



**Rancangan
Standar Nasional Indonesia**

**TATA CARA
PENGALIAN PADA PEKERJAAN TANAH**



**DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PU**
Jl. Pattimura No. 20 Kebayoran Baru, Jakarta Selatan Telp. 7251580, 7251529 Fac. (021) 7395062

PADANAN

British Standard : Earthworks (BS 6031 - 1981)

Section Two :Cuttings ang Embankments, Grading and
Levelling.

6. Cuttings

DAFTAR ISI

	Hal.
1. Ruang Lingkup	1
2. Daftar Rujukan	1
3. Pengertian	1
4. Pertimbangan Umum	4
4.1 Faktor Lingkungan	4
4.2 Geometri Lapangan	4
4.3 Pertimbangan Ekonomis dan Keamanan	5
4.4 Petunjuk untuk Desain Awal dari Penggalian Batuan	6
5. Faktor yang Mempengaruhi Stabilitas Lereng Penggalian	6
5.1 Bahan	6
5.2 Pemilihan parameter dari tanah dan batuan untuk menaksir Kestabilan lereng	9
5.3 Struktur dan bahan tanah dan batuan	12
5.4 Air	13
5.5 Pengaruh waktu	14
5.6 Faktor-faktor lain yang mempengaruhi kestabilan	16
6. Model Longsoran Penggalian dan Lereng Alami	17
6.1 Umum	17
6.2 Longsor Rotasi	17
6.3 Longsor Campuran	17
6.4 Longsor Geser Lurus	18
6.5 Longsor Jungkir	19
6.6 Longsor Jatuh	19
6.7 Erosi Internal	19
7. Metode Analisis Kestabilan Lereng	20
7.1 Umum	20
7.2 Metode Batas Keseimbangan	20
7.3 Analisis Tegangan	25
7.4 Model Fisik	25
8. Desain	26
8.1 Penaksiran Keamanan	26
8.2 Profil Lereng	27
8.3 Pengaruh Prosedur Konstruksi pada Kestabilan Lereng	29
8.4 Drainasi	30
8.5 Metode Penahan Secara Mekanik	34
8.6 Perbaikan untuk Parameter tanah	38
9. Pemantauan Lereng	38
9.1 Umum	38
9.2 Tekanan Air	39
9.3 Pemantauan Pergerakan Permukaan dan Bawah Permukaan	40
9.4 Pengukuran Tekanan Tanah	41
9.5 Penyelidikan Seisme	41

LAMPIRAN A : DAFTAR ISTILAH

LAMPIRAN B : GAMBAR-GAMBAR

LAMPIRAN C : DAFTAR NAMA & LEMBAGA

TATA CARA PENGALIAN PADA PEKERJAAN TANAH

1. Ruang Lingkup

Standar ini mencakup tata cara penggalian pada pekerjaan tanah yang meliputi faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng penggalian, faktor lingkungan dan geometri lapangan, analisis stabilitas lereng, desain sarana-sarana penggalian, pemantauan stabilitas serta hal-hal lain yang berkaitan dengan keamanan lereng galian.

2. Daftar Rujukan

a) Standar SNI

SNI..... (Rancangan): Tata Cara Deskripsi Keadaan dan Penyelidikan Lapangan pada Pekerjaan Tanah.

SNI..... (Rancangan): Tata Cara Pemeliharaan dan Perlindungan Lereng pada Pekerjaan Tanah.

SNI.....(Rancangan) : Tata Cara Desain Paritan, Sumuran dan Sumuran Dalam pada Pekerjaan Tanah.

b) Standar Inggris

BS 8004-1986 : Foundation

BS 5930 : Code of practice for site investigation

CP 2 : Earth retaining structures

DD 81 : Recommendation for ground anchorages

3. Pengertian

Beberapa pengertian yang berkaitan dengan tata cara ini :

- 1) Anisotrop (*anisotropy*), adalah sifat fisik yang berbeda-beda untuk berbagai arah, misalnya permeabilitas tanah arah horisontal mungkin lebih besar daripada arah vertikal.
- 2) Akifer (*aquifer*), adalah lapisan tanah yang mengandung air dalam jumlah tertentu yang dapat terisi kembali.
- 3) Bahu (*berm*), adalah bidang atau papan datar yang relatif sempit yang disediakan untuk memutus kontinuitas suatu lereng panjang, atau sebagai perangkap untuk menahan material lepas yang menggelinding menuruni lereng.
- 4) Endapan koluvial (*colluvial deposits*), adalah bahan lapuk yang terangkut secara gravitasi, misalnya *scree*, talus dan debris longsoran tanah.
- 5) Rayapan (*creep*), adalah gerakan dengan kenampakan sangat lambat suatu massa tanah atau batuan. Antara bahan yang diam dan bahan yang bergerak sering

terdapat gradasi menerus, tetapi hal ini tidak terjadi dalam kasus rayapan yang akan terbentuk permukaan gelincir.

- 6) Tegangan deviator (*deviator stress*), adalah perbedaan antara tegangan terbesar dan terkecil hasil suatu uji triaksial terhadap suatu contoh bahan.
- 7) Longsor (*landslide, landslip*), adalah gerakan dengan kenampakan relatif cepat suatu massa tanah atau batuan menuruni lereng yang terjadi bermula dari kerusakan geser pada bidang luncur massa yang bergerak.
- 8) Permukaan freatik (*phreatic surface*), adalah elevasi batas kemampuan kenaikan air tanah suatu akifer.
- 9) Pisometer (*piezometer*) adalah tabung terbuka maupun tertutup atau alat lain yang dipasang dari permukaan tanah ke bawah, yang digunakan untuk mengukur tekanan air tanah pada daerah di mana ujung bawah pipa diletakkan.
- 10) Rombakan lereng (*scree*) adalah debris batuan yang terkumpul di kaki jurang/tebing.
- 11) Sudut lereng (*slope angle*), adalah sudut lereng dinyatakan dalam derajat terhadap bidang horisontal atau dalam tangen sudut terhadap bidang horisontal (misalnya lereng 1 : 3 membentuk sudut terhadap bidang horisontal sebesar $18,5^{\circ}$ atau tangen sebesar $1/3$).
- 12) Solifluksi (*solifluction*), adalah gerakan lambat suatu tanah atau selubung rombakan lereng menuruni bukit sebagai akibat dari proses silih berganti antara pembekuan dan pencairan air yang terkandung di dalamnya.
- 13) Sisa galian (*spoil*), adalah tanah, batuan atau bahan galian lain yang tidak diperlukan untuk urugan timbunan atau sebagai urugan kembali sebuah lubang galian, dan merupakan kelebihan bahan yang harus dibuang dari lapangan kerja.
- 14) Amblesan (*subsidence*), adalah gerakan ke bawah (terutama vertikal) permukaan tanah yang diakibatkan oleh pembuangan, konsolidasi atau pergeseran lapisan tanah di bawahnya.
- 15) Gerakan tektonik (*tectonic movement*), adalah gerakan massa suatu batuan ke bagian massa lain batuan tersebut. Skala gerakan ini dapat bervariasi dari beberapa milimeter (seperti dalam lipatan mikro suatu schist) sampai puluhan kilometer (seperti dalam *major recumbent folds*)
- 16) Paritan (*trench*), adalah galian yang panjangnya relatif sangat besar dibanding lebarnya baik dengan sisi vertikal yang bisa diberi penopang maupun dengan sisi miring yang tidak memerlukan penopangan.
- 17) Paritan dangkal (*shallow trench*), adalah parit dengan kedalaman sampai dengan 1,5 meter seperti yang digunakan untuk pipa layanan, kabel, gelagar dasar dan pondasi strip.
- 18) Paritan sedang (*medium trench*), adalah parit dengan kedalaman antara 1,5 meter s/d 6,0 meter seperti yang digunakan untuk saluran pipa dan saluran pembuang limbah.
- 19) Paritan dalam (*deep trench*), adalah parit yang kedalamannya lebih dari 6,0 meter untuk semua kelas pekerjaan.
- 20) Paritan sempit (*narrow trench*), adalah parit dangkal atau sedang dengan galian yang terlalu sempit untuk masuknya pekerja, misalnya parit untuk kabel, pipa-pipa kecil, dan saluran drainasi lahan, yang digali dengan teknik tersendiri.

- 21) Sumuran (*pit*), adalah penggalian dengan luasan sebesar mulai dari yang dibutuhkan untuk meletakkan dasar pondasi tiang atau kolom sampai dengan yang dibutuhkan untuk meletakkan gedung bawah tanah dan pondasi sebuah gedung, termasuk sumur percobaan yang digali untuk penyelidikan lapangan.
- 22) Sumuran dangkal (*shallow pit*), adalah sumuran dengan kedalaman sampai dengan 1,5 meter.
- 23) Sumuran sedang (*medium pit*), adalah sumuran dengan kedalaman antara 1,5 meter s/d 6,0 meter.
- 24) Sumuran dalam (*deep pit*), adalah sumuran dengan kedalaman lebih dari 6,0 meter.
- 25) Terowongan (*shaft*), adalah galian vertikal atau miring yang dibuat untuk memberikan jalan masuk ke pekerjaan bawah tanah. Jenis terowongan juga dibedakan dalam katagori dangkal, sedang dan dalam, seperti pada sumuran.

4. Pertimbangan Umum.

4.1 Faktor Lingkungan

Dalam pembuatan jalan raya atau jalur kereta api dalam suatu penggalian perlu dibuat rendah agar dampak kebisingan dan visual dari lalu-lintas jalan dan jalur kereta api tidak mengganggu. Penggalian dapat dikombinasikan dengan timbunan rendah untuk membentuk peredam kebisingan. Dari pertimbangan segi estetika dan kenyamanan dapat dibuat rute transportasi baru di dalam galian bila jalan dan jalur kereta api yang ada saling bersilangan, sehingga jembatan yang menyilang pada ketinggian tanah tidak memerlukan oprit. Akan tetapi pembangunan jembatan di bawah jalan dan jalur kereta api yang ada akan lebih mahal dan akan menyebabkan gangguan lalulintas daripada pembuatan jembatan di atasnya. Pembuatan jalan dan jalur kereta api yang berdekatan dengan lapangan udara dapat dibuat di dalam galian untuk menghindari gangguan jalur penerbangan oleh timbunan berkenaan dengan adanya jembatan yang menyilang.

Sudut lereng harus dipertimbangkan keharmonisannya dengan penggalian di sekitarnya. Beberapa variasi sudut geser atau bentuk lengkung cembung atau cekung dapat digunakan untuk menyerasikan kontour dan daerah sekitarnya.

Pembentukan galian pada tanah yang permeabel dengan muka air tanah tinggi mungkin dapat merubah kondisi drainasi pada tanah pertanian yang berdekatan dengan akibat berkurangnya produksi. Sangatlah penting untuk mencatat lokasi saluran dan genangan/kolam serta informasi seperti tersebut yang terdapat pada fotogrametri menjelang pelaksanaan pekerjaan dimulai, untuk membantu menyelesaikan permasalahan bila ada tuntutan terhadap kerusakan.

4.2 Geometri Lapangan

Bila keadaan alam suatu proyek memungkinkan, posisi serta alinyemen penggalian dalam tata letak dan geometri penggalian dalam penampang melintang harus memperhatikan faktor-faktor berikut:

- potensi ketidak stabilan daerah sekitarnya
- stabilitas lereng galiannya sendiri (lihat 5.2 dan 6)
- pengaruh angin, termasuk timbunan salju, endapan pasir dan gerusan

- pemeliharaan
- aspek visual dan kenyamanan lainnya

4.3 Pertimbangan Ekonomis dan Keamanan

Biaya minimum konstruksi galian diperoleh dengan menggunakan sudut kemiringan galian securam mungkin. Akan tetapi akibat terhadap ekonomi dan manusia oleh karena kelongsoran lereng penggalian perlu pertimbangan yang hati-hati. Dalam hal ini pertimbangan ekonomi dan bahaya yang terjadi terhadap manusia bila terjadi longsor harus dicermati.

Terbatasnya ketersediaan lebar tanah untuk penggalian memerlukan lereng yang curam, tetapi bila konsekuensi kelongsoran cukup serius maka perlu mengurangi besar sudut lereng dengan memasang dinding penahan tanah pada sebagian ketinggian lereng galian. Tempat dengan lebar yang cukup perlu disediakan untuk memasang pipa drainasi atau saluran gendong pada kaki lereng. Juga suatu tempat yang cukup lebar pada pangkal lereng atau bahu antara untuk menangkap reruntuhan yang jatuh dari lereng (lihat 8.2 dan 8.4). Dari segi ekonomis penyediaan ruang tambahan untuk penangkap reruntuhan harus dibandingkan dengan alternatif pembuatan penghalang seperti pagar untuk runtuh batuan.

Sebagai alternatif untuk dinding penahan, metode khusus untuk menstabilkan lereng yang curam dari permukaan tanah atau batuan dapat dipertimbangkan (lihat 8.5, 8.6 dan SNI... : Tata Cara Pemeliharaan dan Perlindungan Lereng pada Pekerjaan Tanah)

Alinyemen horisontal maupun vertikal suatu pekerjaan seperti jalan atau jalur kereta api harus dipertimbangkan dalam kaitannya terhadap perbandingan biaya antara galian tanah dan galian batuan. Biaya dari galian tanah di atas muka air tanah jauh lebih kecil dibanding dengan untuk galian batuan. Lereng datar diperlukan dalam pekerjaan galian tanah (terutama untuk lempung) sehingga total volume pada galian tanah lebih besar. Mempertahankan lereng pada galian batuan pada umumnya lebih murah dibanding mempertahankan lereng galian tanah. Bila penggalian harus dilakukan pada batuan yang tertutup tanah, kemiringan lereng dapat dibuat bervariasi sesuai dengan sifat setiap material, dengan membuat bahu pada setiap perubahan lereng. Perubahan lereng yang serupa dapat digunakan bila jenis tanah bervariasi. Sebagai contoh, lereng dapat lebih curam untuk jenis tanah berbutir yang terpatuskannya dengan bagus yang terletak di atas lempung retak teguh, asalkan kestabilan menyeluruh jangka panjang dapat dipastikan.

Faktor ekonomis merupakan pertimbangan penting dalam desain lereng sementara untuk penggalian pondasi. Biaya penggalian tambahan untuk memperoleh jaminan kestabilan sempurna harus dibandingkan terhadap biaya untuk membuang bahan rombakan dari geseran lokal akibat kondisi ambang tidak stabil. Sebagai akibat dari geseran setempat untuk keamanan pelaksanaan konstruksi, kemungkinan kerusakan untuk sebagian menyeluruh pekerjaan permanen dan bangunan yang sudah ada serta bangunan pelayanan di luar puncak harus dipertimbangkan. Pengaruh waktu adalah

penting sehubungan dengan kestabilan lereng sementara yang hanya kondisi jangka pendek saja perlu dipertimbangkan (lihat 5.5).

4.4 Petunjuk untuk Desain Awal dari Penggalian Batuan

Untuk mempermudah desain pendahuluan suatu lereng stabil pada galian batuan, sudut lereng yang direkomendasikan untuk beberapa bahan disajikan pada tabel 1. Sudut lereng diperoleh dari pengalaman penggalian pekerjaan jalur kereta api dan berdasarkan asumsi bahwa lapisan batuan adalah berlapisan secara horisontal atau miring pada kemiringan yang relatif landai dan bahwa batuan relatif tidak lapuk di bawah permukaan.

5. Faktor Yang Mempengaruhi Stabilitas Lereng Penggalian

5.1 Bahan

Tanah dan batuan

5.1.1 Umum

Untuk tujuan penaksiran awal kondisi stabilitas dan untuk pedoman dalam perumusan program pengujian lapangan atau laboratorium, sistem klasifikasi tanah yang diuraikan secara luas pada SNI... : Tata Cara Deskripsi Keadaan dan Penyelidikan Lapangan pada Pekerjaan Tanah, dapat digunakan untuk memperoleh indikasi sifat dari tipe khusus tanah pada waktu digali untuk mendapatkan bentuk suatu penggalian. Jenis parameter yang digunakan untuk menentukan tahanan geser harus diperoleh dari analisis balik (back analysis) atau dari tes laboratorium maupun lapangan yang sesuai, dengan memperhitungkan permeabilitas dari massa suatu material dan juga dari perubahan tegangan yang terjadi pada material, keduanya pada jangka pendek maupun jangka panjang, sebagai hasil dari penggalian. Aspek ini dibahas dalam 5.2.

Batuan lapuk berat mungkin menunjukkan sifat-sifat teknik antara tanah dan batuan. Untuk menghindari keraguan, analisis terpisah dari kestabilan lereng harus dilakukan dengan asumsi bahwa material bersifat sebagai tanah atau sebagai batuan.

5.1.2 Sifat Tanah Tidak Berkohesi (misal tanah berbutir kasar)

Suatu lereng penggalian pada tanah kering tidak berkohesi, bentuk longsoran paling kritis yaitu longsoran translasi dangkal sejajar dengan lereng galian. Dalam hal ini, faktor keamanan F dinyatakan seperti :

$$F = \frac{\tan \phi'}{\tan \alpha} \dots\dots\dots (1)$$

ϕ' adalah sudut tahanan geser, pada keadaan tegangan efektif, untuk tanah pada kisaran harga yang sesuai dari tegangan normal efektif (mungkin cukup rendah), dan

α adalah sudut lereng

Jadi faktor keamanan ini tidak tergantung dari tinggi lereng.

Jika air tanah berada di dalam suatu lereng dari bahan tidak berkoheesi dan jika erosi akibat *rembesan* dicegah, maka gelincir rotasi yang lebih dalam merupakan bentuk longsoran paling kritis dengan faktor keamanannya merupakan fungsi dari α , ϕ' dan nilai relevan dari rasio tekanan air pori r_u (lihat persamaan [10]).

5.1.3 Sifat Tanah Berkoheesi (misalnya tanah berbutir halus)

a) Konsolidasi normal

Stabilitas dari lereng penggalian pada tanah berkoheesi adalah merupakan fungsi dari ketinggian lereng dan tahanan geser. Makin dalam penggalian, makin landai sudut lereng. Asal-usul geologi dari lapisan tanah memang sangat penting. Untuk lempung yang mengalami konsolidasi normal secara sempurna, yaitu lempung yang memperoleh kuat geser hanya dengan konsolidasi akibat berat sendiri, kestabilan jangka pendek dapat ditentukan dari hasil pengujian kuat geser tanpa drainasi. Dengan bertambahnya waktu, terjadi pengurangan kekuatan karena pelepasan tegangan akibat dari penggalian, dan lereng yang stabil pada jangka pendek mungkin longsor karena longsoran rotasi dalam jangka menengah atau jangka panjang. (lihat 5.5.1).

Beberapa tipe lempung dengan konsolidasi normal sensitif terhadap gangguan, yaitu akan hilang kekuatannya bila mengalami perubahan struktur; yang disebabkan oleh struktur yang tidak stabil akibat hilangnya mineral pada peristiwa rembesan yang berlangsung lama atau karena terjadinya pelapukan. Runtuhnya lereng mungkin terjadi pada waktu adanya gangguan akibat gempa atau getaran pengaruh pekerjaan pemanancangan tiang.

Lempung dengan konsolidasi berlebihan, yaitu lempung yang mencapai kekuatan akibat konsolidasi karena adanya beban yang berlebihan atau akibat pengeringan karena evaporasi atau pertumbuhan tanaman, dapat menimbulkan masalah rumit pada kestabilan lereng. Hal ini disebabkan bahwa lempung tersebut rentan terhadap pengaruh perubahan tegangan akibat penggalian, yang dapat meningkat bila terjadi beberapa celah atau lapisan pada struktur.

b) Celah

Lempung bongkah mungkin bercehah, tetapi untuk tujuan desain lereng biasanya dianggap sebagai lempung secara utuh. Akan tetapi, karena celah yang cukup berarti, bukti dari struktur ini harus ditemukan pada tahapan investigasi lapangan.

Celah dan laminasi membentuk bidang yang lemah di dalam massa tanah. Setelah selesai pekerjaan galian, celah terbuka karena berkurangnya beban yang berlebihan, yang dilanjutkan dengan pembukaan musiman pada dan dekat permukaan karena penyusutan kering dari lempung. Celah yang terbuka membentuk alur untuk rembesan air yang

menimbulkan tekanan hidrostatik di belakang permukaan pada waktu hujan lebat dan melunakkan lempung pada permukaan celah.

Celah pada lempung dengan konsolidasi berlebihan kadang-kadang berkaitan dengan adanya gelinciran di masa lalu, ketika permukaannya halus (cermin sesar) dengan suatu kuat geser yang tertinggal betul-betul lebih rendah dibandingkan dengan bahan utuh di dekatnya.

c) Konsolidasi

Ketidakstabilan dari penggalian lereng pada lempung dengan konsolidasi berlebihan dapat mengakibatkan terjadinya beberapa bentuk longsoran, seperti longsor rotasi (butir 6.2), longsor lempeng dan bongkahan sepanjang, permukaan lereng lunak dan lapuk (butir 6.4.2) serta longsor bahan rombakan (butir 6.4.4.) pada tahap akhir ketika masa yang tergeser menerima air permukaan dan bawah tanah mengakibatkan formasi cairan lempung bercampur dengan fragmen lempung yang lebih keras. Longsor jungkir (butir 6.5) dan longsor jatuh (butir 6.6) dapat terjadi pada penggalian vertikal misal pada parit, sebagai akibat adanya pembukaan celah vertikal di balik permukaan.

Pengaruh waktu adalah kritis untuk lereng pada lempung dengan konsolidasi yang berlebihan (butir 5.5).

Tanah lus adalah lanau yang disatukan secara lemah oleh ikatan berkapur. Pada penggalian permukaan tegak, tanah lus masih stabil dalam jangka waktu yang lama. Ketidak stabilan dapat terjadi bila ikatan bersenyawa dengan air rembesan.

5.1.4 Sifat dari Batuan

Kestabilan suatu batuan adalah lebih ditentukan oleh kondisi sistem hubungan antara butiran-butirannya dari pada kekuatan batuan seutuhnya. Celah dalam batuan diakibatkan adanya pergerakan tektonis atau pelapukan. Jadi celah dalam keadaan terbuka ataupun terisi dengan hasil pelapukan dari batuan asli atau runtuhnya tanah yang tercuci masuk ke bawah, membentuk permukaan lemah yang menimbulkan beberapa variasi bentuk longsoran seperti diuraikan dalam butir 6. Hubungan antar butiran juga sebagai penyebab masuknya air yang membawa pengaruh seperti tersebut dalam butir 5.4.2.

Bila batuan lemah dan porous, pengaruh air dan sinar matahari dapat menyebabkan pemisahan atau batu bercehal (butir 5.5.2)

Kondisi kestabilan yang paling tidak diinginkan terjadi pada penggalian batuan rombakan lereng. Bahan tersebut mungkin bertindak sebagai tanah lepas tidak berkohesi atau sebagai tanah berkohesi, tergantung dari porsi dan kandungan batuan lapuk atau tanah sebagai pengikat. Percobaan galian adalah merupakan cara yang terbaik untuk menentukan kestabilan lereng pada material rombakan lereng, dan tidak mungkin

membentuk lereng yang lebih curam dari pada sudut lereng alam pada material yang tidak berkohesi.

5.2 Pemilihan Parameter dari Tanah dan Batuan untuk Menaksir Kestabilan Lereng

5.2.1 Tanah

a) Persamaan dasar

Persamaan dasar yang digunakan untuk menghitung kekuatan geser dari bahan di balik permukaan potongan adalah :

$$s = c' + (\rightarrow_n - u) \tan \phi' \dots\dots\dots$$

(2) dengan

S Perlawanan geser sepanjang permukaan geser atau yang berpotensi geser

- c' Kohesi pada keadaan tegangan efektif
- σ Tegangan normal total pada bidang yang diperhatikan
- U Tekanan pori
- ϕ' sudut perlawanan geser pada keadaan tegangan efektif

Parameter c' dan ϕ' tidak berhubungan dengan ukuran butiran dan komposisi bahan dari tanah tertentu tetapi tergantung dari suatu kondisi yang dialami oleh contoh tanah pada waktu dilakukan uji geser di lapangan atau laboratorium. Oleh karena itu lokasi uji dan contoh tanah harus dipilih dengan memperhatikan frekwensi, lama dan arah dari perubahan tegangan, perubahan bentuk yang diantisipasi atau yang diijinkan dari penggalian lereng dan prakiraan kondisi tekanan pori.

b) Uji lapangan

Uji lapangan yang dilakukan pada tanah berkoheisi dalam lubang bor mempunyai keterbatasan harga dalam penentuan parameter tegangan efektif karena harga yang diperoleh mewakili kondisi pada keadaan tegangan dalam tanah di waktu pekerjaan uji, padahal harga yang dibutuhkan adalah harga hasil perubahan tegangan akibat penggalian.

Standard penetration tests dapat dilakukan dalam lubang bor pada tanah tidak berkoheisi untuk memperoleh kepadatan relatif dan sudut perlawanan geser menggunakan standard yang dibuat berdasar rumus empiris.

Harga-harga ini, walaupun kemungkinan dipengaruhi oleh gangguan lubang bor, kemungkinan lebih mewakili kondisi di tempat dari pada dibuat di laboratorium karena sulit memperoleh contoh tanah tidak terganggu yang akurat dari tanah tidak berkoheisi dan penyiapan contoh tanah untuk pengujian.

Static cone penetration tests dapat digunakan untuk memperoleh harga-harga yang lebih mewakili pada kondisi lapangan dari pada standard penetration test di dalam lubang bor. Sekali lagi, harga dari berat jenis dan sudut perlawanan geser dapat diperoleh dari rumus empiris. Harga yang diperoleh dari uji lapangan ini dapat digunakan untuk hitungan kestabilan karena, akibat permeabilitas yang relatif tinggi dari tanah yang tidak berkoheisi, perubahan tegangan akibat penggalian yang terjadi secara mendadak dan tidak ada penurunan kestabilan secara menyeluruh dalam jangka panjang.

Vane shear tests dapat digunakan untuk lempung lunak dan keras dengan konsolidasi normal untuk memperoleh harga-harga dari kekuatan geser tanah tidak terpatuskan. Hasil tersebut dapat digunakan untuk menghitung kestabilan jangka pendek dari lereng (lihat butir 7 dan 8), sehingga hanya sesuai untuk galian yang dilakukan dengan cepat, misal untuk saluran. Dalam hal penggalian untuk jalan raya atau jalur kereta api, yang mungkin membutuhkan waktu beberapa hari atau beberapa bulan, perubahan tegangan mempunyai pengaruh besar terhadap kekuatan geser selama

pelaksanaan, dan hitungan kestabilan harus didasarkan pada parameter tegangan efektif yang diperoleh dari percobaan laboratorium. Lebih lanjut, standard vane tests tidak dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh dari anisotrop (lihat bawah). Faktor koreksi dapat digunakan untuk kuat geser tidak terpatuskan yang diperoleh dari vane tests dengan mempertimbangkan pengaruh waktu dan anisotrop bila kondisi kestabilan dibutuhkan hanya untuk beberapa minggu saja.

Tes lapangan yang mengukur kekuatan tidak terpatuskan tidak sesuai untuk penentuan parameter kekuatan geser yang digunakan dalam perhitungan jangka menengah dan jangka panjang kestabilan lereng dari lempung. Tes tersebut hanya mengukur kekuatan tidak terpatuskan di lapangan yang mewakili kekuatan tanah dalam keadaan pengujian; sedangkan pada waktu penggalian dilaksanakan, akan terjadi penurunan pada tegangan total yang diikuti dengan kenaikan pada tegangan geser dan pelunakan pada lempung. Oleh karenanya parameter kekuatan geser untuk kestabilan jangka menengah dan jangka panjang, harus ditentukan dari pengukuran laboratorium untuk kohesi efektif dan sudut perlawanan geser.

c) Uji laboratorium

Catatan hasil pemboran dan deskripsi contoh harus dipelajari keterkaitannya dengan geometri dari konfigurasi bidang gelincir yang mungkin terjadi (lihat butir 7), lapisan-lapisan yang kritis terhadap kestabilan lereng harus ditentukan pada tahap ini. Contoh tanah untuk uji geser laboratorium harus dipilih dari lapisan kritis ini dan harus dilakukan beberapa tes untuk memperoleh gambaran sifat dari tanah dalam penggalian pada periode waktu sehingga kestabilan dapat dijamin.

Hal-hal berikut harus dipertimbangkan dalam persiapan program tes :

- (a) Ukuran contoh tanah. Ukuran dari contoh tanah uji ditentukan dengan memperhatikan struktur dan kemas tanah. Contoh dengan diameter 100 mm sudah cukup untuk lempung yang utuh, bercelah atau berlapis, atau termasuk lempung batuan. Contoh dengan diameter 200 mm atau 250 mm harus dipertimbangkan bila kondisi kemas tanah adalah kritis terhadap kestabilan.
- (b) Anisotrop. Parameter-parameter tegangan efektif mungkin bervariasi berdasar arah dari penggunaan tegangan deviator terhadap contoh uji, karena pengaruh dari diskontinuitas pada contoh atau dari perbedaan dalam perbandingan antara tegangan vertikal dengan horisontal dalam tanah di lapangan. Arah dari potensi bidang gelincir harus dipertimbangkan dalam penyesuaian contoh yang dipotong dari hasil pemboran atau contoh bongkahan.
- (c) Drainasi. Untuk memperoleh drainasi yang diijinkan berdasar contoh uji, pengaruh waktu harus dipertimbangkan (butir 5.5).
- (d) Tekanan pori. Pengaruh dari perubahan tekanan pori dalam contoh uji harus dipelajari berkaitan dengan prakiraan variasi ketinggian pisometer di belakang penggalian lereng (butir 5.4).

- (e) Perpindahan selama pergeseran. Perlawanan geser dari kebanyakan lempung naik mencapai harga puncak pada perpindahan sedikit dan turun ke harga sisa yang lebih rendah pada perpindahan besar. Dalam pemilihan parameter harus mempertimbangkan prakiraan atau perubahan bentuk yang diijinkan dari penggalian. Harga kekuatan geser sisa (residual) dapat digunakan untuk mempelajari gaya geser di waktu lampau atau pada perpindahan bidang gelincir tektonis bila perpindahan besar telah terjadi.
- (f) Pelunakan. Contoh uji yang terpilih harus diuji setelah pelunakan dengan penyerapan air untuk menyelidiki pengaruh dari kelembatan dan lamanya hujan pada lereng.
- (g) Laju dan frekuensi dari penerapan tegangan. Laju geseran harus memperhatikan pengaruh rayapan. Pengaruh dari pengulangan siklus dari tegangan *deniaton* mungkin perlu dipelajari sehubungan dengan kemungkinan pengaruh gempa bumi atau naik turunnya ketinggian pisometer berkala.

5.2.2 Batuan

Perlawanan geser suatu batuan tergantung dari kuat geser diskontinuitas seperti celah, kekar yang berlapis dan bidang patahan. Kekuatan dari batu utuh tidak ada kaitannya terhadap hitungan kestabilan untuk penggalian. Tetapi kekuatan dari batu utuh tersebut dapat digunakan untuk tujuan pengklasifikasian.

Kekuatan geser dari diskontinuitas tergantung dari kekasaran dan bentuk dari kedua permukaan batu pada diskontinuitas tersebut, jarak antaranya, serta kohesi dan kekuatan geser setiap bahan pengisi. Longsoran dapat terdiri seluruhnya dari bahan pengisi yang lemah dan licin.

Parameter-parameter kekuatan geser pada diskontinuitas harus diperoleh dari uji tegangan geser langsung pada inti atau bongkahan dari batuan yang menyatu, sehingga geseran akan terjadi sepanjang diskontinuitas yang ada dalam contoh uji. Uji lapangan dalam hal ini tidak sesuai dengan alasan seperti yang diberikan untuk lempung (butir 5.2.1). Uji harus dilakukan di laboratorium untuk menirukan perubahan tegangan yang berlangsung pada batuan di belakang penggalian dengan cara serupa dengan yang diuraikan untuk lempung. Dalam hal tidak ada pengujian, referensi data dapat digunakan untuk menghasilkan harga perlawanan geser dan kekar batuan.

5.3 Struktur dan Bahan Tanah dan Batuan

5.3.1 Tanah

Struktur dan kemas dari tanah di belakang penggalian lereng harus diteliti sehubungan dengan pengaruhnya terhadap permeabilitas massanya, dan orientasi dari diskontinuitas harus diteliti keterkaitannya dengan arah dan potensi permukaan longsoran. Tipe struktur dan kondisi kemas yang harus diinvestigasi adalah sebagai berikut.

- (a) Laminasi dan lapisan. Lapisan atau laminasi dari lanau atau lempung dalam tanah yang tidak berkohesi dapat mencegah pematasan vertikal. Lapisan pasir atau kerikil dalam tanah yang berkohesi dapat meningkatkan pematasan dan

konsolidasi tanah, tetapi aliran lewat lapisan-lapisan tersebut dapat menimbulkan adanya erosi setempat dan pematahan lereng.

- (b) Celah. Pengaruh dari celah telah diuraikan. Perlu adanya pertimbangan terhadap kemungkinan pelebaran celah yang disebabkan oleh penurunan tegangan pada penggalian, dan pengaruh dari penyusutan kering.
- (c) Lubang perakaran; lubang akibat binatang dan sebagainya. Lubang-lubang tersebut membentuk suatu hubungan untuk drainasi dan penurunan tekanan pori. Hal ini juga mempermudah masuknya air permukaan ke dalam tanah.
- (d) Permukaan licin dan rata. Permukaan yang rata dan bahkan licin disebabkan adanya pergerakan pada waktu-waktu terakhir atau pada masa geologi. Kekuatan geser relatif rendah karena licin.

5.3.2 Batuan

Struktur dari masa batuan mempunyai pengaruh yang dominan pada kestabilan dari penggalian lereng. Faktor yang harus dipertimbangkan adalah sebagai berikut ini.

- (a) Ketebalan lapisan. Batuan berlapis tipis lebih rentan terhadap pelapukan dan degradasi dari pada batuan pejal berlapis tebal.
- (b) Batuan lemah yang berselang-seling dengan batuan kuat. Lapisan lemah lebih cepat lapuk, sehingga dapat mengakibatkan patahan dan runtuhnya lapisan batuan di atasnya pada lapisan horizontal atau mendekati horizontal.
- (c) Orientasi dari perlapisan dan kekar. Bila perlapisan dan kekar berarah miring sama dengan kemiringan lereng, resiko longsor akan lebih tinggi dibandingkan dengan bila masuk ke dalam lereng. Lokasi dari sistem kekar harus diteliti berkenaan dengan variasi bentuk longsor seperti diuraikan dalam butir 6. Kemungkinan terbukanya kekar yang diakibatkan adanya penurunan tegangan dan pelapukan harus diperhitungkan (butir 5.5.2). Prakiraan kestabilan dalam batuan dapat diperoleh dengan pengeplotan arah dan kemiringan dari diskontinuitas utama pada diagram kutub.
- (d) Kondisi pada permukaan kekar. Hal ini harus diteliti dalam kaitannya dengan pemilihan parameter-parameter kuat geser yang diperoleh dari uji geser langsung (butir 5.2.2.)

5.4 Air

Permukaan dan sub permukaan.

5.4.1 Tanah

Air permukaan yang mengalir ke bawah pada lereng suatu penggalian dapat menimbulkan erosi pada tanah yang tidak berkoheesi atau tanah yang berkoheesi sebagian. Biasanya erosi terkonsentrasi dalam bentuk alur yang akhirnya dapat makin dalam sehingga menjadi curam.

Tanah yang berkoheesi tidak terlalu rentan terhadap erosi, kecuali dalam hal lempung yang bercelah banyak bila terjadi aliran rembesan yang deras dan pelunasan dapat mengakibatkan adanya longsoran bahan rombakan (butir 6.4.4)

Aliran air sub permukaan, apakah dalam bentuk rembesan dari tanah yang lebih tinggi di luar daerah penggalian atau dalam bentuk air permukaan yang masuk ke dalam celah atau lubang, dapat berpengaruh kritis terhadap kestabilan. Percobaan harus dibuat

dalam beberapa variasi ketinggian dan bentuk permukaan air bebas yang berasal dari aliran rembesan yang menuju ke daerah penggalian. Dari beberapa percobaan permukaan ini dapat diperoleh tekanan air pori untuk setiap titik pada permukaan yang berpotensi longsor dan pengaruhnya pada perlawanan geser dapat dihitung berdasar persamaan (2).

Perubahan tekanan air pori akibat perubahan waktu harus dipertimbangkan. Sebelum pekerjaan penggalian dilaksanakan, tekanan air pori sesuai dengan ketinggian air tanah alami atau dengan tekanan hidrostatika pada lapisan lulus dalam formasi tanah yang berlapis. Setelah pelaksanaan penggalian, muka air pisometer turun cepat dengan laju penurunan tergantung dari kelulusan tanah, dengan catatan bahwa setiap lapisan tanah kedap dapat menghalangi drainasi vertikal. Akhirnya tekanan pori mencapai keseimbangan sesuai dengan keadaan kondisi rembesan stedi tetapi variasi jangka pendek dapat terjadi akibat adanya hujan. Bila tekanan air dibelakang lereng terlalu tinggi untuk mencapai kestabilan pemasangan beberapa bentuk drainasi dengan tujuan untuk menurunkan ketinggian muka air dan mengurangi tekanan, perlu dipertimbangkan. (lihat butir 8.4)

5.4.2 Batuan

Lereng batuan dapat menjadi penyebab adanya erosi oleh aliran air permukaan apabila terdiri dari bahan berkekar banyak atau dalam bentuk rombakan lereng yang lepas.

Tidaklah mungkin untuk memprakirakan ketinggian permukaan freatik nyata dari aliran sub permukaan yang melalui suatu massa batuan berkekar karena air mengalir melalui alur kemudian kekar yang terbuka atau kekar yang terisi oleh material lulus. Pengaruh kestabilan lereng dari suatu kisaran ketinggian muka air tanah harus diteliti dengan menggunakan model yang ideal meliputi pola aliran yang berbeda yang dapat berupa aliran sejajar (planar) atau aliran pada alur yang terjadi. Pengaruh penurunan tegangan harus dipertimbangkan pada waktu kekar terbuka dan celah mungkin dapat merubah pola aliran.

5.5 Pengaruh Waktu

5.5.1 Kestabilan Jangka Pendek, Menengah dan Panjang

a) Pengurangan tekanan pori

Pelaksanaan penggalian secara menyeluruh atau sebagian mengurangi elemen tanah pada atau di bawah lereng atau dibagian ujung penggalian akibat tegangan kesamping dan vertikal. Akibatnya terjadi pengurangan pada tegangan total yang disertai dengan perubahan tegangan geser pada elemen, biasanya mengakibatkan pengurangan tekanan air pori di dalam lereng (gambar 1(a)). Keseluruhan pengaruh dari hal tersebut umumnya untuk menaikkan kestabilan sementara dari lereng.

Dengan bertambahnya waktu, tekanan pori yang telah berkurang tersebut naik mencapai harga keseimbangan yang lebih tinggi, dengan adanya rembesan air pori dari zone tekanan pisometer yang lebih tinggi di luar daerah pengaruh penggalian.

Kenaikan tekanan air dari kondisi lebih rendah sementara di bawah lereng menyebabkan pengembangan dan pelunakan massa tanah dengan suatu koefisien pengurangan pada perlawanan gesernya. Kestabilan lereng berkurang terus hingga tekanan pori di bawah dan di luar lereng mencapai harga keseimbangan. Jadi kondisi paling kritis dari kestabilan lereng adalah pada jangka panjang setelah mencapai keseimbangan. Dalam keadaan tanah permeabel tinggi, tekanan pori turun dengan cepat untuk mencapai keseimbangan dan kondisi stabil yang sesuai dengan keseimbangan tekanan pori cepat tercapai. Dalam keadaan tanah dengan permeabel rendah, proses tersebut mungkin memerlukan waktu beberapa dasawarsa.

Dalam hal timbunan tanah tegangan total pada elemen tanah dibawah timbunan meningkat selama puncak tanggul ditinggikan. Hal ini mengakibatkan naiknya tekanan pori dan menurunnya perlawanan geser dari tanah sebagai pondasi. Sehingga kondisi kestabilan paling kritis terjadi pada waktu konstruksi dan segera setelah selesai pekerjaan tanah. Dengan berjalannya waktu tekanan pori yang telah naik, berkurang dan kestabilan timbunan bertambah terus menerus sampai tercapai keseimbangan (gambar 1(b)).

b) Pengembangan tanah

Faktor yang mempengaruhi dalam menentukan laju perubahan tekanan pori dan yang meningkatkan kestabilan dari pekerjaan tanah adalah koefisien pengembangan tanah dalam hal penggalian, dan koefisien konsolidasi dalam hal pondasi timbunan.

Dalam hal galian lempung yang relatif dangkal, misal untuk penggalian saluran atau pondasi, suatu pengaruh yang bermanfaat pada kestabilan jangka pendek akibat pengurangan tekanan pori sementara, pada umumnya diimbangi dengan pengaruh yang merugikan akibat pembukaan celah alami pada lempung sebagai akibat pengurangan tegangan. Oleh karenanya kondisi stabil jangka pendek tidak dapat diandalkan untuk penggalian vertikal pada lempung, dan bila terdapat bahaya pengoperasian dan riskan untuk pembangunan dan pelayanan, maka pada sisi galian diberi dukungan seperti diuraikan pada SNI.... : Tata Cara Deskripsi Keadaan dan Penyelidikan Lapangan pada Pekerjaan Tanah atau lereng harus dipotong sehingga membentuk sudut yang menjamin kestabilan pada jangka pendek dan menengah.

Pertimbangan yang serupa diterapkan pula untuk kestabilan dari lereng batuan yang dipengaruhi oleh pembukaan kekar dan celah akibat penurunan tegangan dan pengaruh tekanan hidrostatika di dalam diskontinuitas atau pengaruh perubahan tekanan pori di dalam material pengisi diskontinuitas.

5.5.2 Pengaruh dari Pelapukan

Hujan, matahari dan angin menyebabkan lereng tanah dan batuan mengalami erosi dan degradasi sehingga terjadi sedimentasi bahan lepas pada kaki, kecuali jika tindakan perlindungan digunakan sesuai SNI..... : Tata Cara Pemeliharaan dan Perlindungan Lereng pada Pekerjaan Tanah. Pelapukan juga mempengaruhi kestabilan lereng

lempung, ketika penyusutan kering menyebabkan terbukanya beberapa retakan yang membentuk beberapa bidang lemah dan beberapa alur untuk masuknya air. Pengaruh dari penyusutan kering yaitu kestabilan lereng pada lempung yang berkonsolidasi normal akan menjadi kritis. Pada umumnya lempung semacam itu mempunyai kerak dari material kokoh sampai kaku dalam keadaan konsolidasi berlebihan akibat pengaruh pengeringan dan tanaman. Pada umumnya kerak tersebut terdiri dari celah yang meluas dari lapisan kokoh ke lapisan kaku. Oleh karenanya tidak tepat untuk mengandalkan lapisan ini untuk keseluruhan perlawanan geser dari massa tanah dengan menggunakan metode analisis yang diuraikan dalam butir 7. Keberadaan celah vertikal dalam kerak dapat menyebabkan terjadinya runtuh mendadak di dalam saluran yang digali dengan sisi vertikal. Dalam keadaan ini tidak dapat dipercaya terjadinya kestabilan jangka pendek akibat adanya pengurangan sementara tekanan pori seperti diuraikan pada butir 5.5.1.

5.6 Faktor-Faktor Lain yang Mempengaruhi Kestabilan

Faktor lain yang dipertimbangkan berkaitan dengan kestabilan lereng penggalian adalah sebagai berikut :

(a) Muatan tambahan pada lereng.

Lereng atau tanah di luar puncak mungkin dimuati bangunan tambahan permanen seperti abutmen jembatan, tempat tanda lalu lintas, gedung-gedung. Pengaruh dari muatan tambahan sementara oleh mesin konstruksi atau tumpukan bahan harus juga dipertimbangkan.

(b) Amblesan akibat penambangan.

Penurunan dari suatu penggalian mungkin terjadi karena adanya amblesan akibat penambangan. Hal ini mungkin menyebabkan lemahnya tanah karena adanya pemindahan geser, atau perubahan-perubahan dari pola aliran air tanah. Pengaruh dari pergerakan dalam kekar atau pergerakan ulangan di daerah longsor di dalam massa batuan harus dipertimbangkan. Kelongsoran permukaan dapat terjadi pada pekerjaan tambang yang tua.

(c) Pengaruh seismik.

Getaran tanah dari gempa bumi atau pengoperasian konstruksi dapat menyebabkan kenaikan tekanan pori sementara di belakang lereng. Pengaruh dari hal tersebut terhadap perlawanan geser harus dipertimbangkan. Gempa bumi dapat mengganggu lempung yang sensitif (lihat butir 5.1.3), yaitu menyebabkan adanya pengurangan dalam kekuatan geser tanpa drainasi. Kekar dalam massa batuan mungkin terbuka atau terganggu karena adanya gempa bumi atau getaran dari suatu ledakan, sehingga menyebabkan perlemahan umum pada massa.

6. Model Longsoran Penggalian dan Lereng Alami

6.1 Umum

Dalam beberapa hal ketidak stabilan lereng penggalian pada lereng bukit alami dapat diuraikan menjadi beberapa grup atau model longsoran. Hal ini tergantung dari tinggi dan geometri lereng, struktur massa tanah atau batuan dan kondisi air permukaan dan sub permukaan. Model longsoran yang dapat dikenal dan diuraikan dapat digunakan sebagai dasar analisis kestabilan suatu rencana penggalian lereng dan untuk penelitian penyebab kelongsoran lereng alami. Cara analisis diuraikan dalam butir 7.

6.2 Longsor Rotasi

Longsor rotasi (gambar 2) adalah bentuk ketidakstabilan yang terjadi pada tanah agak seragam atau tidak berstruktur atau massa batuan berkekar banyak. Longsoran terjadi bila gaya geser akibat gravitasi pada massa tanah di atas permukaan gelincir lebih besar dari gaya perlawanan pada permukaan kurve. Permukaan kurve ini dapat berbentuk lingkaran 2(a) atau bukan lingkaran (gambar 2b). Longsor rotasi dapat dianggap bekerja secara tiga dimensi bila tanah yang tergelincir di atas permukaan cekung berbentuk sendok (gambar 2(c))

Pergerakan secara longsor rotasi merupakan pergerakan kelompok yang mengakibatkan adanya jangkitan ke belakang pada puncak dan pergerakan ke atas dan ke depan pada ujung kaki. Ada gangguan yang relatif sedikit dalam masa tersebut kecuali pada ujung kaki yang mungkin terjadi gulingan dan sandungan. Penyebaran dapat juga terjadi (gambar 2(c)). Longsoran bukan lingkaran (gambar 2(b)) pada umumnya terjadi pada tanah anisotrop atau dengan adanya lapisan yang relatif kuat pada arah horisontal atau kemiringan dangkal, bila longsoran terjadi pada lapisan ini.

6.3 Longsor Campuran

Karakter dari longsor campuran yaitu sebagian berotasi dan sebagian bergeser lurus dan terjadi pada tanah dengan keanekaragamannya mengakibatkan terjadinya longsor geser yang berlangsung di atas suatu permukaan yang sesuai yang mungkin tidak mempunyai pola teratur berkaitan dengan geometri lereng. Longsor campuran adalah merupakan tipe lempung dengan konsolidasi berlebihan dan kaku bila retak susut permukaan dan celah alami membentuk permukaan longsor berganda. Longsor berganda tersebut dapat terjadi pada sembarang posisi dan dalam dimensi yang bervariasi pada lereng (gambar 3), atau longsoran mungkin terjadi dekat ujung kaki yang diikuti dengan geseran yang berturut-turut ke atas hingga puncak yang dikenal sebagai longsor merosot berganda (gambar 4).

6.4 Longsor Geser Lurus

6.4.1 Umum

Longsor geser lurus terjadi sebagai akibat lemahnya tanah atau batuan pada posisi agak dangkal di bawah permukaan lereng. Longsoran tersebut berupa pergerakan massa tanah dangkal pada permukaan lurus mendekati sejajar dengan lereng.

6.4.2 Longsor Lempeng dan Bongkahan

Longsor lempeng dan bongkahan adalah bentuk dari pergerakan geser lurus dengan massa longsoran masih mendekati utuh. Longsor lempeng (gambar 5) khusus terjadi

pada permukaan lapuk dari lereng yang ada. Permukaan lapuk mungkin berupa lempung dengan kerak bercelah kaku longsor di atas permukaan yang agak luas pada bidang lemah di atas lapisan lempung lapuk lunak. Demikian juga daerah yang luas dari batuan dapat longsor di atas kekar terisi lempung lemah sejajar dengan lereng. Suatu lapisan tebal dari tanah lapisan atas dapat longsor secara lapisan utuh di atas permukaan terkait, terutama sehabis hujan deras. Longsor bongkah terjadi ketika bongkahan dari batuan yang relatif kuat atau lempung dari kaku sampai keras bergerak ke bawah lereng berupa suatu kesatuan dari bidang yang lemah dalam bentuk celah atau kekar yang mendekati sejajar dengan lereng (gambar 6).

6.4.3 Longsor Baji

Longsor baji pada pokoknya berbentuk tiga dimensi dan terjadi ketika baji dari batuan atau lempung kaku longsor secara menyeluruh ke arah depan dan bawah di atas dua atau tiga bidang kekar yang berpotongan di belakang lereng (gambar 7)

6.4.4 Longsor Bahan Rombakan

Longsor bahan rombakan terjadi ketika air telah masuk ke dalam bahan rombakan membentuk selimut di atas lereng. Air dan bahan rombakan dalam suatu bentuk sembarang tidak teratur bergerak ke bawah lereng dapat dengan pelan merayap yang mungkin bersifat musiman atau dapat juga terjadi dengan cepat di waktu hujan lebat atau akibat adanya pengelakan aliran air permukaan ke lereng.

Longsor bahan rombakan dapat terjadi dalam bahan yang terganggu pada pangkal dari suatu longsor rotasi (gambar 2(c)), dan di atas permukaan lereng yang diikuti dengan erosi internal dari lapisan permeabel (butir 6.7).

Penyebaran lumpur terjadi ketika kumpulan tanah gambut atau tanah rawa dimuati air pada waktu hujan deras. Masa cairan menyebar ke arah luar dan apabila berada di atas lereng, maka akan terjadi aliran dengan kecepatan tinggi turun ke lereng bawah.

6.4.5 Longsor Aliran

Longsor aliran terjadi pada tanah kasar jenuh air dengan kerapatan lepas sampai menengah sebagai akibat dari kenaikan tekanan pori yang mendadak dalam masa, misal karena adanya gempa bumi, getaran dari peledak atau peralatan bangunan besar, atau adanya penurunan muka air dengan cepat.

Dalam pasir halus seragam lepas longsor aliran dapat terjadi pada lereng yang relatif datar, pergerakan menyeluruh terjadi pada jarak jauh dengan kecepatan tinggi. Longsor aliran dapat juga terjadi pada tanah ber kohesi yang pada umumnya disebut aliran lanau.

6.5 Longsor Jungkir

Longsor Jungkir terjadi pada lereng batuan bila diskontinuitas di belakang permukaan adalah miring curam (gambar 8). Hal ini mungkin terjadi sebagai akibat adanya tekanan air di belakang lereng.

6.6 Longsor Jatuh

Longsor jatuh terjadi pada penggalian permukaan yang curam misal pada galian saluran atau sumuran fondasi bila hanya dibutuhkan kestabilan jangka pendek. Retakan terbuka di belakang permukaan sebagai akibat dari penurunan tegangan atau adanya susut kering. Longsoran terjadi dekat dasar dari tanah yang penuh dengan retakan, dan masa tanah jatuh ke depan atau longsor ke dalam galian (gambar 9).

6.7 Erosi Internal

Erosi internal dapat terjadi di belakang permukaan dari suatu penggalian pada formasi tanah berlapis yang mengandung air yang meliputi lapisan tanah antara permeabel dan kedap air. Aliran air yang mengalir melalui lapisan permeabel dapat muncul pada permukaan dengan kecepatan yang cukup untuk menggerakkan butiran tanah. Erosi bekerja ke arah belakang ke dalam lereng sampai mencapai tahap terjadinya potongan dan runtuh dari lapisan di atasnya. Material runtuh kemudian bergerak ke bawah pada lereng dalam bentuk longsoran bahan rombakan (butir 6.4.4).

7. Metode Analisis Kestabilan Lereng

7.1 Umum

Butir 7.2 dan 7.4 menunjukkan metode analisis kestabilan lereng yang digunakan pada saat sekarang. Metode persamaan dasar persamaan yang lebih sering digunakan diberikan bersama dengan referensi pada tulisan asli. Sebelum menggunakan persamaan tersebut harus dikonsultasikan lebih dulu.

7.2 Metode Batas Keseimbangan

7.2.1 Longsor Rotasi Lingkaran

a) Analisis longsor

Untuk penyederhanaan analisis longsor geser rotasi (gambar 2) pada umumnya dianggap sebagai dua dimensi. Sehingga dalam analisis massa longsoran diwakili oleh suatu potongan tipis dengan satuan panjang yang diukur sepanjang ujung tanggul dan dibuat garis tegak lurus dari ujung kaki. Kesulitan yang berbelit-belit dalam menganalisis longsoran rotasi sebagai longsor tiga dimensi adalah tidak selalu benar, dan pada keadaan normal analisis dua dimensi akan menghasilkan harga yang cukup hati-hati untuk faktor keamanan.

Pada kondisi yang sesuai, kestabilan lereng jangka pendek (butir 5.5.1) dapat dihitung dengan menganalisis tegangan total berdasar kekuatan geser dari lempung yang tidak terpatuskan. Tanah dianggap jenuh air dan dipastikan bahwa tidak ada perubahan dalam volume atau bentuk massa tanah akibat pelaksanaan penggalian dan bahwa tegangan geser dari tanah tidak berubah karena perubahan tegangan total. Kekurangan dan kemungkinan resiko yang terjadi dalam analisis ini telah diuraikan dalam butir 5.1.3. Betapapun demikian, suatu analisis tegangan efektif mungkin tidak tepat untuk kestabilan jangka pendek karena ketidak pastiannya perubahan tekanan pori segera setelah penggalian secara cepat. Analisis tegangan total tidak dapat digunakan untuk kestabilan jangka menengah dan jangka panjang pada lereng dari lempung.

b) Faktor keamanan

Analisis tegangan total yang lebih sederhana adalah dengan menganggap bahwa kekuatan geser tidak terpatuskan, s_u merupakan bilangan konstan untuk suatu kedalaman dan jangkauan menyamping. Percobaan lingkaran gelincir digambar (gambar 10) dan perlawanan gerak yang berasal dari gaya gravitasi massa di atas lingkaran disamakan dengan momen akibat kekuatan geser dari tanah sepanjang kurve lingkaran. Dalam metode batas keseimbangan kuat geser berkurang dengan faktor keamanan, F, disajikan pada rumus (3) :dengan x : jarak garis kerja γA dari pusat lingkaran, sudut θ dinyatakan dalam radian. Istilah lain dinyatakan pada gambar 10.

$$F(\text{JangkaPendek}) = \frac{SuR^2\theta}{\gamma Ax} \dots\dots\dots(3)$$

Sejumlah lingkaran percobaan digambar untuk menetapkan faktor keamanan yang paling kecil.

Bila kekuatan geser bervariasi (menyamping atau ke dalam) massa tanah di atas lingkaran dibagi menjadi beberapa pias, biasanya vertikal (gambar 11) dan dilakukan penjumlahan pada momen gaya perlawanan dan gaya setiap segmen. Faktor keamanan F, dihitung berdasar persamaan

$$F(\text{JangkaPendek}) = \frac{R \sum Su\ell}{\sum Wx} \dots\dots\dots(4)$$

Semua simbol dapat dilihat pada gambar 11

Persamaan (3) dapat dinyatakan dalam bentuk grafik tak berdimensi. Grafik juga tersedia untuk kondisi kekuatan geser yang tidak terpatuskan (undrained shear strength) dari lempung berkonsolidasi normal bertambah secara linier bila kedalamannya bertambah dalam kaitannya dengan indek plastik tanah.

Kestabilan menengah dan jangka panjang dari lereng (lihat 5.5.1) harus dianalisis dengan metode tegangan efektif yang dihitung dengan persamaan (2). Analisis ini juga dua dimensi. Potongan tanah dibagi menjadi sejumlah pias vertikal (gambar 12).

Dengan mengabaikan gaya diantara pias, untuk pias yang sama lebarnya, keamanan, F, dengan metode penyeder-hanaan Bishop dinyatakan dengan rumus :

$$F(\text{longterm}) = \frac{\sum \frac{c'+(\rho-u)\tan\phi'}{ma}}{\sum \rho \sin\alpha} \dots\dots\dots(5)$$

dengan u adalah tekanan air pori pada dasar pias

$$ma = \frac{\cos\alpha(1 + \tan\alpha \tan\phi')}{F} \dots\dots\dots(6)$$

Istilah lain dinyatakan di gambar 12.

Selama F ada pada kedua ruas persamaan (5), penyelesaian iteratif dibutuhkan dengan penggunaan suatu grid yang cukup besar untuk mencakup keseluruhan pusat rotasi yang memungkinkan.

Dengan penyederhanaan lebih lanjut dari metode pias yang digunakan untuk pekerjaan tanah sederhana, atau bila hanya tersedia data kuat geser terbatas, faktor keamanan, F, dapat diperoleh dari persamaan :

$$F(\text{jangkapanjang}) = \frac{\sum [c' + W(\cos \alpha - \mu \ell) \tan \phi']}{\sum W \sin \alpha} \dots\dots\dots(7)$$

Harga dari c' dan ϕ' yang digunakan dalam persamaan (5) sampai (7) harus diperoleh dari uji kekuatan geser tidak terputuskan, atau uji tidak terputuskan dengan pengukuran tekanan pori. Bentuk dari pengujian, kondisi pengujian, dan pemilihan parameter untuk beberapa pengujian harus mempertimbangkan beberapa faktor terdaftar dalam butir 5.2. 1, dengan referensi tertentu terhadap pengaruh anisotrop, laju penggunaan tegangan deviator dan asal-usuk geologi lapangan.

Tekanan air, u , mungkin tergantung dari ketinggian muka air bawah tanah yang tidak tergantung dari perubahan tegangan akibat pelaksanaan penggalian. Jadi aliran yang menuju lereng dapat terjadi pada tanah permeabel dan kemudian tekanan airnya dapat ditentukan dengan menggambar jaring alir dari rembesan yang terjadi. Dalam menginvestigasi kestabilan lereng alami pada waktu pola aliran mencapai tingkat kondisi rembesan stedi, tekanan pori dapat diketahui dari pisometer yang dipasang pada lereng, adanya perubahan musiman harus diperhatikan. Untuk tanah dengan permeabilitas yang rendah, perubahan tekanan pori secara lambat dipengaruhi oleh perubahan tegangan yang dinyatakan oleh persamaan berikut ini.

$$u = u_o + \Delta u \dots\dots\dots(8)$$

dengan

u_o tekanan pori mula-mula, sebelum ada perubahan tegangan, dan

Δu perubahan tekanan pori akibat perubahan tegangan utama $\Delta \sigma_1$ dan $\Delta \sigma_2$ Perubahan dalam tekanan pori dapat diperoleh dari persamaan :

$$\Delta u = B[\Delta \sigma_2 + A(\Delta \sigma_2 - \Delta \sigma_3)] \dots\dots\dots(9)$$

A dan B adalah parameter tekanan pori yang diperoleh dari uji tekanan tri sumbu tidak terputuskan.

Untuk memperoleh faktor keamanan F, yang terendah beberapa lingkaran gelincir dicobakan dalam perhitungan berdasar persamaan (5) dan (7).

Persamaan tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk tak berdimensi. Dalam penyiapan suatu grafik lebih baik tekanan pori pada setiap titik dinyatakan dengan persamaan sederhana sebagai berikut :

$$r_u = \frac{U}{\gamma \cdot h} \dots\dots\dots(10)$$

dengan:

r_u = rasio tekanan pori

γ = kepadatan tanah

h = tinggi tanah di atas titik tertentu.

Dapat dilihat (persamaan 9) bahwa untuk profil lereng sederhana faktor keamanan dari lereng, bervariasi dengan rasio tekanan pori secara linier, yang dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$F = m - n r_u \dots\dots\dots(11)$$

Koefisien kestabilan m dan n merupakan dasar dari grafik tak berdimensi yang dapat digunakan untuk menghitung faktor keamanan dengan cara coba ulang. Persamaan (11) digunakan dengan anggapan bahwa rasio tekanan pori adalah konstan untuk seluruh profil lereng. Oleh karena rasio bervariasi terhadap waktu maka perlu dibuat referensi untuk menentukan harga desain.

Grafik tersebut dapat digunakan dengan tidak mempertimbangkan adanya pengaruh perlemahan dari retak tarik yang meluas di bawah permukaan tanah (gambar 13). Hal ini mungkin akan berpengaruh pada penggalan yang relatif dangkal. Bila terdapat retak

$$\text{Kedalaman} = \frac{2 \cdot C_u}{\gamma} \dots\dots\dots(12)$$

dapat digunakan metode potongan yang dihitung dengan rumus (5) atau (7). Secara teoritis kedalaman retak tarik dihitung berdasar persamaan :

(untuk tidak terpatuskan, pada kondisi jangka pendek..... (12)

atau

$$\text{Kedalaman} = \frac{2 \cdot c}{\gamma} \cot\left(45 - \frac{\phi'}{2}\right) \dots\dots\dots (13)$$

(untuk terpatuskan, pada kondisi jangka panjang)..... (13)
 Kedalaman retak tidak boleh melebihi kedalaman daerah tarik, yaitu mungkin sekitar 1/3 hingga 1/2 dari tinggi lereng

7.2.2 Longsor Rotasi Bukan Lingkaran

Permukaan geser bukan lingkaran dari bentuk umum biasanya dianalisis dengan metode Mongenstem dan Price atau Sarma. Cara ini biasanya memerlukan penggunaan komputer.

Bila permukaan geser mengikuti lapisan yang betul-betul lemah kestabilannya dapat dianalisis dengan anggapan longsoran dari suatu bongkahan tanah yang bekerja berdasar tekanan aktif pada permukaan vertikal dari bongkahan dan di tahan oleh gaya geser pada permukaan horisontal dan tekanan tanah pasif pada ujung kaki. Sehingga dari gambar 14, faktor keamanan terhadap geser dari bongkahan disajikan dengan persamaan :

$$F = \frac{(W' \cdot \tan \phi' + c' L) + P_p}{P_A} \dots\dots\dots(14)$$

dengan

P_A tekanan tanah aktif pada bongkahan tanah

P_p tekanan tanah pada ujung kaki bongkahan

W' berat efektif dari bongkahan tanah

Symbol lain disajikan pada gambar 14 Persamaan (14) dapat digunakan pada lereng batuan bongkahan dari longsoran batuan di atas bidang perlapisan atau bidang kekar. untuk menganalisis kestabilan

7.2.3 Longsor Planar

Longsor planar dalam lereng panjang dapat dianggap terdiri dari sejumlah pias dengan satuan lebar (gambar 15). Gaya internal pada sisi dari pias dianggap sama, dengan arah berlawanan dan terletak segaris, jadi dapat saling meniadakan. Oleh karena itu faktor keamanan terhadap geser pada kedalaman z disajikan pada persamaan :

$$F = \frac{c' + (\gamma \cdot Z \cdot \cos^2 \beta - u) \tan \phi'}{\gamma \cdot Z \cdot \sin \beta \cos \beta} \dots\dots\dots(15)$$

Metode analisis ini, mengacu pada analisis lereng tidak terbatas, dapat digunakan untuk longsoran lempeng atau bongkah pada lereng dari batuan yang panjang (lihat butir 6.4.2). Persamaan (15) tidak berlaku untuk pengaruh gaya rembesan.

7.2.4 Longsor Baji

Longsor baji dalam massa batuan (lihat butir 6.4.3) harus dianalisis berdasar tiga dimensi dengan mempertimbangkan kohesi, sudut perlawanan geser dan tekanan air pada setiap permukaan. Gaya gravitasi pada longsor baji disamakan dengan perlawanan geser dari permukaan. Grafik desain dapat digunakan untuk analisis dari baji sampai tiga perpotongan diskontinuitas.

7.3 Analisis Tegangan

Tegangan dan perpindahan dalam tanah atau batuan di belakang penggalian lereng dapat dianalisis menggunakan azas ilmu mekanika rangkaian kesatuan. Dalam metode elemen terbatas massa dibagi menjadi sejumlah komponen atau elemen yang bentuknya bervariasi sesuai geometri dari lereng dan keberadaan sistem lapisan atau kekar. Elemen

dianggap berhubungan pada sejumlah titik atau simpul yang berlainan pada setiap batasnya dan digunakan suatu fungsi untuk menyatakan keadaan perpindahan yang khusus dalam tiap elemen dalam hal perpindahan simpul pada batas elemen. Menurut suatu pengetahuan dari modulus deformasi tanah atau batuan seperti ditentukan berdasar uji lapangan atau laboratorium, regangan dan tegangan pada setiap batas elemen dapat dihitung. Penjumlahan setiap elemen digunakan untuk memperoleh tegangan dan perpindahan keseluruhan massa. Tegangan hasil hitungan kemudian dapat dibandingkan dengan tegangan yang ada.

Untuk penyederhanaan pada umumnya analisis elemen terbatas pada lereng tanah digunakan bentuk dua dimensi, tetapi untuk analisis massa batuan berkekar mungkin diperlukan bentuk tiga dimensi. Oleh karena terlalu banyak variabel maka diragukan apakah hasil dari analisis yang kompleks sedemikian itu berguna, dari segi sifat tidak teratur dari kebanyakan sistem batuan berkekar. Betapapun, cara tersebut bermanfaat sebagai penelitian parameter untuk penganalisan kepekaan dari sifat-sifat lereng untuk memvariasikan parameter-parameter tersebut seperti sudut lereng, kohesi dan gesekan pada bidang kekar, dan dalam hal besar deformasi pada pekerjaan tanah adalah faktor kritis dalam desain.

7.4 Model fisik

7.4.1 Pembentukan Model

Dalam penganalisan kestabilan lereng batuan bila massa batuan berpotongan dengan suatu sistem kekar yang teratur, atau pada sistem kekar yang ideal dalam bentuk sederhana, mungkin perlu penelitian bentuk longsoran dengan model skala tiga dimensi. Model tersebut dapat digunakan dari kayu atau gip, yang dengan gergaji dapat dipotong sesuai bentuk kekar. Hal ini dapat berguna dalam penentuan kebanyakan bentuk alinyemen yang memadai dari lereng penggalian relatif terhadap terbenamnya dan kekuatan dari ikatan dasar bidang datar. (lihat 5.3.2)

Model dari macam ini dapat memberikan petunjuk kualitatif dari bentuk longsoran tetapi tidak dapat digunakan untuk analisis kuantitatif.

7.4.2 Model Skala

Kestabilan lereng penggalian dari tanah dapat di analisis dengan konstruksi suatu model lereng berskala dengan menggunakan contoh tanah yang mewakili dari massa atau dari lapisan dalam massa tanah. Kemudian model menerima gaya gravitasi dalam suatu pemutar dengan kecepatan rotasi yang konstan sehingga terjadi kelongsoran.

Keuntungan dari model sentrifugal adalah bahwa sistem tanah tiga dimensi dan dengan lapisan yang kompleks dapat dimodelkan. Pengaruh waktu juga dapat diketahui, yang menguntungkan bila kondisi kestabilan jangka menengah diantara jangka pendek dan panjang diperlukan. Kesulitan dalam penggunaan suatu penelitian model sentrifugal adalah dalam menentukan jumlah contoh tanah dan variasi suatu sistem tanah berlapis tanah yang perlu dimodelkan untuk menjamin bahwa hasilnya dapat mewakili dari kondisi lokasi.

8. Desain

8.1 Penaksiran Keamanan

8.1.1 Kestabilan Lokal dan Keseluruhan

Ketika mempersiapkan desain untuk alinyemen dan lereng suatu penggalian kemungkinan terjadinya gelincir atau runtuh setempat pada permukaan lereng harus dipertimbangkan, disamping kestabilan keseluruhan terhadap beberapa variasi bentuk longsor seperti diuraikan dalam butir 6. Gelincir dan runtuh setempat mungkin terjadi karena adanya beberapa tempat yang lemah, tidak stabil, atau tanah yang mengandung air, atau lapisan tipis batuan lemah atau pecahan. Pada umumnya bila terbukti adanya ketidak stabilan setempat dapat menggunakan satu atau lebih dari tindakan pengamanan seperti yang diuraikan dalam butir 8.5. dan SNI....: Tata Cara Pemeliharaan dan Perlindungan Lereng pada Pekerjaan Tanah. Pendataran lereng secara menyeluruh akibat kejadian longsor setempat seperti ini jarang dibenarkan.

7.2.2 Faktor Keamanan

Faktor keamanan untuk kasus tertentu hanya dapat diperoleh setelah diadakan penelitian yang teliti dari keseluruhan faktor yang relevan dan pengujian dari putusan ahli teknik yang baik. Faktor tersebut meliputi kekompleksan kondisi tanah, seberapa jauh ketersediaan hasil investigasi lapangan, kualitas dari parameter desain yang mewakili kondisi lapangan sesungguhnya, seperti kuat geser dan tekanan air tanah, lama waktu untuk terjaminnya kestabilan, kemungkinan perubahan yang tidak diharapkan dalam rejim air tanah, profil permukaan atau faktor lain yang terjadi di masa mendatang dan kemungkinan kecepatan pergerakan dan konsekuensi terjadinya longsor. Secara umum, bagaimanapun juga, sangatlah penting untuk membedakan antara pertama kali terjadi longsor dan longsor pada permukaan gelincir pendahuluan untuk tanah kohesif yang berkonsolidasi lebih.

Longsor yang terjadi pertama kali pada umumnya dikenal dengan suatu tingkat kerapuhan disertai sesuatu yang mungkin timbul seiring dengan berlangsungnya kelongsoran dan kadang-kadang cepat berakhir, sebaliknya untuk longsor pada permukaan gelincir pendahuluan masalah tersebut cenderung kecil atau tidak ada. Pada saat ini disarankan bahwa untuk longsor yang terjadi pertama kali dengan investigasi berdasar standar yang bagus, dengan mempertimbangkan terhadap beberapa faktor selain tersebut pada 8.3, faktor keamanan digunakan antara 1,3 dan 1,4 Untuk longsor yang meliputi keseluruhan permukaan gelincir pendahuluan, tetapi pada status yang sama, faktor keamanan dibuat 1,2.

8.1.3 Kemungkinan

Desain lereng penggalian dapat dipertimbangkan dari segi kemungkinan longsor. Pendekatan ini meliputi analisis untuk menaksir kepekaan dari desain terhadap perubahan-perubahan parameter yang berarti. Berdasar pada metode keseimbangan batas (butir 7.2), harga dari salah satu parameter penting yang diperlukan untuk memperoleh kondisi seimbang yang memuaskan dihitung untuk besaran harga dari beberapa parameter yang terkait lainnya. Misal, besar kohesi yang diperlukan untuk memperoleh keadaan keseimbangan batas yang memuaskan dapat dihitung untuk besaran kondisi sudut geser dan air tanah. Alternatif lain, setiap parameter penting dapat dibuat bervariasi

secara bergiliran, sedang parameter lain dibuat konstan. Sehingga kepekaan dari faktor keamanan dengan memvariasikan setiap parameter dapat dievaluasi. Beberapa perubahan faktor keamanan yang disebabkan variasi setiap parameter merupakan indikator yang dapat dipercaya sebagai perilaku teknik. Beberapa perubahan ini dapat di demonstrasikan dengan menampilkan hasil dari analisis kepekaan dalam bentuk grafik.

8.2 Profil Lereng

8.2.1 Sudut Lereng

Sudut lereng yang diperlukan dalam penggalian harus dihitung dengan cara analisis seperti diuraikan dalam butir 7 atau dengan cara empiris.

Sudut lebih datar dari pada yang disarankan oleh pertimbangan faktor keamanan minimum mungkin diperlukan untuk memudahkan pemeliharaan, keindahan, atau alasan lain (lihat butir 4)

Lereng suatu formasi kandungan air harus sedemikian sehingga aliran rembesan stedi pada ujung lereng tidak mengakibatkan adanya erosi. Sudut lereng yang dibutuhkan untuk kestabilan dalam keadaan rembesan stedi dapat ditentukan dengan bantuan jaring alir (lihat BS 8004 - 1986).

Bila penggalian dilakukan dalam beberapa lapisan tanah atau batuan dengan perbedaan karakter yang cukup berarti, sudut lereng dapat dibuat bervariasi agar sesuai terhadap sifat teknis dari setiap formasi. Sudut lereng dapat juga dibuat bervariasi dalam tanah seragam yang mengandung air dengan membentuk lereng curam mendekati sudut lereng alam tanah yang terletak di atas ketinggian muka air tanah tertinggi, dan lereng lebih datar di bawah muka air tanah.

8.2.2 Bahu

Pada formasi tanah atau batuan yang mengandung air di atas lapisan tidak tembus air, pada ketinggian pertemuan antara dua formasi harus dibuat bahu. Bahu digunakan untuk menempatkan saluran terbuka atau pipa drainasi yang dapat menampung air rembesan dari tanah tembus air di atas.

Bahu juga digunakan untuk menangkap batuan atau bahan rombakan lainnya yang jatuh dari muka lereng curam tinggi. Interval vertikal diantara beberapa bahu dan lebar bahu dalam kaitannya terhadap tinggi dan lereng dari penggalian harus ditentukan sedemikian rupa sehingga dijamin batu tidak menggelinding ke bawah lereng, kemudian memantul jatuh pada iarak berbahaya di luar ujung lereng.

Permukaan bahu, dalam formasi tanah atau batuan, harus dimiringkan ke belakang, dan dilengkapi dengan drainasi untuk menghindari limpahan air turun ke lereng yang lebih rendah diwaktu terjadi aliran permukaan yang besar.

8.2.3 Tempat untuk Bahan Rombakan

Pada ujung lereng tanah atau batuan yang curam harus disediakan tempat yang cukup lebar untuk menghindari adanya penumpukan bahan rombakan pada jalan setapak, jalan dan daerah yang mudah dilalui lainnya. Tempat tersebut juga dibutuhkan untuk menangkap runtuhan batuan atau tanah yang mungkin dapat merugikan bagi kehidupan maupun hak milik penduduk. Lebar dari penangkap bahan rombakan ditentukan seperti pada lebar bahu. Apabila tempat yang ada tidak cukup lebar seperti hasil hitungan, maka perlu adanya pagar atau tembok pada batas luar bahu dengan ketinggian yang cukup untuk menghalangi kemungkinan adanya pantulan dari batu.

8.3 Pengaruh Prosedur Konstruksi pada Kestabilan Lereng

8.3.1 Urutan dan Geometri Pelaksanaan Penggalian

Pelaksanaan penggalian lereng sementara tidak boleh dibuat terlalu curam untuk menghindari adanya longsoran yang membahayakan kestabilan lereng permanen. Lereng sementara dapat dibentuk bertangga dengan muka penggalian yang curam. Dimensi setiap anak tangga harus dibuat sedemikian rupa sehingga sesuai untuk ketinggian penuh lereng, dan juga tidak membahayakan selama dalam pelaksanaan. Pada tahap akhir dari pelaksanaan, tangga diatur kembali ke bentuk desain akhir. Bagaimanapun juga lereng tidak boleh terlalu curam sehingga tidak akan terjadi longsoran.

8.3.2 Pengaruh Ledakan

Ketika peledak digunakan untuk melemahkan batuan pada pekerjaan penggalian, getaran karena ledakan dapat membuka celah dan kekar pada batuan. Hal demikian mungkin dapat memperburuk kestabilan lereng yang curam. Getaran akibat ledakan dapat diperkecil dengan membuat lubang ledakan yang sesuai dengan letak dan pengaturan ledakannya. Pembukaan celah dan kekar di luar batas penggalian, dalam beberapa kondisi, dapat dikurangi dengan menggunakan teknik pengaturan ledakan seperti pemecahan pendahuluan (lihat SNI... : Tata Cara Pelaksanaan Paritan, Sumuran dan Terowongan pada Pekerjaan Tanah).

8.3.3 Pengaturan Air Tanah

Waktu penggalian pada tanah yang mengandung air harus diatur agar kondisi aliran rembesan steady dari lereng dapat dicapai dan bertahan untuk segala tahapan, sehingga dapat dihindari adanya penurunan muka air dengan cepat dari air tanah dibelakang lereng dengan resiko ketidak stabilan. Bila memungkinkan dasar galian harus mempunyai penampang melintang atau memanjang yang sesuai untuk menghindari genangan dalam daerah kerja.

Drainasi saluran terbuka atau pipa sementara mungkin diperlukan seperti diuraikan pada butir 8.4.1.

Bila penggalian dalam tanah kedap air di atas lapisan tanah yang mengandung air terjadi tekanan sub-artesian, harus dihindari adanya tekanan atau penyumbatan pada dasar galian. Bila dengan teknik drainasi normal tidak cukup mungkin perlu penurunan tekanan air dengan sumur penurun tekanan atau memompa air dari sumur atau sumur bor (lihat BS 8004 -1986)

8.4 Drainasi

8.4.1 Pengatur Muka Air

Drainasi mungkin diperlukan pada puncak dari penggalian untuk menampung air permukaan yang mengalir menuju galian, dan juga untuk menghalangi air mengalir kebawah lereng.

Drainasi ini dapat berbentuk saluran terbuka, parit, atau pipa. Kemiringan dari drainasi sedapat mungkin harus optimum untuk tipe tertentu dan tidak boleh lebih datar dari 1 : 300, kecuali bila tujuan pokok utamanya untuk menampung air dari aliran permukaan, bila kemiringan yang lebih datar memungkinkan.

Kapasitas drainasi yang diperlukan tergantung dari tanah alami, kontour, misal ke arah samping atau sebaliknya, dan dengan adanya mata air, drainasi untuk pertanian, atau saluran air yang mungkin dipengaruhi penggalian.

a) Saluran terbuka

Saluran terbuka lebih baik dilining. Saluran tanpa lining tidak boleh digunakan bila drainasi penangkap terletak di dekat puncak penggalian untuk tanah lempung yang mudah menyusut, karena air yang merembes ke bawah melalui retakan akibat adanya susutan dapat menyebabkan ketidak stabilan. Saluran terbuka atau pipa drainasi harus dibuat pada ujung kaki lereng kedua sisi dari penggalian, dan bentuknya harus diatur menurun ke arah drainasi. Harus diperhatikan bahwa pelaksanaan pembuatan drainasi tidak melemahkan ujung kaki lereng. Seluruh drainasi yang dibuat pada puncak penggalian dan didesain untuk mengalirkan aliran permukaan harus dilining. Bila drainasi untuk air permukaan dan bawah tanah harus dibuat sebaiknya dibuat gorong-gorong secara terpisah untuk masing-masing tujuan. Saluran terbuka jangan dibuat terlalu dalam untuk mengatasi kesulitan dalam pembersihannya, secara praktis umumnya 1,2 m merupakan kedalaman maksimum.

b) Saluran tertutup

Diameter pipa drainasi tidak boleh kurang dari 150 mm. Apabila berfungsi sebagai drainasi bawah permukaan tanah pipa tersebut diletakkan dengan sambungan terbuka dan mungkin tertanam dalam beton. Alternatif lain dapat digunakan pipa tembus air dari beton atau pipa yang berlubang-lubang. Saluran untuk pemasangan pipa harus diisi penuh dengan bahan berbutir kasar, pecahan dengan diameter maksimum 60 mm. Bila air dari daerah sekitarnya memungkinkan mengalir ke drainasi, di antara tanah dan bahan pengisi kasar harus diisi dengan campuran bahan filter (lihat BS 8004 - 1986). Alternatif lain pipa dapat dibungkus dengan bahan filter dari plastik yang tahan lama. Bila bahan pengisi kasar sekitar pipa kedap air ditentukan, penghubung harus dibuat dari bahan pengisi hingga lubang pemeriksaan atau sumur penangkap pada ujung hilir pipa untuk menghindari masuknya air tanah dalam bahan pengisi. Sehubungan kemungkinan terperangkapnya lanau yang dapat dibersihkan dengan batang besi, ruang inspeksi perlu dipasang pada jarak antara 50 sampai 90 m. Tutup ruang inspeksi harus siap dapat dibuka pada waktu pemeriksaan secara teratur.

Bila penggalian dilaksanakan pada tanah yang mengandung sulfat yang dapat merusak Portland Cement, beton atau mortar maka penggunaan bahan tahan sulfat harus dipertimbangkan untuk seluruh pekerjaan beton dan tembikar, atau pipa PVC dapat digunakan sebagai pengganti penggunaan pipa dari beton (lihat BS 8004 - 1986).

8.4.2 Saluran dan Drainasi Dinding Penahan

a) Fungsi drainasi

Drainasi saluran dan drainasi dinding penahan dapat digunakan secara meluas untuk mengurangi kemungkinan terjadinya longsoran pada penggalian dan timbunan. Bangunan tersebut kadang-kadang digunakan untuk pekerjaan suatu desain dengan kemiringan lereng yang lebih curam dari pada lereng yang stabil tanpa bangunan tersebut, dan bila

gelincir pada lokasi yang dalam memungkinkan terjadi. Bangunan tersebut jarang digunakan pada timbunan kecuali sebagai tindakan perbaikan setelah terjadi peristiwa gelincir.

Fungsi saluran dan drainasi dinding penahan adalah untuk menurunkan tekanan air pori pada lereng. Drainasi dinding penahan, dinyatakan sebagai drainasi saluran yang dibuat hingga tanah padat di bawah permukaan gelincir, dibuat disamping untuk mematuskan gerakan perkuatan. Metode kasar untuk membuat desain drainasi saluran, dan fungsi dari drainasi dinding penahan diuraikan dalam beberapa literatur.

b) Sistem drainasi

Drainasi tambahan kadang-kadang digunakan bentuk "V", sering dibuat diantara drainasi dinding penahan utama dalam bentuk saluran sempit diisi batu yang membentang ke atas lereng dari titik pada drainasi utama kira-kira dengan sudut 45° , dan bertemu di tengah-tengah antara drainasi utama. Drainasi tambahan biasanya berukuran tidak lebih dari 0,75 m x 0,50 m sampai 0,75 m lebar dan dengan jarak dari 3 m sampai 10 m satu sama lain. Fungsinya adalah untuk menerima air yang mengalir kebawah melalui permukaan lereng penggalian dan untuk memperkuat kestabilan lereng tanah. Seperti dinding penahan drainasi tersebut juga diisi dengan batu pecah dan mungkin dapat dibuat dengan pipa atau beton.

Drainasi dinding penahan dan bentuk "V" agar dibuat sedemikian sehingga tidak terjadi erosi dan rembesan pada tebing. Bila ada mata air yang keluar pada permukaan lereng perlu adanya drainasi khusus.

Saluran sebagai tempat pembuatan drainasi dinding penahan, biasanya berbentuk tangga. Pada kemiringan lereng, misal kira-kira 2,5:1, lebar anak tangga tersebut 2,5 m, dan tinggi masing-masing anak tangga adalah 1 m dengan kedalaman galian 1,5 m sampai 2 m untuk pembuatan kemiringan lereng yang baru. Bila bangunan tersebut untuk memperbaiki longsor, muka tanah harus ditentukan setelah mendapatkan posisi permukaan longsor, tangga tersebut kemudian dibangun dengan seksama di bawahnya dan di bawah permukaan dari bidang gelincir terdalam yang mungkin terjadi. Permukaan bidang gelincir biasanya dapat dideteksi dalam pelaksanaan galian.

Drainasi dinding penahan dapat dibuat dengan lebar 1 m hingga 2 m dan kadang-kadang pada dasar lereng dibuat lebih lebar daripada di puncaknya, yaitu dengan penambahan lebar sekitar 1 m untuk setiap panjang 10 m.

Jarak (tepi dengan tepi) antara drainasi dinding penahan adalah 3 m sampai dengan 10 m, tergantung dari situasi lapangan serta digunakan atau tidaknya drainasi tambahan.

c) Stabilitas saluran drainasi

Galian seharusnya dilining dengan filter yang terdiri dari bahan berbutir keras tahan lama, dipilih untuk kelulusan airnya dan dengan bahan campuran sedemikian sehingga memungkinkan butiran tanah sekitarnya dapat masuk.

Galian harus betul-betul tahan air dengan tujuan pokok untuk menghalangi air masuk ke badan lereng. Beberapa bahan seperti beton, lembaran plastik, atau lapisan bitumen dapat digunakan. Sebagai alternatif bangunan bentuk tangga dapat digunakan. Tangga tersebut dipotong vertikal, dan lapisan beton harus dipasang menggantung dan meliputi pusat saluran. Perlu adanya pencegahan terjadinya penyumbatan drainasi pada jangka panjang.

Erosi dari butiran halus tanah masuk ke dalam bahan pengisi drainasi dapat dihindari dengan pembuatan lining, saluran bahan filter. Pemasukan air ke dalam saluran drainasi dapat dihindari dengan memasang lempung yang dipadatkan pada lapisan filter di puncak saluran.

Sebagai alternatif untuk pembuatan drainasi saluran pada lereng, perlu dipertimbangkan pembuatan penggunaan cut-off dalam sejajar dan di belakang puncak lereng.

8.4.3 Drainasi Selimut

Drainasi selimut dapat digunakan untuk mengatur rembesan dari permukaan lereng dalam tanah tembus air. Drainasi dapat terdiri dari lapisan bahan berbutir kasar maksimum 60 mm yang menggunakan campuran filter (lihat BS 8004 - 1986) atau dari bahan kemas filter atau bronjong kawat yang juga menggunakan bahan filter.

8.4.4 Drainasi Bor

Ketinggian muka air dalam tanah atau batuan lulus air dapat diturunkan dengan memompa dari sumur bor vertikal. Hal ini mungkin lebih baik dalam pelaksanaan karena memberi kesempatan untuk melakukan galian dengan cepat pada keadaan kering, hingga dalam waktu tertentu tercapai aliran rembesan stedi yang menuju pada lereng penggalian. Sumur bor dapat juga digunakan sebagai tindakan perbaikan untuk menurunkan tekanan pisometer akibat ketidak stabilan lereng. Sistem ini tidak seekonomis seperti penggunaan drainasi permanen kecuali dapat terjadi drainase gravitasi dari penggalian. Desain untuk sumur bor diuraikan dalam BS 8004 - 1986.

Drainasi bor miring dapat dibuat dari permukaan lereng penggalian. Hal tersebut dibuat, dengan bor putar atau bor mesin, sebuah lobang dengan pelindung tepi untuk menampung kandungan air di sekitarnya. Pipa drainasi yang terdiri dari pipa plastik dengan dinding berlubang dibungkus dengan kemas filter plastik atau pipa baja dengan dinding berlubang dibungkus dengan filter dari kerikil atau pecahan beton poros didesakkan pada pelindung samping ke bawah. Pelindung samping diambil bila aliran air drainasi mengalir secara gravitasi.

Drainasi bor miring tersebut berguna bila rembesan berasal dari lapisan kandungan air yang relatif tipis, atau untuk menurunkan tekanan pisometer pada daerah yang berpotensi longsor permukaan.

8.4.5 Galeri

Drainasi galeri dapat dibuat dengan membuat terowongan dari permukaan lereng atau dari belakang lereng. Drainasi galeri cukup mahal dibanding dengan drainasi bor miring, tetapi ada keuntungannya apabila rembesan terjadi dari celah yang berjarak dekat atau lapisan dalam formasi batuan. Galeri dapat berupa terowongan untuk menerima sumber air dari rembesan yang diteruskan sepanjang daerah kandungan air yang diperluas secukupnya sehingga mampu menurunkan tekanan pisometer sesuai keperluan di belakang lereng.

Drainasi galeri merupakan alat yang digunakan sebagai tindakan untuk tambahan kestabilan seperti drainasi terowong melintang, bor miring, atau grouting. Galeri dibuat miring ke atas untuk memungkinkan air drainasi mengalir secara gravitasi menuju portal

melalui drainasi pipa yang dipasang di bawah lantai galeri. Drainasi dibuat dengan tutup yang mudah dibuka untuk kepentingan inspeksi dan pemeliharaan.

8.4.6 Osmosa Listrik

Tanah berbutir halus seperti lanau pasiran, lanau dan lempung lanauan sulit dikeringkan karena gaya kapiler yang bekerja pada air pori menghalangi aliran bebas secara gravitasi ke jaringan drainasi. Tetapi aliran dapat dipengaruhi oleh potensi listrik dengan arus DC untuk mengalirkan dari anoda (berupa batang besi yang dimasukkan ke dalam tanah) ke sumur penyaring sebagai katoda. Partikel air yang bermuatan positif mengalir melalui pori dalam tanah dan berkumpul di katoda, yang kemudian dipompa ke permukaan tanah. Pemasangan dan pengoperasian alat ini cukup mahal dibanding dengan drainasi secara gravitasi atau sumur pompa biasa. Oleh karenanya penggunaan alat tersebut terbatas untuk melindungi lereng yang tidak stabil sampai tindakan perbaikan permanen dapat direncanakan dan dilaksanakan (lihat BS 8004 - 1986).

8.5 Metode Penahan Secara Mekanik

8.5.1 Umum

Bila lebar antara ujung kaki dari penggalian clan batas lokasi tidak cukup untuk membuat lereng yang aman pada ketinggian penuh suatu penggalian, perkuatan bentuk dinding penahan dapat digunakan untuk mengurangi kemiringan lereng atau menggunakan cara lain sehingga lereng curam aman digunakan.

8.5.2 Dinding Penahan

Bentuk dinding penahan yang sesuai untuk memperkuat penggalian lereng adalah :

- Dinding gravitasi dari beton, pasangan batu bata atau pasangan batu;
- Dinding beton bertulang dengan bentuk L atau T₁
- Dinding penopang beton bertulang;
- Dinding penahan beton bertulang;
- Dinding diafragma beton bertulang dengan konsol atau angker;
- Dinding pancang bor berderet, dengan konsol atau angker;
- Dinding pancang bor berkait;
- Dinding tanah dengan perkuatan;
- Dinding tiang turap baja, dengan konsol atau angker;
- Dinding penahan kisi, misal beton pracetak atau ban bekas;
- Bronjong (kotak anyaman kawat diisi batu).

Informasi cara perencanaan dan pelaksanaan dari seluruh tipe di atas dapat dilihat dalam CP 2 dan BS 8004 - 1986.

a) Dinding gravitasi dan dinding beton bertulang

Dinding gravitasi atau dinding beton bertulang adalah sesuai digunakan, bila tanah bagian bawah dari penggalian dapat dibuat sudut yang curam sebagai lereng sementara, sehingga dinding penahan dapat dibuat. Ruangan antara belakang dinding penahan dan lereng sementara diisi kembali. Alternatif lain dari dinding ini dapat dibuat dari kayu, kemudian tanah di muka dinding harus dibuang setelah pekerjaan bangunan penahan selesai.

b) Dinding diafragma

Dinding diafragma, dinding tiang bor berderet dan dinding tiang bor berkait adalah sesuai untuk tanah yang lemah, tidak stabil atau dengan kandungan air banyak, dan bila lereng curam sementara tidak dapat dibuat atau bila pelaksanaan dalam saluran menimbulkan masalah pada kekuatan atau kehilangan dukungan pada tanah.

Tipe-tipe tersebut adalah juga sesuai untuk lokasi bila konstruksi dilaksanakan dekat dengan bangunan yang telah ada. (lihat BS 8004 - 1986).

c) Dinding tanah dengan perkuatan

Dinding penahan dari tanah yang diperkuat dapat dibuat pada bagian bawah dari penggalian lereng dengan menggali pada ujung kaki untuk membentuk lereng curam sementara, kemudian tanah galian diganti dengan lapisan bahan berbutir yang dipadatkan, setiap lapisan diberi tulangan logam horisontal atau tali plastik. Permukaan yang dimiringkan curam dari dinding penahan harus dilidungi dengan logam, tulangan beton atau elemen berlapis plastik (gambar 19). Desain dari dinding tanah yang diperkuat diuraikan dalam beberapa terbitan. [Price, D.I. Aspects of reinforced earth in UK].

Dinding penahan dari tanah yang diperkuat mempunyai keuntungan pada kefleksibelannya dan sesuai untuk kondisi tanah bila diantisipasi adanya pergerakan yang cukup cepat atau tekanan dari penggalian sebagai konsekwensi adanya penurunan tekanan, atau bila lokasi penggalian terancam penurunan karena pekerjaan tambang dibawahnya.

d) Turap

Tiang turap baja digunakan sebagai cara perbaikan untuk memulihkan kestabilan (lihat SNI...: Tata Cara Pemeliharaan dan Perlindungan Lereng pada Pekerjaan Tanah), atau sebagai suatu konstruksi yang berguna. Hal tersebut dapat digunakan sebagai dinding penahan permanen bila ada perhatian untuk menghindari terjadinya korosi agar dapat tahan lama.

e) Dinding penahan kisi-kisi

Dinding penahan kisi-kisi beton pracetak merupakan bentuk dari bagian gravitasi dan mungkin cukup ekonomis untuk lokasi bila tersedia bahan berupa pecahan batu dan kerikil yang sesuai sebagai pengisi bangunan tersebut.

f) Bronjong

Bronjong sesuai untuk digunakan bila di lokasi terdapat pecahan batu, batu besar, kerakal untuk pengisi anyaman kawat, tersedia ruangan yang cukup untuk pengerjaan penganyaman dan pengisian batuan pada bronjong serta ruangan yang cukup untuk

mengatur susunan bronjong berbentuk tangga. Bangunan tersebut tidak berumur panjang tetapi dengan penggunaan kawat yang digalvanisir atau ditutup dengan plastik dapat memberikan perkuatan yang berguna hingga beberapa tahun. Bronjong terutama sesuai untuk konstruksi penggalian pada kondisi kebanjiran balk sementara atau permanen yang menyebabkan terjadinya gerusan. Keuntungan dari kefleksibelan dinding penahan bronjong untuk suatu lokasi, bila terjadi defomasi lereng yang cukup berarti akibat adanya penurunan tekanan atau adanya penurunan tanah akibat pekerjaan penambangan di bawah.

Dalam segala hal untuk seluruh tipe dinding penahan tanah drainasi pada bagian belakang dinding penahan harus diperhatikan untuk mencegah adanya tekanan air pada bangunan penahan dan untuk menghindari adanya kenaikan tekanan pori pada tanah atau batuan di belakang dinding penahan. Lapisan drainasi dibelakang bangunan penahan dapat terdiri dari lapisan bahan berbutir, atau beton tanpa bahan halus. Bila ada resiko kehilangan butiran halus dari tanah yang ditahan, maka dapat digunakan campuran filter atau kemas filter (lihat BS 8004 - 1986) atau lapisan drainasi berbutir harus dilindungi dengan lapisan dari kemas filter.

8.5.3 Angker Tanah

Lereng tanah yang curam dapat ditahan dengan lempengan beton bertulang pracetak atau cor di tempat, dan pengendalian terhadap pergerakannya dapat digunakan batang baja atau kabel yang diangkerkan pada tanah di luar daerah potensi longsor (gambar 16). Sebagai alternatif terhadap desain terlihat pada gambar 16, bangunan penahan yang diangkerkan mungkin di desain sebagai dinding rebah vertikal terpendam keseluruhan atau sebagian bertangga ke bawah lereng sehingga membentuk beberapa petak tingkatan. Informasi untuk desain dari bangunan tersebut dapat dilihat pada BS 8004 - 1986 dan DD 81.

8.5.4 Pengangkeran Batu

Angker batu dapat digunakan sebagai sarana untuk mencegah adanya degradasi dari muka batuan berkekar lemah atau kuat, atau sebagai suatu sarana dari pengendalian pergerakan secara keseluruhan dari masa batuan. Bila tidak memerlukan penampilan yang bagus, lereng dapat ditutup dengan anyaman kawat yang dipakukan pada muka batuan atau diikatkan ke puncak lereng dengan angker vertikal. Cara tersebut hanya sesuai untuk penahanan terhadap bongkahan batu yang relatif ringan pada permukaan lereng, atau bila anyaman diangkerkan hanya pada puncak untuk menahan longsornya bongkahan batu yang relatif besar, sehingga anyaman dan angker harus cukup kuat.

Puncak yang terisolasi atau penahan dari batu yang dapat runtuh akibat longsor jungkir (lihat butir 6.5) dapat di pakukan kembali pada batu yang stabil dengan angker pendek (gambar 17). Begitu pula masa batuan dangkal yang menunjukkan ketidak stabilan dalam bentuk longsor lempeng atau longsor bongkah (lihat butir 6.4.2) dapat ditahan dengan angker yang dipakukan sampai kedalaman mencapai di bawah bidang yang berpotensi gelincir (gambar 18)

Angker pendek yang digunakan untuk penanganan muka batu dapat dimasukkan ke dalam lubang yang diborkan pada batu, kemudian di grauting dengan semen atau

polyester atau epoxy resin dalam bentuk paku tanpa tegangan. Alternatif lain dapat digunakan angker yang ditegangkan (lihat CIS 2).

Gejala ketidak stabilan dalam bentuk longsor translasi atau baji (lihat butir 6.4) dari massa batuan yang lebih besar dapat dicegah dengan menggunakan angker batu panjang yang digrouting ke dalam massa batu di luar daerah yang berpotensi tidak stabil.

Bila angker pendek dan panjang digunakan untuk menstabilkan lereng batuan, pengaruh dari grauting terhadap keamanan angker atau drainasi dari lereng harus dipertimbangkan. Perluasan grauting dari massa batuan yang disatukan dapat menimbulkan penghalang untuk aliran air tanah menuju penggalian. Bila perlu lubang drainasi harus dibor hingga permukaan untuk mengurangi tekanan air.

Perlu dihindari adanya korosi pada angker dengan menggunakan panjang yang sesuai dari angker yang tidak disatukan. Kepala angker harus mudah dijangkau untuk penegangan ulang, bila perlu, dan tindakan perlindungan korosi yang sesuai harus dilakukan terhadap kepala angker yang kelihatan serta peralatan dan plat reaksi yang terkunci.

8.5.5 Penanganan terhadap Muka Batuan

Semprotan semen dengan atau tidak dengan perkuatan anyaman baja dapat digunakan sebagai teknik konstruksi dalam batu pecah. Dalam hal ini beton mengikat posisi pecahan batuan selama lereng dibentuk dan menghindari gerakan dan pelepasan tegangan samping lebih lanjut yang dapat mengakibatkan ketidak stabilan secara umum pada permukaan lereng bila sejumlah besar regangan bekerja keseluruhan batuan. Pemasangan secara cepat sering diperlukan dalam tujuan ini, dan perkuatan dibutuhkan bila adukan semen atau beton dibuat pada ketebalan yang cukup. Sistem adukan semen basah dan kering tersedia.

8.6 Perbaikan untuk Parameter Tanah

Grauting dengan cara kimia fisik mungkin dipertimbangkan sebagai sarana penstabilan massa tanah untuk mencapai lereng curam, tetapi penggunaan utamanya adalah sebagai sarana perbaikan. Uraian dari cara kimia fisik tersebut disajikan dalam SNI. : Tata Cara Pemeliharaan dan Perlindungan Lereng pada Pekerjaan Tanah.

9. Pemantauan Lereng

9.1 Umum

Bila dari pengalaman atau analisis kestabilan memberikan jaminan atas kondisi stabil pada penggalian lereng, tidak diperlukan adanya tindakan khusus untuk pemantauan kestabilan. Betapapun demikian, tidak ada jeleknya untuk diadakan pemantauan secara periodik, terutama pada awal bulan setelah selesai pelaksanaan ketika permukaan mungkin terancam erosi sebelum adanya rumput sebagai pelindungnya. Inspeksi tersebut meliputi hal-hal sebagai berikut :

(a) Perubahan bentuk.

Penurunan pada bagian atas lereng dan membengkok menuju ujung kaki mungkin menunjukkan longsoran yang baru terjadi oleh longsor rotasi (butir 6.2).

(b) Retakan.

Retakan yang berturutan di daerah sekitar dan sejajar puncak lereng mungkin menunjukkan adanya longsoran, sama halnya untuk formasi retakan pada batas samping dari gerakan yang baru mulai. Pola hexagonal atau sembarang suatu retakan menunjukkan adanya susut kering.

(c) Celah.

Pembukaan kekar dan celah menunjukkan baru saja terjadi longsoran translasi dan jungkir.

(d) Rembesan.

Air yang mengandung butiran tanah mengalir dari muka lereng menunjukkan adanya erosi internal atau erosi rembesan (butir 6.7).

(e) Parit

Saluran tererosi pada muka lereng menunjukkan perlunya perlindungan terhadap erosi permukaan.

Inspeksi harus dilakukan setelah adanya hujan lebat yang merugikan. Lereng lempung harus diinspeksi selama atau segera sehabis turun hujan berikut selama musim kering untuk mengetahui pengaruh air yang masuk melalui retakan pada permukaan. Inspeksi terhadap posisi dan kemiringan patok yang telah dipasang pada lereng adalah merupakan sarana yang sederhana untuk mengetahui adanya deformasi.

Inspeksi lereng dari penggalian selama periode konstruksi dari lereng yang dipotong curam untuk galian pondasi atau saluran harus dilakukan setiap hari oleh tenaga berkualitas yang berpengalaman untuk menjamin kondisi aman untuk pekerjaan operasi, dan untuk menghindari adanya kerusakan terhadap bagian pekerjaan yang sudah dikerjakan atau terhadap bangunan yang telah ada disekitar pekerjaan. (lihat 7.1)

Bila diragukan tentang kestabilan jangka pendek atau jangka panjang dari penggalian lereng mungkin lebih baik diadakan pemasangan peralatan untuk memberi peringatan pada awal terjadinya ketidak stabilan, untuk dilakukan tindakan perbaikan seperti pembuatan drainasi, grauting atau pemasangan anker yang harus dilaksanakan sebelum terjadi longsoran. Cara yang sesuai untuk memantau lereng diuraikan pada 9.2 hingga 9.5.

9.2 Tekanan Air

Tekanan pori di belakang penggalian lereng dapat berpengaruh kritis terhadap kestabilan (5), sehingga lebih baik diadakan pemantauan perubahan tekanan pori selama dan setelah penggalian untuk mengetahui kebenaran anggapan yang dibuat pada tahap desain dan untuk meyakinkan bahwa kondisi kritis dari tinggi tekanan pori tidak bertambah.

Pada tanah lulus air yang homogen tekanan pori dapat diketahui dengan memantau ketinggian muka air menggunakan pipa duga sederhana (lihat BS 5930). Dalam tanah yang berlapis atau tanah dengan tingkat permeabilitasnya menengah sampai rendah waktu respon pada pipa duga terhadap perubahan tekanan pori mungkin tidak dapat mendeteksi kondisi kritis dalam waktu yang sesuai untuk mengadakan perbaikan. Dalam hal ini tekanan pori harus dipantau dengan pisometer yang betul-betul tertutup dan

dilindungi (BS 5930) dengan ujung-ujungnya diletakan pada setiap lapisan tanah kritis pada sejumlah lokasi sepanjang lereng. Ketinggian air dalam pisometer dapat dipantau dengan jaringan pipa atau dengan menghubungkan beberapa pisometer secara berturutan pada rumah pengamatan (gauge house) dengan transmisi pneumatik, hidraulik atau listrik dan sistem pencatat. Perlu diadakan pencegahan terhadap kerusakan instalasi pisometer akibat operasi dan pemeliharaan konstruksi serta kerusakan akibat tindakan masyarakat yang tidak bertanggung jawab.

9.3 Pemantauan Pergerakan Permukaan dan Bawah Permukaan

Pemantauan dari pergerakan permukaan tanah baik pada bidang horisontal maupun vertikal dapat dilakukan dengan metode penelitian di lapangan. Metode utama yang digunakan tergantung dari keandalan yang diperlukan.

Untuk rencana jangka pendek bila tidak memerlukan keakuratan yang tinggi, pengamatan sederhana pada patok logam yang dimasukkan dalam tanah dapat dilakukan dengan ketinggian normal, dengan metode pengukuran takometer, atau dengan alat ukur jarak elektronik kisaran pendek, dengan pengukuran yang diikatkan pada satu atau lebih garis dasar yang stabil dipasang beberapa jarak dari daerah yang terpengaruh.

Bila diperlukan tingkat keakuratan lebih tinggi (± 5 mm atau lebih baik) dan diharapkan dilakukan pengukuran ulang setiap interval yang teratur pada periode waktu yang lama, maka perlu adanya rencana pemantauan yang tepat. Penggunaan salah satu atau kombinasi dari beberapa cara berikut ini perlu dipertimbangkan:

- sipat datar teliti dengan menggunakan suatu datum dan rambu infar
- triangulasi dengan menggunakan theodolit order pertama
- trilateration dengan menggunakan alat ukur jarak elektro EDM (Electronic Distance Measuring).

Pengukuran tersebut harus dilakukan dari lokasi tetap yang stabil, lebih baik dengan menggunakan pemusatan tetap untuk peralatan atau mengacu pada bench-mark dalam atau titik datum. Sasaran harus didesain untuk memperoleh suatu titik khusus yang dapat digunakan setiap pengukuran.

Perhitungan harus dilakukan dengan prosedur pengukuran normal, dan hasilnya dikalibrasi dengan menggunakan kuadrat terkecil atau variasi koordinat untuk memperoleh harga menengah yang paling bagus. Deformasi sub permukaan suatu lereng mungkin dapat diukur dengan pembacaan inklinometer beberapa lubang bor yang terletak pada titik-titik yang kritis (lihat SNI....: Tata Cara Deskripsi Keadaan dan Penyelidikan lapangan pada Pekerjaan Tanah). Lokasi dari lubang bor dapat diperoleh dengan cara (a), (b) dan (c) di atas.

Fotogrametri mungkin dapat digunakan untuk tujuan pemantauan, tetapi bila diperlukan keakuratan tinggi, perlu diadakan pengukuran tanah dengan cara seperti (a), (b) dan (c) di atas.

9.4 Pengukuran Tekanan Tanah

Memantau peningkatan tekanan tanah pada bangunan penahan seperti diuraikan pada butir 8.5 mungkin diperlukan. Tekanan tanah diukur dengan menggunakan sel tekanan

yang terletak di antara tanah dan muka dari bangunan penahan atau dengan menggunakan sel beban yang dipasang pada komponen seperti angker dan pendukung.

9.5 Penyelidikan Seismik

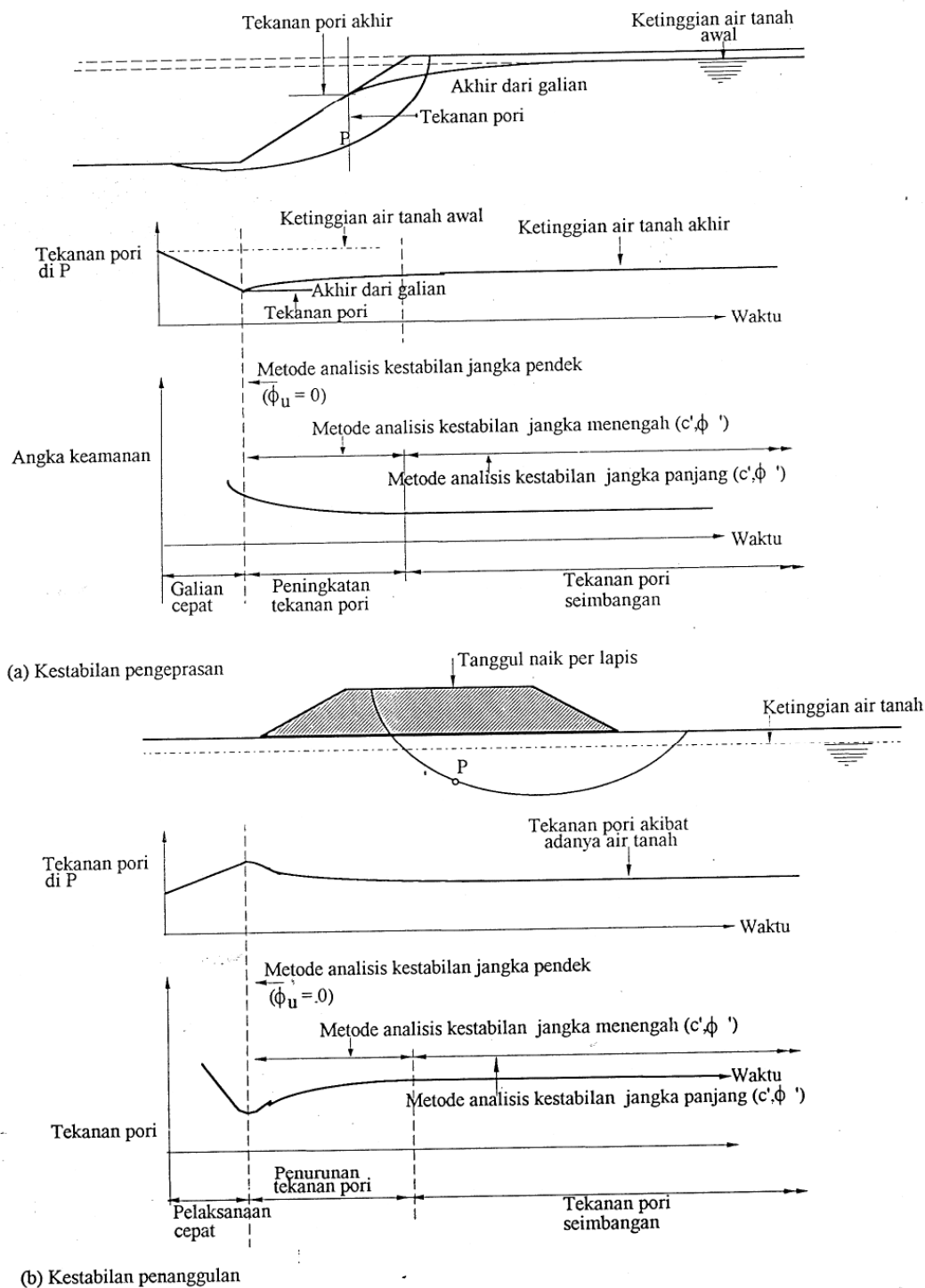
Pengamatan terhadap penyimpangan seismik yang dilakukan pada suatu interfal dapat memberi informasi pergerakan lereng dari batuan karena pembukaan atau penutupan dari celah mempengaruhi kecepatan seismik dari massa batuan (lihat literatur Bishop, A.W. and Bjerrum, L. The relevance of the triaxial test to the solution of stability problems). Dengan mikro-seismometer yang dipasang dalam lubang bor dapat diketahui peringatan terhadap adanya pergerakan pada lereng (lihat butir 4.3.6).

LAMPIRAN A
DAFTAR ISTILAH

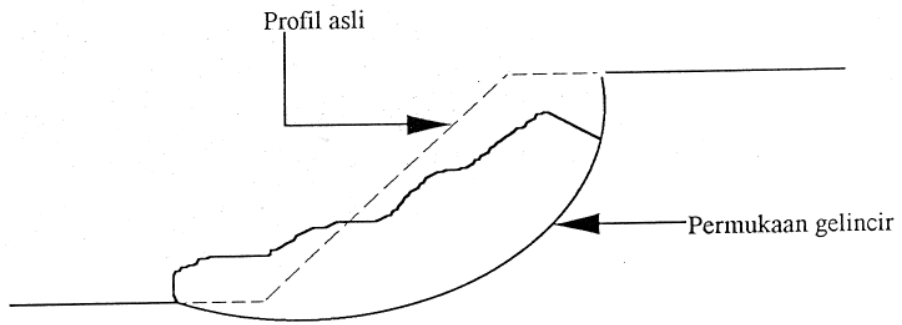
Penggalian	:	<i>Cutting</i>
Lereng	:	<i>Slope</i>
Longsoran translasi dangkal	:	<i>Shallow translational slide</i>
Gelincir rotasi yang lebih dalam	:	<i>Deeper seated rotational slipping</i>
Lempung dengan konsolidasi berlebihan	:	<i>Over consolidated clay</i>
Gelinciran	:	<i>slip</i>
Longsor geser rotasi	:	<i>Rotational shear slide</i>
Longsor jungkir	:	<i>Toppling</i>
Longsor jatuh	:	<i>Falls</i>
Tanah lus	:	<i>Loess</i>
Cairan lempung	:	<i>Slurried clay</i>
Kekar yang berlapis	:	<i>Bedding joints</i>
Longsor rotasi	:	<i>Rotational slide</i>
Longsor campuran	:	<i>Compounded slides</i>
Longsor merosot berganda	:	<i>Multiple retrogressive slides</i>
Longsor geser lurus	:	<i>Translational slides</i>
Longsor lempeng	:	<i>Slab slide</i>
Longsor bongkah	:	<i>Block slide</i>
Longsor baji	:	<i>Wedge failure</i>
Longsoran bahan rombakan	:	<i>Debris slide</i>
Penyebaran Lumpur	:	<i>Bogburst</i>
Tanah rawa	:	<i>Marshy</i>
Longsor aliran	:	<i>Flow slides</i>
Longsoran rotasi lingkaran	:	<i>Circular rotational slides</i>
Longsoran planar	:	<i>Planar slide</i>
Mekanika rangkaian kesatuan	:	<i>The principle of continuum mechanics</i>
Pembentukan model	:	<i>Phenomenological model</i>
Pemecahan pendahuluan	:	<i>Pre-splitting</i>
Lubang pemeriksaan	:	<i>Manhole</i>
Sumur penangkap	:	<i>Catchpit</i>
Dinding penahan	:	<i>Counterfort</i>

Terowong melintang	:	<i>Transverse adits</i>
Elemen berlapis plastik	:	<i>Plastic clodding elemen</i>
Angker tanah	:	<i>Ground anchors</i>
Pengangkeran batu	:	<i>Rock bolting</i>
Dinding penopang beton bertulang	:	<i>Reinforced concrete butteres wall</i>
Dinding penahan beton bertulang	:	<i>Reinforced concrete counterfort wall</i>
Dinding pancang bor berderet	:	<i>Contiguous bored pile wall</i>
Dinding pancang bor berkait	:	<i>Secant bored pile wall</i>
Dinding tanah dengan perkuatan	:	<i>Reinforced earth wall</i>
Dinding penahan kisi	:	<i>Crib wall</i>
Rasio	:	<i>Ratio</i>
Contoh tanah tidak terganggu	:	<i>Undisturbed sample</i>
Diskontinuitas	:	<i>Discontinuity</i>
Jaring alir	:	<i>Flow net</i>
Stedi	:	<i>Steady</i>
Laminasi	:	<i>Lamination</i>
Tekanan tri sumbu tidak terpatuskan	:	<i>Undrained triaxial compression</i>
Pipa duga	:	<i>Standpipe</i>
Takometer	:	<i>Tachometer</i>
Alat ukur jarak elektronik	:	<i>Electronic distance measuring equipment</i>

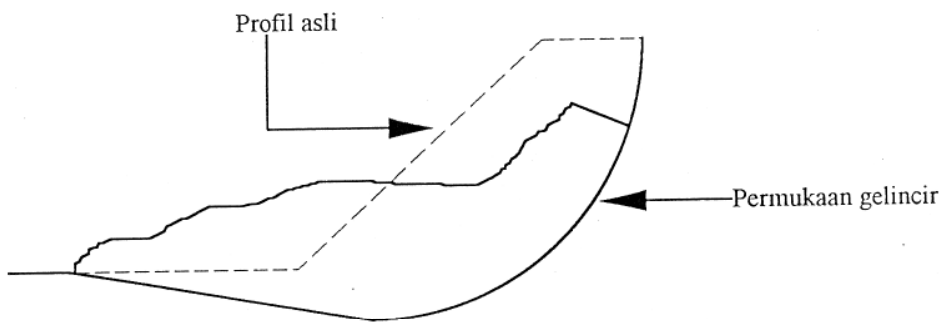
LAMPIRAN B



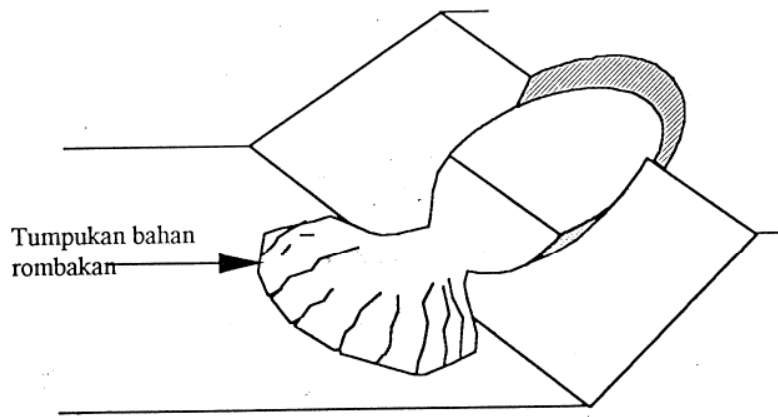
Gambar 1
Kestabilan lereng penggalian dan timbunan jangka pendek dan jangka panjang



a) Lingkaran

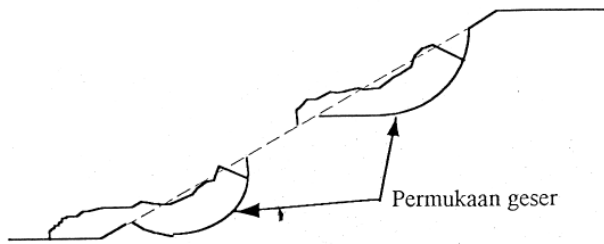


b) Bukan lingkaran

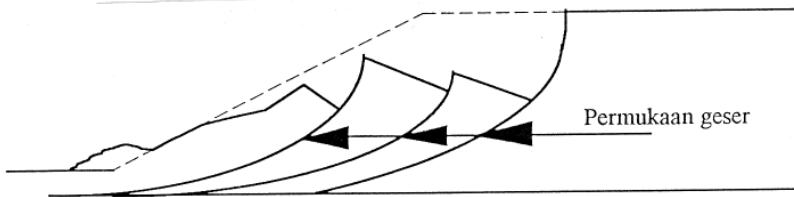


c) Sket longsoran

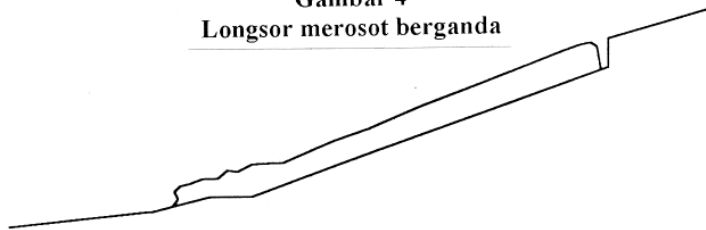
Gambar 2
Tipe longsor rotasi



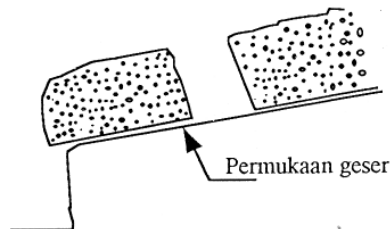
Gambar 3
Longsor rotasi berturutan



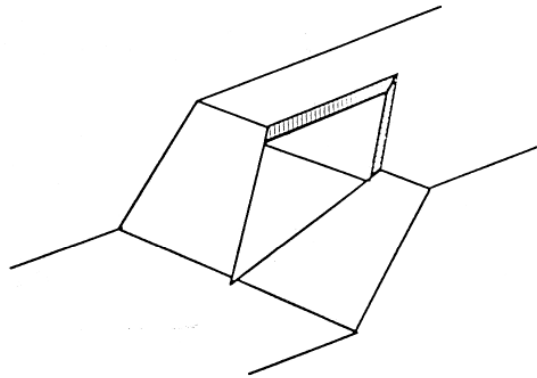
Gambar 4
Longsor merosot berganda



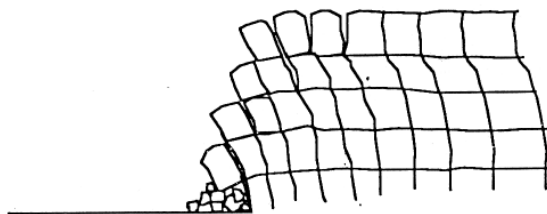
Gambar 5
Longsor lempeng



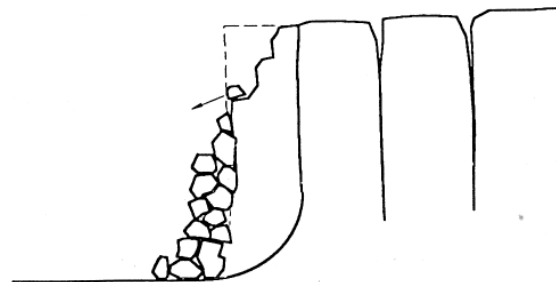
Gambar 6
Longsor bongkah



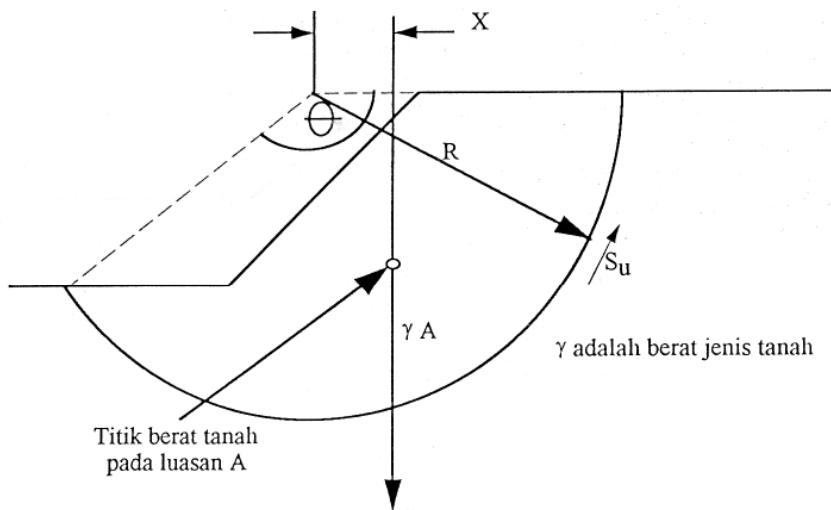
Gambar 7
Longsor baji



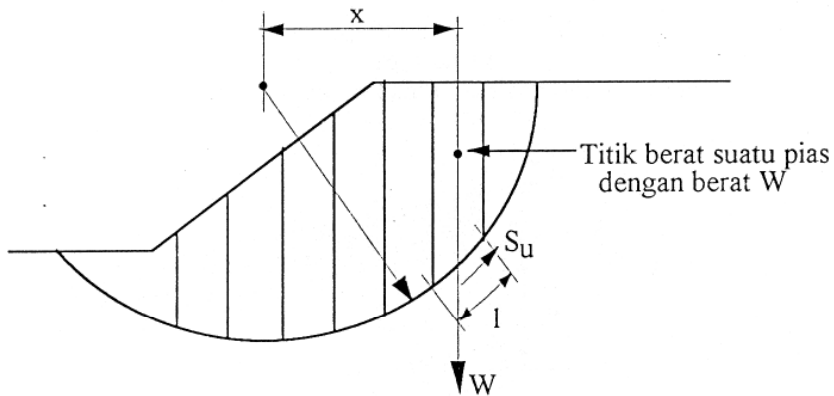
Gambar 8
Longsor runtuhan



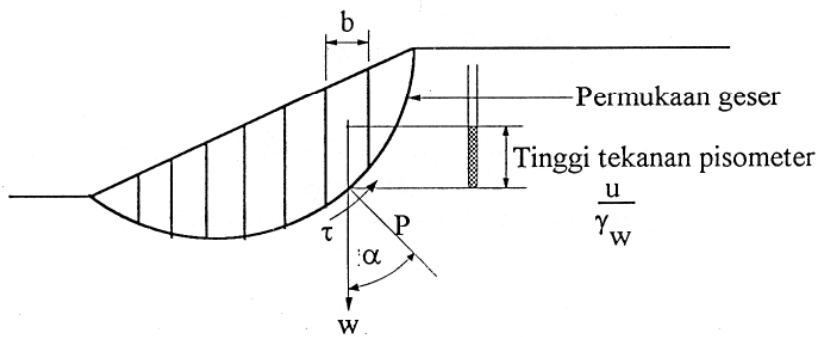
Gambar 9
Longsor jatuh



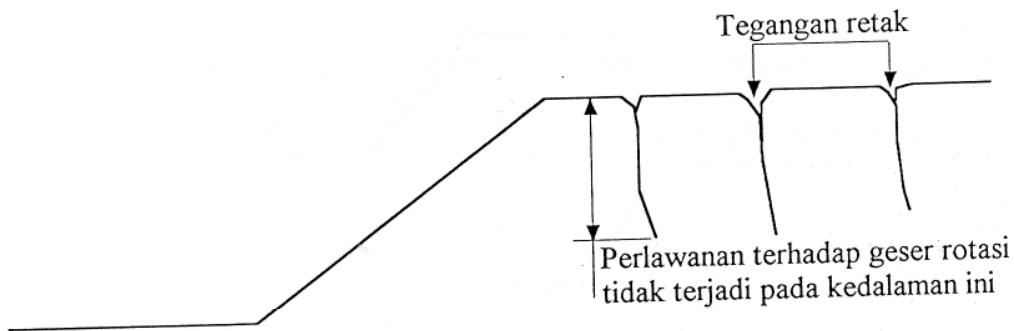
Gambar 10.
 Analisis geser lingkaran (Kekuatan geser tanpa drain S_u konstan dengan kedalaman).



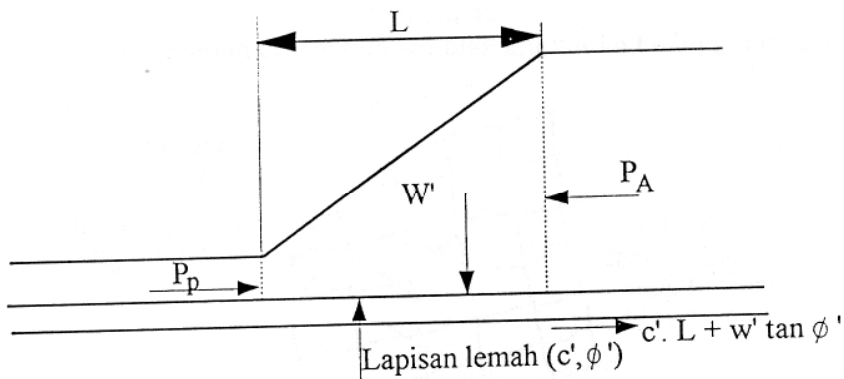
Gambar 11
 Analisis geser lingkaran (Kekuatan geser tanpa drain S_u bervariasi pada arah ke samping dan ke dalam)



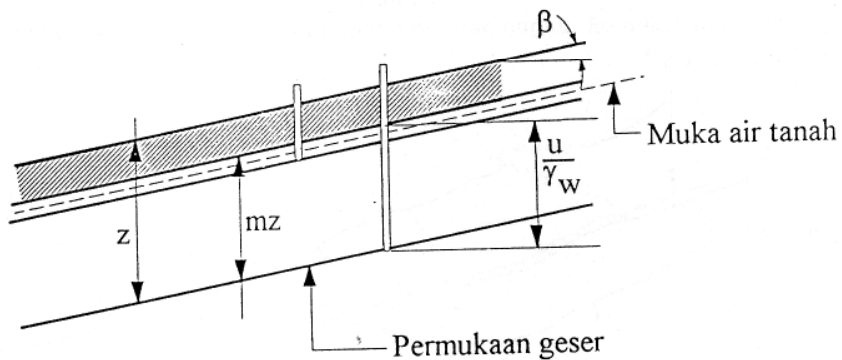
Gambar 12
 Analisis geser lingkaran (metode tekanan efektif)



Gambar 13
Pengaruh tegangan retak pada kestabilan lereng

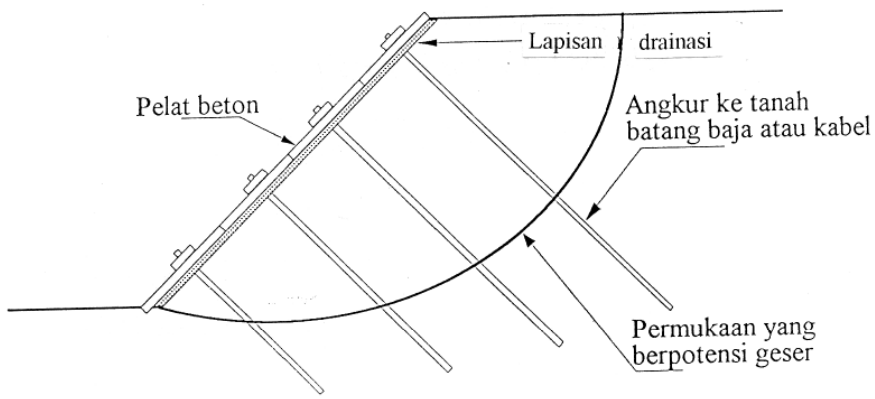


Gambar 14
Bukan geser lingkaran di atas lapisan tanah lemah

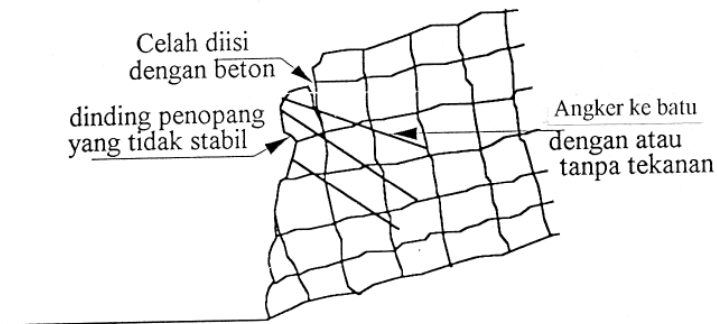


Untuk batas keseimbangan
 $\gamma z \sin \beta \cos \beta = c' + (\gamma - m\gamma_w) z \cos^2 \beta \tan \phi'$
 if $c' = 0$
 $\tan \beta = \frac{(\gamma - m\gamma_w)}{\gamma} \tan \phi'$

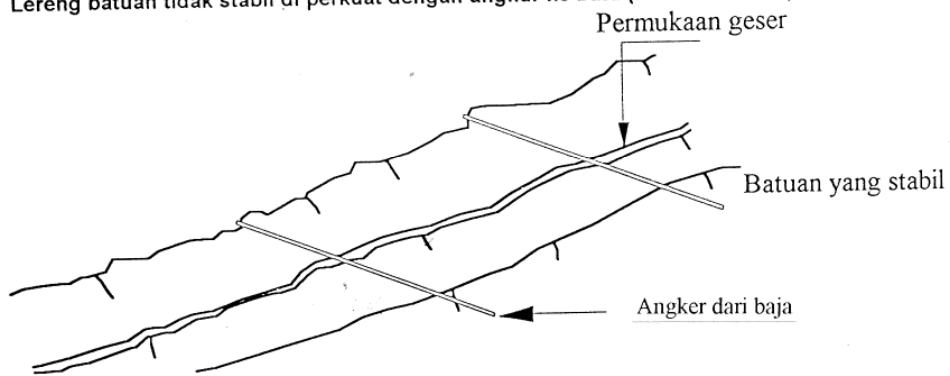
Gambar 15.
Analisis kestabilan geser planar pada lereng tak terbatas



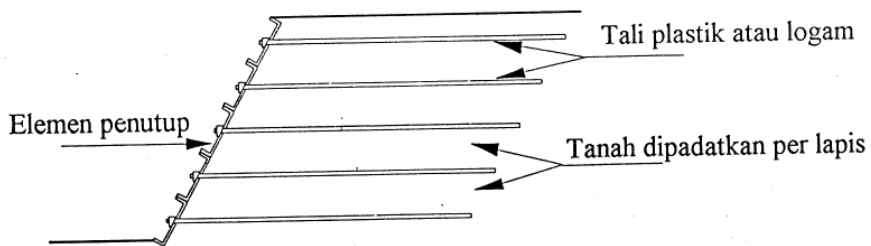
Gambar 16.
Lereng tanah curam ditahan oleh ankur ke tanah (lihat butir 5.5.3)



Gambar 17
Lereng batuan tidak stabil di perkuat dengan ankur ke batu (lihat butir 5.5.4)



Gambar 18
Geser lempeng diperkuat dengan ankur yang dipantakkan ke batuan (lihat butir 5.5.4)



Gambar 19
Perkuatan tanah (lihat butir 5.5.2)

LAMPIRAN C
DAFTAR NAMA DAN LEMBAGA

- 1) Pemrakarsa
Pusat Litbang Pengairan, Badan Litbang PU
- 2) Penyusun

N A M A	LEMBAGA
Ir.Syaifudin M.Sc	Pusat Litbang Pengairan
Ir.Sudarta,CES.	Pusat Litbang Pengairan
Ir.Darjanta Budihardja Dipl.HE.	Pusat Litbang Pengairan