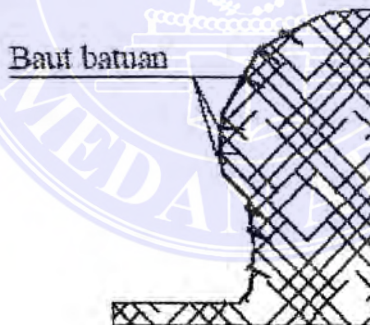
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)7/9/23

6) Baut batuan (*rock bolt*)

Baut batuan sangat cocok untuk menstabilkan area tertentu tapi tidak digunakan sebagai sistem penahan utama. Secara umum terdiri dari batangan baja berkekuatan tarik yang terdiri dari zona pengankerkan yang pendek ke dalam batuan yang aman dan zona yang tidak terikat dimana gaya tarik akan terbentuk yang diaplikasikan pada suatu sistem seperti dongkrak.

Beban yang terbentuk diterapkan pada bagian muka oleh pendukung pelat baja menuju permukaan batuan, walaupun untuk batuan yang lemah atau batuan yang memiliki banyak celah yang sangat parah maka diperlukan juga tambahan dudukan beton. Baut batuan secara tipikal berukuran diameter 25 mm hingga 40 mm dan panjang 3 meter hingga 6 meter serta memiliki kemampuan menahan tarik hingga beban 100 kN.



Gambar 40 Aplikasi baut batuan

Baut batuan menyediakan daya dukung positif terhadap bidang kontinuitas yang akan distabilisasi dengan cara meningkatkan tegangan normal dan juga dengan memobilisasi kekuatan geser. Baut diangkerkan ke dalam batuan yang kuat, dengan suatu pengikatan atau dengan menggunakan peralatan mekanis

UNIVERSITAS MEDAN AREA
Seperti halnya dengan panjang pengikatan harus didesain dengan nilai faktor

Document Accepted 7/9/23

keamanan terhadap tarik (pullout) sebesar 2. Pengankerkan secara mekanis, biasa

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)7/9/23

digunakan untuk baut permanen, harus di grouting setelah instalasi awal untuk menyediakan panjang pengikatan yang sesuai. Tekanan hingga 50% dari daya regang batas yang digaransikan, boleh digunakan, dan baut harus tahan terhadap pembebanan hingga 1,5 kali beban kerja, untuk memperlihatkan performance yang mencukupi pada saat memasang baut. Jika baja prestressed digunakan sebagai baut batuan, maka baja tersebut harus dilengkapi perlindungan ganda terhadap efek korosi. Perlindungan korosi tunggal dipertimbangkan akan mencukupi untuk dengan tingkat kelelahan tinggi (*high yield*) atau tingkat kelelahan sedang, tambahkan ketebalan sekitar 2 mm terhadap diameternya untuk mengaktifkan efek korosi.

Untuk baut permanen, perlindungan korosi tunggal pada panjang yang bebas harus terdiri dari grout dengan semacam pembungkus berpelumas atau metode perlindungan lain yang sesuai. Perlindungan terhadap korosi pada bagian kepala baut harus dipertimbangkan dengan hati-hati dan kualitas dari pelindung yang tersedia harus tetap konsisten dengan bagian lainnya dari baut tersebut. Perhatian khusus harus diterapkan pada detail sistem perlindungan korosi dan lakukan supervisi di lokasi pekerjaan untuk memastikan bahwa resiko timbul akibat korosi telah diminimalkan.

Jika metode grouting yang digunakan, sediakan penutup tambahan sekitar minimal 6 mm pada baut tersebut. Pada lokasi dimana terjadi diskontinuitas secara terus menerus, semacam pengikat mungkin dibutuhkan diantara tiap baut batuan untuk mencegah keruntuhan. Pengikat ini dapat berupa saluran-saluran struktural dengan menempatkan lubang yang dipotong untuk mengakomodasi

UNIVERSITAS MEDAN AREA

variasi dari jarak antara setiap baut atau alternatif lain bisa berupa balok beton

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

yang dicor di tempat. Beban yang diperlukan dalam baut batuan untuk mencegah longsohnya blok pada bidang yang cenderung mendaki dapat dihitung berdasarkan referensi dari Appendix 3 dari Hoek & Bray (1981). Kekuatan geser yang digunakan dalam perhitungan beban dari baut harus sesuai dengan joint yang akan distabilkan.

IV.1.5. Tindakan lain

Tindakan lain dilakukan jika penanggulangan dengan cara-cara yang telah diuraikan sebelumnya tidak dapat diterapkan. Tindakan lain meliputi penggunaan bahan ringan, penggantian material, stabilisasi, bangunan silang dan relokasi.

1) Penggunaan bahan ringan

Penanggulangan dengan cara ini dilakukan dengan mengganti material keruntuhan lereng dengan bahan yang lebih ringan dan berfungsi untuk mengurangi gaya dorong. Cara ini hanya digunakan pada keruntuhan lereng jenis rotasi yang relatif kecil. Bahan ringan yang umumnya digunakan antara lain: batu apung, abu sekam, polisterin, serbuk gergaji, alwa, armco dan drum kosong.

2) Penggantian material

Penanggulangan dengan cara ini dilakukan dengan mengganti material longsor dengan material berbutir yang mempunyai kuat geser lebih tinggi atau memadatkan kembali material yang ada secara berlapis. Penggantian material ini bisa seluruhnya atau sebagian dan dapat digunakan untuk keruntuhan lereng tipe rotasi tunggal yang relatif kecil. Cara ini dapat berfungsi dengan menambah tahanan di sepanjang bidang keruntuhan lereng dan juga berfungsi sebagai drainase bila digunakan material berbutir.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)7/9/23

Jika memilih cara ini, maka harus diperhatikan hal - hal berikut :

- a. Hanya dapat digunakan untuk keruntuhan lereng pada lereng yang tidak terlalu curam.
- b. Harus ada ikatan antara material pengganti dengan bagian yang mantap di bawah bidang keruntuhan lereng.

3) Stabilisasi

Stabilisasi dimaksudkan untuk meningkatkan kuat geser dari material longsor. Material yang distabilisasi dapat dilakukan secara menyeluruh (Gambar 42a), pada bagian kaki (Gambar 42b) atau berupa tiang – tiang (Gambar 42c). Stabilisasi dapat dilakukan dengan cara “grouting” atau injeksi melalui retakan, celah - celah dan lubang-lubang batuan. Stabilisasi dapat menggunakan bahan antara lain, kapur dan semen yang efektif pada material berbutir kasar. Berhasil tidaknya cara penanggulangan ini tergantung dari peningkatan kuat geser material, terutama sepanjang bidang keruntuhan lerengnya. Stabilisasi tanah lempung kurang efektif karena sulit pelaksanaannya.

Penggunaan stabilisasi harus mempertimbangkan hal – hal sebagai berikut :

- a. Letak / kedalaman bidang longsor.
- b. Gradasi material yang distabilisasi.
- c. Adanya lapisan rembesan air yang harus dikeringkan atau diberi pengaliran untuk mencegah tersumbatnya aliran agar tidak menimbulkan tekanan hidrostatik.

d. Untuk lereng yang longsor sebaiknya stabilisasi dilakukan pada musim

UNIVERSITAS MEDAN AREA

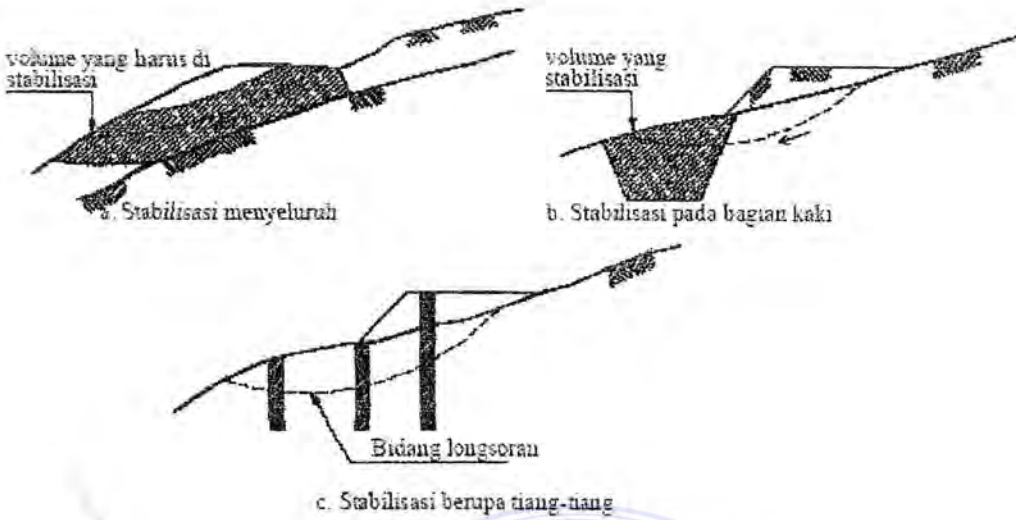
kemarau (saat longsor relatif diam) agar stabilisasi lebih efektif. Document Accepted 7/9/23

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)7/9/23



Gambar 42 Aplikasi perkuatan dengan stabilisasi

4) Bangunan silang

Bangunan silang seperti jembatan atau talang dapat dibuat melintasi lokasi yang longsor, bila merupakan satu-satunya penanggulangan yang paling tepat. Tetapi cara penanggulangan ini jarang dilakukan, karena memerlukan biaya yang cukup tinggi. Penggunaan jembatan sebagai penanggulangan harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

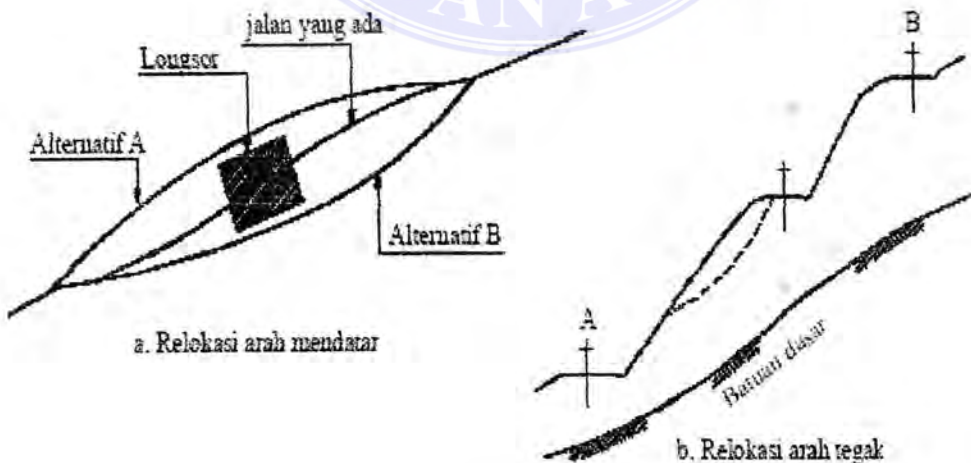
- a. Penanggulangan hanya efektif untuk keruntuhan lereng kecil dan lereng yang lebih curam dari 2 : 1
- b. Penggunaan bangunan silang harus mempertimbangkan kemungkinan perlunya pilar di tengah yang harus aman terhadap pengaruh keruntuhan lereng.

5) Relokasi

Cara ini dilakukan dengan memindahkan bangunan misalnya jalan, saluran air dan pemukiman ke tempat yang lebih aman. Penanggulangan dengan cara ini baru digunakan bila cara-cara lain tidak memungkinkan lagi. Penanganan cara ini hanya boleh digunakan bila dapat merupakan penanggulangan permanen. Relokasi ini dapat dilakukan ke arah mendatar atau tegak (lihat Gambar 43).

Penanggulangan ini harus memperhatikan hal – hal berikut :

- a. Lokasi yang disarankan tidak akan menimbulkan problema baru dari sudut ketinggian, drainase dan sebagainya.
- b. Lokasi di atas atau di bawah lokasi yang direncanakan cukup mantap, atau tidak akan menimbulkan masalah ketidakmantapan baru.
- c. Bila cara penanggulangan lainnya sudah tidak mungkin secara teknik atau terlalu mahal dan tidak dijamin keberhasilannya.
- d. Tergantung kondisi lapangan.



Gambar 43 Contoh relokasi jalan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/9/23

BAB VI

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan yang telah dilakukan pada bab - bab terdahulu, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh air yang menambah berat volume tanah disamping itu air dapat juga mengurangi kekuatan geser tanah.
2. Kelongsoran dapat terjadi karena kekuatan geser tanah kurang mampu menahan beban yang berada di atasnya.
3. Stabilitas suatu lereng pada jalan raya diukur dari faktor kaemanan terhadap suatu keruntuhan.
4. Lereng pada jalan raya dikatakan stabil apabila faktor kemanan sudah lebih besar dari pada satu ($FK > 1$).
5. Untuk merencanakan kestabilan lereng pada jalan raya dapat dilakukan dengan beberapa metode, yakni : dengan analisa Fellenius dan analisa Bishop.
6. Faktor kemanan yang didapat dari cara Bishop lebih besar dari pada yang didapat dari cara Fellenius.

DAFTAR PUSTAKA

1. Hedy Rahadian, Dr, Ir, Msc, Slamet Prabudi Setianto, ST, Saroso, B.S, Ir, Andi Sata, ST, MT (Pusat Litbang Prasarana Transportasi)
WWW.PDFFACTORY.COM
2. Djoko Untung Soedarsono, Konstruksi Jalan Raya, Penerbit Dinas Pekerjaan umum, Jakarta, 1997.
3. Herianto W. Ir, Analisa Kestabilan Lereng, Seri Mekanika Tanah, Edisi I - 1983.
4. Hery Christady Hardiyatmo, Mekanika Tanah 1, Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1992.
5. Joseph E. Bowles, Sifat - sifat Fisis dan Geoteknik Tanah (Mekanika Tanah), Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, 1989.
6. Karlterzaghi & Relph B. Peck, Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa, Jilid - I, Edisi kedua, Penerbit Erlangga, 1987.
7. Mul Mulyani Sutedjo, Ir. & AG. Karta Sapoetra, Ir., Teknologi Konservasi Tanah dan Air, Penerbit PT. Bina Aksara, 1983.
8. Suyono Sosrodarsono, Ir. & Kensaku Takeda, Hidrologi Untuk Pengairan, Cetakan Keenam, Penerbit PT. Pradiya Paramita, Jakarta, 1987.
9. Sunggono Kh, Ir., Mekanika Tanah, Penerbit Nova Bandung, 1982.
10. Sutanto, Ir, MSc, & Sidarta Karmawan, Ir., Pedoman Drainase Jalan Raya, Penerbit Universitas Indonesia UI - Press, 1992.
11. Wani Hadi Utomo, DR., Konservasi Tanah di Indonesia Suatu Rekaman dan Analisa, Penerbit CV. Rajawali Pers, Jakarta, 1983.

12. Wesley L. D. DR., Mekanika Tanah, Cetakan keenam, Badan Penerbit
Dinas Pekerjaan Umum, 1997.

