

PEDOMAN

Pd T-09-2005-B

Konstruksi dan Bangunan

PANITIA TEKNIS BAHAN KONSTRUKSI BANGUNAN DAN REKAYASA SIPIL

**Rekayasa penanganan keruntuhan lereng pada
tanah residual dan batuan**



DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM



Daftar isi

Daftar isi	i
Daftar tabel	iii
Daftar gambar	iv
Prakata	vi
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	2
3.1 keruntuhan tanah (<i>ground failures</i>)	2
3.2 keruntuhan lereng (<i>slope failure</i>)	2
3.3 klasifikasi keruntuhan lereng	2
3.4 longsor (<i>landslide</i>)	3
4 Geologi Indonesia	3
5 Klasifikasi gerakan massa	3
5.1 Pergerakan massa	3
5.2 Klasifikasi berdasarkan pola pergerakan	4
5.2.1 Gelincir (<i>slide</i>)	4
5.2.2 Jatuhan (<i>fall</i>)	7
5.2.3 Aliran (<i>flow</i>)	9
5.3 Klasifikasi berdasarkan kecepatan pergerakan	10
5.3.1 Pergerakan lambat	10
5.3.2 Pergerakan sedang	10
5.3.3 Pergerakan cepat	11
5.4 Klasifikasi lereng	14
5.5 Beberapa penyebab ketidakmampuan lereng	16
6 Tahapan umum penanggulangan keruntuhan lereng	17
7 Penyelidikan tanah dan batuan	19
7.1 Tahapan penyelidikan	19
7.1.1 Studi meja	20
7.1.2 Penyelidikan pendahuluan	21
7.1.3 Penyelidikan detail	22
7.2 Penentuan dan fungsi instrumentasi	24
8 Metode perencanaan	25
8.1 Kriteria perencanaan dan pembebanan	25
8.2 Faktor keamanan	25
8.3 Analisis kestabilan lereng	28
8.3.1 Evaluasi dan interpretasi parameter	29
8.3.2 Stratifikasi penampang lereng	31
8.3.3 Penentuan tipe bidang gelincir dan pemilihan metode analisis	32
8.3.4 Penentuan parameter desain	39

8.3.5	Kondisi stabilitas lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan	39
9	Teknologi penanggulangan	40
9.1	Prinsip dasar metode penanggulangan keruntuhan lereng	40
9.2	Pendekatan penanggulangan	41
9.3	Pencegahan keruntuhan lereng	41
9.4	Pemilihan tipe penanggulangan	42
9.4.1	Pengubahan geometri lereng	42
9.4.2	Mengendalikan air permukaan	46
9.4.3	Mengendalikan air rembesan (drainase bawah permukaan)	48
9.4.4	Penambatan	50
9.4.5	Tindakan lain	60
9.5	Kasus lereng serpih	62
10	Pelaksanaan konstruksi lereng	66
10.1	Umum	66
10.2	Perencanaan pelaksanaan	66
10.3	Persiapan pelaksanaan	66
10.4	Pekerjaan penggalian atau pengerukan dan pengangkutan tanah	66
10.5	Pekerjaan penimbunan	67
10.6	Pelaksanaan pekerjaan lereng tipe galian-timbunan	68
10.7	Pelaksanaan pekerjaan permukaan lereng	69
11	Pemeliharaan lereng	69
11.1	Umum	69
11.2	Pemeliharaan tanaman pelindung lereng	70
11.3	Pemeliharaan struktur pelindung lereng	71
11.4	Pemeliharaan fasilitas drainase lereng	72
11.5	Tindakan penanganan darurat untuk lereng	72
	Daftar istilah	74
	Bibliografi	76
	Lampiran A	77
	Lampiran B	86
	Lampiran C (informatif) Daftar nama dan lembaga	98



Daftar tabel

Tabel 1	Jenis tanah/batuan dan tipe gerakan yang mungkin terjadi.....	13
Tabel 2	Hubungan tipe keruntuhan lereng dengan kecepatan keruntuhan lereng, derajat kerusakan dan dampak terhadap jalan	14
Tabel 3	Macam pengujian laboratorium & lapangan serta aplikasinya	23
Tabel 4	Instrumentasi di daerah gerakan tanah.....	24
Tabel 5	Beban lalu lintas untuk analisis stabilitas	25
Tabel 6	Rekomendasi nilai faktor keamanan untuk lereng	26
Tabel 7	Contoh-contoh tipikal keruntuhan lereng untuk masing-masing kategori yang beresiko terhadap nyawa manusia	27
Tabel 8	Contoh-contoh tipikal keruntuhan lereng untuk masing-masing kategori yang beresiko secara ekonomis	27
Tabel 9	Metode-metode untuk analisis stabilitas pada lereng tanah	37
Tabel 10	Metode analisis stabilitas untuk lereng batuan	38
Tabel 11	Pemilihan penanggulangan berdasarkan tipe pergerakan	38
Tabel 12	Tindakan-tindakan stabilisasi pada lereng batuan	55
Tabel 13	Perbaikan tanah fondasi	67
Tabel 14	Pemeliharaan berdasarkan metode pelaksanaan.....	70
Tabel 15	Pemeliharaan berdasarkan jenis tanah.....	70



Daftar gambar

Gambar 1	Analogi gerakan massa di lereng.....	4
Gambar 2	Bagan klasifikasi pergerakan massa tanah/batuan.....	4
Gambar 3	Tipe keruntuhan gelincir translasi	5
Gambar 4	Tipe keruntuhan translasi/gelincir baji (<i>wedge failure, tampak atas</i>)	5
Gambar 5	Tipe keruntuhan gelincir rotasi	6
Gambar 6	Tipe pergerakan nendatan	7
Gambar 7	Tipe keruntuhan gelincir kombinasi.....	7
Gambar 8	Tipe gerakan keruntuhan jatuhnya	8
Gambar 9	Tipe gerakan keruntuhan jungkiran.....	9
Gambar 10	Tipe keruntuhan lereng aliran dengan bentuk keruntuhan yang tidak berpola.....	10
Gambar 11	Tipe gerakan keruntuhan lereng debris pada batuan	11
Gambar 12	Tipe jatuh bebas batuan (<i>rock fall</i>).....	12
Gambar 13	Variasi tipe pergerakan berdasarkan hubungan kecepatan pergerakan dengan kadar air	12
Gambar 14	Pergerakan lereng ditinjau dari jenis lerengnya	15
Gambar 15	Beberapa tipe lereng serpih yang sering mengalami pergerakan material.....	16
Gambar 16	Bagan alir tahapan umum pekerjaan penanggulangan keruntuhan lereng	18
Gambar 17	Bagan alir penyelidikan penanggulangan keruntuhan lereng	19
Gambar 18	Skema pemasangan Instrumen di daerah gerakan tanah	24
Gambar 19	Diagram tahapan analisis kestabilan lereng	28
Gambar 20	Contoh peta situasi kasus keruntuhan lereng.....	29
Gambar 21	Contoh potongan melintang stratifikasi as keruntuhan lereng	31
Gambar 22	Penentuan bidang keruntuhan lereng dengan jenis gerakan gelincir rotasi	33
Gambar 23	Penentuan bidang keruntuhan lereng dengan jenis gerakan gelincir translasi	33
Gambar 24	Penentuan letak pusat rotasi dengan metode HRB	34
Gambar 25	Penentuan titik pusat rotasi dengan metode Ritchie	35
Gambar 26	Contoh model hasil analisis balik untuk kasus keruntuhan lereng jalan	35
Gambar 27	Contoh proses penentuan parameter desain.....	39
Gambar 28	Contoh hasil analisis perbandingan kondisi stabilitas lereng vs rasio tekanan air pori untuk kondisi tanpa perkuatan/eksisting dengan perkuatan (<i>counterweight</i>)	40
Gambar 29	Tipikal penanggulangan dengan cara mengubah geometri lereng	45
Gambar 30	Macam-macam penanganan keruntuhan lereng dengan cara mengendalikan air permukaan.....	47
Gambar 31	Contoh drainase bawah permukaan	48
Gambar 32	Cara pengendalian air rembesan	50
Gambar 33	Penambatan tanah dengan tembok penahan	51
Gambar 34	Lereng yang diperkuat dengan geosintetik untuk meningkatkan stabilitas	52

Gambar 35	Penambatan tanah dengan sumuran.....	53
Gambar 36	penanggulungan keruntuhan lereng dengan tiang.....	53
Gambar 37	Berbagai macam metode yang dapat digunakan untuk menstabilkan lereng batuan	56
Gambar 38	Beton semprot.....	56
Gambar 39	Pasak baja	57
Gambar 40	Aplikasi baut batuan.....	58
Gambar 41	Tindakan yang dapat dilakukan sebagai kontrol terhadap batuan yang runtuh	59
Gambar 42	Aplikasi perkuatan dengan stabilisasi	61
Gambar 43	Contoh relokasi jalan.....	62
Gambar 44	Pola <i>slickenside</i> pada tiap tahap pelapukan	64
Gambar 45	Pola retakan yang terjadi pada lereng atas lokasi Cikampek (Dok : Alan Rachlan, 2003).....	65
Gambar 46	Posisi retakan pada lereng bawah lokasi Cikampek (Dok : Alan Rachlan, 2003)	65
Gambar 47	Bidang gelincir tampak jelas berupa bidang permukaan yang sangat rata, halus dan licin (<i>slickensided</i>)	66
Gambar 48	Metode pekerjaan pemotongan lereng	66
Gambar 49	Metode penimbunan	68
Gambar 50	Metode pekerjaan tipe galian-timbunan	69



Prakata

Pedoman rekayasa lereng untuk jalan dipersiapkan oleh Panitia Teknik Standardisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan melalui Gugus Kerja Bidang Geoteknik Jalan pada Sub Panitia Teknik Standardisasi Bidang Prasarana Transportasi. Pedoman ini diprakarsai oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang ex. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Pedoman ini merupakan acuan untuk para praktisi dalam perencanaan rekayasa lereng untuk jalan dan penanganan keruntuhan lereng jalan. Pedoman ini hanya menekankan lereng pada deposit tanah residual dan batuan di daerah pegunungan dan perbukitan. Pedoman ini membahas tentang ringkasan kondisi geologi di Indonesia, rencana investigasi untuk rekayasa lereng, klasifikasi keruntuhan lereng, metode analisis kestabilan lereng dan metode penanggulangan keruntuhan lereng.

Tata cara penulisan disusun mengikuti Pedoman BSN No. 8 tahun 2000 dan dibahas dalam forum konsensus yang melibatkan narasumber, pakar dan stakeholders Prasarana Transportasi sesuai ketentuan Pedoman BSN No. 9 tahun 2000.



Rekayasa penanganan keruntuhan lereng pada tanah residual dan batuan

1 Ruang lingkup

Pedoman ini dirancang untuk menjadi acuan dalam perencanaan penanggulangan keruntuhan lereng. Ruang lingkup pedoman ini menekankan perencanaan penanggulangan keruntuhan lereng pada deposit residual di daerah pegunungan dan perbukitan. Keruntuhan lereng (slope failure) dan stabilitas galian dan timbunan pada tanah lunak dan ekspansif tidak termasuk dalam ruang lingkup pedoman ini. Pedoman ini merupakan pelengkap dari Buku Tata Cara Penanggulangan Longsoran SNI - 03.1962 - 1990.

Dengan demikian, panduan ini dapat digunakan sebagai bahan rujukan dan pegangan dilapangan sehingga praktisi dapat menyesuaikan dengan kondisi setempat. Tujuan panduan ini adalah agar praktisi dapat melakukan pencegahan penanganan darurat, penanggulangan permanen atau secara dini berusaha mencegah bencana keruntuhan lereng untuk mengurangi dampak kerugian sosial ekonomi secara tepat dan mencapai hasil yang optimal.

2 Acuan normatif

Untuk memenuhi dan melengkapi kebutuhan aturan teknis tentang penanggulangan keruntuhan lereng, pedoman ini menggunakan beberapa rujukan standar untuk investigasi lapangan dan pengujian laboratorium.

Investigasi lapangan :

- SNI 03-2411-1991, *Metode pengujian lapangan tentang kelulusan air bertekanan*
- SNI 03-2436-1991, *Metode pencatatan dan interpretasi hasil pemboran inti*
- SNI 06-2487-1991, *Metode pengujian lapangan kekuatan geser baling pada tanah berkohesi*
- SNI 03-2528-1991, *Metode eksplorasi awal air tanah dengan cara geolistrik wenner*
- SNI 03-2827-1992, *Metode pengujian lapangan dengan alat sondir*
- SNI 03-2849-1992, *Tata cara pemetaan geologi teknik lapangan*
- SNI 03-3968-1995, *Metoda pengukuran kelulusan air pada tanah zone tak jenuh dengan lubang auger*
- SNI 03-3969-1995, *Metode pemboran air tanah dengan alat bor putar sistem sirkulasi langsung*
- SNI 03-4153-1996, *Metode pengujian penetrasi dengan SPT*
- SNI 03-4148.1-2000, *Tata cara pengambilan contoh tanah dengan tabung dinding tipis*
- SNI 03-6796-2002, *Metode pengujian untuk menentukan daya dukung tanah dengan beban statis pada pondasi dangkal*

Laboratorium :

- SNI 03-1964-1990, *Metode pengujian berat jenis tanah*
- SNI 03-1965-1990, *Metode pengujian kadar air tanah*
- SNI 03-1966-1990, *metode pengujian batas plastis tanah*
- SNI 03-1967-1990, *metode pengujian batas cair dengan alat casagrande*

- SNI 03-2435-1991, *metode pengujian laboratorium tentang kelulusan air untuk contoh tanah*
- SNI 03-2455-1991, *metode pengujian triaxial A*
- SNI 03-2812-1992, *metode pengujian konsolidasi tanah satu dimensi*
- SNI 03-2815-1992, *metode pengujian triaxial B*
- SNI 03-3420-1994, *metode pengujian kuat geser langsung tanah tidak terkonsolidasi tanpa drainase*
- SNI 03-3422-1994, *metode pengujian batas susut tanah*
- SNI 03-3423-1994, *metode pengujian analisis ukuran butir tanah dengan alat hidrometer*
- SNI 03-3637-1994, *metode pengujian berat isi tanah berbutir halus dengan cetakan benda uji*
- SNI 03-3638-1994, *metode pengujian kuat tekan bebas tanah kohesif*
- SNI 03-4813-1998, *metode pengujian triaxial untuk tanah kohesif dalam keadaan tanpa konsolidasi dan drainase*

instrumentasi

- SNI 03-3404-1994, *metode pemasangan inklinometer*
- SNI 03-3442-1994, *tata cara pemasangan pisometer pipa terbuka casagrande*
- SNI 03-3452-1994, *tata cara pemasangan pisometer pneumatik*

3 Istilah dan definisi

Istilah dan definisi yang digunakan dalam pedoman ini sebagai berikut :

3.1

keruntuhan tanah (*ground failures*)

suatu proses perpindahan massa tanah/batuan dengan arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan awal. Dalam pengertian ini termasuk amblesan, penurunan tanah karena pengembangan, rangkakan permukaan, dan gerakan tanah

3.2

keruntuhan lereng (*slope failure*)

Suatu proses pergerakan dan perpindahan massa tanah atau batuan yang dapat terjadi dengan variasi kecepatan dari sangat lambat sampai sangat cepat dan tidak terkait banyak dengan kondisi geologi lokal. Keruntuhan bersifat lokal atau skala kecil dan umumnya terjadi pada lereng galian atau timbunan yang dibuat manusia

3.3

klasifikasi keruntuhan lereng

Untuk menyeragamkan istilah, memudahkan pengenalan tipe keruntuhan lereng, dan membantu dalam menentukan penyebab dan pemilihan cara penanggulangan. Pengelompokkan lereng longsor berdasarkan jenis material dan batuan dasar, jenis gerakan dan bentuk bidang keruntuhannya serta kecepatan gerakannya

3.4

longsoran (*landslide*)

Suatu proses perpindahan atau pergerakan massa batuan, debris (campuran tanah dan butiran batu), dan tanah kearah lereng bawah. Perpindahan ini dapat disebabkan oleh kondisi geologi yang kurang menguntungkan, phenomena geomorfologi gaya-gaya fisik alamiah atau akibat ulah manusia (man-made), dan umumnya terjadi pada daerah yang cukup luas, berukuran skala besar

4 Geologi Indonesia

Secara umum fisiografi kepulauan Indonesia sangat ditentukan oleh adanya gerak-gerak lempeng. Ditinjau dari sisi neotektonik pembentukan kepulauan Indonesia telah diketahui mulai terjadi pada jaman *Paleocene*, 60 juta tahun yang lalu. Pada 30 juta tahun berikutnya, Pulau Kalimantan bagian Selatan dan Borneo Utara bergabung. Selanjutnya 10 juta tahun lalu atau jaman Miosen akhir terjadi proses pengangkatan (*uplift*) dari batuan endapan dasar laut dan kemudian terbentuklah sederetan pulau-pulau vulkanik (Sumatera – Jawa – Bali – NTB – NTT – Maluku dan sebagian Sulawesi).

Kepulauan Indonesia terletak disekitar equator (garis khatulistiwa) yaitu sekitar 6° Lintang Utara (LU) – 12° Lintang Selatan (LS) dan diantara 95° – 140° Bujur Timur (BT).

Letak geografis Indonesia sangat berpengaruh terhadap iklim dan curah hujan, yang dicirikan oleh iklim tropika basah dan terdiri dari dua musim, yaitu musim hujan (basah) dan musim kemarau (kering). Turunnya hujan sangat dipengaruhi oleh arah datangnya angin musim Barat dan Timur yang mengalir melalui equator.

Ketersediaan airtanah di dalam suatu batuan diantaranya dipengaruhi oleh sifat fisik batuan, yaitu kesarangan dan kelulusannya. Karena tingkat kesarangan dan kelulusan batuan itu ditentukan, terutama oleh tingkat konsolidasinya maka dalam pembahasan ini, batuan-batuan yang merupakan akuifer dikelompokkan menjadi batuan padu dan batuan lepas atau setengah padu.

Akuifer yang paling baik adalah endapan berbutir pasir karena mempunyai volume rongga yang paling besar. Ruang rongga pada material pasir diperkirakan sebesar 25 % - 40 %. Seiring dengan waktu, ruang ini akan berkurang karena faktor-faktor tersebut di atas, yang pada akhirnya akan membentuk formasi batuan pasir. Formasi pasir merupakan batuan reservoir yang cukup baik yang dapat menyimpan air tanah dalam jumlah besar.

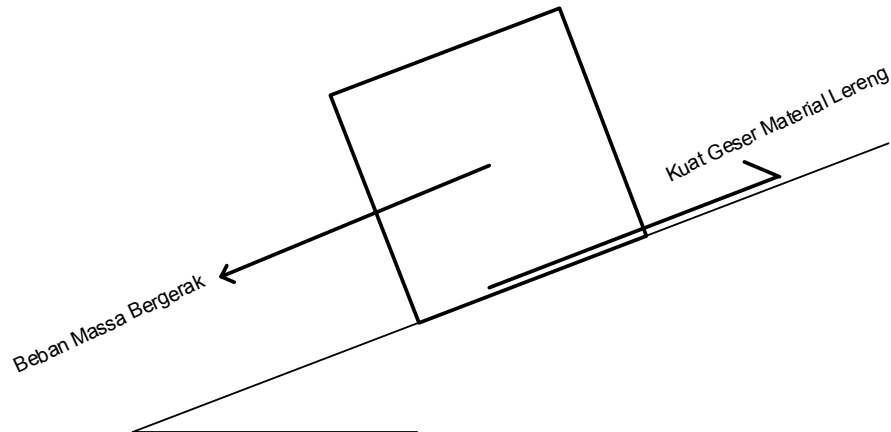
Penjelasan lebih terinci mengenai geologi Indonesia dapat dilihat di lampiran A

5 Klasifikasi gerakan massa

5.1 Pergerakan massa

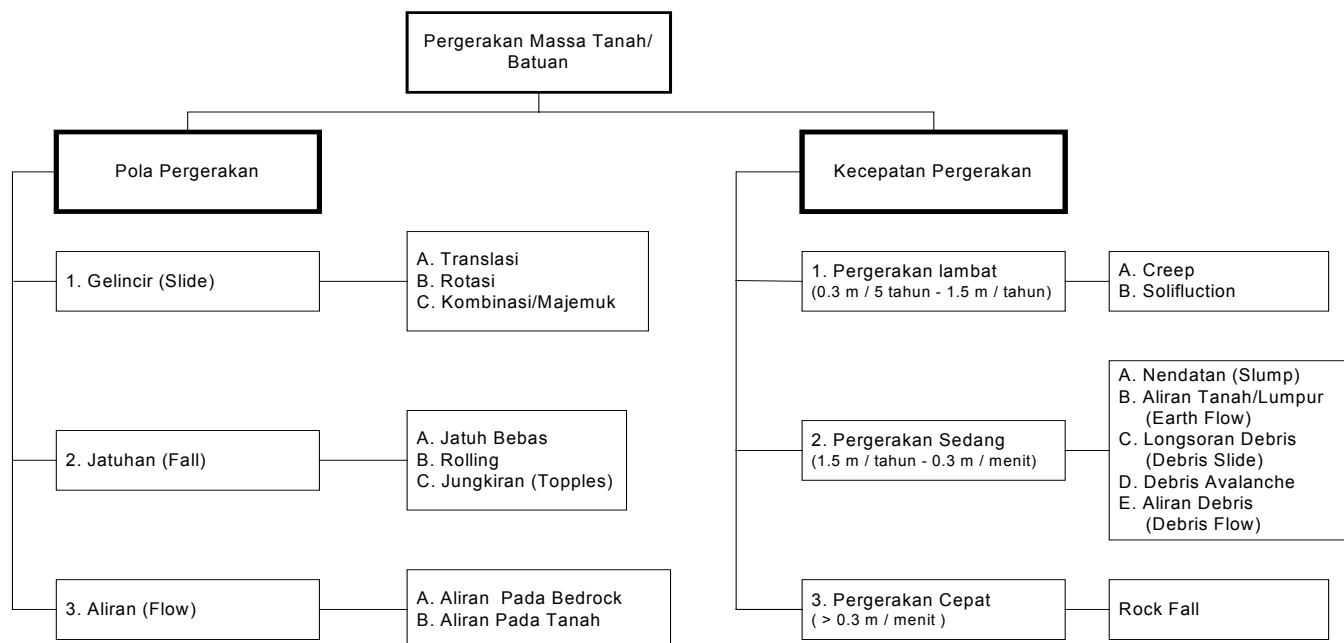
Bergeraknya material tanah/batuan dalam bentuk padat atau semi-viscous disebut sebagai pergerakan massa. Pergerakan massa ini analog dengan bergerak suatu blok pada bidang miring (Gambar 1). Apabila gaya akibat gravitasi (beban bergerak) melebihi kuat geser penahan lereng, maka material akan bergerak.





Gambar 1 Analogi gerakan massa di lereng

Klasifikasi gerakan massa tanah/batuan dibagi ke dalam dua kelompok berdasarkan pola pergerakan dan kecepatan pergerakan. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Bagan klasifikasi pergerakan massa tanah/batuan

5.2 Klasifikasi berdasarkan pola pergerakan

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

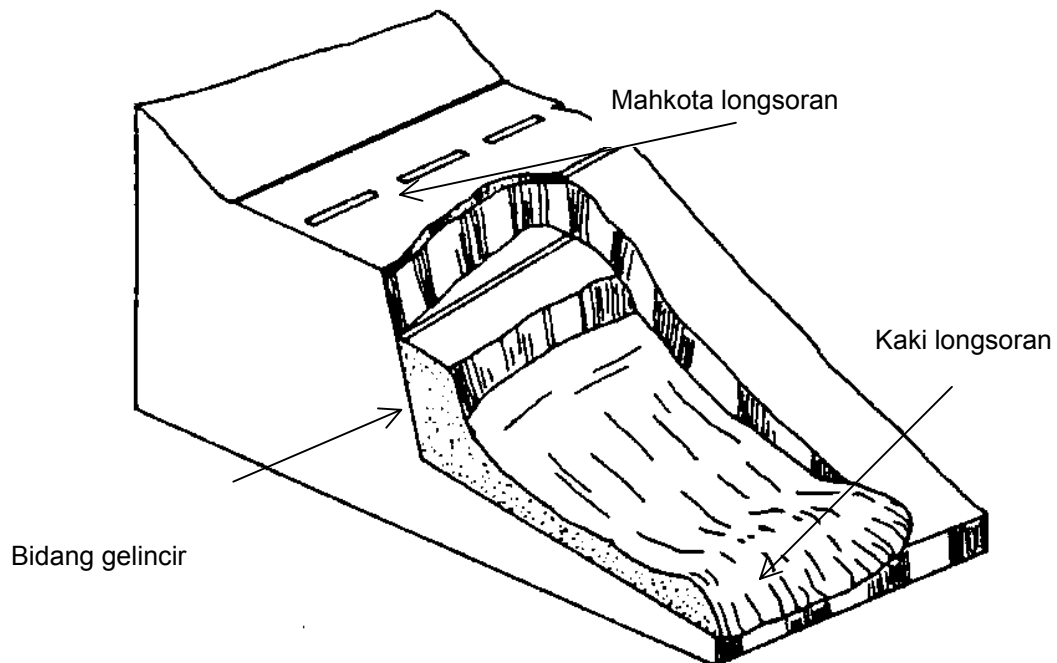
5.2.1 Gelincir (*slide*)

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

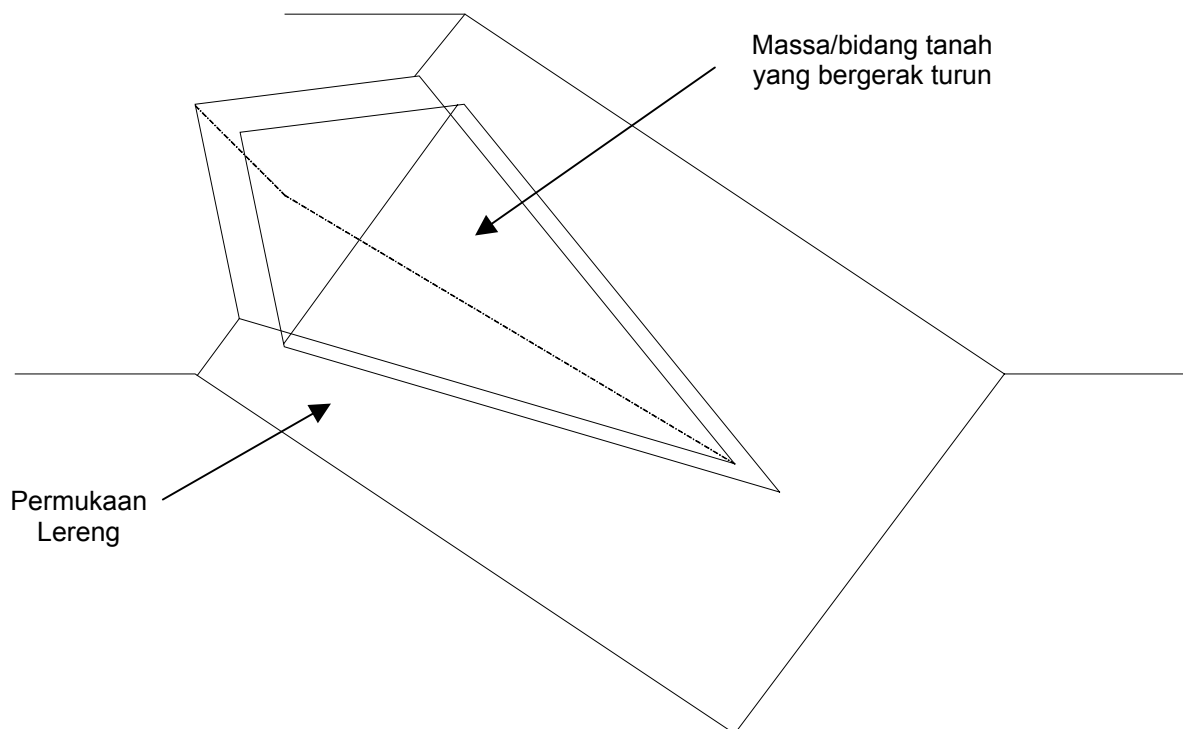
a. Gelincir translasi (Gambar 3);

- 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*)

b. Gelincir rotasi;

- Rotasi pada batuan

Tipe ini ditandai dengan adanya bentuk “sendok”. Bagian lereng atas terbentuk “gawir” 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.

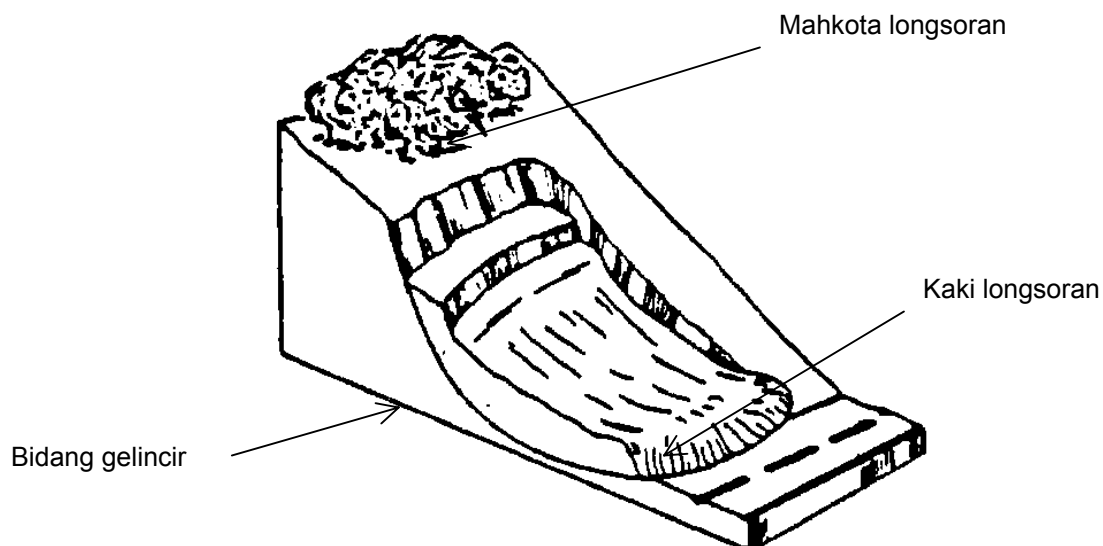
- Rotasi pada tanah

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.

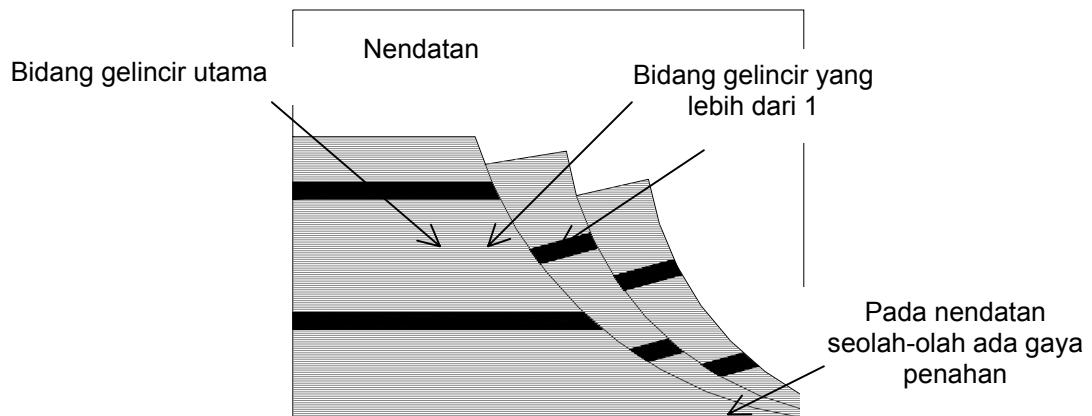
Keruntuhan lereng rotasi pada tanah koluvial biasanya dangkal.

Morfologi keruntuhan lereng rotasi pada tanah dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5 Tipe keruntuhan gelincir rotasi

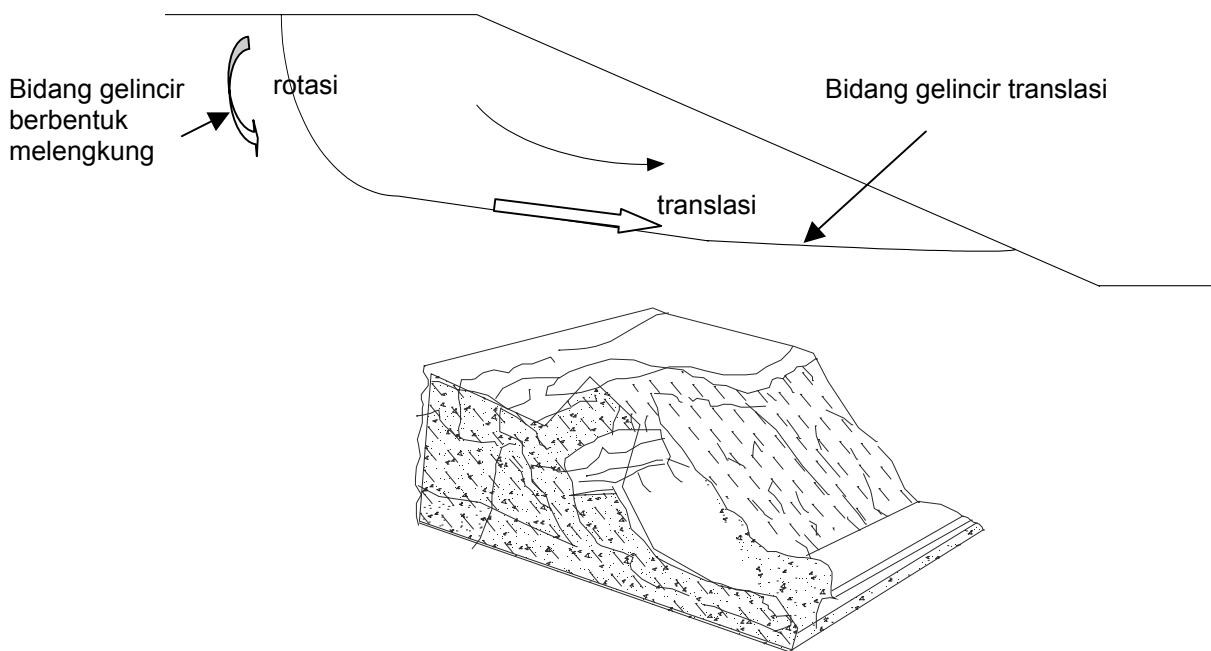
Contoh gelincir yang termasuk dalam gelincir rotasi adalah nendatan (*slump*), yaitu pergerakan tanah/batuan ke arah bawah dan keluar. Jumlah bidang gelincir yang terjadi adalah satu atau lebih (Gambar 6). Jenis pergerakan ini sering terjadi setelah kemiringan lereng dirubah.



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.

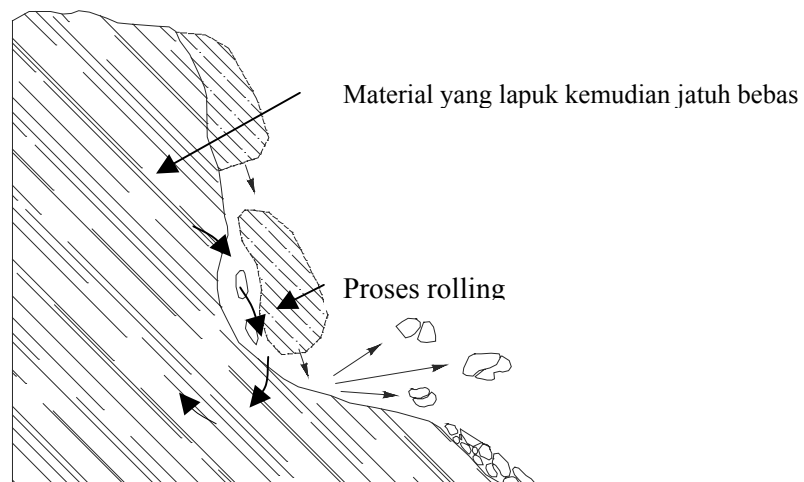


Gambar 7 Tipe keruntuhan gelincir kombinasi

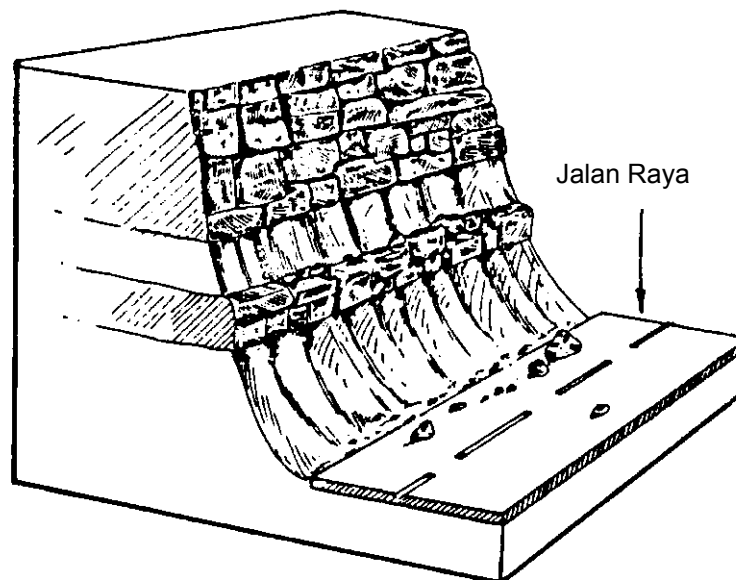
5.2.2 Jatuhan (fall)

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

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



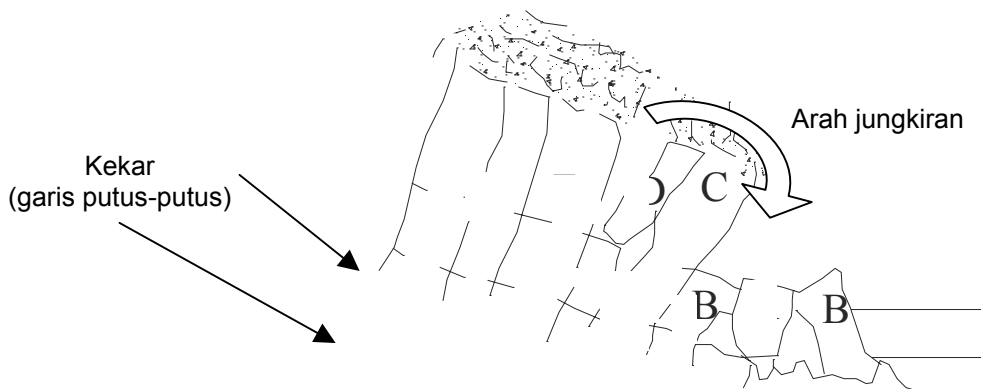
a. Tipikal gerakan keruntuhan jatuhnya



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

Gambar 8 Tipe gerakan keruntuhan jatuhnya

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



Gambar 9 Tipe gerakan keruntuhan jungkiran

5.2.3 Aliran (flow)

Aliran adalah suatu material lepas (batuan lapuk atau tanah) yang setelah mengalami proses penjuhan 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 rangkak. Aliran jenis ini umumnya melibatkan rangkak dalam yang lambat dan perbedaan pergerakan antara unit –unit yang utuh. Ciri-ciri pergerakan aliran pada batuan lapuk adalah:

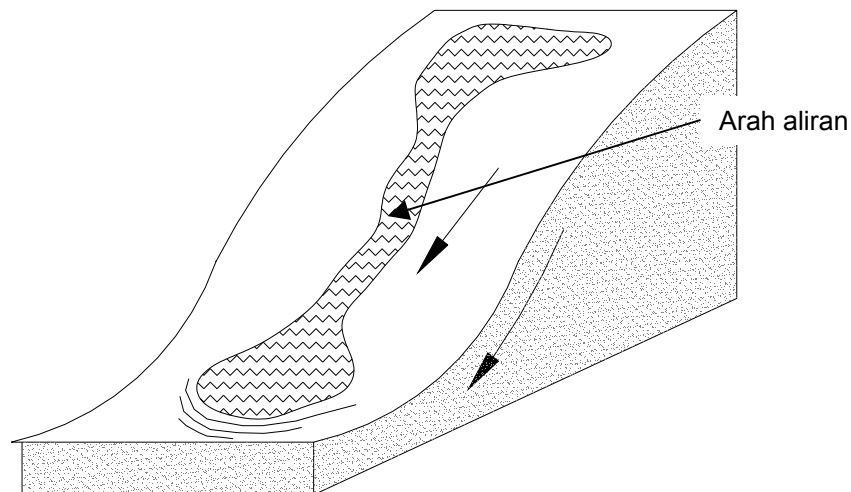
- terjadi di sepanjang permukaan geser yang tidak saling berhubungan;
- distribusi kecepatan mirip aliran fluida yang kental.

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

5.3 Klasifikasi berdasarkan kecepatan pergerakan

Berdasarkan kecepatan pergerakannya, gerakan massa tanah/batuan dibagi menjadi tiga kategori, yaitu pergerakan lambat, pergerakan sedang dan pergerakan cepat. Masing-masing kategori dibahas sebagai berikut:

5.3.1 Pergerakan lambat

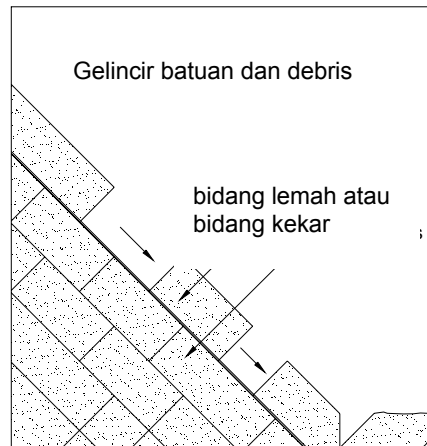
Pergerakan lambat terjadi selama 0.3 m/5 tahun – 1.5 m/tahun serta meliputi rangkai/rayapan dan *solifluction*. Rangkai adalah pergerakan terus menerus pada kondisi tegangan konstan, sedangkan *solifluction* adalah pergerakan debris dalam kondisi jenuh. Pergerakan lambat ditandai dengan miringnya tiang-tiang dan pohon-pohon.

5.3.2 Pergerakan sedang

Pergerakan sedang terjadi selama 1.5 m/tahun – 0.3 m/menit. serta meliputi:

- Aliran tanah/lumpur (*earth flows*), yaitu pergerakan yang lambat tetapi dapat dideteksi dengan mudah. Hal ini biasanya terjadi pada tanah yang kadar airnya terus bertambah. Penambahan kadar air yang terus menerus ini menyebabkan terjadinya *mud flow*.
- Runtuhan debris (*debris slide*), yaitu pergerakan material tak terkonsolidasi yang relatif kering. Material runtuhan debris biasanya lebih besar dibandingkan dengan material aliran tanah/lumpur. Debris merupakan kumpulan massa tanah, atau tanah tercampur fragmen batuan, yang berpindah di sepanjang permukaan datar yang miring. Runtuhan debris terjadi secara progresif dan dapat berkembang menjadi "avalanche" atau aliran yang tiba-tiba meluncur cepat.

Runtuhan ini sering terjadi pada tanah colluvial atau residual yang terletak di atas permukaan batuan dasar yang miring. Mula-mula terjadi rekahan (*tersier crack*) yang kemudian bertambah lebar dan akhirnya 1 blok atau lebih tanah/batuan akan meluncur kebawah. Runtuhan akan terus terjadi hingga mencapai "upper slope" (lereng atas). Proses terjadinya runtuhan debris pada batuan dapat dilihat pada Gambar 11.



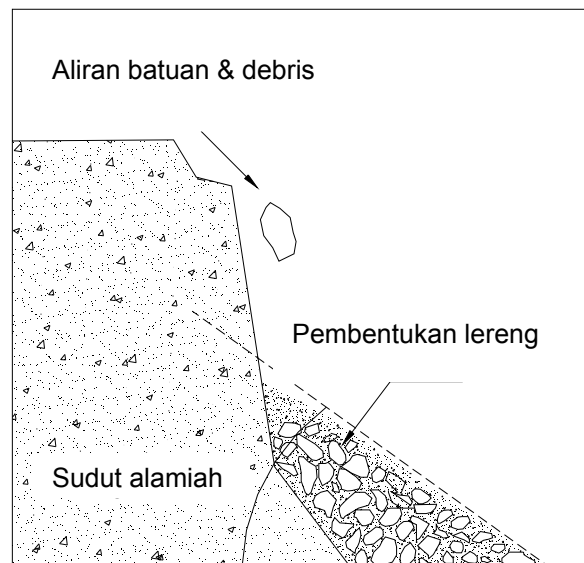
Gambar 11 Tipe gerakan keruntuhan lereng debris pada batuan

- Aliran debris (*debris flow*)
Proses terjadinya aliran debris sama dengan terjadinya *debris avalanche*. Perbedaan terletak pada jumlah kadar air materialnya. Pada aliran debris, kadar air materialnya cukup besar sehingga membawa debris mengalir seperti cairan kental (*slurry*). Penyebab utama terjadinya aliran debris adalah curah hujan tinggi dan erosi permukaan yang besar. Aliran debris umumnya terjadi pada tebing-tebing sungai curam (*steep gullies*).

5.3.3 Pergerakan cepat

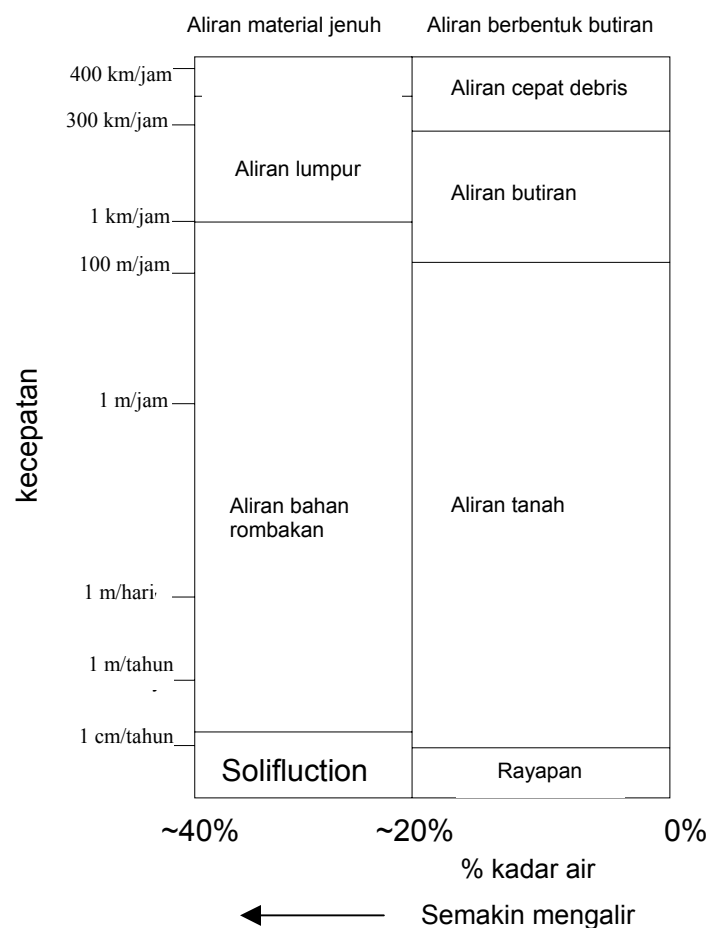
Pergerakan cepat terjadi selama > 0.3 m/menit serta terdiri dari:

- Debris avalanche
Debris avalanche adalah tipe perpindahan tanah/ batuan yang sangat cepat yang diawali dengan hancuran di sepanjang permukaan runtuh. Penyebab utamanya adalah rembesan air tanah yang besar, curah hujan tinggi, gempa bumi atau rayapan yang berkembang sedikit demi sedikit dari suatu perlapisan batuan. Umumnya keruntuhan terjadi tanpa didahului oleh tanda-tanda serta tidak terduga terjadinya dan dampak kerusakan yang ditimbulkannya pada daerah permukiman sangat parah. Umumnya debris *avalanche* terjadi pada tanah residual di daerah pegunungan yang berlereng curam.
- Jatuh bebas batuan (*rock falls*)
Jatuh bebas batuan mengakibatkan terbentuknya akumulasi batuan pada dasar jurang yang disebut juga talus (Gambar 5).



Gambar 12 Tipe jatuh bebas batuan (*rock fall*)

Beberapa jenis pergerakan dapat diidentifikasi melalui kadar air dan kecepatan pergerakan seperti ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13 Variasi tipe pergerakan berdasarkan hubungan kecepatan pergerakan dengan kadar air

Untuk memudahkan identifikasi di lapangan, Tabel 1 dapat digunakan untuk menjelaskan tipe gerakan tanah yang mungkin terjadi yang dikorelasikan dengan jenis batuan dasar. Klasifikasi pada Tabel 1 dapat dihubungkan dengan kecepatan perpindahan massa tanah/batuan, tingkat kerusakan bangunan jalan termasuk tindakan-tindakan yang sebaiknya dilakukan oleh para praktisi di lapangan (Tabel 2).

Tabel 1 Jenis tanah/batuan dan tipe gerakan yang mungkin terjadi

Geologi	Bentuk dan tipe keruntuhan lereng
Massa batuan (beku, sedimen ataupun lava)	<ul style="list-style-type: none"> - Runtuhan, baji dan jungkiran - Keruntuhan di sepanjang kekar (<i>joint</i>), rekahan, perlapisan - Luncuran bongkah (<i>block slide</i>)
Batuan metamorf (filit, slate, sekis)	Keruntuhan lereng di sepanjang struktur foliasi
Batuan sedimen berlapis <ul style="list-style-type: none"> • lapisan datar • lapisan miring • serpih dan lempung pantai 	<ul style="list-style-type: none"> - Pengaruh derajat pelapukan sangat tinggi - Rotasi, longsor di sepanjang bidang lapisan - Luncuran bidang di sepanjang bidang perlapisan - Luncuran bongkah lapisan akibat retakan - Rotasi
Tanah residual dan kolumial <ul style="list-style-type: none"> • lapisan tebal • lapisan tipis menumpang di atas lapisan batuan 	<ul style="list-style-type: none"> - Rotasi - Keruntuhan lereng debris, avalanche atau rayapan
Tanah alluvial <ul style="list-style-type: none"> • non kohesif • kohesif 	<ul style="list-style-type: none"> - Aliran atau rayap - Rotasi dan translasi

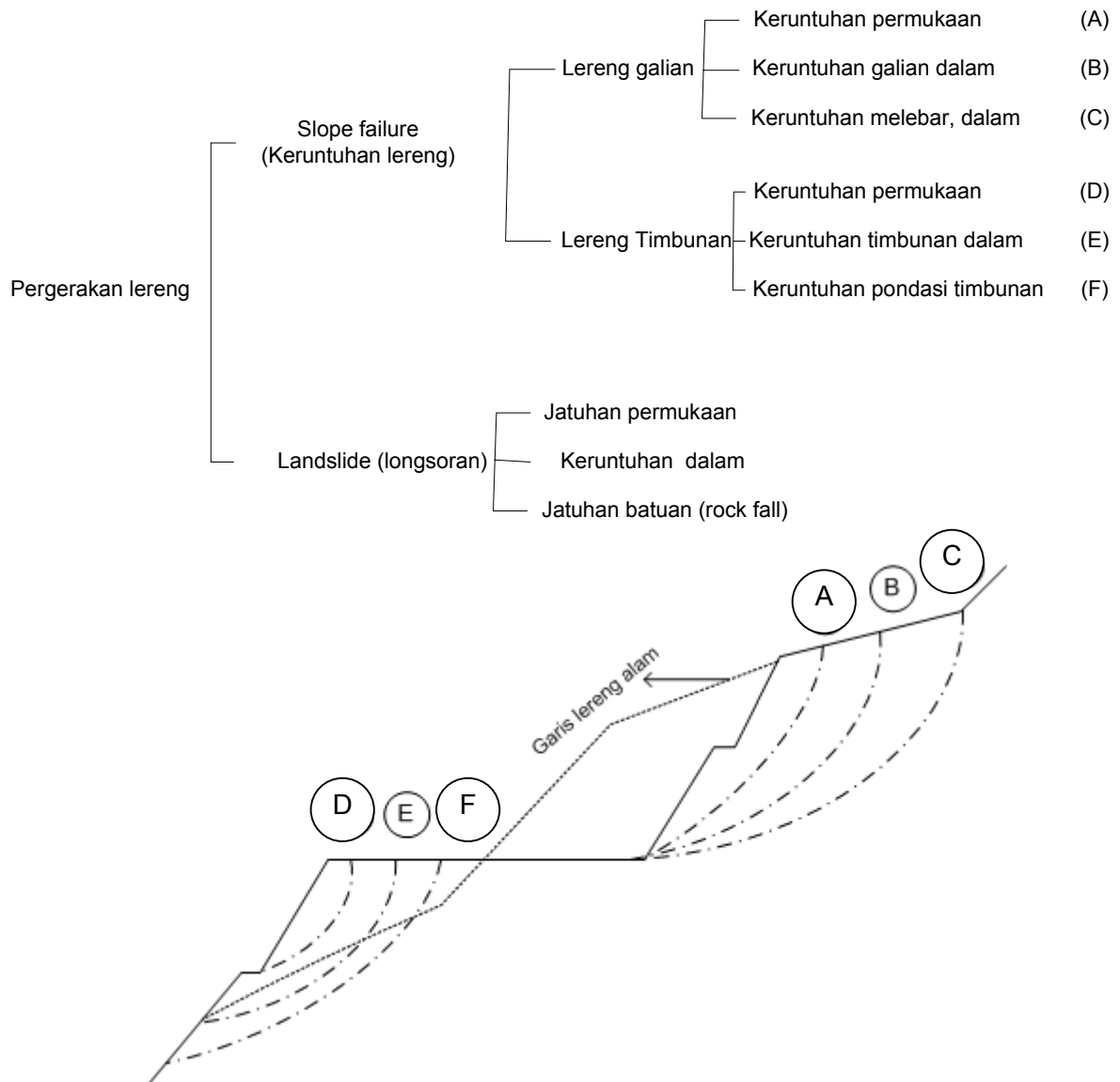
Tabel 2 Hubungan tipe keruntuhan lereng dengan kecepatan keruntuhan lereng, derajat kerusakan dan dampak terhadap jalan

Tipe gerakan	Klasifikasi kecepatan gerakan	Ukuran kecepatan perpindahan/satuan waktu	Tingkat kerusakan	Dampak dan saran penanganan terhadap bangunan jalan
Rayapan (Creep)	Sangat lambat	< 0,3m / 5th	Tidak perlu dikhawatirkan	Tidak nampak kerusakan pada badan jalan, bisa ditanggulangi melalui pemeliharaan rutin/periodik
	Lambat	0,3m / 5th – 1,5m / th	Perlu diperhatikan	Belum nampak kerusakan berarti, cukup mempertahankan fungsi jalan Pemeliharaan rutin/periodik
Gelincir (rotasi dan translasi)	Lambat	1,5m / th – 1,5m / bln	Timbul sedikit kerusakan	<input type="checkbox"/> Perlu perbaikan dan selama gerakan terjadi pekerjaan aman. <input type="checkbox"/> Lalu lintas sekali-kali ditutup selama perbaikan dan perlu pemeliharaan segera.
	Menengah	1,5m / bln – 1,5m / hari	Kerusakan sedang	<input type="checkbox"/> Perlu segera memperbaiki stabilitas badan jalan atau upaya pencegahan. <input type="checkbox"/> Keamanan pekerja agar dipantau
	Cepat	1,5m / hari – 0,3m / menit	Kerusakan serius	<input type="checkbox"/> Lereng secara keseluruhan dalam kondisi bergerak, perlu segera pengungsian <input type="checkbox"/> Jalan ditutup terhadap lalu lintas <input type="checkbox"/> Usaha perbaikan saat itu tidak dijamin keamanannya.
Avalanche dan aliran cepat	Sangat cepat	0,3m / menit – 3m / detik	Kerusakan sangat serius	Badan jalan hancur, usaha penyelamatan diri perbaikan masih dipertanyakan
	Amat sangat cepat	3m / detik – 100m / detik	Kerusakan hancur total	Jalan dan badan jalan rusak total, tidak mungkin ada usaha penyelamatan diri.

5.4 Klasifikasi lereng

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):

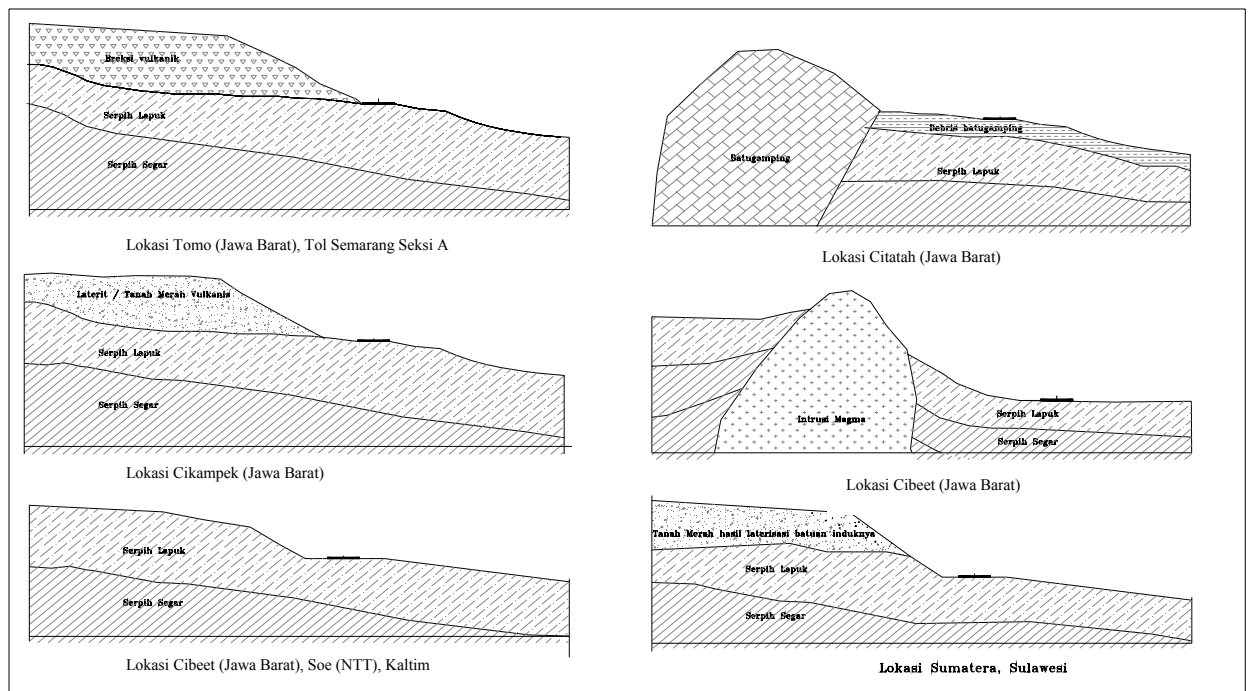


Gambar 14 Pergerakan lereng ditinjau dari jenis lerengnya

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.

Beberapa lereng serpih di Indonesia yang sering mengalami pergerakan setiap tahun dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Beberapa tipe lereng serpih yang sering mengalami pergerakan material

5.5 Beberapa penyebab ketidakmampuan lereng

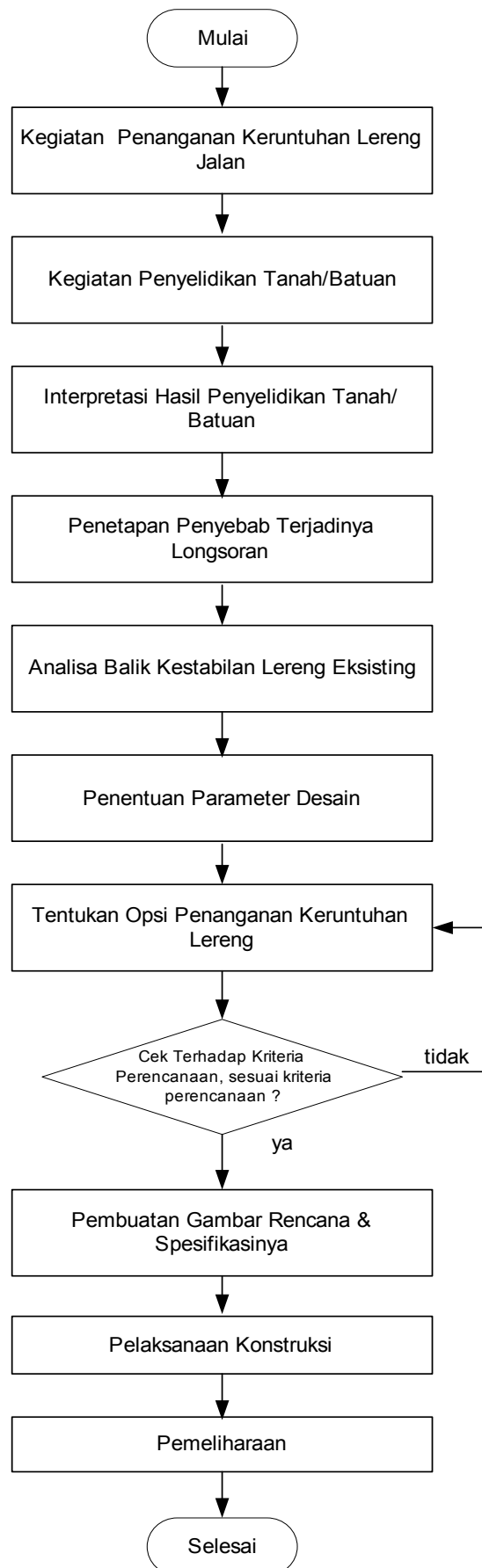
Secara umum, terdapat empat penyebab utama terjadinya ketidakmampuan lereng, yaitu :

- Kondisi tanah/batuan setempat
 - Lunak dan lemah, sensitif dan material telah lapuk
 - Adanya retakan, kekar dan patahan
 - Variasi sifat fisik (permeabilitas, plastisitas, mineral dan sebagainya)
- Morfologi
 - Pergerakan/pengangkatan permukaan tanah akibat gerak tektonik atau vulkanik aktif
 - Proses erosi (penggerusan lateral)
 - Proses penggerusan vertikal (*scouring*)
 - Penambahan beban tanah / tanah buangan di daerah puncak lereng
 - Pengupasan vegetasi akibat kekeringan atau kebakaran.
- Kondisi fisik di sekitar lereng
 - Hujan yang deras dan lama (banjir)
 - Drawdown yang cepat
 - Gempa bumi
 - Letusan gunung berapi
 - Kembang susut batuan lempeng marin
 - Tekanan artesis
- Ulah manusia (*man-made*)
 - Penggalan di kaki lereng
 - Penambahan beban di bagian atas lereng
 - Penggundulan hutan
 - Adanya irigasi di bagian atas lereng
 - Adanya kegiatan penambangan
 - Air yang bocor dari utilitas (PDAM).

6 Tahapan umum penanggulangan keruntuhan lereng

Keberhasilan dalam penanggulangan keruntuhan lereng tergantung kepada banyak hal, di antaranya keakuratan data hasil penyelidikan, ketajaman dalam mengidentifikasi penyebab keruntuhan lereng dan menemukan pola bidang gelincir, pemilihan analisis kestabilan lereng serta opsi penanggulangan yang tepat.

Tahapan pekerjaan penanggulangan keruntuhan lereng secara umum dapat dilihat pada Gambar 16.



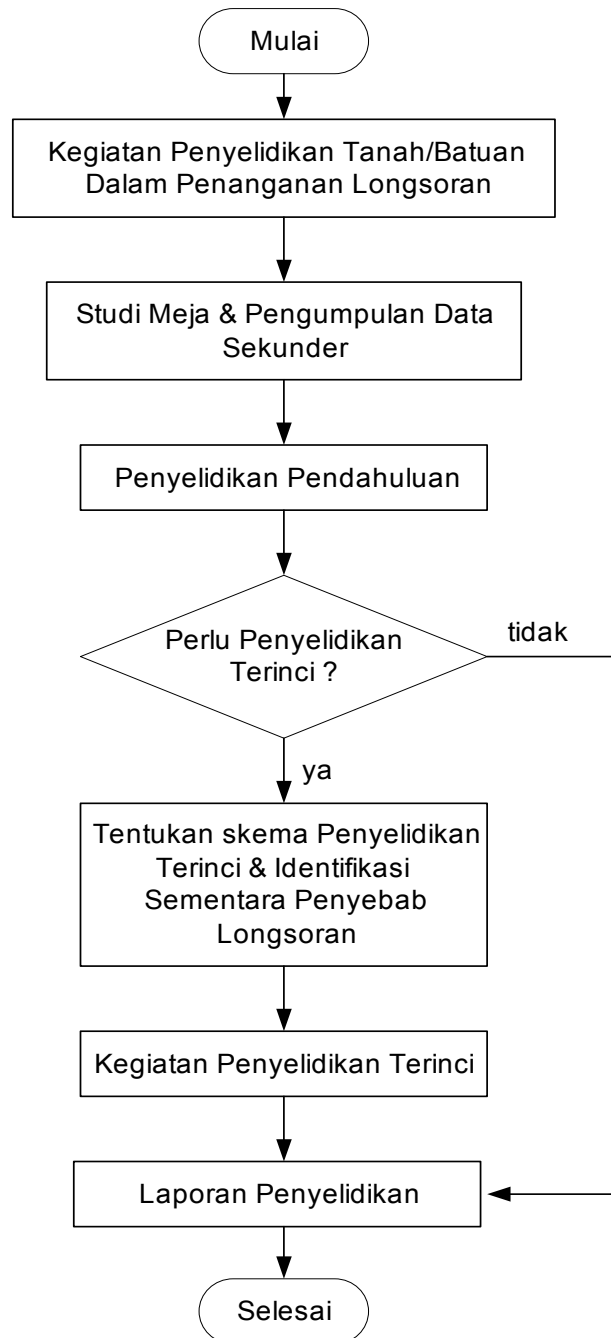
Gambar 16 Bagan alir tahapan umum pekerjaan penanggulangan keruntuhan lereng

7 Penyelidikan tanah dan batuan

7.1 Tahapan penyelidikan

Usaha penanggulangan akan berhasil dengan baik apabila perencanaannya didukung oleh data hasil penyelidikan dan pengujian yang baik. Data yang dihasilkan akan baik jika dilakukan melalui tahap-tahap penyelidikan yang benar.

Tahap penyelidikan geoteknik di daerah gerakan tanah terdiri dari studi meja, penyelidikan pendahuluan dan penyelidikan terinci. Penyelidikan yang dilakukan mencakup pengujian di lapangan dan laboratorium. Urutan tahap penyelidikan diperlihatkan di dalam bagan alir pada Gambar 17.



Gambar 17 Bagan alir penyelidikan penanggulangan keruntuhan lereng

7.1.1 Studi meja

Studi meja dibutuhkan untuk menunjang pelaksanaan pekerjaan penyelidikan. Kegiatan yang dilakukan dalam studi meja adalah pengumpulan dan evaluasi data yang tersedia. Data yang dikumpulkan dan dievaluasi dapat berupa peta topografi, peta geologi, foto udara, peta tata guna lahan, data curah hujan dan laporan evaluasi teknis yang pernah dibuat sebelumnya, khususnya mengenai daerah keruntuhan lereng. Dari pengumpulan dan evaluasi dapat diperoleh gambaran umum daerah gerakan tanah. Data-data tersebut akan dibahas satu per satu sebagai berikut:

- peta topografi;

Peta topografi memberikan gambaran mengenai kemiringan lereng, relief, kerapatan sungai, pola aliran, ketinggian dan bentuk morfologi. Peta topografi juga dapat menafsirkan tingkat erosi suatu daerah.

Hal-hal yang dapat mengakibatkan keruntuhan lereng pada tebing jalan raya, jalan kereta api, tebing penggalian batu dan tebing saluran perlu didata karena kemungkinan tidak akan terlihat di dalam peta topografi skala kecil. Gabungan antara kerapatan sungai dan kemiringan lereng pada peta topografi akan memberikan data yang lebih baik. Umumnya daerah yang berkerapatan sungai tinggi mempunyai kecenderungan longsor lebih besar.

Peta topografi dapat diperoleh di Bakosurtanal dan Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi dengan skala 1:25.000 atau 1:50.000 atau 1:100.000 atau 1:200.000.

- peta geologi;

Peta geologi dapat memberikan gambaran geologi seperti sebaran batuan baik vertikal maupun lateral, struktur geologi dan sejarah geologi. Peta geologi dengan skala 1:100.000 dapat diperoleh di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Salah satu contoh pengaruh stratigrafi terhadap gerakan tanah adalah kedudukan antara lapisan. Keruntuhan lereng dapat terjadi pada bidang kontak antara endapan koluvial dan batu lempung. Koluvial mempunyai sifat yang mudah meluluskan air, sehingga air hujan yang jatuh akan meresap dan tertahan oleh lempung. Akibatnya permukaan lempung menjadi licin dan dapat berfungsi sebagai bidang longsor.

Struktur geologi yang berpengaruh terhadap gerakan tanah adalah lipatan, sesar dan kekar. Kekar dapat terbentuk bersamaan dengan proses persesaran dan perlipatan. Daerah di sepanjang zona sesar merupakan daerah yang tidak stabil atau labil sehingga mudah mengalami proses pelapukan dan perembasan air. Akibatnya daerah ini menjadi tidak mantap dan mudah longsor.

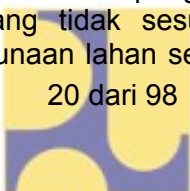
- foto udara;

Foto udara dapat diinterpretasikan dan data yang dihasilkan dapat digunakan untuk menentukan penyelidikan gerakan tanah. Dari interpretasi tersebut akan diperoleh sebaran, jenis, tempat gerakan tanah dan potensi yang membahayakan bangunan. Dengan mengetahui hal-hal tersebut akan diperoleh sasaran yang lebih sempit, sehingga penyelidikan dapat direncanakan dengan tepat.

Data lain juga dapat diidentifikasi dari penafsiran foto udara seperti jenis batuan, struktur geologi, tingkat erosi, dan pola tata salir. Foto udara ini sangat disarankan sekali untuk kasus keruntuhan lereng skala besar. Cara mendapatkan foto udara ini bisa menghubungi Bakosurtanal atau untuk daerah yang banyak mengalami perubahan terain perlu dilakukan foto udara ulang melalui konsultan-konsultan penyedia foto udara.

- Tata guna lahan;

Tata guna lahan dapat dipelajari dari peta tata guna lahan yang tersedia. Dari peta tata guna lahan dapat diketahui sejauh mana pengaruh penggunaan lahan terhadap gerakan tanah. Penggunaan lahan yang tidak sesuai dapat menjadi penyebab terjadinya gerakan tanah. Misalnya penggunaan lahan sebagai sawah atau kolam. Sebagai bahan



pembandingan perlu dipelajari riwayat tata guna lahan dari beberapa versi peta tata guna lahan berdasarkan tahun pembuatannya. Peta tata guna lahan bisa didapat di Bakosurtanal.

- Curah hujan;

Data curah hujan diperlukan untuk merencanakan dimensi saluran drainase dan analisis hidrologi lereng. Data curah hujan yang diperlukan minimal adalah hujan 10 tahunan. Data curah hujan dapat diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika.

- Data pelengkap teknis lainnya

Data sekunder dapat berupa riwayat Keruntuhan dan penanganan terdahulu, data analisis dan desain terdahulu serta gambar rencananya. Data ini bisa diperoleh di P3JJ atau Dinas Binamarga setempat.

Apabila konstruksi penanggulangannya berhasil dan akan digunakan sebagai model, maka tidak diperlukan penyelidikan mendetail lagi. Sebaliknya, apabila penanggulangan tersebut tidak berhasil, maka perlu dilakukan penyelidikan mendetail, untuk mengetahui adanya faktor-faktor yang belum diperhitungkan dalam perencanaannya.

7.1.2 Penyelidikan pendahuluan

Penyelidikan pendahuluan dimaksudkan untuk mendapat penjelasan umum daerah keruntuhan. Ruang lingkup penyelidikan meliputi luas daerah yang dimaksud, jenis keruntuhan, kedalaman bidang keruntuhan, penyebab keruntuhan lereng dan jika mungkin keaktifannya.

Jika tersedia, metode penanggulangan yang telah berhasil diterapkan di lokasi tersebut perlu juga dipelajari. Hal ini penting sebagai bahan pertimbangan untuk menentukan langkah penanggulangannya.

1) Rekonesan

Meliputi pengamatan visual (ciri, jenis dan penyebab keruntuhan lereng) dilakukan untuk memperoleh pemerian umum. Berdasarkan pemerian umum tersebut diharapkan dapat diambil keputusan untuk tahap pekerjaan berikutnya. Untuk kasus-kasus tertentu dengan dasar pemerian umum, dapat dibuat perencanaan untuk penanggulangan keruntuhan lereng, juga merupakan titik tolak untuk menentukan tahap pekerjaan berikutnya yaitu penyelidikan mendetail. Formulir selengkapny dapat dilihat pada Lampiran B.

2) Survei lapangan

Pada tahap penyelidikan pendahuluan dapat dilakukan pekerjaan yang meliputi pemetaan topografi, pemetaan geologi teknik, pendugaan geofisika, penggalian sumur dan parit uji; dan pengamatan visual (ciri, jenis, penyebab keruntuhan lereng), yang dibahas sebagai berikut:

- Pemetaan situasi dibutuhkan sebagai peta dasar untuk penyelidikan selanjutnya. Oleh karena itu peta situasi harus dapat memberikan gambaran keadaan lapangan di daerah keruntuhan lereng dengan baik. Di samping itu, peta ini dipakai pula dalam pekerjaan desain. Sebagai kelengkapan dilakukan pula pengukuran penampang/profil pada lokasi-lokasi yang dipandang perlu, terutama as keruntuhan lereng, as jalan dan as saluran drainase. Untuk keperluan perencanaan dan penyelidikan yang lebih mendetail perlu dilakukan pengukuran peta situasi dengan skala antara 1:200 sampai 1:500. Pengukuran ini juga disertai dengan pembuatan penampang melintang (khususnya untuk as keruntuhan lereng) dan penampang memanjang (as jalan, saluran-saluran drainase) melalui tempat-tempat yang dibutuhkan.

- Pemetaan geologi teknik dibutuhkan untuk mengetahui jenis dan sebaran batuan dan struktur geologi, juga mencakup proses geologi yang berkaitan dengan keruntuhan lereng dan prakiraan tata air tanah di daerah penyelidikan.
- Pendugaan geofisika didasarkan pada prinsip pengukuran sifat fisika tanah/batuan. Pekerjaan ini dilakukan dengan metode seismik dan geolistrik. Untuk keperluan praktis dengan harga yang relatif murah dapat digunakan metode geolistrik. Dari kedua cara tersebut dapat diperoleh data bawah permukaan, seperti susunan lapisan tanah/batuan, kondisi air tanah dan pendugaan kedalaman bidang keruntuhan lereng. Metode ini digunakan untuk keruntuhan lereng yang mencakup daerah yang luas, dengan keuntungan biaya yang relatif murah dan hasil bisa segera diperoleh. Untuk ketepatan hasil pendugaan dilakukan pembuatan sumur uji.
- Sumur dan parit uji digunakan untuk mengetahui keadaan bawah permukaan, terutama tanah, dengan cara membuat galian baik secara manual maupun masinal. Dari penggalian sumur dan parit uji ini dilakukan pengambilan contoh tanah dan batuan untuk pengujian di laboratorium dan dapat pula dilakukan pengujian lapangan.

7.1.3 Penyelidikan detail

Dari hasil penyelidikan detail diharapkan akan diperoleh perian yang mendetail secara kuantitatif mengenai data lapangan dan data laboratorium. Pemerian detail tersebut meliputi hal yang telah tercakup dalam pemerian umum dan dilengkapi dengan parameter geoteknik seperti yang terlihat pada Tabel 3 untuk digunakan di dalam analisis dan pemilihan cara penganggulangannya. Untuk melaksanakan penyelidikan detail sesuai dengan pemerian umum yang diperoleh, perlu disusun program penyelidikan detail yang antara lain meliputi pemboran di lapangan, pengujian di laboratorium, penyelidikan geohidrologi dan pemetaan kerentanan keruntuhan lereng.

Tabel 3 Macam pengujian laboratorium & lapangan serta aplikasinya

Macam Pengujian	Tanah		Batuan	Aplikasi	
	Berkoheesi	Tak Berkoheesi			
A. laboratorium					
1. Berat isi	o	o	o	S I F A T F I S I K	Perhitungan tekanan
2. Kadar air	o	o	o		Klasifikasi dan konsistensi
3. Batas – batas Atterberg	o	-	-		Klasifikasi dan korelasi sifat – sifat tanah
4. Batas susut	o	-	-		Potensi pengembangan Pemadatan
5. Kepadatan relatif	-	o	-		Klasifikasi, taksiran
6. Analisis butir	o	o	-		kelulusan tanah dandisain filter dll
7. Mineralogi	o	-	o		Identifikasi
8. Kelekangan (Durability)	-	-	o		Identifikasi
1. Geser Langsung	o	o	o	S I F A T M E K A N I K	Analisis kemantapan lereng
2. Triaksial	o	o	o		Sda
3. Ring Shear	o	-	o		Sda
4. kelulusan air	o	o	-		Analisis drainase penentuan lapisan pembawa air/lapisan porous
5. pemadatan	o	o			Kontrol pemadatan, analisis kemantapan lereng
B. Lapangan					
1. Sondir	o	o			Analisis kemantapan lereng
2. SPT	o	o			Analisis kemantapan lereng
3. Geolistrik	o	o	o		Stratifikasi lereng

Keterangan : o perlu diuji; - tidak perlu

Pemboran dimaksud untuk mendapatkan contoh dan penampang tanah/batuan. Dari contoh yang diperoleh akan dapat diketahui jenis tanah/batuan bawah permukaan secara pasti. Agar dapat diperoleh hasil yang baik, pekerjaan pemboran memerlukan peralatan yang baik dan pelaksana yang terampil.

Pengujian di lapangan dilakukan untuk mendapatkan sifat teknis tanah/batuan pada keadaan aslinya dan membuat penampang tanah/batuan. Pengujian ini dilakukan karena pengujian di laboratorium terhadap contoh yang diambil tidak dapat mewakili keadaan sebenarnya di lapangan. Pengujian di lapangan mencakup uji penetrasi standar (SPT, dilakukan per-2 m), coring menerus dan sondir (dibaca serapat mungkin). Pengujian sondir dapat dilakukan jika lapisan bidang gelincir relatif tanahnya lunak sampai kaku. Pengujian sondir ini sifatnya

sebagai pelengkap untuk penentuan stratifikasi lereng, terutama sekali jika kondisi yang memungkinkan karena jumlah titik bor terbatas.

Pengujian di laboratorium dilakukan dengan tujuan untuk identifikasi dan mengetahui sifat teknisnya. Jenis pengujian di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 3. Prosedur pengujian hendaknya menggunakan cara yang sudah baku dan umum dilakukan.

Penyelidikan geohidrologi dilakukan untuk mengetahui kondisi air dan pengaruhnya terhadap keruntuhan lereng. Pemetaan kerentanan keruntuhan lereng dilakukan untuk membagi daerah longsor berdasar tingkat kerentanannya. Tingkat kerentanan terbagi menjadi daerah kerentanan rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Peta ini berguna untuk melokalisasi daerah penyelidikan misalnya untuk penentuan lintasan jalan, lintasan saluran dan pemukiman.

Dari hasil penyelidikan terinci dapat dievaluasi penanggulangannya yang tepat. Bila data penyelidikan terinci belum memadai, maka perlu dilakukan penyelidikan tambahan.

Setelah menentukan tipe penanggulangan, maka dibuat desain penanggulangan yang meliputi dimensi dan kemantapan. Dalam pelaksanaan penanggulangan harus memperhatikan desain yang telah ditetapkan, teknik pelaksanaan yang tepat dan faktor – faktor lain yang dapat mempengaruhi keberhasilan penanggulangan.

7.2 Penentuan dan fungsi instrumentasi

Pemasangan instrumen di daerah gerakan tanah dimaksud untuk memantau alihan di permukaan/di bawah permukaan, beban dan tekanan. Jenis Instrumen yang umum dipasang di daerah gerakan tanah dapat dilihat pada Tabel 4.

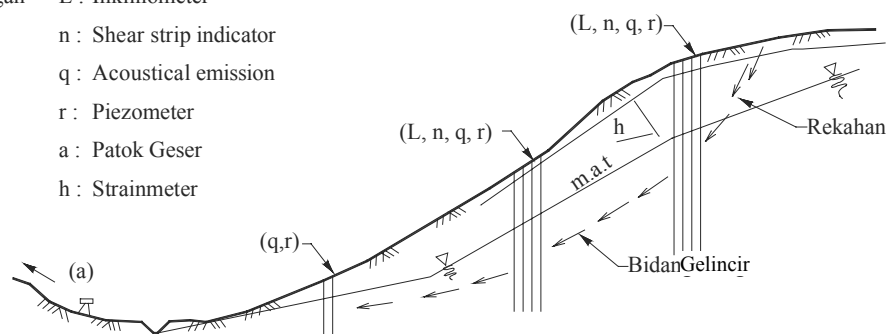
Penentuan jenis instrumen yang akan dipasang tentunya harus disesuaikan dengan tujuan pengamatannya. Gambar 19 memperlihatkan jenis instrumen dan tempat pemasangannya di daerah gerakan tanah. Dengan memasang instrumen dapat diketahui gerakan yang mungkin terjadi dan berguna untuk sistem peringatan dini atau analisis selanjutnya.

Tabel 4 Instrumentasi di daerah gerakan tanah

Tujuan Pengamatan	Instrumen	Material	
		Tanah	Batu
Gerakan di permukaan	1. Patok geser	o	o
	2. Strainmeter	o	o
Gerakan di bawah permukaan	1. Inklinometer	o	o
	2. Shear strip indicator	o	o
	3. Acoustical emission	o	o
Beban dan tekanan	1. Piezometer	o	o
	2. Strainmeter	-	o

Keterangan : o = diperlukan
- = tidak diperlukan

Keterangan L : Inklinometer
n : Shear strip indicator
q : Acoustical emission
r : Piezometer
a : Patok Geser
h : Strainmeter



Gambar 18 Skema pemasangan Instrumen di daerah gerakan tanah

8 Metode perencanaan

8.1 Kriteria perencanaan dan pembebanan

Kriteria perencanaan untuk pekerjaan penanggulangan keruntuhan lereng meliputi faktor keamanan dan pembebanan. Penentuan nilai faktor keamanan yang direkomendasikan dijelaskan pada sub pasal faktor keamanan. Pembebanan yang diperhitungkan dalam perencanaan adalah beban lalu lintas dan beban gempa. Beban lalu lintas ditambahkan pada seluruh lebar permukaan jalan sedangkan besarnya ditentukan berdasarkan kelas jalan berdasarkan Tabel 5 berikut.

Tabel 5 Beban lalu lintas untuk analisis stabilitas

Kelas Jalan	Beban lalulintas (kPa)	Beban diluar jalan ^(*) (kPa)
I	15	10
II	12	10
III	12	10

Keterangan :

(*) Beban dari bangunan rumah-rumah sekitar lereng

Pengaruh beban gempa diikutsertakan jika lereng keruntuhan lereng berada pada area bangunan dengan kepentingan yang strategis. Penentuan data zona gempa terbaru yang digunakan dalam perencanaan di Indonesia dapat mengacu pada SNI-T14-1990-03. Dalam standar tersebut disebutkan bahwa percepatan gempa diperoleh dengan menghubungkan zona gempa dengan tipe tanahnya serta frekuensi dasar (*fundamental frequency*) bangunan. Dalam hal ini, beban siklis yang ditimbulkan oleh beban gempa akan mengurangi kuat geser tanah residual.

8.2 Faktor keamanan

Secara umum faktor keamanan suatu lereng merupakan perbandingan nilai rata-rata kuat geser tanah/batuan di sepanjang bidang keruntuhan kritisnya terhadap beban yang diterima lereng di sepanjang bidang keruntuhannya.

Nilai faktor keamanan yang sesuai dengan bidang keruntuhannya juga perlu mempertimbangkan akibat yang ditimbulkannya, yaitu korban jiwa atau kehilangan secara ekonomi. Tabel 6 memperlihatkan nilai faktor keamanan yang direkomendasikan dengan memperhitungkan adanya korban jiwa maupun kehilangan secara ekonomi.

Pada tabel tersebut terdapat tiga kategori resiko untuk masing-masing kasus, yaitu *dapat diabaikan*, *rendah* dan *tinggi*. Ketiga kategori merefleksikan perkiraan kehilangan/kerugian yang mungkin timbul pada setiap peristiwa keruntuhan lereng. Kategori resiko ekonomi merefleksikan perkiraan besaran kehilangan secara ekonomi pada saat terjadinya keruntuhan. Contoh tipikal situasi keruntuhan lereng untuk masing-masing kategori diperlihatkan di dalam **Tabel 7** dan 8.

Perlu ditekankan bahwa faktor keamanan terhadap resiko kehilangan secara ekonomi dan contoh tipikal dari keruntuhan lereng dalam setiap resiko kehilangan secara ekonomi hanyalah sebagai tuntunan belaka. Peristiwa keruntuhan ini hanya merupakan pernyataan umum dan tidak mencakup setiap peristiwa keruntuhan lereng. Sangatlah penting bahwa seorang perencana memilih suatu keseimbangan yang dapat diterima antara kehilangan secara ekonomi yang berpotensi terjadi pada setiap kejadian keruntuhan lereng dan jumlah biaya konstruksi yang akan bertambah untuk memperoleh nilai faktor keamanan yang lebih besar.

Keruntuhan lereng yang termasuk ke dalam kategori 'beresiko tinggi terhadap kehidupan' tidak dapat ditoleransi meskipun kondisi kritis muka airnya jarang terjadi. Meskipun nilai faktor keamanan lerengnya 1,4, jika beresiko tinggi terhadap keselamatan orang-orang disekitarnya maka harus diubah menjadi 1.1 berdasarkan hasil prediksi kondisi air tanah terburuk.

Pada area kuari atau proyek '*site formation*' atau proyek bahan tambang, nilai faktor keamanan yang diadopsi untuk desain suatu lereng juga harus mempertimbangkan penggunaan area tersebut di masa depan, serta keleluasan yang dilakukan pada saat menghitung beban-beban tambahan yang timbul akibat adanya proyek tersebut. Jika penggunaan area di masa yang akan datang tidak dapat diperkirakan, maka dapat diasumsikan bahwa lahan tersebut akan digunakan sebagai area permukiman penduduk.

Tabel 6 Rekomendasi nilai faktor keamanan untuk lereng

Resiko terhadap nyawa manusia		Rekomendasi nilai faktor keamanan terhadap resiko kehilangan nyawa manusia		
		Tak diperhatikan	Rendah	Tinggi
Rekomendasi nilai faktor keamanan terhadap resiko kehilangan secara ekonomis	Diabaikan	1.1	1.2	1.5
	Rendah	1.2	1.2	1.5
	Tinggi	1.4	1.4	1.5
Catatan : 1. Meskipun nilai faktor keamanan lerengnya 1,4, jika beresiko tinggi terhadap keselamatan orang-orang disekitarnya maka harus diubah menjadi 1.1 berdasarkan hasil prediksi kondisi air tanah terburuk. 2. Faktor keamanan yang tercantum di dalam tabel ini adalah nilai-nilai yang direkomendasikan. Faktor keamanan yang lebih tinggi atau lebih rendah mungkin saja terjamin keamanannya pada situasi-situasi khusus dalam hubungannya dengan resiko kehilangan secara ekonomis.				

Pada kasus keruntuhan atau lereng yang rusak dan akan runtuh, penyebab keruntuhan atau kerusakan lereng tersebut harus diidentifikasi secara detail dan dijadikan acuan dalam desain pekerjaan perbaikan.

Tabel 7 Contoh-contoh tipikal keruntuhan lereng untuk masing-masing kategori yang beresiko terhadap nyawa manusia

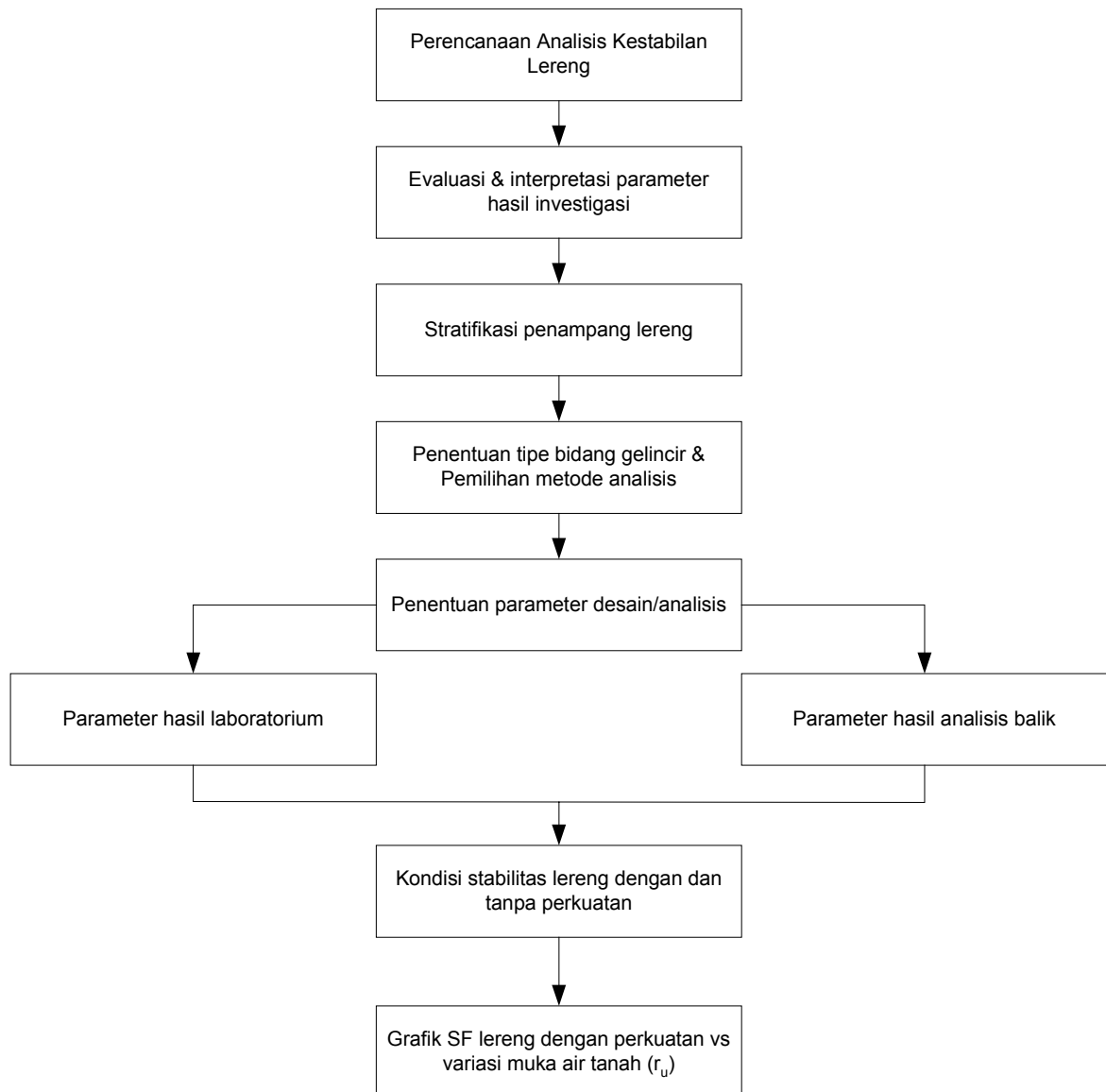
Contoh-contoh kondisi	Resiko terhadap nyawa manusia		
	Tak diperhatikan	Rendah	Tinggi
(1) Keruntuhan berpengaruh pada suatu taman-taman rekreasi udara terbuka dengan intensitas pemakaian yang jarang	√		
(2) Keruntuhan berpengaruh pada jalan raya dengan kepadatan lalu lintas rendah.	√		
(3) Keruntuhan 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, stasion 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.			√

Tabel 8 Contoh-contoh tipikal keruntuhan lereng untuk masing-masing kategori yang beresiko secara ekonomis

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 layanan untuk waktu yang panjang.			√
(8) Keruntuhan berpengaruh pada bangunan-bangunan yang dapat mengakibatkan kerusakan struktural yang parah.			√

8.3 Analisis kestabilan lereng

Secara umum tahapan analisis kestabilan lereng adalah evaluasi dan interpretasi parameter hasil investigasi, penentuan stratifikasi lereng, penentuan tipe bidang gelincir dan pemilihan metode analisis, penentuan parameter desain/analisis, serta analisis stabilitas kondisi lereng dengan dan tanpa penanganan. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 19 berikut.



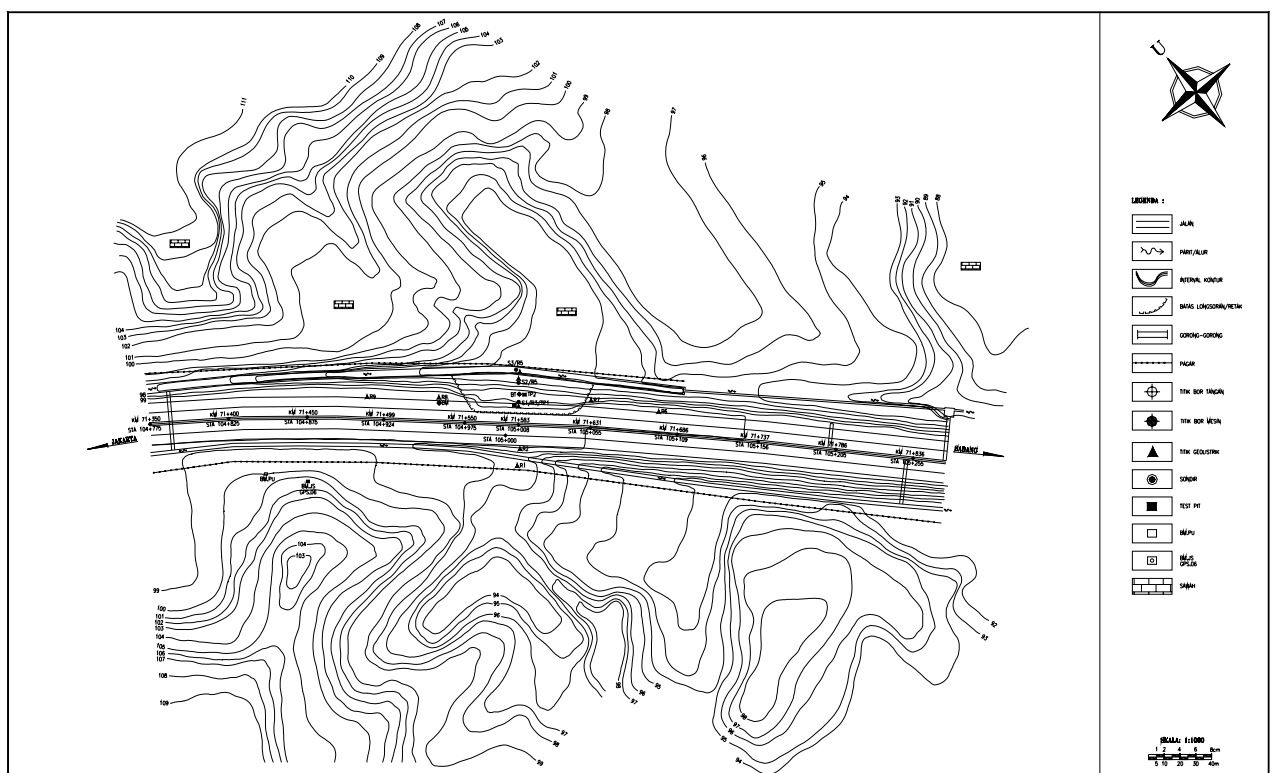
Gambar 19 Diagram tahapan analisis kestabilan lereng

8.3.1 Evaluasi dan interpretasi parameter

Tahapan ini menjelaskan evaluasi kondisi detail topografi, geologi, kekuatan geser, kondisi muka air dan beban-beban eksternal yang dibutuhkan untuk analisis stabilitas lereng.

1) Topografi

Data 'site plan' yang akurat harus memperlihatkan posisi dari titik uji (bor, sondir, geolistrik dll.), area retakan, area lokasi kekar, juga lokasi dari potongan melintang lereng yang akan dianalisis. Pada potongan melintang, survey harus dilakukan sedetail mungkin sehingga memungkinkan penggambaran pada skala yang cukup besar dan terbaca dimensinya dengan akurasi sekitar 1 meter, umumnya cukup digunakan skala 1:100. Skala yang lebih besar yaitu 1:50 atau 1:20, kemungkinan diperlukan untuk mendapatkan dimensi yang lebih akurat pada analisis stabilitas lereng dengan ketinggian kurang dari 10 meter.



Gambar 20 Contoh peta situasi kasus keruntuhan lereng

2) Geologi

Kedalaman pelapukan, adanya lapisan colluvium atau timbunan serta adanya struktur yang segar dan batuan yang mengalami pelapukan harus diketahui dari hasil penyelidikan pada permukaan dan dalam tanah.

Untuk kebutuhan analisis, data geologi harus diinterpretasikan secara normal pada kondisi pelapisan atau per-zona material dengan karakteristik teknis yang memiliki kemiripan dalam bentuk peta geologi lokal. Detail kondisi geologi pada lokasi yang tersedia untuk analisis biasanya didasarkan pada jumlah data yang sedikit, dimana seringkali terbuka untuk hasil interpretasi yang lebih dari satu, dan suatu area yang mungkin terjadi harus dipertimbangkan ketika analisis stabilitas dilakukan. Struktur geologi yang diasumsikan untuk desain ditampilkan pada potongan melintang lereng.

3) Kuat geser

Untuk lereng yang belum mengalami keruntuhan, kekuatan geser material pembentuk lereng digambarkan pada kondisi parameter efektifnya (c' dan ϕ'). Parameter efektif tersebut ditentukan dari hasil tes triaksial CU pada sampel tanah yang mewakili material matriknya (tanah residual dan batuan yang mengalami pelapukan) serta pada bidang lemahnya (kekar). Sampel tersebut harus diuji pada tegangan yang besarnya mendekati tegangan lapangannya, serta harus berada pada kondisi jenuh.

Sedangkan untuk lereng yang sudah mengalami keruntuhan, kekuatan geser material pembentuk lereng menggunakan parameter kondisi residualnya atau kuat geser sisanya. Cara mendapatkan parameter yaitu dengan alat ring-shear, atau dapat pula menggunakan alat uji geser langsung (*direct shear*) pada sampel remoldednya, dimana nilai kuat geser diambil saat kondisi sampel tanah digeser untuk kedua kalinya setelah mengalami pergeseran pertama.

Kekuatan geser material tidak jenuh secara substansial umumnya lebih besar daripada material tersebut ada pada kondisi jenuh. Meskipun demikian, kondisi yang mendekati jenuh dapat dicapai pada kondisi lereng yang bervegetasi serta pada permukaan yang dilindungi, kecuali jika lereng secara efektif telah terlindung sedemikian rupa baik dari efek infiltrasi secara langsung maupun tidak langsung. Karena itu adanya hisapan tanah (*soil suction*) tidak harus secara umum diandalkan dalam desain sebagai faktor yang berkontribusi stabilitas lereng untuk jangka waktu yang lama.

4) Kondisi air tanah

Tinggi muka air selama periode observasi tidak sepenuhnya memperlihatkan level puncak yang akan terjadi selama periode hujan rencana. Karena itu, estimasi harus dibuat pada area yang lebih lebar daripada tinggi muka air tanah dalam lereng yang akan meningkat sebagai respon terhadap kejadian hujan dan faktor-faktor lain.

Sebagai tambahan, lereng dengan kategori beresiko tinggi terhadap jiwa manusia di sekitarnya, harus dicek untuk memperkirakan sensitivitas kestabilannya pada level muka air di atas posisi yang diprediksi sebelumnya. Hal ini mengharuskan perencana untuk mempertimbangkan prediksi kondisi muka air tanah terburuk karena kondisi terburuk merupakan penyebab utama kegagalan kemampuan layan, seperti tersumbatnya filter atau saluran drainase, terutama pada kondisi hujan yang sangat deras serta terisinya 'tension crack' dan kekar. Tinggi prediksi muka air tanah yang akan digunakan dalam analisis stabilitas kondisi terburuk harus diperlihatkan pada gambar potongan melintangnya.

Pada lereng batuan, tekanan air maksimum kemungkinan terbentuk selama terjadinya hujan yang sangat lebat sebagai akibat dari adanya 'tension crack' atau kekar terbuka yang terisi penuh dengan air. Tekanan air pada celah-celah kekar harus diperhitungkan menjadi maksimum pada dasar dari 'tension crack', kemudian menurun mendekati nilai nol pada kekar di permukaan lereng. Tekanan air pada tiap kekar pada massa batuan akan bervariasi, tekanan yang terukur oleh piezometer hanya akan relevan bila adanya perpotongan dari letak kekar dengan filter yang mengelilingi ujung piezometer. Hal ini ditentukan jika letak filter berpotongan pada kekar tunggal.

Kebocoran pada fasilitas pengairan seperti saluran pembuangan air kotor, air hujan dan saluran-saluran utama dari suatu jaringan drainase, yang dapat menyebabkan terjadinya penjuhan dan meningkatnya tinggi muka air tanah. Hal-hal seperti ini harus diperhitungkan dalam desain.

5) Beban-beban luar

Beban-beban lalu lintas (lihat sub pasal 8.1), fondasi bangunan, dinding penahan tanah, pekerjaan peledakan (lereng batuan), pemancangan tiang dan lain-lain. Kegiatan-kegiatan yang mempengaruhi stabilitas suatu lereng harus disertakan pengaruhnya pada proses analisis, dengan nilai faktor keamanan yang mencukupi yang telah memasukkan

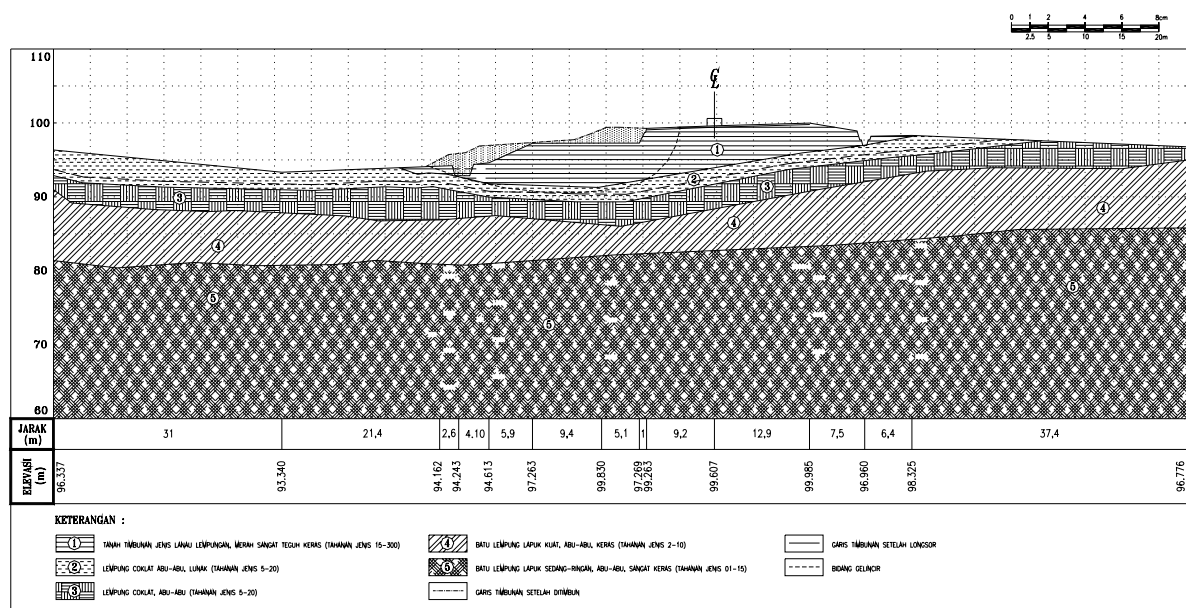
faktor-faktor beban tersebut. Jika beban luar akan dipertimbangkan pada analisis, gunakan metode analisis yang sesuai dengan kondisi ini.

8.3.2 Stratifikasi penampang lereng

Stratifikasi penampang lereng adalah suatu penampang yang menunjukkan urutan lapisan tanah/batuan sepanjang yang dikehendaki dari muka tanah sampai batas kedalaman penyelidikan berdasarkan jenis, sifat fisik dan teknik lapisan tanah/batuan. Penampang ini dihasilkan dari korelasi lapisan yang didapat dari beberapa penyelidikan berdasarkan jenis, sifat fisik dan teknik lapisan tanah/batuan. Penampang ini dihasilkan dari korelasi lapisan yang didapat dari beberapa penyelidikan pemboran mesian atau pemboran tangan. Gambaran dan bentuk lapisan tanah hasil korelasi dari titik – titik pemboran, sangat ditentukan oleh kondisi geologi setempat, jarak titik penyelidikan, metode penyelidikan, cara dan kecermatan pelaksanaan penyelidikan.

Stratifikasi penampang lereng dibuat pada sepanjang as keruntuhan lereng atau penampang lain yang dikehendaki dengan menggunakan peta geoteknik, peta topografi dan profil bor. Dalam mengkorelasi hasil penyelidikan terinci diperlukan latar belakang geologi daerah keruntuhan lereng. Penampang ini dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut :

- Menarik garis penampang pada peta geoteknik atau peta situasi daerah longsor, terutama garis penampang sepanjang as keruntuhan lereng yang memotong titik–titik penyelidikan maupun pengamatan.
- Mencantumkan profil bor yang telah dikoreksi dengan hasil pengujian laboratorium pada titik penyelidikan.
- Dari korelasi ketiga profil bor akan didapat penampang geoteknik daerah keruntuhan lereng yang didasarkan pada jenis dan sifat fisiknya.
- Kedalaman muka air tanah, baik muka air tanah bebas maupun muka air tanah artesis digambarkan pada penampang tersebut.
- Struktur batuan seperti kekar dan sebagainya digambarkan pada penampang tersebut.



Gambar 21 Contoh potongan melintang stratifikasi as keruntuhan lereng

8.3.3 Penentuan tipe bidang gelincir dan pemilihan metode analisis

Penentuan tipe bidang gelincir sangat penting sekali dalam tahapan analisis kestabilan lereng karena akan menjadi patokan dalam pemilihan metode analisis.

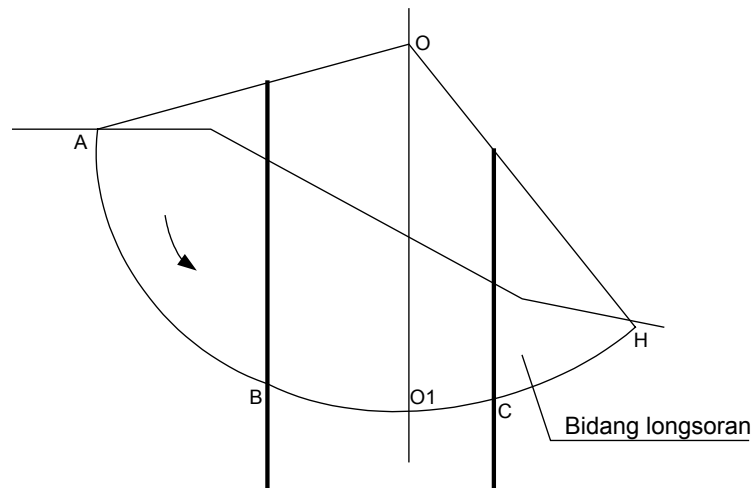
A. Penentuan tipe bidang gelincir

Penentuan tipe bidang gelincir dapat diperoleh melalui metode langsung dan tak langsung. Metode langsung dilakukan dengan memasang instrumen di lapangan dengan pipa PVC/unting-unting ataupun dengan inklinometer, lalu diamati pergerakannya. Sedangkan metode tak langsung dilakukan dengan melakukan analisis balik lereng yang dimodelkan.

Untuk menentukan tipe bidang gelincir dengan metode langsung pada penampang sepanjang as keruntuhan lereng, diperlukan minimal tiga titik instrumen yang menunjukkan letak atau kedalamannya. Salah satu dari ketiga titik tersebut biasanya diambil sebagai titik potong antara as keruntuhan lereng dengan retakan yang ada pada mahkota keruntuhan lereng. Dua titik lainnya didapat dari hasil pengamatan inklinometer atau pipa PVC/unting-unting. Untuk membantu penentuan bidang keruntuhan lereng di atas, perlu dievaluasi juga hal-hal sebagai berikut :

- data penampang geologi teknik lengkap, antara lain letak lapisan tanah yang terlemah.
- data pengujian laboratorium misalnya hubungan antara kadar air dan batas – batas Atterberg.
- data penyelidikan detail lainnya, misalnya Uji Penetrasi Standar.
- gejala–gejala lainnya yang terjadi di lapangan misalnya adanya tonjolan, mata air, patahan, vegetasi, rembesan dan sebagainya.

Letak/kedalaman bidang keruntuhan lereng diambil pada kedalaman dimana pipa PVC patah (tertahannya unting – unting tersebut) atau kedalaman pembacaan dengan perpindahan maksimum pada pembacaan dengan inklinometer. Setelah letak/kedalaman bidang keruntuhan lereng dari titik – titik penyelidikan diperoleh, selanjutnya dapat digambarkan bentuk bidang keruntuhan lereng dari titik – titik penyelidikan diperoleh. Dengan demikian, dapat digambarkan bentuk bidang keruntuhan lereng dan titik pusat serta sumbu putar bidang keruntuhan lereng (khusus untuk keruntuhan lereng rotasi), sebagai contoh lihat Gambar 22.



Keterangan :

A = Titik Potong Antara As Longsoran dengan Retakan Pada Mahkota Longsoran

B = Kedalaman Bidang Longsoran Pada Inklinometer I

C = Kedalaman Bidang Longsoran Pada Inklinometer II

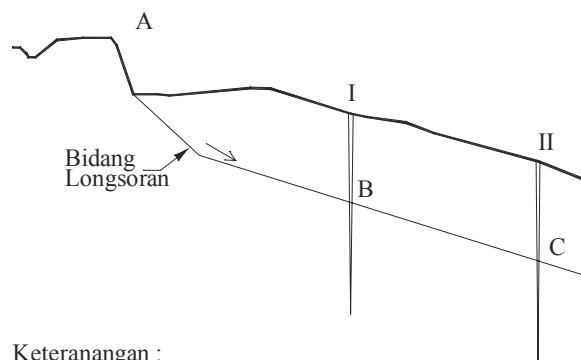
H = Tonjolan Ujung Kaki Longsoran

O = Titik Pusat Bidang Longsoran

0-0₁ = Bidang Netral

Gambar 22 Penentuan bidang keruntuhan lereng dengan jenis gerakan gelincir rotasi

Penentuan bidang keruntuhan lereng translasi pada prinsipnya sama dengan gelincir rotasi, sebagai contoh lihat Gambar 23.



Keterangan :

A = Titik Potong Antara As Longsoran dengan Retakan Pada Mahkota Longsoran

B = Kedalaman Bidang Longsoran Pada Inklinometer I

C = Kedalaman Bidang Longsoran Pada Inklinometer II

Gambar 23 Penentuan bidang keruntuhan lereng dengan jenis gerakan gelincir translasi

Selain mengikuti cara – cara di atas, penentuan letak/kedalaman bidang gelincir dapat dilakukan pula dengan cara grafis (metode HRB) sebagai berikut (lihat Gambar 24):

A dan A' = titik – titik yang diketahui sebelum longsor

C dan C' = titik – titik yang diketahui setelah longsor

O = mahkota longsor

Menentukan titik pusat rotasi O :

Hubungkan A dengan C

Hubungkan A' dengan C'

Titik B adalah titik tengah AC

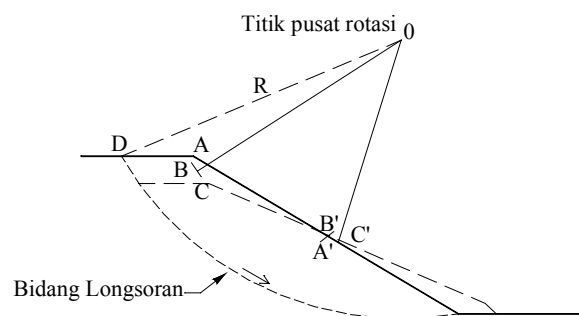
Titik B' adalah titik tengah A'C'

Tarik garis $BO \perp AC$

Tarik garis $B'O \perp A'C'$

Titik potong BO dan B'O merupakan titik pusat rotasi O

Kedalaman bidang keruntuhan lereng dapat ditentukan dengan cara memutar jari – jari lingkaran ($OD=R$).



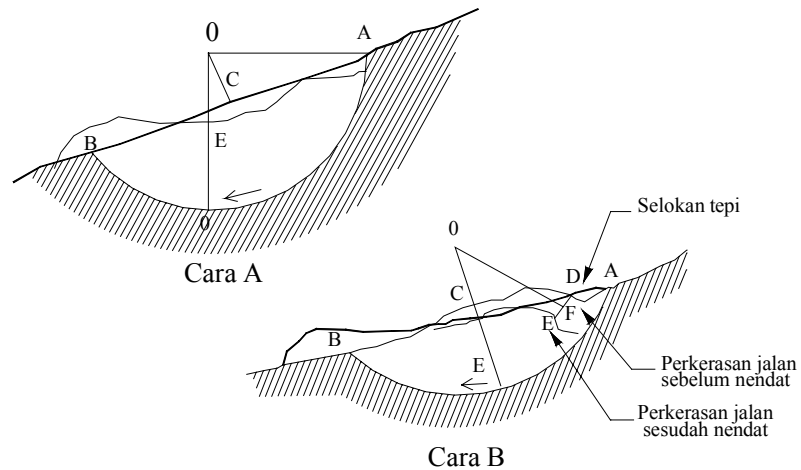
Gambar 24 Penentuan letak pusat rotasi dengan metode HRB

Cara grafis lainnya untuk menentukan letak/kedalaman bidang keruntuhan lereng adalah metode Ritchie, sebagai berikut (lihat Gambar 25):

Perkiraan kedalaman maksimum bidang keruntuhan lereng sangat penting sebagai petunjuk menentukan kedalaman pemboran.

Titik pusat rotasi dapat ditentukan dengan dua cara, sebagai berikut :

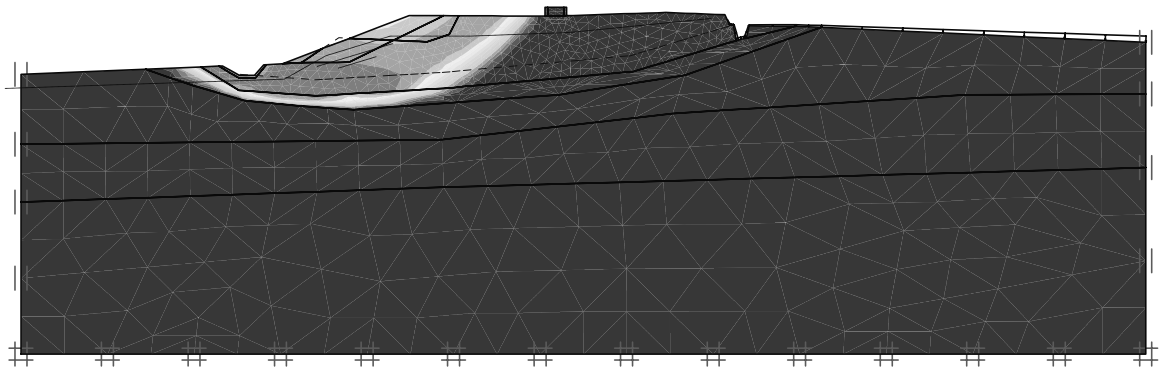
- Cara A :
- Titik A dan B di lapangan
 - Jika titik B sudah tidak tampak karena terkubur, maka dapat diperkirakan dari tonjolan maksimum
 - Tarik garis tegak lurus pada titik C (C adalah tengah –tengah AB) dari tarik garis mendatar dari titik A
 - Perpotongan kedua garis tersebut merupakan titik pusat rotasi O.
- Cara B :
- Titik A dan B diukur di lapangan
 - Jika titik B sudah tidak tampak karena terkubur, maka dapat diperkirakan dari tonjolan maksimum
 - Tarik garis tegak lurus pada titik C (C adalah tengah – tengah AB) dan tarik garis tegak lurus pada titik F (F adalah tengah – tengah DE)
 - Perpotongan kedua garis tersebut merupakan titik pusat rotasi O.



Gambar 25 Penentuan titik pusat rotasi dengan metode Ritchie

Sedangkan metode tak langsung dapat dilakukan jika data yang tersedia jumlahnya terbatas, misalnya hanya terdapat satu titik pemboran atau penanganan keruntuhan lereng yang harus dilakukan sesegera mungkin. Jika hal tersebut terjadi, maka kedalaman dan bentuk bidang gelincir dapat diperkirakan dengan membuat pemodelan lereng, kemudian dilakukan analisis balik dengan menggunakan paket program piranti lunak baik dengan metode keseimbangan batas ataupun metode elemen hingga.

Analisis balik dilakukan dengan *trial and error* sampai lereng tersebut mempunyai nilai $SF \sim 1$, dengan variabel bebasnya nilai parameter sudut geser dalam efektif ϕ' untuk lapisan yang terdapat pada bidang lemah. Metode tak langsung ini hasilnya akan memuaskan jika didukung input data yang akurat, di antaranya stratifikasi dan parameter kuat geser material. Gambar berikut merupakan contoh lereng yang mengalami longsor lalu dilakukan analisis balik:



Gambar 26 Contoh model hasil analisis balik untuk kasus keruntuhan lereng jalan

B. Pemilihan metode analisis

Ketika memilih metode yang akan digunakan untuk analisis stabilitas lereng, tipe keruntuhan dari lereng harus diperhitungkan. Metode yang dipilih harus mensimulasikan model keruntuhan.

Banyak metode yang dapat dipergunakan untuk analisis lereng tanah/batuan. Dasar dari semua perhitungan ini disebut sebagai kondisi keseimbangan batas (*limit equilibrium*), walaupun metode ini didasarkan pada teori batas plastis dan beberapa didasarkan pada deformasi. Beberapa metode yang tersedia untuk analisis lereng batuan, sebagian besar dihitung pada kondisi keseimbangan batasnya juga. Metode-metode yang telah dikenal baik untuk analisis lereng tanah, batuan dan analisis yang digunakan dengan memperhitungkan efek dari tekanan air dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10. Keuntungan-keuntungan dan keterbatasan masing-masing metode telah tercantum juga pada tabel tersebut, rekomendasi diberikan tergantung pada kondisi yang dihadapi di lapangan. Penjelasan mendetail dapat dilihat pada buku-buku dan jurnal-jurnal teknik sipil.

C. Metode analisis yang direkomendasikan

Beberapa pertimbangan pemilihan metode analisis berdasarkan tipe keruntuhan, ketersediaan data, lamanya ketersediaan waktu untuk analisis dan pertimbangan resiko :

- Desain awal dan resiko-resiko pada lereng yang diabaikan.
- Untuk analisis awal atau untuk lereng dengan kategori resiko-resiko yang muncul akan diabaikan, Grafik Bishop & Morgenstern (1960) dan Hoek & Bray (1981), pada lereng terbatas, analisis keruntuhan blok sangat berguna sebagai analisis cepat terhadap kestabilan lereng tanah.
- Untuk lereng tak terbatas (*infinite slope*) dengan permukaan keruntuhan garis lurus dan kedalaman keruntuhan dangkal dapat dipergunakan metode Lambe & Whitman (1969).
- Lereng dengan resiko rendah dan tinggi
- Metode analisis *non circular*, seperti yang diperkenalkan oleh Janbu (1972) direkomendasikan untuk menganalisis sebagian besar lereng tanah yang berada di Indonesia. Untuk jenis keruntuhan blok atau lingkaran, analisis circular Bishop (1955) akan lebih sesuai.

Ada beberapa metode yang tersedia untuk melakukan analisis stabilitas pada lereng batuan (lihat Tabel 9). Secara prinsip tipe keruntuhan dari lereng batuan adalah gelincir, bidang, baji dan guling, serta kombinasi dari beberapa moda ini, yang mungkin saja terjadi. Keruntuhan gelincir rotasi, baik lingkaran maupun non-lingkaran, dapat terjadi pada lereng yang banyak terdapat kekar-kekar atau lereng yang terdiri dari batu-batuan yang hancur. Pada kasus-kasus ini, analisis dapat dilakukan dengan metode potongan, seperti yang dilakukan untuk analisis lereng tanah. Detail metode analisis lereng batuan diberikan oleh Hoek & Bray (1981).

Tabel 9 Metode-metode untuk analisis stabilitas pada lereng tanah

Metode	Permukaan Keruntuhan	Asumsi-asumsi	Keuntungan- keuntungan	Keterbatasan-keterbatasan	Referensi	Rekomendasi
Lereng tak terbatas (<i>Infinite slope</i>)	Garis lurus	Setiap potongan vertikal merupakan perwakilan yang representatif dari lereng secara keseluruhan.	Metode perhitungan secara manual yang sederhana	Asumsi bidang keruntuhan selalu hanyalah perkiraan. Metode ini mungkin saja digunakan untuk suatu bidang runtuh dimana perbandingan panjang terhadap kedalaman sangat besar dan efek akhir dapat diabaikan.	Lambe & Whitman (1969)	Cocok untuk lereng yang panjang, terutama pada lereng dengan lapisan pelapukan yang tipis terhadap lapisan batuan.
Blok keruntuhan (<i>Sliding block</i>)	Dua atau lebih garis lurus	Massa keruntuhan dapat dibagi ke dalam dua atau lebih blok, keseimbangan tiap blok dipertimbangkan secara terpisah dengan menggunakan gaya-gaya antar blok.	Cocok untuk perhitungan dengan tangan ketika menggunakan dua atau tiga blok.	Tidak mempertimbangkan deformasi dari blok. Hasil yang didapat sensitif terhadap sudut horisontal yang dipilih untuk gaya-gaya antar blok dan inklinasi dari permukaan di antara blok.	Lambe & Whitman (1969)	Sangat berguna terutama jika stratum yang lemah diantara atau di bawah lereng dan ketika lereng ada di atas stratum yang sangat kuat.
Bishop	Lingkaran (<i>Circular</i>)	Mempertimbangkan pengaruh keseimbangan gaya-gaya dan momen untuk masing-masing potongan. Metode asumsi yang sangat teliti untuk gaya-gaya vertikal pada sisi masing-masing potongan hingga menghasilkan persamaan yang memuaskan. Metode-metode yang disederhanakan mengasumsikan resultan gaya-gaya vertikal adalah nol untuk masing-masing potongan.	Hasil yang baik diperoleh jika membandingkan metode yang disederhanakan dengan metode elemen hingga (rata-rata perbedaan faktor keamanan sekitar 8%). Banyak program komputer yang tersedia.	Permukaan keruntuhan lingkaran tidak selalu sesuai untuk lereng-lereng di Indonesia, jika radius lingkaran besar, kadang-kadang bisa digunakan.	Bishop (1955)	Berguna jika permukaan keruntuhan lingkaran dapat diasumsikan.
Grafik Bishop & Morgenstern	Lingkaran (<i>Circular</i>)	Menggunakan metode Bishop yang disederhanakan dengan nilai r_u rata-rata.	Penggunaannya sangat sederhana. Lebih akurat daripada grafik Hoek.	Terbatas hanya untuk tanah homogen dan lereng lebih landai dari 27°.	Bishop & Morgenstern (1960)	Kegunaannya terbatas.
Grafik Hoek	Lingkaran (<i>Circular</i>)	Massa keruntuhan dipertimbangkan sebagai satu keseluruhan. Pemecahan ikatan terbawah, diasumsikan tegangan-tegangan normal terkonsentrasi pada satu titik.	Derajat kemiringan lereng dari 10° sampai dengan 90°, telah diantisipasi pada grafik. Penggunaannya sangat sederhana.	Terbatas hanya untuk tanah homogen dengan lima kondisi muka air tanah yang spesifik.	Hoek & Bray (1981)	Sangat berguna sebagai perhitungan awal atau untuk lereng beresiko rendah.
Janbu	Non Lingkaran (<i>Non Circular</i>)	Prosedur digeneralisasikan dengan pertimbangan keseimbangan gaya dan momen untuk masing-masing potongan. Asumsi-asumsi pada garis dari aksi antar potongan tidak termasuk dalam prosedur rutin dan hasil faktor keamanan yang dihitung dikoreksi karena adanya pertimbangan gaya-gaya vertikal.	Permukaan geser yang realistis dapat dipergunakan. Analisis rutin dapat dengan mudah ditangani dengan bantuan kalkulator yang berprogram atau dengan perhitungan tangan biasa.	Memperkenalkan suatu faktor untuk material homogen dan prosedur routine dapat memberikan kesalahan yang cukup besar pada lereng-lereng yang terdiri dari material yang lebih dari satu. Faktor keamanan yang dihasilkan biasanya ada di bawah nilai perkiraan pada kasus-kasus seperti ini. Metode umum tidak memiliki keterbatasan-keterbatasan yang sama.	Janbu (1972) Metode rutin diberikan oleh Hoek & Bray (1981)	Sangat berguna untuk sebagian besar lereng tanah residual.

Tabel 10 Metode analisis stabilitas untuk lereng batuan

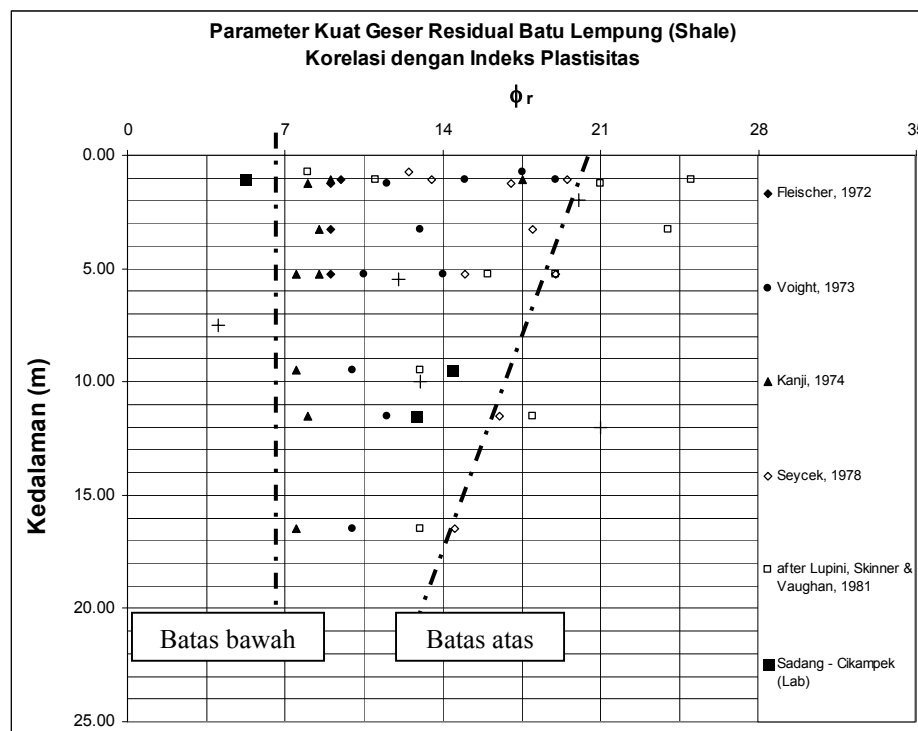
Metode	Permukaan Keruntuhan	Asumsi - Asumsi	Keuntungan-Keuntungan	Keterbatasan-Keterbatasan	Referensi	Rekomendasi
Keruntuhan bidang (<i>plane failure</i>)	Bidang tunggal dengan pemunculan <i>tension crack</i> .	Kedua permukaan keruntuhan dan <i>tension crack</i> , <i>strike</i> secara paralel terhadap permukaan lereng. Permukaan-permukaan yang lepas muncul karena itu tidak ada ketahanan terhadap batas-batas lateral.	Tekanan-tekanan air pada <i>tension crack</i> dan pada bidang keruntuhan juga termasuk metode analisis yang sederhana.	Momen-momen tidak dipertimbangkan dalam analisis. Dapat memberikan hasil yang lebih dari estimasi pada nilai faktor keamanannya pada lereng curam dimana <i>toppling</i> bisa terjadi.	Hoek & Bray (1981)	Berguna bila bidang keruntuhan bisa diasumsikan seperti pada lembaran joint.
Keruntuhan baji (<i>wedge failure</i>)	Dua bidang kekar membentuk baji tiga dimensi.	Garis dari perpotongan <i>joint-dip</i> kurang curam dibandingkan muka batu dan celah di antaranya. Kedua bidang joint tetap kontak selama keruntuhan terjadi.	<i>Tension crack</i> dan tegangan-tegangan air dapat disertakan dalam analisis. Grafik-grafik yang hanya mempertimbangkan friksi juga tersedia.	Momen tidak dipertimbangkan.	Hoek & Bray (1981)	Berguna. Grafik-grafik bisa digunakan sebagai penilaian awal terhadap suatu kasus.
Keruntuhan guling (<i>toppling failure</i>)	Kekar-kekar bersilangan secara curam.	Analisis dilakukan dengan asumsi-asumsi bahwa beberapa blok akan runtuh dan sebagian lainnya akan rebah. Tekanan-tekanan air tidak dimasukkan dalam analisis.	-	Terbatas untuk beberapa kasus sederhana dengan geometri yang sesuai.	Hoek & Bray (1981)	Belum ada alat bantu desain lereng batuan yang tersedia tapi metode ini kadang-kadang berguna.

8.3.4 Penentuan parameter desain

Penentuan parameter desain dilakukan dengan metode langsung dan tak langsung. Metode langsung mengacu pada hasil-hasil tes lapangan, laboratorium, data-data sekunder, korelasi-korelasi dari literatur terhadap jenis tanah/batuan yang relatif sama. Pada tanah pembentuk lereng yang pernah mengalami keruntuhan lereng sebelumnya, tipe parameter kuat geser yang representatif adalah kuat geser residual dikarenakan elemen tanah telah mengalami deformasi yang besar jauh melewati tegangan puncak (*peak stress*) sehingga tegangan yang tersisa adalah tegangan sisa (*residual stress*).

Korelasi sangat diperlukan untuk dapat memperkirakan rentang nilai suatu parameter (batas bawah dan batas atas), sehingga nilai yang didapat hasil investigasi lapangan ataupun pengujian laboratorium dapat terkontrol.

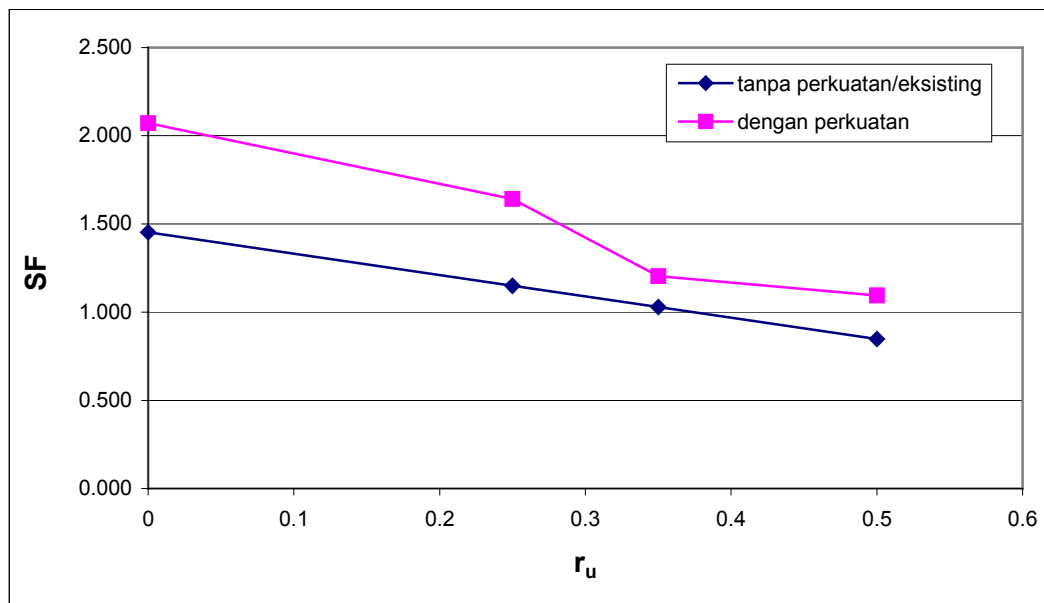
Sedangkan metode tak langsung mengacu pada analisis balik (*back-analysis*) dan pertimbangan rekayasa (*engineering judgement*). Dalam analisis balik, parameter awal yang diambil dari parameter kuat geser hasil korelasi seperti yang tercantum dalam grafik diatas. Pada analisis balik stabilitas lereng cara pertama, parameter yang akan dicari adalah parameter sudut geser dalam material lunak yang merupakan representasi dari posisi lapisan gelincirnya, sedangkan parameter lainnya dibuat konstan. Langkah pertama analisis balik ini adalah dengan memberikan nilai tertentu parameter sudut geser dalam lempung lunak, lalu dicari nilai faktor keamanannya. Proses *trial and error* (sampai $SF \sim 1$) dilakukan dengan variabel bebasnya adalah sudut geser dalam (ϕ) lempung lunak, sedangkan parameter lainnya termasuk muka air tanah (MAT) atau dalam bentuk r_u dibuat konstan.



Gambar 27 Contoh proses penentuan parameter desain

8.3.5 Kondisi stabilitas lereng tanpa perkuatan dan dengan perkuatan

Setelah seluruh parameter yang digunakan dalam analisis ditentukan, lakukan perhitungan kondisi stabilitas lereng untuk berbagai variasi penambahan tegangan air pori/tinggi muka air tanah. Kondisi stabilitas lereng yang harus dihitung adalah lereng tanpa perkuatan dan lereng dengan perkuatan. Disarankan agar mengajukan beberapa opsi perkuatan sebagai bahan pertimbangan pemilik proyek yang hasilnya dapat dijadikan bahan pemilik proyek untuk melakukan analisis komparasi secara teknis. Berikut ini merupakan contoh hasil analisis yang disajikan dalam bentuk grafis kondisi stabilitas lereng :



Gambar 28 Contoh hasil analisis perbandingan kondisi stabilitas lereng vs rasio tekanan air pori untuk kondisi tanpa perkuatan/eksisting dengan perkuatan (counterweight)

9 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 penanggulangan 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).

9.1 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 geser tanah. Analisis kemantapan suatu lereng harus dilakukan dengan memperhitungkan besarnya gaya pendorong dan gaya penahan. Suatu lereng akan longsor bila keseimbangan gaya – gaya yang bekerja terganggu, yaitu gaya pendorong lebih besar dari gaya penahan. Oleh karena itu prinsip penaggulangan 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.

9.2 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
- mengeringkan kolam–kolam yang ada di bagian atas daerah keruntuhan 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 runtutan 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).

9.3 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.

9.4 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.

9.4.1 Pengubahan 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, penanggaan, pemotongan habis, pengupasan tebing dan pengupasan lereng.

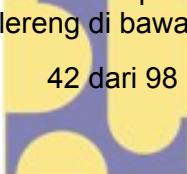
Perlu diingat bahwa keuntungan pemotongan adalah untuk mengurangi tegangan. Hal ini dapat dicapai dengan pemotongan di bagian yang lebih banyak menimbulkan tegangan tangensial daripada tahanan geser. Sebagai contoh, pemotongan di ujung kaki lereng dapat mengurangi tahanan geser. Cara pemotongan ini hanya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

Pengubahan 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.

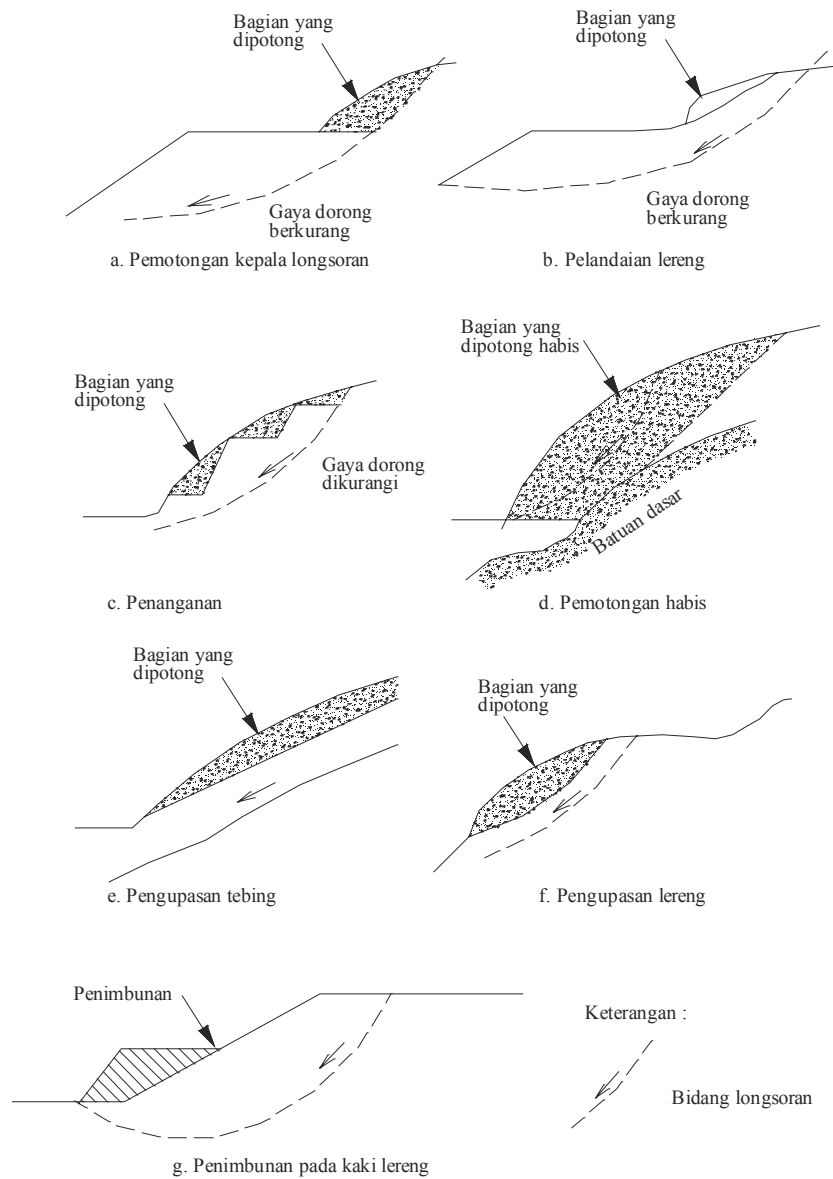
Hal – hal yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut :

- 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.



Pd T-09-2005-B

44 dari 98



Gambar 29 Tipikal penanggulangan dengan cara mengubah geometri lereng



9.4.2 Mengendalikan air permukaan

Mengendalikan air permukaan merupakan langkah awal dalam setiap rencana penanggulangan keruntuhan 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 rupa sehingga dapat mengalirkan air secara cepat agar air tidak meresap ke dalam 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

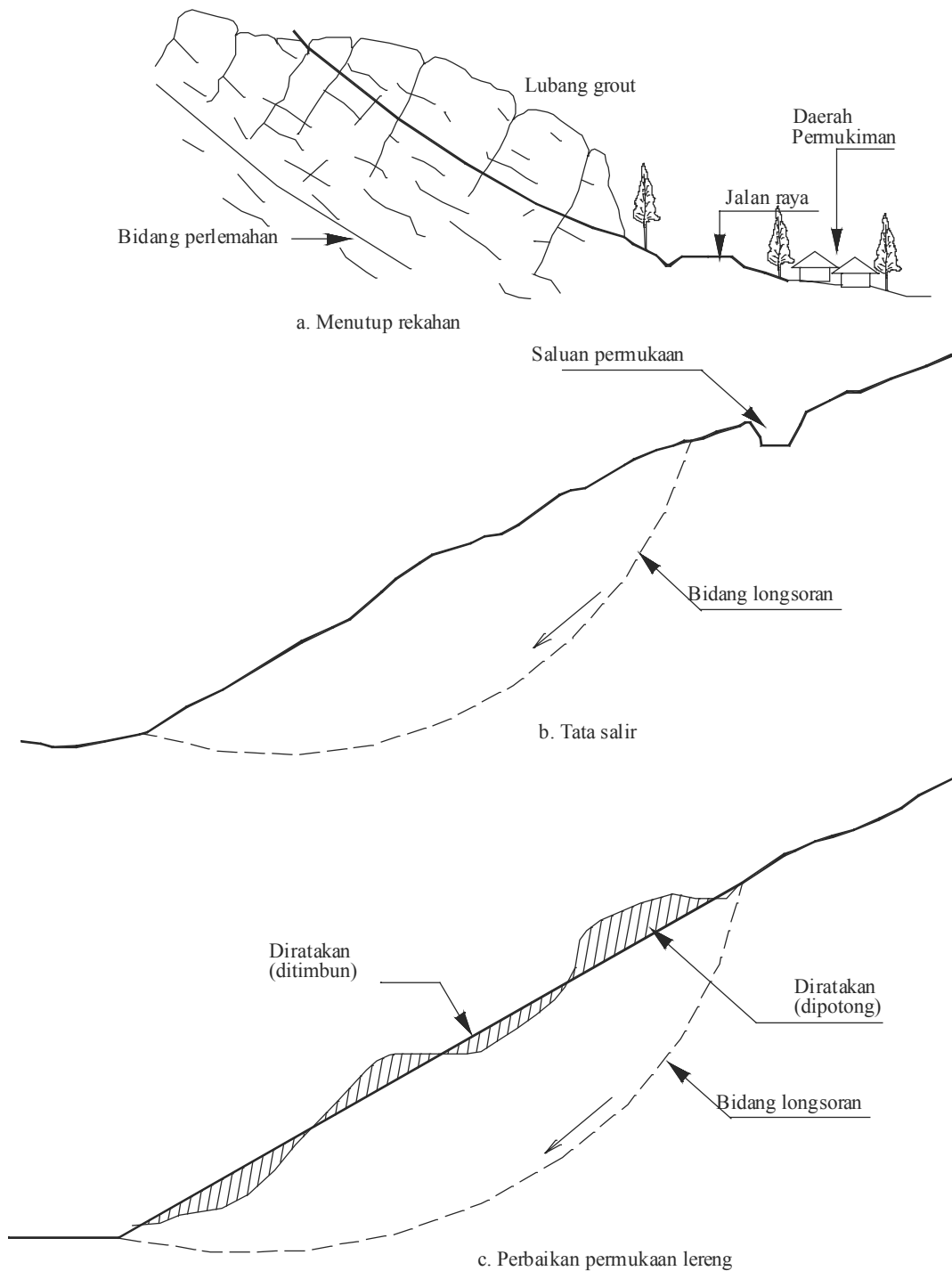
Penutupan rekahan dapat memperbaiki kondisi pengaliran air permukaan pada lereng. Rekahan dapat ditutup dengan tanah lempung, aspal atau semen yang disesuaikan dengan jenis tanahnya. Penutupan rekahan akan mencegah masuknya air permukaan, sehingga tidak akan menimbulkan naiknya tekanan hidrostatik atau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

- Perbaikan 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



9.4.3 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.

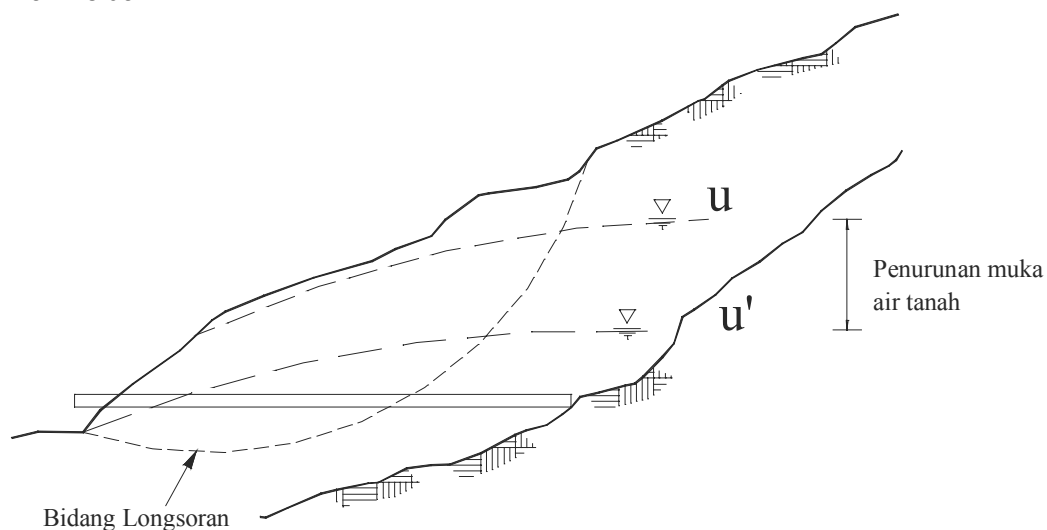
- Penyalir tegak/saluran tegak (*vertikal drain*)

Metode ini dilakukan dengan mengalirkan air tanah sementara ke lapisan lulus air di bawahnya, 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 pipa penyalir tergantung dari jenis material yang akan diturunkan muka air 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

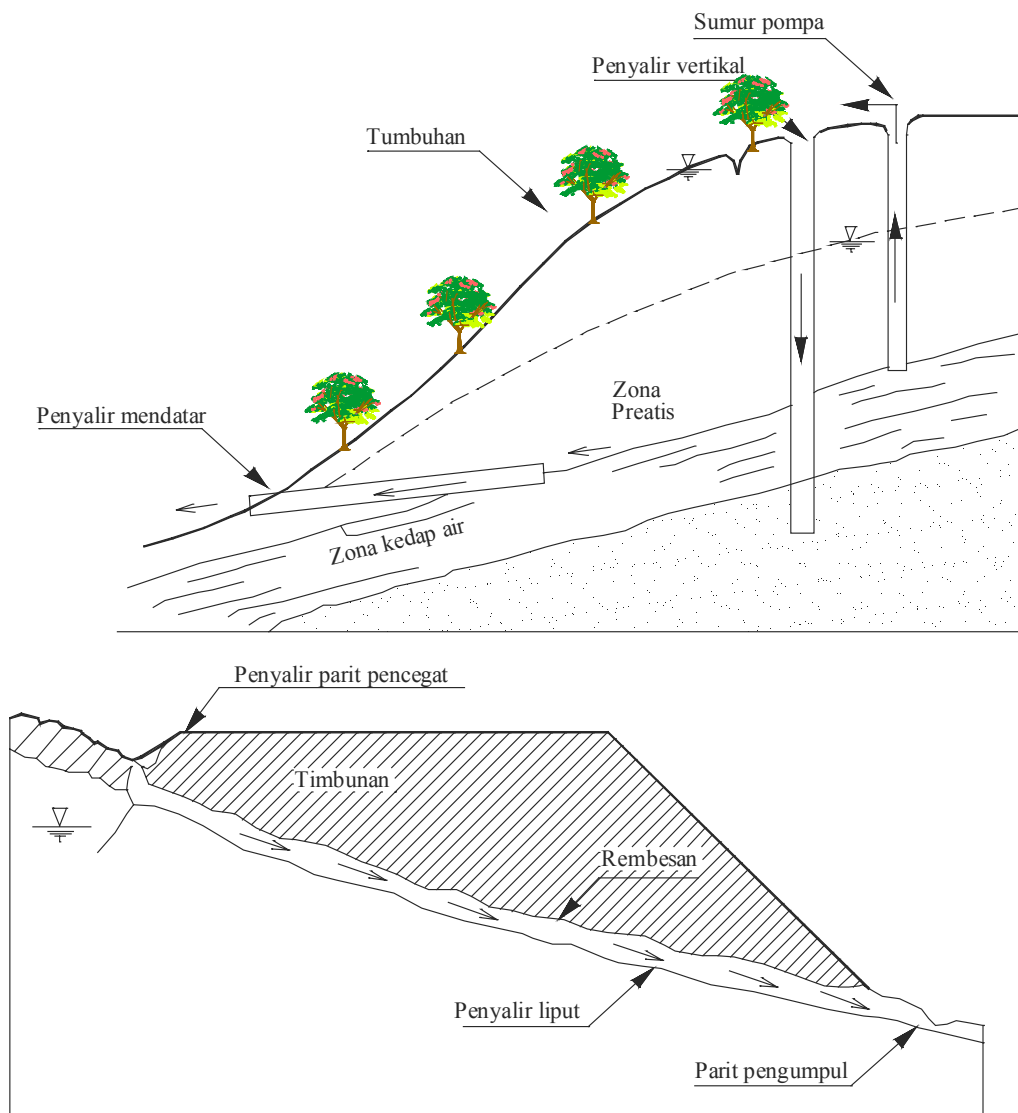
- Elektro osmosis

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

9.4.4 Penambatan

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

9.4.4.1 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.

50 dari 98



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 diasamping 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.

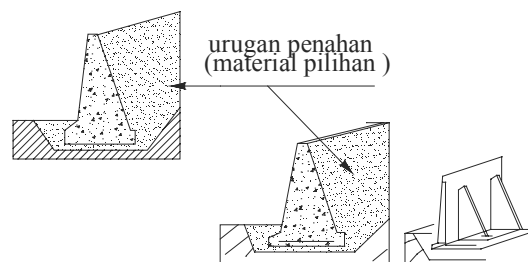
Bronjong akan efektif untuk keruntuhan lereng yang relatif dangkal tetapi tidak efektif untuk keruntuhan lereng berantai. Bronjong banyak digunakan karena material yang digunakan tidak sulit diperoleh, pelaksanaannya mudah dan biayanya relatif murah.

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

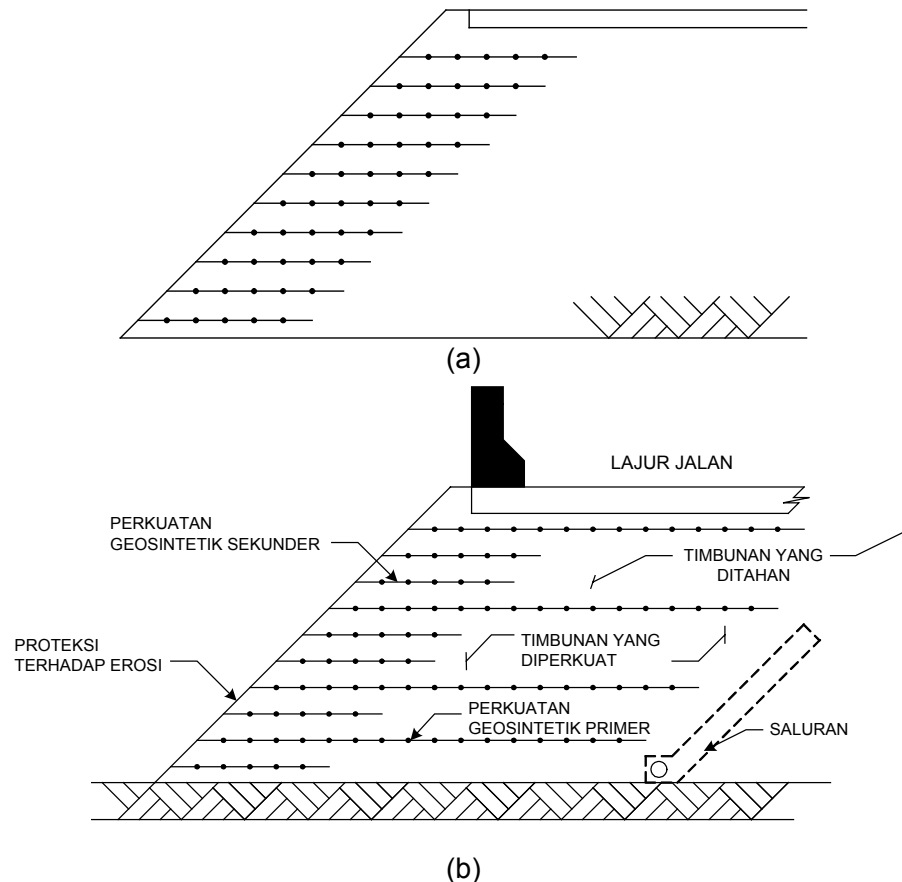
Bahan geosintetis merupakan material polimer lentur yang digunakan sebagai perkuatan dinding penahan tanah, stabilisasi tanah dan pondasi tanah. Material ini bisa dalam bentuk geotekstil ataupun geogrid tergantung kebutuhan dan kondisi tanahnya. Geotekstil merupakan polimer yang berbentuk anyaman ataupun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



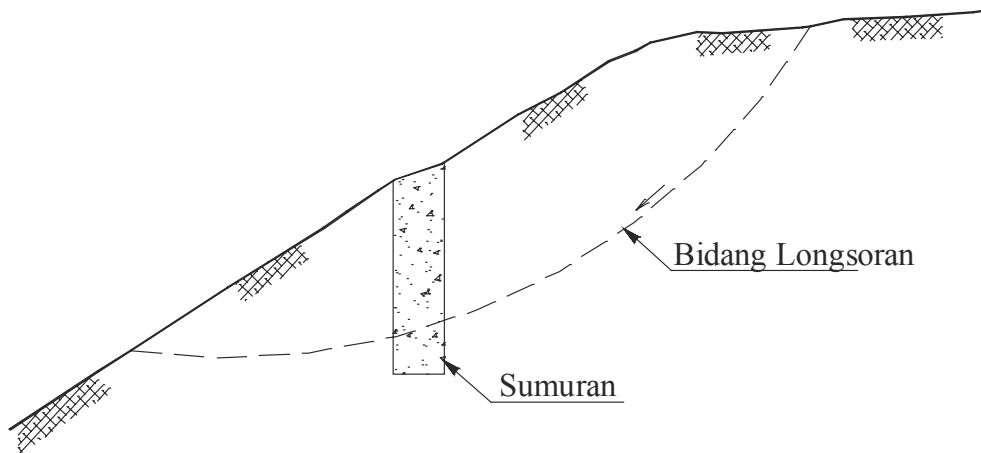
Gambar 34 Lereng yang diperkuat dengan geosintetik untuk meningkatkan stabilitas

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.



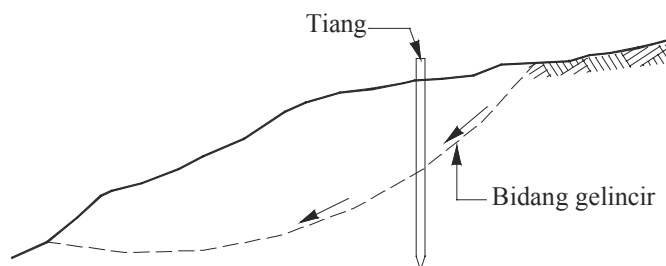


Gambar 35 Penambatan tanah dengan sumuran

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 massa tanah sebagai akibat getaran pada saat pemancangan.



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

9.4.4.2 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

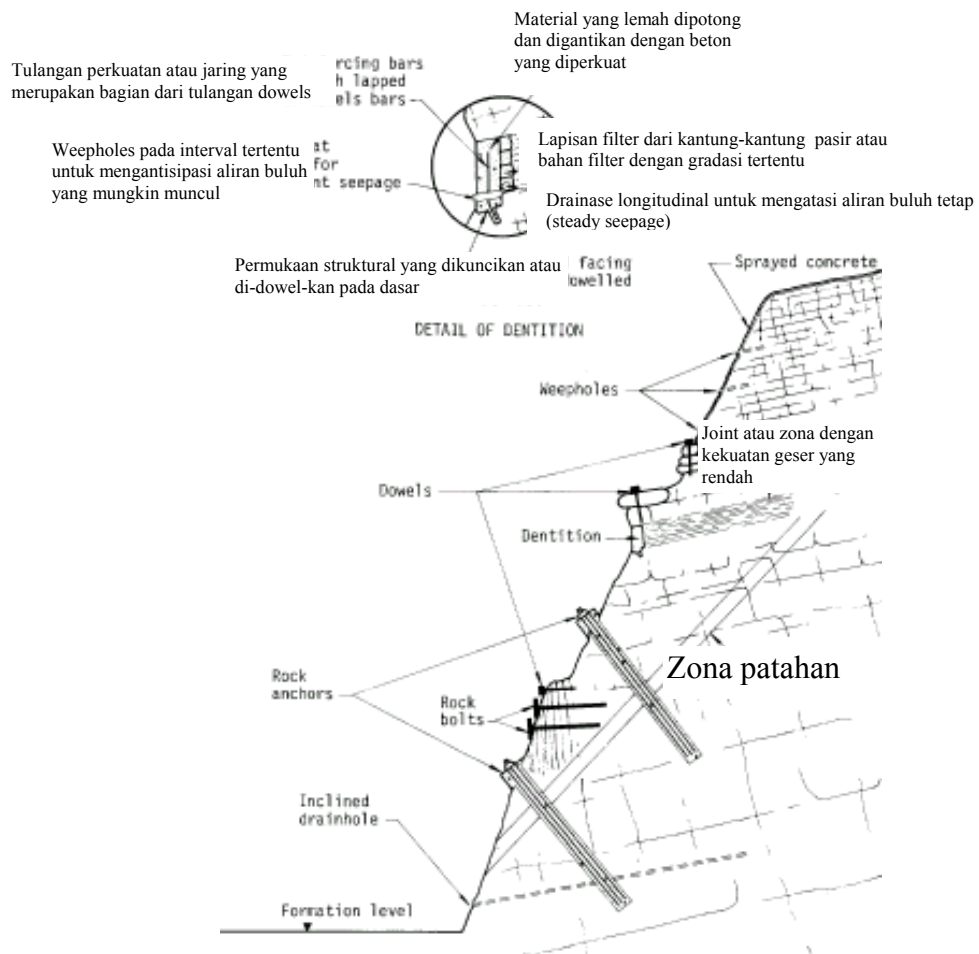
Ikatan material yang lembut yang terekspos pada permukaan batuan harus diangkat dari permukaan tersebut. Kemudian bagian-bagian tersebut diisi dengan material filter yang sesuai, dilindungi oleh pasangan batu atau beton dengan perkuatan untuk mencegah erosi dari material lembut tersebut. Pada batuan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

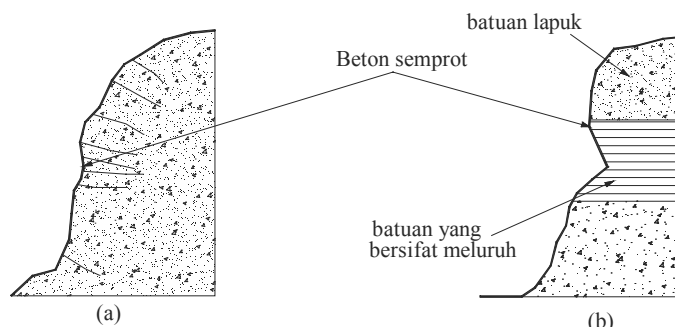
Tipe keruntuhan		Tindakan-tindakan stabilisasi																			
		Ekskavasi			Penyangga secara struktural								Drainase				Kontrol terhadap reruntuhan batuan				
Nama	Sketsa	Pelandaian lereng	Pembuatan bench	Ekskavasi Lokal	Permukaan gunite (gunite facing)	Pasangan batu	Struktur lokal 'dentition'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



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

4) Penyemprotan beton

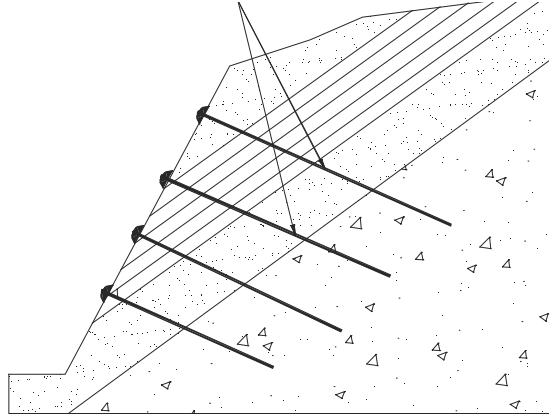
Penyemprotan beton dapat digunakan untuk menyediakan perlindungan pada permukaan untuk zona yang terdiri dari retakan batuan yang lemah hingga berintensitas tinggi. Pada lokasi dimana beton yang diperlukan direntangkan di antara baut batuan atau struktur penunjang lainnya, lebih baik lagi jika diperkuat 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 batuan.



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.

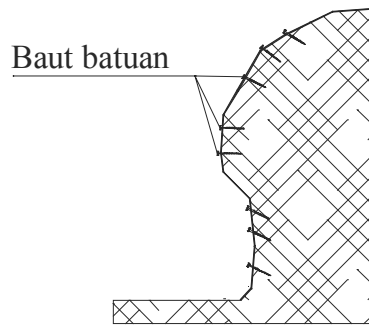
Besaran dari gaya-gaya ini tergantung dari kekasaran pada bidang diskontinuitas, orientasi dari pasak terhadap diskontinuitas dan momen relatif, diperlukan untuk membentuk kekuatan geser puncak dan perluasan puncak. Simplifikasi metode desain pasak baja diberikan oleh Sage (1977) dan Bjurstrom (1974).

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.

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 pengangkeran 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 seperti *'torque-set bolt'*. Panjang pengikatan harus didesain dengan nilai faktor keamanan terhadap tarik (pullout) sebesar 2. Pengangkeran secara mekanis, biasa 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 variasi dari jarak antara setiap baut atau alternatif lain bisa berupa balok beton yang dicor di tempat.

Beban yang diperlukan dalam baut batuan untuk mencegah longsornya 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.

9.4.4.3 Kontrol terhadap bongkah dan reruntuhan bebatuan

Ketika bongkah (boulder) yang tidak stabil teridentifikasi, yang menjadi ancaman terhadap pembangunan dilakukan pada bagian bawah lereng, ada beberapa perbaikan yang dilakukan untuk memperbaiki stabilitas sebagai berikut :

1) pindahkan bongkah;

Sebelum pembangunan dilaksanakan pada dasar dari lereng yang memiliki banyak bongkah, bongkah yang tidak stabil harus dipindahkan atau jika terlalu besar, bongkah dipecahkan dengan cara diledakkan atau cara mekanis lain yang menyertainya.

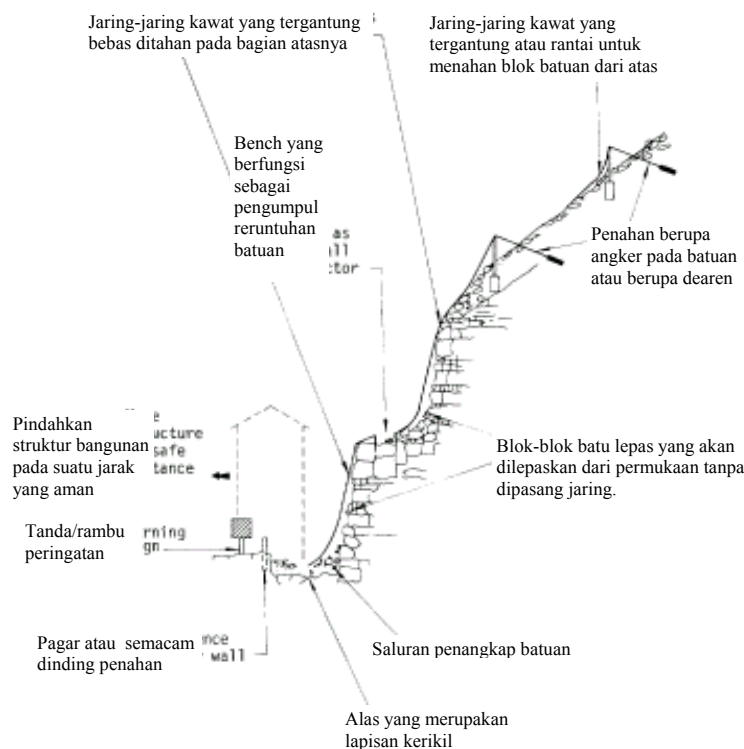
2) pecahkan bongkah dan relokasikan ke tempat lain;

Jika memindahkan bongkah ke tempat lain menjadi tidak ekonomis, pecahkan bongkah menjadi ukuran yang lebih kecil di tempat, dan sebarkan di sekitar lereng, hal ini bisa menjadi pemecahan dari masalah ini.

3) stabilisasi bongkah insitu.

Berbagai macam teknik tersedia termasuk metode '*concrete underpinning*', penyuntikan grouting, pasak baja dan baut batuan, pengikatan balik dengan kombinasi penggunaan jaring baja dan penyemprotan beton atau dengan semacam kabel baja, dan perlindungan permukaan yang dikombinasikan dengan sistem drainase untuk mencegah erosi pada tanah penahan di sekitar bongkah.

Akan menjadi tidak praktis secara ekonomis untuk menghilangkan semua batuan dan bongkah yang jatuh dari lereng galian atau lereng alami yang curam. Pada situasi seperti ini, perhatian harus lebih seksama untuk menurunkan bahaya dari keruntuhan yang muncul terhadap jiwa manusia dan properti di sekitar lereng. Gambar 41 memperlihatkan metode untuk mengontrol runtuh batuan yang disarankan oleh Fookes & Sweeney (1976).



Gambar 41 Tindakan yang dapat dilakukan sebagai kontrol terhadap batuan yang runtuh

Pagar dapat dibuat pada dasar lereng, dikombinasikan dengan penyediaan area penangkap yang bersifat sebagai penyerap energi, yang mampu menampung runtutan bongkah sesuai dengan batas yang telah didesain (Ritchie, 1963). Alternatif lain, energi yang timbul dari pergerakan bongkah dapat didisipasi dengan menggunakan dinding yang dapat berdeformasi seperti struktur bronjong. Jika luas area memungkinkan, lintasan yang akan dilalui reruntuhan bongkah bisa dialihkan dengan membuat timbunan berpelindung yang mengarahkan reruntuhan menuju tempat tertentu hingga kerusakan dapat dihindarkan.

9.4.5 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.

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

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

3) Stabilisasi

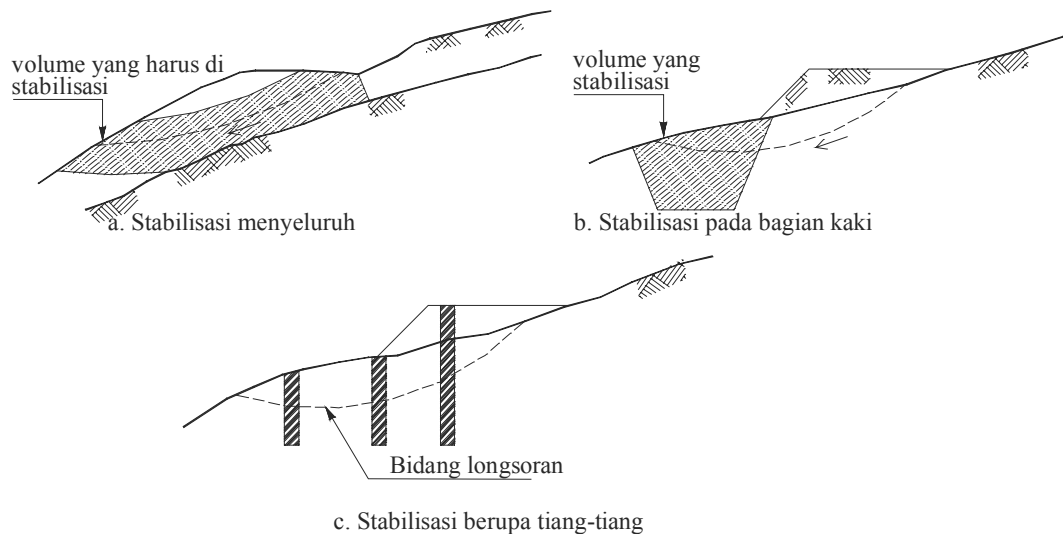
Stabilisasi dimaksudkan untuk meningkatkan kuat geser dari material longsor. Material yang distabilisasi dapat dilakukan secara menyeluruh (Gambar 42a), pada bagian kaki (Gambar 42b) atau berupa tiang – tiang (Gambar 42c)

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 :

- Letak/kedalaman bidang longsor.
- Gradasi material yang distabilisasi.
- Adanya lapisan rembesan air yang harus dikeringkan atau diberi pengaliran untuk mencegah tersumbatnya aliran agar tidak menimbulkan tekanan hidrostatik.
- Untuk lereng yang longsor sebaiknya stabilisasi dilakukan pada musim kemarau (saat longsor relatif diam) agar stabilisasi lebih efektif.



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 :

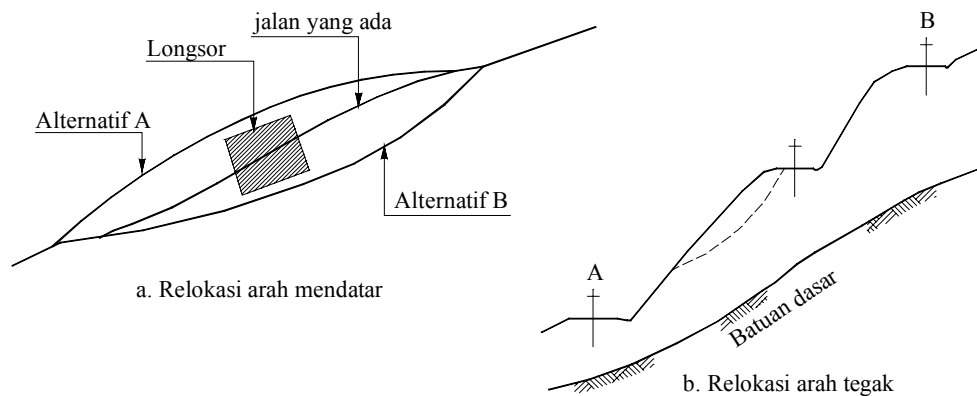
- Penanggulangan hanya efektif untuk keruntuhan lereng kecil dan lereng yang lebih curam dari 2 : 1
- Penggunaan bangunan silang harus mempertimbangkan kemungkinan perlunya pilar di tengah yang harus aman terhadap pengaruh keruntuhan lereng.

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 :

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



Gambar 43 Contoh relokasi jalan

9.5 Kasus lereng serpih

Secara definisi serpih merupakan batuan sedimen klastik, berukuran halus – sangat halus ($1/16 - 1/256$ atau *silt – clay*) dan mempunyai sifat menyerpih yang paralel terhadap bidang perlapisan, hal ini terjadi oleh proses atau gaya-gaya mekanik yang terjadi pada proses sedimentasi, umumnya mengandung bahan organik dan mineral karbonat dalam jumlah kecil namun terkadang beberapa di antaranya terdapat dalam jumlah yang melimpah, terbentuk karena akumulasi dari fragmen/ hancuran-hancuran batuan yang telah ada sebelumnya”.

1) Penyelidikan geologi untuk deposit serpih

Hal-hal yang perlu ditempuh dalam melakukan pengamatan singkapan batuan serpih :

- Pelajari keadaan lapangan, dengan tujuan untuk mengetahui keadaan tanah/ batuan di daerah pemetaan secara garis besar, misalnya nama bukit atau sungai, kampung/ desa, dll
- Buat rencana lintasan pemetaan dengan mempertimbangkan, sebagai berikut :
 - usahakan lintasan tegak lurus terhadap jurus/ *strike* lapisan batuan
 - usahakan lintasan melalui sungai, bekas galian, jalan dan puncak bukit
- Jelajahi daerah sekitar singkapan, kemudian pilih bagian yang paling baik, paling segar singkapannya. Amati pula aspek geologi lainnya yang terdapat di sekitar singkapan tersebut, contohnya mata air, keruntuhan lereng, bidang ketidak selarasan, dll. Adapun luas wilayah yang harus dipetakan adalah daerah disepanjang ruas jalan yang bermasalah dengan deposit serpih dengan lebar ± 100 meter baik sebelah kiri maupun kanan jalan. Hal ini berlaku jika di daerah kajian tidak dijumpai adanya masalah-masalah yang disebabkan oleh struktur geologi dengan skala regional. Jika terdapat struktur geologi regional maka luas daerah kajian harus disesuaikan.
- Mulailah dengan mengetahui jenis singkapan (batuan sedimen), dan kemudian mengarah kepada segi-segi detail yang dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan bagaimana dan kapan terbentuknya.
- Melakukan pengukuran-pengukuran yang perlu dan mengamati keadaan batuan, yang dimaksud adalah : mengukur jurus dan kemiringan lapisan (*strike/ dip*), mengamati dan mengukur arah-arah rekahan/ *fractility*, arah arus purba (bila ada). Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui arah sedimentasi batuan tersebut, mengukur ketebalan masing-masing lapisan untuk mengetahui urutan vertikal, mengamati dan mengukur aspek-aspek struktur geologi secara detail (bila ada) dan lain-lain.

- f. Mengambil contoh batuan untuk keperluan analisis/ pengujian laboratorium guna mengetahui karakteristik dari serpih secara detail :
 - Pengujian petrografi, dilakukan untuk mengetahui nama dan jenis batuan secara tepat berdasarkan komposisi mineral keseluruhan yang terkandung di dalam batuan
 - Pengujian X-Ray Diffraction (XRD), dilakukan untuk mengetahui jenis dari mineral lempung yang terkandung dalam batuan
 - Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM), dilakukan untuk mengetahui tekstur dan struktur mikro batuan.
- g. Membuat foto dan sketsa atau merekam dengan menggunakan *handy cam*
- h. Menentukan lokasi dimana pengamatan itu dilakukan dan mencantumkan di dalam peta. Peta yang dipergunakan dalam penyelidikan ini adalah peta topografi minimal dengan skala 1 : 25.000, peta geologi regional dengan skala 1 : 100.000, peta hidrogeologi dengan skala 1 : 100.000.
- i. Gambarkan peta geologi dengan cara menarik batas-batas satuan batuan dan aspek geologi lainnya berdasarkan data hasil pengamatan dan interpretasi ke dalam peta topografi, lengkapi dengan penampang geologi.
- j. Membuat laporan pemetaan geologi lengkap menyangkut semua aspek yang diamati pada singkapan batuan serpih juga meliputi keadaan bentang alam (geomorfologi), urutan batuan secara vertikal (stratigrafi), struktur geologi, kemudian mengevaluasi kondisi geologi yang ada secara regional dan lokal, dikaitkan dengan tujuan utama penelitian dan memberikan rekomendasi untuk penyelidikan/ penelitian selanjutnya. Secara umum tahapan penyelidikan geologi untuk deposit serpih seperti terlihat pada bagan alir berikut ini.

2) Penyelidikan geoteknik

Penyelidikan geoteknik secara umum untuk tanah/batuan pada deposit serpih sama dengan jenis tanah/batuan lainnya. Hal yang khusus hanya terdapat pada pengambilan contoh tak terganggu. Berdasarkan beberapa uji coba dilapangan sangat sulit mendapatkan contoh tak terganggu hasil pemboran terutama sekali pada horizon B dan C. Horizon A karena hampir menyerupai tanah sifatnya, sehingga relatif bisa dilakukan pengambilan contoh tak terganggu lewat pemboran. Untuk horizon B dan C pengambilan contoh tak terganggu hanya bisa dilakukan melalui tes pit (dengan peralatan sederhana seperti linggis, pacul dan belincong) atau dengan escavator jika kebetulan ada proyek fisik di lokasi kajian.

3) Pembuatan stratifikasi

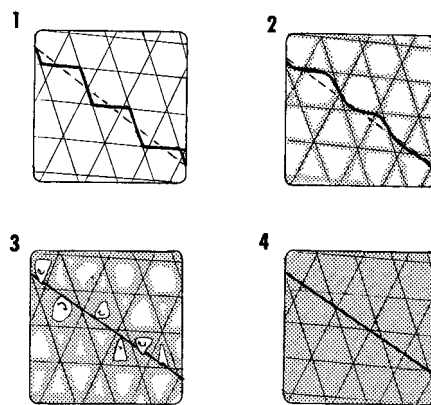
Stratifikasi atau pola perlapisan tanah/batuan, dibuat berdasarkan pertimbangan data-data hasil pemboran berupa coring, nilai SPT, survey geologi lokal, penyelidikan geolistrik dan sebagian hasil uji laboratorium seperti nilai indeks slake durability dan uji triaksial atau geser langsung. Dalam stratifikasi ini tipe perlapisan biasanya berdasarkan perbedaan perlapukannya dan material penutupnya (baik hasil lapukan material induknya ataupun material pindahan seperti material vulkanik). Posisi muka air tanah letaknya sangat krusial dalam stratifikasi pada deposit serpih ini, karena posisi muka air tanah merupakan data pendukung penting dalam penentuan posisi bidang gelincirnya.

4) Identifikasi bidang gelincir

Terbentuknya bidang gelincir pada suatu lereng disebabkan oleh berubahnya kondisi gaya-gaya yang menjadikan tidak setimbang. Penyebab ketidakseimbangan lereng adalah pertama ditimbulkan oleh gaya tambahan dari luar seperti naiknya muka air tanah, gempa, beban lalu lintas dll. Kedua ditimbulkan oleh perlemahan kekuatan

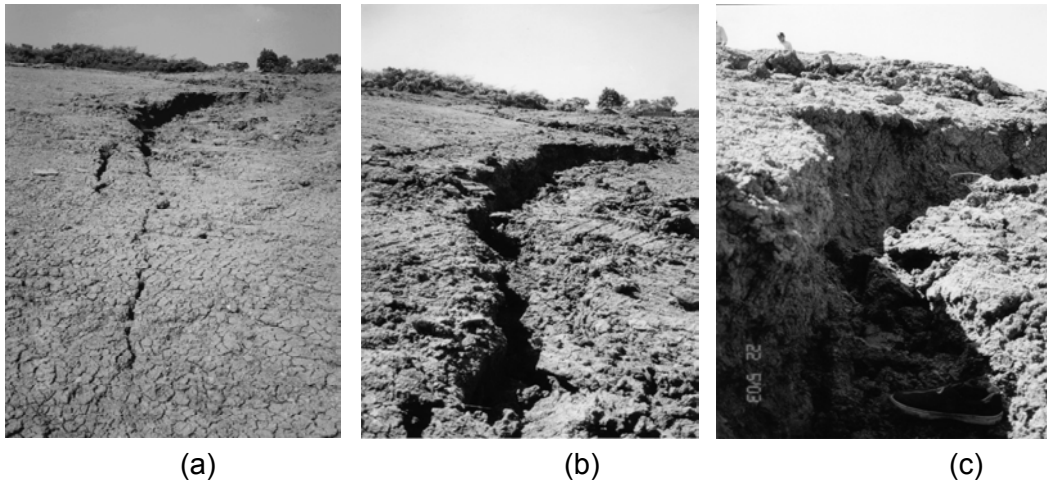
material yang terkandung pada lereng tersebut. Khusus pada lereng pada deposit serpih, penyebab yang seringkali terjadi karena proses perlemahan kuat gesernya yang berlangsung cepat dibanding material lainnya. Penyebab utama perlemahan diakibatkan kontak dengan air dan udara.

Lapisan lemah pada serpih (*slickenside*) arah jalurnya mengikuti pola retak rambut dari material serpih tersebut. Hal ini karena aliran air yang menyebabkan perlemahan pada serpih cenderung mengikuti pola retak serpih. Pada gambar 43 berikut ini digambarkan proses terjadinya *slickenside*. Pola garis *slickenside* pada Tahap 1, yaitu pada kondisi serpih masih utuh, garis *slickenside* cenderung mengikuti garis retak rambut (*fissured*). Pada Tahap 2, yaitu pada kondisi serpih mengalami pelapukan pada daerah retak rambut, pola garis *slickenside* masih mengikuti garis retak rambut tapi sedikit melengkung. Pada Tahap 3 garis *slickenside* berbentuk garis linier atau tidak mengikuti garis retak rambut, begitupun pada Tahap 4 pola *slickenside* mirip dengan pada Tahap 3.



Gambar 44 Pola *slickenside* pada tiap tahap pelapukan

Dari beberapa peristiwa keruntuhan lereng lereng serpih di Indonesia, diperkirakan letak bidang gelincir terdalam umumnya terdapat pada lapisan interface dua material yang mempunyai perbedaan permeabilitas yang mencolok, ditandai dengan adanya perbedaan derajat pelapukan. Misalkan kasus yang menarik dan terdokumentasi dengan baik adalah keruntuhan lereng pada saat pembuatan jalan Tol yang menghubungkan Cikampek – Purwakarta. Pada gambar berikut ini posisi bidang gelincir terdapat pada interface horizon B dan C. Contoh lain pada interface material debris dan breksi yang menumpang pada serpih, seperti kasus Citatah, Tomo dan Semarang. Sedangkan bentuk bidang gelincir di beberapa lokasi di atas umumnya berbentuk lingkaran.

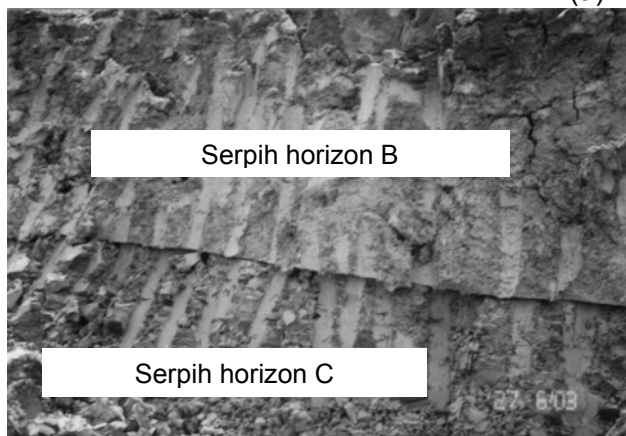


**Gambar 45 Pola retakan yang terjadi pada lereng atas lokasi Cikampek
(Dok : Alan Rachlan, 2003)**

- (a) retakan lereng pada posisi lereng atas
- (b) retakan disertai nendatan (*slump*)
- (c) nendatan sekitar 0.5 – 1.0 m



(a)



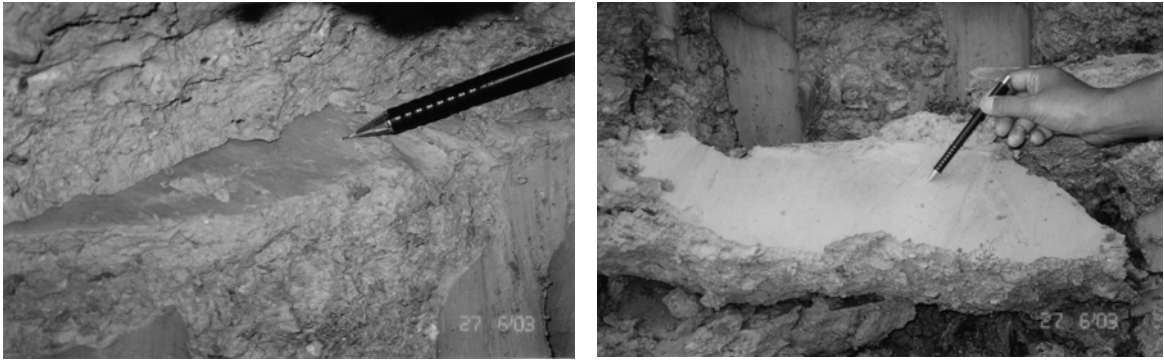
(b)



(c)

**Gambar 46 Posisi retakan pada lereng bawah lokasi Cikampek
(Dok : Alan Rachlan, 2003)**

- (a) Bidang gelincir pada lereng bawah
- (b) Bidang lemah (*slickenside*) terdapat pada *interface* dua material yang berbeda tingkat pelapukan
- (c) Secara visual terlihat perbedaan warna antara dua material serpil lapuk kuat-sempurna dan lapuk sedang-ringan



Gambar 47 Bidang gelincir tampak jelas berupa bidang permukaan yang sangat rata, halus dan licin (*slickensided*)

10 Pelaksanaan konstruksi lereng

10.1 Umum

Bab ini membahas secara ringkas mengenai pelaksanaan konstruksi lereng antara lain: (1) Rencana pelaksanaan (2) Persiapan pelaksanaan (3) Penggalan dan pembuangan tanah (4) Pelaksanaan timbunan dan (5) Pelaksanaan pembuatan muka lereng.

10.2 Perencanaan pelaksanaan

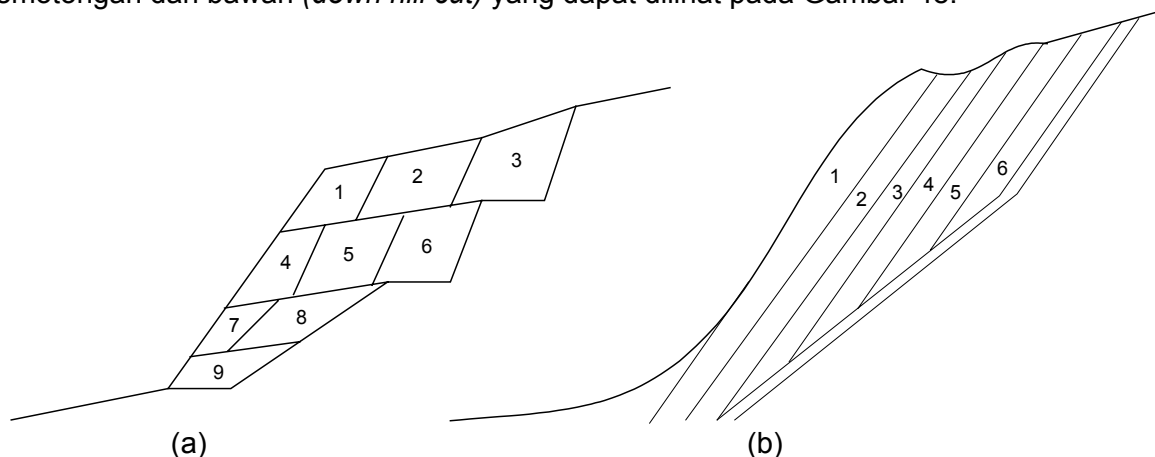
Jangka waktu pekerjaan pelaksanaan harus bisa diperkirakan dan rencana angkutan tanah buangan atau material yang akan digunakan selama pelaksanaan juga harus dirinci. Demikian pula dengan prosedur pelaksanaan serta peralatan-peralatan berat yang akan digunakan dalam pelaksanaan yang harus direncanakan secara cermat.

10.3 Persiapan pelaksanaan

Perjalanan pengangkutan peralatan berat dipersiapkan sebaik mungkin, fasilitas untuk pengamanan, persiapan drainase awal, pemotongan pohon-pohon besar dan pembuangan akar-akarnya dari tanah perlu dikaji dalam pekerjaan persiapan.

10.4 Pekerjaan penggalian atau pengerukan dan pengangkutan tanah

Terdapat dua metode pekerjaan penggalian lereng, yaitu penggalian berjenjang dan pemotongan dari bawah (*down hill cut*) yang dapat dilihat pada Gambar 48.



Gambar 48 Metode pekerjaan pemotongan lereng

(a) tipe pemotongan berjenjang (*bench-cut*)

(b) tipe pemotongan dari bawah (*down hill-cut*)

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada pekerjaan penggalian, antara lain:

- Pemotongan bertangga (bench-cut) digunakan untuk pekerjaan galian (*cutting*) dengan volume yang besar dan tinggi penggalian tergantung pada alat berat yang digunakan. Pada “*down-hill method*”, alat berat yang dipakai adalah: buldozer, scraper dan scrapedozer, atau ripper dan breaker untuk batuan.
- Penyebab keruntuhan lereng adalah pemotongan massa tanah, hujan dan pelapukan. Peramalan penggalian lereng cukup sulit, tetapi melalui pengamatan yang hati-hati selama pelaksanaan akan dihasilkan keruntuhan sekecil mungkin.
- Hal-hal yang dilakukan pada saat pengamatan meliputi: (1) pengawasan visual dari permukaan tanah di sekitar lereng (2) rekahan disekitar bahu keruntuhan lereng (3) rembesan air tanah (4) sejarah keruntuhan lereng di sekitar lokasi.
- Selain itu penggalian dengan peledakan akan sangat sesuai untuk lereng berbatu yang solid dan kompak.
- Material buangan harus dibuang pada tempat pilihan dan tidak menimbulkan kerusakan lingkungannya.

10.5 Pekerjaan penimbunan

Hal-hal yang perlu diperhatikan pada pekerjaan timbunan, antara lain:

- 1) Perbaikan tanah fondasi sebelum pekerjaan timbunan dilakukan harus dapat: (1) meyakinkan adanya hubungan yang erat antara tanah dasar dengan bahan timbunan (2) meningkatkan daya dukung (3) mencegah terjadi “amblesan” akibat adanya bahan-bahan organik pada batas tanah asli dengan timbunan.
- 2) Perbaikan tanah fondasi yang bukan merupakan tanah lunak dijelaskan dalam tabel berikut :

Tabel 13 Perbaikan tanah fondasi

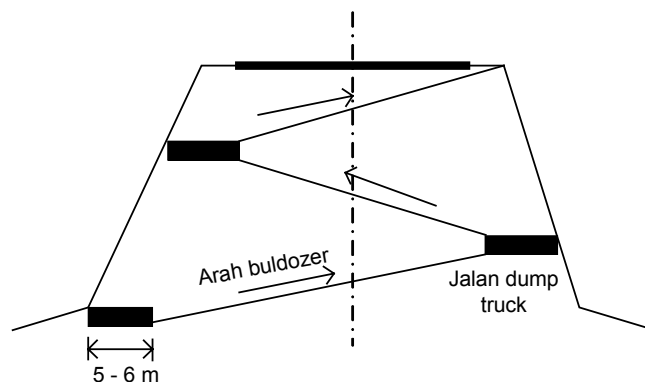
No	Jenis perbaikan	Maksud	Tindakan
1.	Potong pohon, rumput dan buang akar-akarnya	Mencegah amblesan	- buang sisa-sisa batang pohon, akar sampai 1 meter diatas tanah dasar
2.	Perbaikan permukaan tanah dasar		- jika tanah tertutup oleh gambut, maka sebaiknya diganti dengan material timbunan
3.	Perbaikan pada lapisan tipis tanah lunak	Peningkatan pelayanan dan derajat pemadatan	- keringkan dengan membuat saluran air - pasang pasir 0.5 m - pasang drainase pipa (bila perlu)
4.	Penataan tanah dasar	Peningkatan derajat pemadatan dan homogenitas timbunan	- ratakan tanah dasar

Perbaikan sifat lunak tanah fondasi umumnya menggunakan semen atau kapur yang harus dicampur merata menggunakan dengan menggunakan backhoe.

1) Penebaran (penghamparan) material timbunan

Pelaksanaan penimbunan sebaiknya setiap lapisan, umumnya 35-45 cm untuk subgrade dan 25-30 cm untuk lapisan base dengan menggunakan mesin pemadatan yang diulangi beberapa siklus, yang dapat dilakukan uji awal pemadatan.

Jika tanah lunak yang digunakan sebagai bahan timbunan, maka penghamparannya harus dilakukan dengan bantuan bulldozer. Demikian pula jalan sementara untuk dump-truk, yang letaknya harus lebih tinggi di atas timbunan, seperti terlihat pada Gambar 49 berikut ini. Untuk timbunan yang tinggi perlu dibuat lapisan-lapisan drainase.



Gambar 49 Metode penimbunan

Jika material timbunan adalah material batuan atau pecahan batu, maka sebaiknya material berukuran besar diletakkan pada dasar timbunan. Lubang-lubang yang terlihat harus diisi dengan tanah, sedangkan penghamparan material dilakukan dengan backhoe dan bulldozer. Tebal satu lapis hamparan tanah tidak lebih kecil dari 1,5 – 2,5 kali diameter fragmen batuan. Pemindahan tanah pengisi dilakukan dengan pemadat yang bergetar.

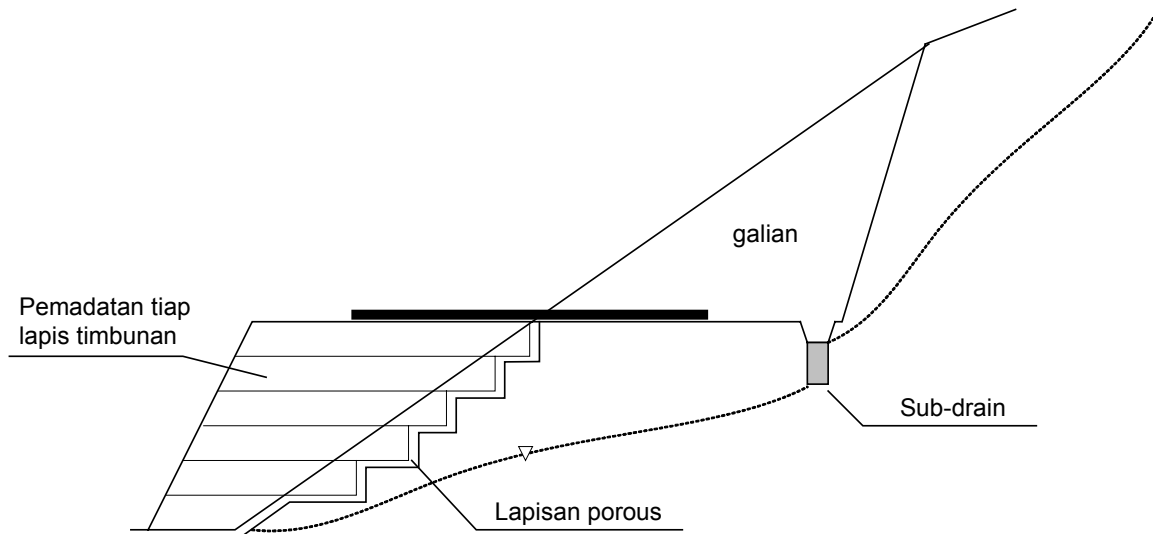
Jika material timbunan adalah batuan yang mudah hancur seperti batu lempung atau serpih, maka harus dipadatkan sekeras mungkin dengan pemadat yang besar. Selain itu juga harus dibuat lapisan pasir di antara lapisan timbunan dan batu lempung tersebut.

2) Pemadatan

Persyaratan derajat pemadatan harus dapat tercapai, dengan demikian kadar air material timbunan harus benar-benar terkontrol. Kemiringan akhir harus mencapai 4 % agar tidak memberi kesempatan air hujan untuk meresap.

10.6 Pelaksanaan pekerjaan lereng tipe galian-timbunan

Apabila pelaksanaan pekerjaan kurang baik, maka akan terjadi penurunan setempat yang menghasilkan retakan pada perkerasan jalan. Hal ini disebabkan adanya diskontinuitas daya dukung di bawah galian dan timbunan. Umumnya air berkumpul pada daerah ini, dan akibat rendahnya derajat pemadatan di daerah ini, terjadi ikatan yang kurang kuat antara tanah dasar dengan bahan timbunan. Contoh tipikal pelaksanaan dapat dilihat pada Gambar 50.



Gambar 50 Metode pekerjaan tipe galian-timbunan

10.7 Pelaksanaan pekerjaan permukaan lereng

Terdapat dua jenis pekerjaan permukaan lereng, yaitu lereng yang dihasilkan dari pekerjaan galian dan lereng-lereng timbunan.

- a. Setelah pekerjaan pemantapan atau penggalian selesai, umumnya dilaksanakan pekerjaan perlindungan lereng. Khusus untuk lereng yang terdiri dari tanah/batuan lunak, setelah konstruksi lereng yang sesuai standar harus digunakan palu untuk pekerjaan penyelesaian (*finishing*) lereng. Sedangkan untuk lereng yang tersusun dari batuan keras, untuk memperoleh sudut yang direncanakan gunakan peledakan dengan tenaga yang rendah saja agar tidak menghancurkan batuan daerah ke arah yang makin dalam.
- b. Pada pekerjaan timbunan terdapat dua jenis pekerjaan penyelesaian lereng, yaitu:
 - Jika tanah tidak mudah dipadatkan seperti tanah-tanah lempung vulkanik dan lempung, maka perhatikan kemantapan lerengnya selama pelaksanaan. Apabila terdapat perubahan yang teramati, maka lakukan segera pekerjaan korektif, termasuk penggantian tanah yang telah digunakan, atau pembuatan lapisan-lapisan drainase serta pembuatan bronjong.
 - Jika tanahnya adalah tanah kepasiran yang mudah mengalami erosi, maka segera tutup lereng dengan tanah setebal 2 – 3 meter apabila digunakan mesin pemadat, namun secara bertahap setiap 30 cm apabila tidak menggunakan mesin pemadat (cara hammer biasa).

11 Pemeliharaan lereng

11.1 Umum

Secara perlahan seiring dengan berjalannya waktu, kekuatan perlindungan lereng yang telah dibangun akan menurun atau melemah akibat adanya faktor dari luar seperti hujan, panas, gempa atau aktifitas manusia itu sendiri. Untuk mempertahankan lereng agar tidak terjadi keruntuhan, sangat diperlukan usaha pemeliharaan lereng melalui tindakan pengawasan atau pengawasan oleh seorang pengawas jalan.

Hasil dari pengawasan ini akan dijadikan program penanganan untuk penyelamatan lereng agar tidak terjadi keruntuhan, sesuai tahapan berikut :

- Pekerjaan/tindakan memelihara bangunan atau tanaman pelindung lereng dan drainase;
- Pekerjaan pemantauan dan pencatatan lokasi lereng-lereng yang runtuh setelah hujan turun atau terguncang gempa; dan
- Tindakan penanggulangan yang didasarkan pada tingkat bahaya suatu lereng yang berpotensi untuk runtuh atau sudah runtuh.

11.2 Pemeliharaan tanaman pelindung lereng

Lereng termasuk juga tanaman pelindungnya perlu dipelihara secara periodik atau diperbaiki seperlunya untuk menjaga agar fungsi lereng tetap mantap. Kita sadari bahwa tanaman adalah makhluk hidup yang harus dipelihara dengan baik, yaitu pada awal pertumbuhannya agar berfungsi secara efektif, juga pada jangka panjang agar terus efektif asalkan dipelihara dengan seksama.

Terdapat dua jenis pemeliharaan, yaitu: (1) didasarkan pada cara pelaksanaan penanaman (2) didasarkan pada jenis tanah di lereng tersebut, seperti terlihat pada Tabel 14 berikut :

Tabel 14 Pemeliharaan berdasarkan metode pelaksanaan

Metode pelaksanaan		Waktu pertumbuhan merata	Pemeliharaan setelah tumbuh rata	Pemeliharaan untuk mempertahankan tanaman
Biji rumput tanaman asing	Lumpur + biji disemprot	2 – 3 bulan	Penyiraman air pada musim panas	Pemupukan ulang sekali dalam 2–3 tahun
	Metode lain	-----	Pemupukan ulang pada tempat tertentu	Bila ada lereng yang masih terbuka segera dipupuk lagi
Biji / tanaman Jepang	Cara tanam sederhana	1 tahun	Pemupukan yang tepat	Pemeliharaan tak perlu namun pemupukan perlu pada bibit yang kurus

Tabel 15 Pemeliharaan berdasarkan jenis tanah

Timbunan/galian pada tanah lunak	Tanah kepasiran	Bila rumput tidak mengejar musim hujan deras, maka segera gunakan bahan pencegahan erosi permukaan	Setiap pelindung yang rusak adalah berbahaya. Segera tambahkan pupuk pada tanaman yang jarang-jarang (tanah terbuka)
	Tanah lempungan	Tumbuh lambat – Waktu tanam sesuaikan musim	- Tak perlu pemeliharaan - Pemupukan diperlukan pada tanaman pelindung yang membutuhkan
Galian pada tanah luas		Perlu penyiraman air dan tambahan pemupukan	Pemeliharaan terus menerus hingga benar-benar tanaman mantap. Pemupukan terus menerus beberapa tahun

Catatan : Compound pupuk terdiri dari Nitrogen, Phospor dan Potasium

11.3 Pemeliharaan struktur pelindung lereng

Konstruksi struktur pelindung lereng diperhitungkan apabila perlindungan dengan tanaman tidak memberikan hasil yang menguntungkan, sehingga perlu berhati-hati dalam kegiatan pemeliharaannya. Dengan demikian, pengawasan oleh seorang pengawas (patrol) dengan cara berkeliling secara rutin setiap hari, terlebih lagi setelah hujan turun atau terjadi guncangan gempa bumi sangat penting untuk dilaksanakan.

Pengawas harus mencatat lokasi dan tipe lereng, derajat kepentingan jalan, *terrain*, tanah dan cuaca. Berikut ini merupakan hal-hal yang harus diawasi secara rutin (harian) dalam program pemeliharaan:

1) Pasangan batu atau pasangan balok

- Hilangnya batu yang dipasang karena telah runtuh atau lapuk
- Tanah isian mengalir keluar, atau bangunan pengaman ambles
- Pasangan batu miring, retak, terlipat akibat longsor rotasi
- Kondisi fasilitas drainase buruk, terdapat rembesan atau mata air
- Adanya gerusan pada fondasi

2) Pasangan beton

- Retakan atau bergeser
- Kondisi fasilitas drainase buruk, terdapat rembesan atau mata air
- Gerusan pada fondasi

3) Bronjong balok beton

- Retak dan terlipatnya bronjong
- Terbenamnya material pengisi bronjong
- Keluarnya tanah *terrain* dari belakang bronjong
- Kondisi drainase
- Gerusan pada fondasi

4) Krib beton cor setempat

Idem seperti bronjong balok beton

5) Mortar atau beton semprot

- Retakan, terlipat atau bergeser
- Kondisi dan kotoran dari mata air atau rembesan
- Adanya rongga antara tanah dan bahan semprotan
- Kondisi drainase

6) Bronjong

- Kondisi adanya penyumbatan (*clogging*) oleh tanah yang runtuh
- Adanya kawat yang keropos dan batuan pengisi yang hilang

7) Jaring runtuh batu

- Jaring atau tali yang putus
- Penumpukan batu yang runtuh
- Lepasnya angker
- Hilangnya tanah di belakang jaring, adanya proses pelapukan

8) Pagar pelindung runtuh batu

- Patah atau bengkoknya tiang pagar
- Penumpukan batu yang runtuh
- Pelapukan dan keruntuhan fondasi
- Terlepasnya bagian atas lereng akibat pelapukan atau ulah manusia

11.4 Pemeliharaan fasilitas drainase lereng

Hampir semua keruntuhan lereng disebabkan oleh air hujan yang menjadi air permukaan (*run-off*) dan mengalir melewati lereng serta menyebabkan proses erosi tanah permukaan. Keruntuhan lereng juga terjadi akibat air hujan yang meresap ke dalam tanah menjadi air rembesan pada lereng serta menyebabkan proses pencucian, pelarutan dan naiknya tegangan air pori.

Dengan demikian, pada saat pemeliharaan lereng perlu dilakukan pengamatan rutin terhadap: saluran pada berin, saluran bagian atas lereng galian termasuk tanah runtuh batu harus segera dibuang. Usahakan segera mungkin mengalirkan air genangan keluar dari daerah saluran drainase lereng.

Bila saluran menggunakan beton pencetak berbentuk “U” maka harus diamati secara teliti adanya *differential settlement*, sehingga sambungan/joint akan mudah dimasuki air yang menyebabkan gerusan dan akhirnya akan menghancurkan permukaan lereng. Segera lakukan perbaikan dengan mengembalikan kondisi saluran melalui pengisian bahan fondasi yang harus dipadatkan, juga dengan mengganti konstruksi saluran dengan konstruksi baru. Berikut ini adalah hal-hal yang harus diamati dalam program pengawasan lereng dan pemeliharaan rutin harian fasilitas drainase.

1) Untuk mencegah keruntuhan lereng dari gerusan air permukaan (*run off*)

- Kondisi fasilitas drainase setelah turun hujan
- Kondisi dan penumpukan tanah atau batang semak di dalam saluran drainase
- Kondisi gerusan terhadap permukaan lereng
- Kondisi saluran yang bergeser, miring atau pecah
- Adanya perubahan bentuk cekung dari kedua sisi saluran

2) Untuk mencegah keruntuhan lereng akibat rembesan air (*seepage water*)

- Lokasi/bagian yang basah pada muka lereng setelah hujan turun
- Perubahan kondisi mata air pada lereng
- Penyumbatan pada lubang pengaliran (*drain-hole*)
- Retak dan pecah pada dasar saluran
- Keluarnya mata air dari sambungan-sambungan pelindung lereng

11.5 Tindakan penanganan darurat untuk lereng

Meskipun sudah dilakukan pengawasan dan pemeliharaan dengan baik, namun masih terjadi beberapa keruntuhan lereng selama kondisi iklim tidak normal. Dengan demikian tindakan penanganan darurat berikut menjadi penting :

1) Penanganan darurat terhadap kerusakan tanaman (rumput) pelindung lereng (pada lereng galian dan timbunan)

Pada tahap pengawasan, diamati adanya retakan dan runtuh tanah pada lereng yang telah diberi tanaman pelindung

Pada tahap darurat, retakan harus ditutup dengan plastik untuk mencegah masuknya air hujan yang akan berkembang menjadi bencana.

Pada lereng timbunan yang runtuh perlu segera penanganan darurat berupa pemancangan kayu (tiang kayu balok) yang diselengi dengan kayu yang diisi dengan kantong pasir hingga membentuk lereng seperti semula.

Alternatif lain jika ternyata pada lereng yang runtuh keluar mata air adalah dengan konstruksi bronjong di bagian bawah dan dilanjutkan dengan kantong pasir di bagian atas.

2) Penanganan darurat terhadap kerusakan bangunan struktur pelindung lereng

Penanganan darurat terhadap kerusakan bangunan struktur pelindung lereng yang terdiri dari beton semprot, pasangan batu dan krib, diperlihatkan pada gambar 7.4 dan 7.5

Untuk lereng yang tidak dilindungi dan runtuh, perlu dilakukan langkah-langkah darurat sebagai berikut :

- Buat ruangan yang mampu menampung runtuh;
- Untuk melindungi kendaraan yang lewat, perlu juga dibuat pagar pelindung atau jaring agar batu/tanah tidak loncat dan membahayakan pengguna jalan.

3) Tindakan penanganan darurat pada daerah longsor (*landslide*) dilakukan dengan langkah-langkah berikut :

Untuk daerah yang menunjukkan gejala gerakan tanah harus dipasang alat pantau yang dapat dijadikan sebagai peringatan bagi penduduk atau pengguna jalan di daerah tersebut.

Apabila gerakan tanah sudah berbahaya atau telah terjadi gerakan tanah/keruntuhan lereng maka lakukan segera:

a. Penyelidikan awal untuk tindakan darurat dengan urutan sebagai berikut :

- Menentukan sejarah gerakan tanah, sebaran dan karakteristiknya;
- Menentukan pola letak dan skala retakan secara rinci (retak tarik, retak tekan), lokasi mata air;
- Menentukan mekanisme, struktur geologi, bidang gelincir.

b. Perbaikan darurat

- Lokasi jalan dipindahkan dan dilindungi dari keruntuhan lereng;
- Jika tidak ada lokasi pemindahan, maka jalan darurat langsung dibuat pada material runtuh walaupun akan menambah tinggi longitudinal gradien;
- Jika jalan darurat sudah tidak memungkinkan lagi (misal, di daerah lereng gunung), maka fasilitas penahan tanah bisa dibuat dengan membuang tanah sesedikit mungkin;
- Jika jalan adalah jalur penting, maka segera lakukan perbaikan dengan pekerjaan galian, perlindungan lereng galian, pekerjaan drainase permukaan dan bawah permukaan yang semuanya harus direncanakan dengan matang.

c. Tindakan darurat lainnya

- Genangan air segera dialirkan keluar daerah yang longsor;
- Retakan ditutup dengan plastik vynil;
- Air dari mata air segera dialirkan melalui pipa dan dibuang jauh;
- Air tanah yang berpotensi menimbulkan gerakan tanah harus segera dialirkan melalui pemboran horizontal;
- Membuang bagian atas lereng (mengurangi beban).

Daftar istilah

1. <i>Aluvium/ aluvial</i>	:	material lepas berupa pasir, lanau, lempung, kerakal, kerikil dan bongkah
2. <i>Aquifer</i>	:	lapisan batuan yang berfungsi sebagai penyimpan dan mengalirkan air
3. <i>Avalanche</i>	:	aliran yang tiba-tiba meluncur cepat
4. <i>Buttresses</i>	:	struktur gravitasi pasangan batu yang diperkuat dengan angker untuk meningkatkan stabilitas
5. <i>Chaostik</i>	:	zona hancuran
6. <i>Concrete underpinning</i>	:	salah satu metode untuk stabilisasi boulder di in-situ
7. <i>Crust</i>	:	lempeng atau kerak bumi
8. <i>Dentisi</i>	:	penutupan permukaan lereng dengan material filter dan dilindungi oleh beton/pasangan batu untuk mencegah erosi
9. <i>Drawdown</i>	:	peristiwa penurunan muka air tanah secara lokal, misalnya akibat pemompaan pada suatu lubang bor.
10. <i>Fall</i>	:	jatuhan
11. <i>Fault</i>	:	sesar (struktur geologi)
12. <i>Flow</i>	:	aliran
13. <i>Fold</i>	:	lipatan (struktur geologi)
14. <i>Foreland</i>	:	cekungan/ busur muka atau depan
15. <i>Formasi</i>	:	kumpulan dari satu atau lebih jenis batuan
16. <i>Fisiografi</i>	:	bentuk rupa bumi
17. <i>Fissure</i>	:	rekahan yang terjadi pada batuan (serpih)
18. <i>Gawir</i>	:	lereng
19. <i>Geomorfologi</i>	:	bentuk bentang alam
20. <i>Ground failures</i>	:	keruntuhan tanah
21. <i>Grouting</i>	:	Penyuntikan cairan kental semen/zat kimia
22. <i>Joint</i>	:	kekar (struktur geologi)
23. <i>Kesarangan</i>	:	porositas
24. <i>Landslide</i>	:	longsoran
25. <i>Miocene</i>	:	umur dalam skala waktu geologi
26. <i>Mud flow</i>	:	aliran lumpur
27. <i>Paleocene</i>	:	umur dalam skala waktu geologi
28. <i>Pelantar</i>	:	saluran pembuang
29. <i>Pemerian</i>	:	deskripsi
30. <i>Penyalir parit pencegat</i>	:	saluran pemotong
31. <i>Penyalir liput</i>	:	saluran pengumpul
32. <i>Piroklastik</i>	:	bagian dari batuan vulkanik
33. <i>Reservoir</i>	:	batuan penyimpan air
34. <i>Seams</i>	:	sisipan
35. <i>Sedimen plagic</i>	:	sedimen laut dangkal-dalam
36. <i>Shale</i>	:	serpih
37. <i>Slickenside</i>	:	bidang lemah/ gelincir
38. <i>Slide</i>	:	gelincir
39. <i>Slump</i>	:	nendatan
40. <i>Slope failure</i>	:	keruntuhan lereng
41. <i>Solifluction</i>	:	pergerakan debris dalam kondisi jenuh
42. <i>Stratigrafi</i>	:	urut-urutan lapisan batuan
43. <i>Subduksi</i>	:	penunjaman lempeng tektonik

- 44. *Sumur pelega* : sumur yang dibuat pada kaki lereng lalu diisi dengan batu kali yang berguna untuk memperbaiki kestabilan lereng yang mempunyai permasalahan rembesan air
- 45. *Tata salir* : penegndalian saluran permukaan
- 46. *Topless* : jungkiran
- 47. *Topografi* : model dua dimensi rupa bumi
- 48. *Torque-set bolt* : alat mekanis untuk mengikatkan angker pada batuan
- 49. *Uplift* : pengangkatan lempeng tektonik
- 50. *Volkanik* : batuan hasil erupsi gunung api
- 51. *Wedge slides/ failure* : keruntuhan translasi/ gelincir baji
- 52. *Granular flows* : aliran berbentuk butiran
- 53. *Debris avalance* : Aliran cepat debris
- 54. *Mud flow* : Aliran lumpur
- 55. *Grain flow* : Aliran butiran
- 56. *Debris flow* : Aliran bahan rombakan
- 57. *Eart flow* : Aliran tanah
- 58. *Creep* : Rayapan
- 59. *Slury flows* : Aliran material jenus

Bibliografi

1. Civil Engineering Department The Government of The Hong Kong Special., 2000, '**Geotechnical Manual for Slope**', Geotechnical Engineering Office Administrative Region, Hongkong.
2. Japan Road Association., 1984, '**Manual for Slope Protection**'. Tokyo, Japan.
3. Japan Road Association., 1989, '**General Guide Line for Road Earthwork**', Tokyo, Japan.
4. JICA, Sabo Technical Centre., 1993, '**Manual of Landslide Control**'.
5. World Road Association (PIARC)., 1996, '**Natural Disaster Reduction for Roads**'.
6. Transport Research Laboratory, Overseas Road Note 16., 1997, '**Principles of Low Cost Road Engineering in Mountainous Regions**', With Special Reference to the Nepal Himalaya, Crowthorne, Berkshire, United Kingdom.
7. *Pemetaan situasi Metode Tachymetri*



Lampiran A

A Geologi Indonesia

A.1 Fisiografi

Gambaran rupa bumi atau fisiografi sangat erat hubungannya dengan topografi suatu daerah, dalam hal ini yang berpotensi terhadap gerakan tanah melalui bentuk geometri lereng, pola kelurusan, sudut lereng, elevasi atau tinggi lereng.

Secara umum fisiografi kepulauan Indonesia sangat ditentukan oleh adanya gerak-gerak lempeng atau dari sisi neotektonik pembentukan kepulauan tersebut telah diketahui mulai terjadi pada jaman Paleocene, 60 juta tahun yang lalu. Pada 30 juta tahun berikutnya, Pulau Kalimantan bagian Selatan dan Borneo Utara bergabung. Selanjutnya 10 juta tahun lalu atau jaman Miosen akhir dicirikan adanya pengangkatan (*uplift*) dari batuan endapan dari dasar lautan dan terjadilah sederetan pulau-pulau vulkanis (Sumatera – Jawa – Bali – NTB – NTT – Maluku dan sebagian Sulawesi).

Pada saat itu terjadilah pelapukan, pelepasan tanah akibat adanya proses erosi dari rangkaian deretan pegunungan hasil endapan vulkanis, yang kemudian menghasilkan endapan tebal (contoh sepanjang delta sungai Mahakam). Kemudian pada saat 2 juta tahun lalu (akhir Plistosen) adalah saat berulangnya jaman pencairan es, yang ditandai dengan pembentukan paparan Sunda dan Sahul (Bagian Timur Sumatera, Jawa bagian Utara dan Kalimantan bagian Selatan bersatu dan mengalir sungai-sungai besar (Kuantan, Musi, Bengawan Solo, Barito). Pergerakan lempeng bumi tercatat sangat lamban, yaitu di wilayah Indonesia sekitar 7 cm/ tahun (lihat Gambar A.1). akibat pergerakan lempeng, maka antar lempeng terjadi tumbukan, pada sisi lempeng dapat terjadi gempa regular yang terasa di sebagian besar Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara, Irian Jaya dan Sulawesi Utara, dan Kepulauan Banggai.

Secara umum Sumatera dan Jawa berdasarkan zona struktur tektonik lempeng dapat dibagi menjadi 3 (tiga) zona wilayah, yaitu : (Gambar A.1).

1. Wilayah subduksi yaitu daerah tumbukan lempeng yang ditandai adanya zona hancuran/ chaostik terdiri dari batuan ultramafic, gabbro, serpentin, basalt dan sedimen pelagic (*calcareous, siliccous, clayey*).
2. Wilayah magmatik aktif dicirikan oleh deretan gunungapi di Sumatera, Jawa, Bali, NTB-NTT, Maluku Utara dan Sulawesi, yang terdiri dari batuan beku asam-intermedit (granit-andesit), *silisic calcalkaline*, dan batuan potasium.
3. Wilayah dataran rendah, perbukitan, dan hamparan alluvial hingga lepas pantai merupakan cekungan *foreland* yang tersusun oleh endapan sedimen klastik dan kipas aluvium gunungapi yang terbentuk sebagai endapan aluvium dan endapan tanah lunak dan endapan laut dangkal. Cekungan *foreland* ini tidak terdapat di Banda – Banggai. Berbeda dengan di Irian Jaya, daerah aluvial tanah lunak terdapat di bagian Selatan yang berhubungan dengan lempeng benua Australia, sedangkan di Irian bagian Tengah dan Utara merupakan pegunungan yang berasal dari daerah lipatan-lipatan dan patahan.

Berbeda dengan Pulau Sumatera dan Jawa, Pulau Kalimantan terbagi menjadi 4 satuan fisiografi, yaitu :

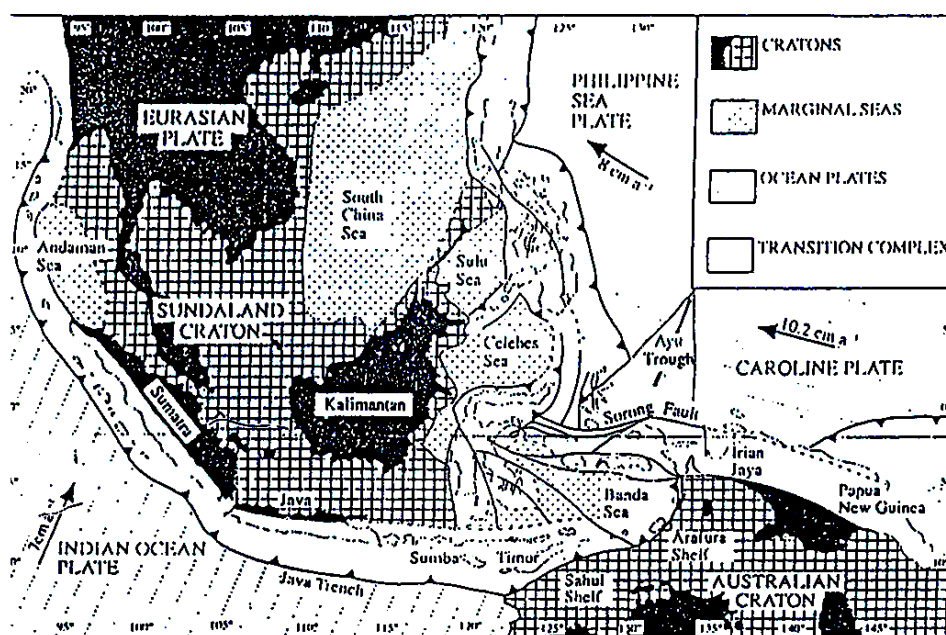
- 1) batuan yang berasosiasi dengan pinggiran lempeng, dikenal sebagai deretan pegunungan tengah;
- 2) batuan induk sebagai *basement* (granit – Kalimantan Barat);
- 3) batuan yang terdiri dari endapan yang terkonsolidasi dan belum terkonsolidasi (Kalimantan Timur dan sebagian Selatan);
- 4) endapan aluvium dan endapan gambut (Kalimantan Tengah dan Selatan).

Dengan memahami sejarah pembentukan kepulauan Indonesia yang kemudian tercermin jelas secara fisiografi di masing-masing pulau, maka akan mudah mengkaitkan daerah potensi dan rentan longsor dengan kondisi geologi di masing-masing wilayah fisiografi tersebut di atas.

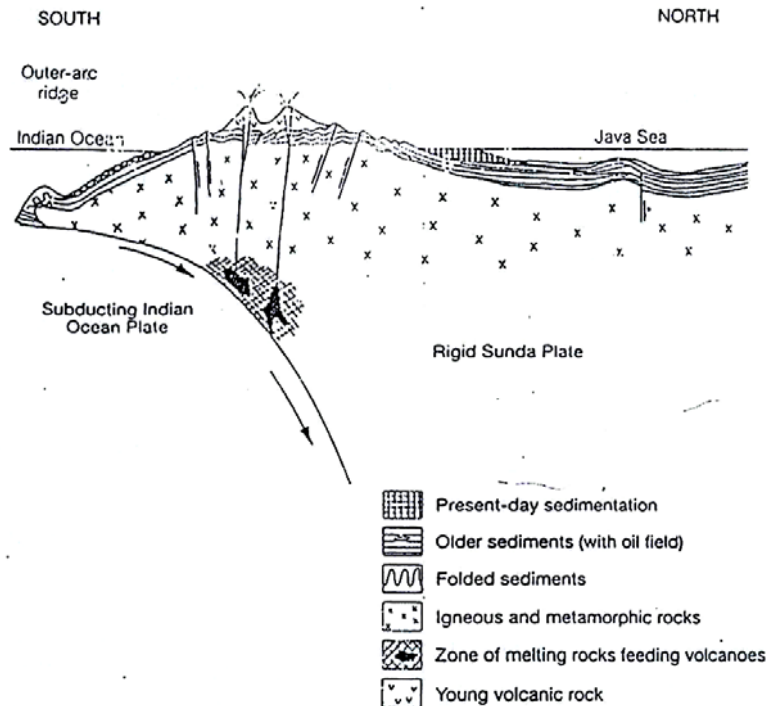
Sebagai contoh: longsor yang terjadi di wilayah bagian atas "zona subduksi" (tepi Barat Sumatera, Selatan Jawa) dapat dikaitkan dengan "zona hancuan", garis-garis sesar atau patahan atau bahkan dikontrol oleh pelurusan akibat pola retakan regional. Atau dapat juga terjadi adanya runtuhnya batu (*Rockfall*) dari batuan-batuan sejenis batuan beku dan metamorf.

Longsor dapat terjadi pada lereng-lereng gunungapi yang terletak di "wilayah magmatik aktif", terutama bila ada lapisan gunungapi muda yang miring ke arah lereng bawah, atau menumpang di atas lapisan tanah/ batuan yang kedap air, seperti lapisan tufa halus atau batuan dasar sedimen serpih/ *shale* yang berfungsi sebagai bidang gelincir. Longsor dapat pula terjadi di daerah-daerah yang mengalami alterasi hidrothermal (contoh : Tarutung – Sipirok, Amurang – Kotomubago).

Sedangkan di daerah "lipatan", batuan sedimen seperti batupasir, batulanau, batu lempung/ serpih yang mengandung mineral *montmorillonite* dan breksi vulkanik, longsor dapat terjadi akibat adanya patahan, retakan, serta proses pelapukan pada lapisan batuan tersebut.



Gambar A.1 Neotectonic features of the Indonesia archipelago (Simanjuntak, 1993)



Gambar A. 2 Potongan melintang Pulau Jawa (after RePProT, 1989)

Selanjutnya longsoran yang mungkin terjadi di daerah *foreland* adalah disebabkan adanya beberapa hal, seperti : sifat tanah aluvial yang belum terkonsolidasi dan mudah tererosi air permukaan atau mudah tergerus aliran sungai. Atau adanya endapan sungai purba yang patah (longsoran jalan Bandung – Cirebon Km 64.200)

Kegiatan inventarisasi bencana gerakan tanah yang telah merusak jaringan jalan menunjukkan bahwa batuan endapan gunungapi muda sangat rentan longsor (Sumatra, Jawa, Sulawesi dan Irian). Disisi lain gerakan tanah dan longsor sangat mungkin terjadi pada batuan sedimen halus (batulempung dan serpih/ shale), sedimen pasir tufan yang belum terkonsolidasi baik, banyak dijumpai di Sumatra, Jawa, Kalimantan Timur, Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan. Gejala runtuh batuan dan pelapukan batuan beku banyak terjadi di Bukit Barisan – Sumatera, Kalimantan Barat, Sulawesi, Maluku dan Irian.

Selain itu longsoran sering timbul di daerah batuan metamorf, misalnya pada batuan filit dan sekis akibat dari struktur foliasi dan proses pelapukannya, banyak dijumpai di Sulawesi, Maluku dan Irian. Gejala longsoran juga sangat banyak dijumpai pada endapan aluvial dan teras atau undak sungai yang masih belum terkonsolidasi baik kemudian mengalami gerusan atau erosi, banyak ditemukan di Jawa, Sumatera, Kalimantan dan Sulawesi. Tabel A. 1 berikut adalah hasil inventarisasi.

Tabel A. 1 Inventarisasi keruntuhan lereng dan longsor VS jenis batuan

<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Batuan</div> <div style="margin-left: 10px;">Peneliti</div> </div>		Saroso (1989)	Sutikno (1995)	Jasper Cook (1998)							
				J a w a	S u m a t r a	K A L T E N G	K A L B A R	K A L L S E L M	S U L A W E S I	M A L U K U	I R I A N
Volkanik	Kwarter	56	222	+	+						
	Tersier				O						+
Sedimen	Kwarter	28	77		+	+		O			
	Tersier			O	O			+			
Beku & Hidrotermal		9	20		O		+		O	O	
Metamorf		14							+	+	+
Aluvial & undak sungai		13									
Total jumlah lokasi		120	319								

Keterangan : (+) Potensi Tinggi (O) Potensi sedang

Untuk memberikan gambaran secara umum wilayah Indonesia yang rentan longsor, dapat dilihat Gambar A.3 yang dipublikasikan oleh Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.

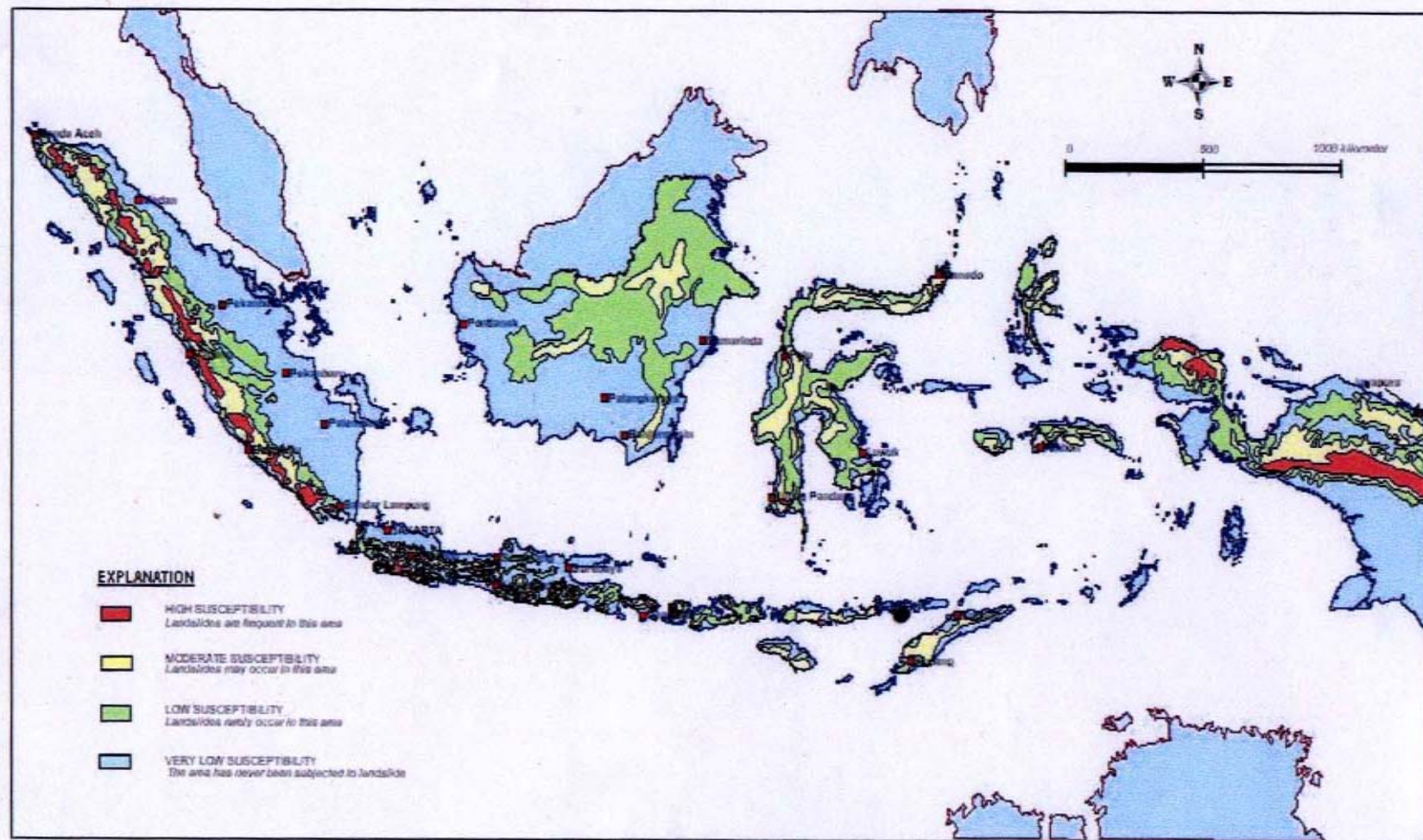
A.2 Geohidrologi

Keterdapatan airtanah di dalam suatu batuan diantaranya dipengaruhi oleh sifat fisik batuan, yaitu kesarangan dan kelulusannya. Karena tingkat kesarangan dan kelulusan batuan itu ditentukan, terutama oleh tingkat konsolidasinya maka dalam pembahasan ini, batuan-batuan yang merupakan akuifer dikelompokkan menjadi batuan padu dan batuan lepas atau setengah padu.

Akuifer adalah suatu lapisan jenuh, formasi atau kelompok formasi yang menghasilkan air dalam jumlah yang cukup dan ekonomis. Untuk menjadi akuifer, formasi geologi harus mempunyai pori-pori atau bidang yang terbuka yang dapat terisi air. Pori-pori ini harus cukup besar untuk mengalirkan air. Ukuran pori dan jumlah total pori pada suatu formasi dapat bervariasi, tergantung pada tipe material dan proses geologi dan kimianya. Air terdapat pada akuifer dalam 2 (dua) kondisi fisik yang berbeda yaitu ; *Unconfined aquifer*, kondisi dimana muka air keluar ke permukaan melalui bidang terbuka, dan *Confined aquifer*, airtanah terdapat dalam kondisi terkekang.

Airtanah terkekang terisolasi dari permukaan (*atmosphere*) oleh formasi geologi yang impermeabel dan confined aquifer pada umumnya terjadi dikarenakan tekanan yang lebih tinggi dari tekanan atmosfer. Hal-hal utama yang mempengaruhi terbentuknya 3 (tiga) dari 4 (empat) jenis utama sistem akuifer yaitu ; penghancuran partikel batuan, redistribusi partikel batuan dan pengendapan partikel batuan.

Sedikitnya terdapat 4 (empat) sistem akuifer yang terdapat di Indonesia, yaitu ; aluvial, batuan sedimen, batuan piroklastik, batuan beku dan metamorf. Partikel-partikel batuan terdistribusi kembali oleh 3 (tiga) agen erosi yaitu ; angin, air yang mengalir, merupakan agen yang paling efektif karena bekerja secara terus menerus pada hampir seluruh daerah di muka bumi. Pada akuifer aluvial bertindak sebagai agen utama dan sebagai tenaga utama yang membentuk dan mengubah jenis-jenis akuifer yang lain adalah air.



Gambar A.3 Wilayah Indonesia yang rentan longsor, dipublikasikan oleh Direktorat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi

Karakteristik geologi akuifer material batuan dan tanah residunya yang terdapat di Indonesia. Seperti telah dikemukakan di atas bahwa batuan yang terdapat di Indonesia sangat variatif sehingga masing-masing material batuan tersebut memiliki sifat hidrolik yang berbeda.

Beberapa perubahan yang mempengaruhi kemampuan batuan sebagai media penyimpan air tanah adalah ; perubahan fisika, terjadi karena kompaksi yang disebabkan oleh bertambahnya tebal timbunan (overburden), efek larutan kimia yang terdapat pada rongga-rongga di dalam batuan, dan panas akibat adanya intrusi magma.

Akuifer yang paling baik adalah endapan berbutir pasir karena mempunyai volume rongga yang paling besar. Ruang rongga pada material pasir diperkirakan sebesar 25 % - 40 %. Seiring dengan waktu, ruang ini akan berkurang karena faktor-faktor tersebut di atas, yang pada akhirnya akan membentuk formasi batuan pasir. Formasi pasir merupakan batuan reservoir yang cukup baik yang dapat menyimpan air tanah dalam jumlah besar.

Sementara itu batuan yang berukuran lempung merupakan batuan padat yang tidak mempunyai ruang penyimpanan untuk air tanah, hal ini disebabkan oleh ukuran rongganya yang sangat kecil, panas dan tekanan yang merupakan faktor utama yang mengontrol konsolidasi material tersebut.

A.3 Iklim

Letak kepulauan Indonesia ada disekitar equator (garis khatulistiwa) yaitu sekitar 6° Lintang Utara (LU) – 12° Lintang Selatan (LS) dan diantara 95° – 140° Bujur Timur (BT).

Letak geografis Indonesia sangat berpengaruh terhadap iklim dan curah hujan, yang dicirikan oleh iklim tropika basah dan terdiri dari dua musim, yaitu musim hujan (basah) dan musim kemarau (kering). Turunnya hujan sangat dipengaruhi oleh arah datangnya angin musim Barat dan Timur yang mengalir melalui equator.

Indonesia bagian Barat dan Tengah (Sumatera, Kalimantan, Jawa, Bali) umumnya mempunyai sifat iklim yang hampir bersamaan yaitu musim hujan curah hujan rata-rata diatas 200 mm/bulan terjadi pada bulan-bulan Oktober –Mei, sedangkan bulan Juni – September merupakan musim kemarau (curah hujan tak lebih dari 100 mm/bulan) curah hujan tahunan berkisar 1500 → 4000 – 5000 mm/tahun. Adapun temperatur bervariasi antara 22° – 35°C. Untuk daerah pegunungan dengan gunung yang tinggi temperatur dapat mencapai 18° – 20°C.

Berbeda dengan Indonesia Bagian Timur (Sulawesi, Nusa Tenggara, Maluku dan Irian) sangat dipengaruhi sekali oleh aliran angin musim Barat Laut di Selatan equator (Januari – Februari) dan angin musim Timur Laut (di Utara equator), sedangkan bulan basah untuk daerah Utara equator antara Mei hingga September dan disekitar equator Januari – Februari. Untuk wilayah Nusa Tenggara dan Maluku Selatan Tenggara musim kemarau dibawa oleh angin musim Tenggara antara April hingga Oktober. Sedangkan daerah bayang-bayang hujan di Nusa Tenggara akan terjadi November – Desember yang dibawa oleh angin lautan dari Barat daya. Dengan adanya pengaruh angin-angin musim tersebut, maka temperatur diwilayah ini sangat bervariasi dan lebih panas (didas 30°C).

Curah hujan dan temperatur yang diuraikan diatas merupakan faktor utama yang sangat berpengaruh pada kondisi lingkungan geoteknik tanah/batuan secara umum, yang dapat disimpulkan seperti berikut ini :

- pelapukan tropika adalah proses yang mendominasi pembentukan zona pelapukan tanah dan batuan;
- curah hujan yang kuat selama jangka waktu tertentu sangat berpengaruh pada kemantapan lereng secara umum;
- variasi dalam evapo-transpirasi berdampak langsung terhadap kondisi jenuh pada lereng dan juga terhadap pekerjaan galian atau penimbunan bahan timbunan.

A.4 Keruntuhan lereng di Indonesia

Sebelum membahas keruntuhan lereng jalan, pembagian wilayah di Indonesia berdasarkan satuan unit terain dapat dilihat, dapat dilihat pada Tabel A. 2 berikut ini :

Tabel A. 2 Satuan unit terain di Indonesia

No.	Satuan Uraian	Luas (Km2)	(%) Luas
1.	Satuan wilayah gunung dan pengunungan	840.244	44,0
2.	Satuan Perbukitan dan dataran batuan induk yang berlipat	518609	28,2
3.	Satuan perbukitan rendah dari batuan lepas	261993	13,7
4.	Satuan dataran rendah ditempati tanah lunak (soft soil)	263018	14.1

Luas wilayah No. 1 dan No. 2 lebih dari 70 % luas wilayah Indonesia, sudah barang tentu jaringan jalan disini pasti menembus bukit, pegunungan dan gunung dan dapat dipastikan banyak sekali pekerjaan galian dan timbunan. Selain itu juga tidak dapat dihindari adanya lokasi yang secara geologi sudah rawan dan rentan gerakan tanah atau longsor.

Inventarisasi yang dilaksanakan tahun 1998 oleh Direktorat Pembinaan Teknis, Ditjen Prasarana Wilayah bersama-sama Dinas Bina Marga Kabupaten/Kota dan Propinsi menunjukkan bahwa :

- Ruas jalan yang terganggu akibat gejala reruntuhan lereng jalan ada 254 Ruas
- Panjang jalan yang mengalami gangguan dan perlu perbaikan adalah sekitar 1200 kilometer
- Jumlah lokasi reruntuhan lereng atas maupun lereng bawah adalah 1124 lokasi
- Kerusakan lain runtuhnya badan jalan/ lereng badan jalan akibat gerusan erosi sungai dan banjir 151 lokasi (\pm 30 kilometer)
- Kerusakan jalan akibat dasar jalan yang runtuh karena terdiri dari tanah lunak atau gambut sebanyak 93 lokasi (\pm 135 Kilometer)
- Jenis keruntuhan lereng dikelompokkan :
 - a. Lereng galian ganda dan tunggal
 - b. Lereng timbunan ganda dan tunggal
 - c. Lereng galian timbunan
 - d. Lereng timbunan ganda diatas tanah lunak / gambut



Tabel A. 3 Inventarisasi lokasi kerusakan jalan akibat keruntuhan lereng dan longsor

Tipe lereng yang runtuh	Jumlah total (lokasi)	BINTEK(+) Ditjen.Pras. Wilayah Semua Propinsi Kecuali P. Jawa	World Bank RRDP Cooks 1998 (*)		JBIC/PCI 2001 (0) • Sumatra • Sulawesi • Kalimantan
			Jawa	Seram	
Galian	917	615	140	17	28
Gali dan Timbun		117			
Timbunan	440	407	19	10	4
Natural slope yang longsor	54	-	50	2	2
Lereng runtuh akibat erosi	56	45	-	11	-

Inventarisasi keruntuhan lereng pada Proyek RRDP – World Bank (Cooks, 1998) dilaksanakan di Pulau Jawa dan Pulau Seram- Maluku dengan hasil sebagai berikut :
Data dari Pulau Jawa (1998) :

- Pendataan dilaksanakan pada 204 lokasi lereng akan 449 lereng galian jalan dan 19 lokasi timbunan
- Sebagian besar lereng galian jalan mempunyai tinggi kurang dari 10 meter dengan sudut lereng standar rata-rata 50°-70°
- Dari 204 lereng alam yang didata, 94 dalam kondisi longsor atau runtuh. Sedangkan dari 449 lereng galian, sebanyak 289 lokasi runtuh.

Data dari P. Seram (1998)

Dari pengamatan 40 lokasi lereng jalan yang runtuh dapat dikelompokkan menjadi:

- Lereng galian 17 lokasi
- Lereng timbunan 10 lokasi
- Lereng longsor 2 lokasi
- Lereng runtuh akibat erosi 11 lokasi

Inventarisasi keruntuhan lereng pada proyek PCI-JBIC 2001

Dilaksanakan pada 4 propinsi: Sulawesi Utara, Jambi, Kalimantan Timur dan Jawa Tengah dengan hasil sebagai berikut:

- Lereng galian 28 lokasi
- Lereng timbunan 4 lokasi
- Longsor alam 2 lokasi
- Keruntuhan akibat tanah lunak 2 lokasi

Mempelajari data inventarisasi dari ke 3 sumber yang dipercaya ini maka teknologi yang benar-benar diperlukan adalah penanganan masalah perlindungan kemantapan lereng galian (1095 lokasi), lereng timbuna (440 lokasi), longsor / gerakan tanah lereng alam 54 lokasi, keruntuhan lereng jalan disebabkan erosi sungai 56 lokasi dan keruntuhan lereng disebabkan dan tanah dasar gambut dan tanah lunak 153 lokasi .

Tabel A. 4 Inventarisasi kerusakan/ longsor jalan (Data DIT BINTEK DITJEN PRAS.WIL 1998)

No	Daerah	Ruas jalan yg rusak	Lokasi longsor/rusak	Panjang (m)	Cutting	Timbunan	Material			Erosi Sungai
							Batu	Campuran Batu+tanah	Tanah	
1	Sumatera	110	447	1015843	316	66	v	v	v	38
2	Kalimantan	52	45483*	26611135985*	160	211				3
3	Sulawesi	218 ⁺	10793 ⁺	2650330610 ⁺	106	493	v v	v v	v v	2 -
4	Maluku	8	65	5990	27	18	v	v	v	-
5	Irian Jaya	10	12	2707	46	8	v	v	v	-
6	NTB	20	31	Tak ada penjelasan	31	3	v	v	v	-
7	NTT	25	49	87720	47	4	v	v	v	2
JML	Total	254	112415193	- 1185374 135985* 30610 ⁺	733	407	v	v	v	45

Keterangan : Data P. Jawa – Hasil inventarisasi Proyek RRDP World Bank

* : gambut – subgrade failure

⁺ : banjir

Lampiran B

FORMULIR LAPANGAN SURVAI PENDAHULUAN UNTUK PENYELIDIKAN LONGSORAN

PROPINSI :	NO. SURAT TUGAS :
SEKSI :	TANGGAL :
	DILAPORKAN OLEH :
Lokasi/link/km :	Antara Kota :
Penamaan :	dan Kota :

I. KLASIFIKASI LONGSORAN :

TIPE GERAKAN	JENIS MATERIAL YANG BERGERAK				Bahan dasar yang tidak bergerak
	Batuan *)	Tanah *)	Bahan *)	Lumpur *)	
A. Runtuhan (fall)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Bahan lapuk
B. Gelincir					
a. Rotasi					
1. Tunggal (Singgle)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Multiple	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Berantai	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Translasi					
1. Block	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Slab	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Multiple	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Lateral spreading	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C. Aliran (flow)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

II. SIFAT-SIFAT LAIN DARI LONGSORAN

A. Kecepatan.

- ☐ Sangat cepat (> 0,3 m/menit)
☐ Cepat (0,3 m/menit - 1,5 m/hari)
☐ Lambat (1,5 m/hari - 1,5 m/tahun)
☒ Sangat lambat (< 1,5 m/tahun)

B. Kedalaman

- ☐ Sangat dangkal (< 1,5 m)
☐ Dangkal (1,50 m - 5,00 m)
☒ Dalam (5,00 m - 20,00 m)
☐ Sangat Dalam (>20,00 m)

C. Aktivitas

- ☐ Aktif
☒ Tenang (sementara)
☐ Drain (sudah stabil)i

III. KEMUNGKINAN PENYEBAB LONGSORAN

A. Meningkatnya tegangan geser

a. Hilangnya penahan lateral.

Erosi :

- ☐ - Erosi sungai yang menyebabkan degradasi dasar sungai dalam proses pembentukan lereng.
- ☐ - Erosi pantai
- ☒ Penyesuaian sudut lereng akibat longsor
- ☐ Tindakan manusia berupa penggalian, pengambilan material, kanal dll.
- ☐ Bergeraknya tembok penahan tanah, turap baja, bronjong, dll
- ☐ Pengeringan danau atau drawdown suatu reservoir

b. Hilangnya penahan pada bagian bawah

- ☐ Erosi bagian bawah tebing oleh air sungai
- ☐ Melapuknya lapisan tanah/batuan yang terletak oleh air sungai
- ☐ Erosi pada material berbutir yang terletak dibawah lapisan keras/padat
- ☐ Tindakan manusia berupa penggalian atau pemotongan kaki lereng, pengambilan material, dll
- ☐ Lapisan lemah terletak dibawah lapisan keras

c. Pembebanan (Surcharge)

Alamiah :

- ☐ - Genangan air yang berasal dari hujan, mata air, rembesan, dll.
- ☐ - Akumulasi talus diatas lereng.

Tindakan manusia

- ☐ - Konstruksi timbunan
- ☐ - Berat gedung, beban kerata api, atau bangunan lainnya
- ☐ - Berat air dalam kolam, sawah, reservoir, dll

d. Tegangan tanah akibat beban dinamis

- ☐ Gempa

Getaran :

- ☐ - Pemancangan
- ☒ - Lalu lintas
- ☐ -

B. Menurunnya kuat geser

a. Sifat bawaannya

- ☐ Komposisi
- ☐ Tekstur
- ☒ Struktur

b. Perubahan akibat pelapukan dan reaksi kimia

- ☐ Desintegrasi
- ☐ Hidrasi pada mineral
- ☐ Retakan pada permukaan
- ☒ Retakan pada bidang perlapisan / geser
- ☐ Hilangnya sementasi

c. Perubahan gaya-gaya antar akibat tekanan air pori

- ☐ Gaya apung dalam kondisi jenuh
- ☐ Hilangnya tarikan kapiler akibat penjenjutan
- ☒ Tekanan rembesan akibat gaya seret

d. ☒ Perubahan struktur tanah

IV. LETAK LONGSORAN TERHADAP BADAN JALAN

- ☒ Diatas badan jalan
☐ Ditengah badan jalan
☒ Dibawah badan jalan

V. MASSA LONGSORAN

- A. Luas : 900 m²
 B. Volume : 4500 m³
 C. Deskripsi : gambaran longsor dapat dilihat dari sketsamassa longsor merupakan campuran dari material timbunan dan sebagian tanah dasar berupabatuan lapuk

VI. KEADAAN LERENG

A. Sudut Lereng :	Tanah	Batuan
<input type="checkbox"/> Sangat Curam		
<input checked="" type="checkbox"/> Curam	timbunan (kerikil&kerakal)	serpih
<input type="checkbox"/> Landai		
<input type="checkbox"/> Sangat landai		

B. Ketinggian :	
<input type="checkbox"/> Sangat Curam	
<input checked="" type="checkbox"/> Curam	
<input type="checkbox"/> Landai	
<input type="checkbox"/> Sangat landai	

VII. KEADAAN MEDAN STABILITAS DAERAH LONGSORAN

A. Keadaan medan :

1. Topografi

- ☐ Pegunungan
☒ Perbukitan
☐ Dataran

2. Penggunaan tanah (land use)

- ☐ Gundul
☐ Sawah
☒ Kebun
☐ Kolam
☐ Hutan
☐ Pertambangan
☐ Semak-semak
☒ Perumahan
☐
☐

B. Keadaan daerah umumnya :

- ☐ Stabil
☒ Tidak Stabil

VIII. KONSTRUKSI PENANGGULANGAN YANG TELAH ADA :

A. Macam :

- ☐ Permanen
- ☒ Semi Permanen
- ☐ Tambal sulam

B. Hasil :

- ☐ Baik
- ☒ Gagal

IX PENYELIDIKAN LANJUTAN YANG DIPERLUKAN :

A. Penyelidikan lapangan :

- ☒ As Longsor
- ☒ Penampang tanah
- ☒ Contoh tanah tidak terganggu
- ☒ Bidang gelincir
- ☒ Peta situasi
- ☒ Peta geologi teknik

B. Penyelidikan Geohidrologi

- ☒ Air permukaan
- ☒ Air tanah
- ☒ Permeabilitas
- ☒ Tekanan air pori

Catatan :

1. Sifat penyelidikan :

- ☐ Sederhana
- ☒ Detail

2. Maksud : untuk menentukan parameter tanah yang akan digunakan dalam desain penanganan longsor

X KEMUNGKINAN PENANGGULANGAN :

A. Penyelidikan lapangan :

1. Permukaan :

- ☒ Saluran permukaan
- ☒ Penutup retakan

2. Permukaan :

- ☐ Saluran pemotong
- ☐ Penutup horisontal (horizontal drain)
- ☐ Saluran vertikal (vertikal drain)

B. Pemotongan geometris :

- ☐ Pemotongan Kepala
- ☐ Pelandaian lereng
- ☐ Penanggaan
- ☐ Pemotongan habis
- ☐ Pengupasan lereng diatas jalan
- ☐ Pengupasan lereng dibawah jalan

C. Bangunan Penahan :

- ☐ Bronjong
- ☒ Tembok penahan
- ☒ Sumuran

D. Stabilisasi

- ☐ Pemadatan timbunan perlu ditingkatkan

E. Relokasi

- ☐

F. Lain-lain

- ☐ Jembatan
- ☐ Beban kontra
- ☐ Buttres
- ☐ Penggantian material
- ☐ Bahan ringan
- ☐ Elektro osmosis

XI. Lain-lain :

A. Lalu lintas :

- ☐ Sedikit (<50)
- ☒ Sedang (50-200)
- ☐ Padat (>200)

B. Material tersedia :

- ☒ Batu
- ☒ Kayu
- ☒ Pasir
- ☐ Bambu
- ☐ Kapur
- ☐ Sheet pile, pipa
- ☐



XII. Sketsa Situasi Longsoran

a. Tampak Atas

XII. Sketsa Situasi Longsoran

b. Profil Longsoran



XII. Sketsa Situasi Longsoran



XII. Sketsa Situasi Longsoran



PEMERIKSAAN GEOLISTRIK

Proyek :	Dikerjakan :
Lokasi :	Tanggal :
KM :	Diperiksa :
TITI K :	

[illegible]

Keterangan/Sketsa

Disetujui oleh Perekayasa



FORMULIR BOR MESIN

Sketsa Situasi :										No. Titik Bor :		Jumlah Kedalaman :	
										Nama Proyek :		Diameter Penginti :	
										Propinsi / Kab. :		Tipe Penginti :	
										Ruas :		Mesin Yang Digunakan :	
										Titik Ikat Ketinggian :		Muka Air Tanah (MAT) :	
										Diameter Casing :		Mulai Tanggal :	
										Berat Penumbuk SPT :		Selesai Tanggal :	
										Tinggi Jatuh Penumbuk SPT :		Juru Bor :	
										Kode : <input checked="" type="checkbox"/> = SPT <input type="checkbox"/> = UDS		Penanggung Jawab Lapangan :	
Tanggal	Kedalaman	Cara Pemb.	Kedlm. Casing	MAT	Core Recovery (%)	RQD	Nilai SPT	Grafik SPT	Macam Test	Nomor Contoh	Profil Bor	Deskripsi	
	1	Continuous Single Core Barrel											
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												
	8												
	9												
	10												
	11												
	12												
	13												
	14												
	15												
	16												
	17												
	18												
	19												
	20												
Keterangan :										Disetujui oleh Perekayasa :			

FORMULIR SONDIR

PROYEK										Halaman 1 dari	
SITE											
LOKASI											
ELEVASI DIATAS MSL(m)				KOORD. (X : Y)							
NO. BORE HOLE				KEDALAMAN GWL (m)							
Jenis Mesin	Gouda			Tanggal							
Kapasitas Maks.	2 Tons			Operator							
Jenis Manometer 25,0-60,0-250 kg/cm ²				Derajat Penetrasi(mm/detik)							
Rasio Luas Area Piston/Cone(A _{pc})				1		Rasio Luas Piston/Sleeve (A _{ps})					
Faktor koreksi Rod-Weight		Faktor A	0,138	Faktor B	0,22	Faktor C	0,0124	Faktor D	0,023		
Kedalaman	C _w	T _w	K _w	q _c	f _s	q _{c-c}	f _{s-c}	L _f	T _f	R _f	
d											
(m)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kN/m)	(kN/m)	(%)	
0,00											
0,20											
0,40											
0,60											
0,80											
1,00											
1,20											
1,40											
1,60											
1,80											
2,00											
2,20											
2,40											
2,60											
2,80											
3,00											
3,20											
3,40											
3,60											
3,80											
4,00											
4,20											
4,40											
4,60											
4,80											
5,00											
5,20											
5,40											
5,60											
5,80											
6,00											
6,20											
6,40											
6,60											
6,80											
7,00											
7,20											
7,40											
7,60											
7,80											
8,00											
8,20											
8,40											
8,60											
Keterangan/Sketsa						Disetujui oleh Perekayasa					

Lampiran C
(Informatif)
Daftar nama & lembaga

1) Pemrakarsa

Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi, Badan Penelitian dan Pengembangan ex. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah

2) Penyusun

Nama	Lembaga
DR. Ir. Hedy Rahadian, MSc Slamet Prabudi Setianto, ST Ir. Saroso, B.S Andi Sata, ST, MT	Pusat Litbang Prasarana Transportasi Pusat Litbang Prasarana Transportasi Pusat Litbang Prasarana Transportasi Pusat Litbang Prasarana Transportasi

