

MODUL 5

IMPLEMENTASI PENANGANAN LERENG TERHADAP BAHAYA LONGSOR

DIKLAT PENANGANAN LONGSOR PADA STRUKTUR JALAN



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
PUSAT PENDIDIKAN DAN PELATIHAN JALAN, PERUMAHAN,
PERMUKIMAN DAN PENGEMBANGAN INFRASTRUKTUR WILAYAH

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
PENDAHULUAN	2
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Diskripsi Singkat	3
1.3 Tujuan Pembelajaran	4
1.4 Kompetensi Dasar	4
1.5 Indikator Keberhasilan	4
1.6 Materi Pokok dan Sub Materi Pokok	4
KEGIATAN BELAJAR 1	6
PENANGANAN LERENG TANAH	6
2.1 Umum	6
2.2. Penanganan Sementara	7
2.2.1. Teknik Teknik Penanggulangan Preventif Non Permanen	8
2.3. Penyesuaan Geometri Lereng.....	10
2.4. Mengendalikan Air Permukaan.....	13
2.5. Mengendalikan Air Bawah Permukaan.....	14
2.5.1. Horisontal Drain	15
2.5.2. Sumuran kolektor.....	15
2.5.3. Penyalir Tegak (vertical drain) dan Penyalir Pencegat (interceptor drain)	15
2.6. Penambatan Longsoran Tanah	18
2.6.1. Konstruksi Penahan Penanganan longsoran tipe gelinciran (Rotasi) ..	18
2.6.2. Konstruksi Penahan Penanganan Longsoran tipe Debris, Avalance dan Translasi ..	22
2.7. Pemilihan Bangunan Penahan untuk Penanganan longsoran yang sesuai..	23

2.8.	Ketelitian dalam Pemilihan Penanganan untuk mengatasi Permasalahan Longsor Timbunan Tinggi	25
2.8.1.	Stabilitas Lereng Timbunan pada Morfologi Lereng Pegunungan / Perbukitan	25
2.8.2.	Stabilitas Lereng Timbunan pada Morfologi Dataran	27
2.8.3.	Pemilihan Penanganan Timbunan Oprit	29
	Rangkuman	30
	Latihan.....	30
	KEGIATAN BELAJAR 2	31
	PENANGANAN LERENG BATUAN	31
3.1.	Mekanisme Keruntuhan Lereng berupa Longsor Batuan	31
3.1.1.	Mekanisme Tipe Longsor Batuan.....	31
3.1.2.	Mekanisme Pergerakan Longsor Batuan	32
3.2.	Pemilihan Konstruksi Penahan Penanganan longsor Batuan yang sesuai 34	
3.2.1.	Pengukuran dan Analisa Potensi adanya Longsor Batuan	34
3.2.2.	Identifikasi dan Penciri-an Tipe Longsor Batuan.....	35
3.2.3.	Metode Analisa dalam	37
3.3.	Merekayasa perkuatan Lereng Batuan dengan Penambatan.....	38
3.3.1.	Prinsip Penanganan dengan Penambatan Batuan.....	39
3.3.2.	Tumpuan Beton.....	40
3.3.3.	Baut Batuan.....	40
3.3.4.	Pengikat Batuan.	40
3.3.5.	Jangkar Kabel	40
3.3.6.	Beton Semprot	40
3.3.7.	Dinding Tipis.....	40
3.3.8.	Implementasi terhadap perkuatan Lereng Batuan	42
3.4.	Penambatan batuan dengan melindungi pengguna jalan	43
3.4.1.	Dinding / Tembok Penahan Batu	43
3.4.2.	Jala Kawat.....	43
3.4.3.	Pengaman dengan Semi Terowongan	43
	KEGIATAN BELAJAR 3	45

KRITERIA PENANGANAN LERENG LONGSOR.....	45
4.1 Umum	45
4.2 Percepatan Pergerakan.....	45
4.3 Tinjauan terhadap Ke-Gempa-an.....	46
4.4 Penanganan Longsoran Tanah dengan Memperbaiki Material Lereng	48
Rangkuman	75
Latihan.....	75
KEGIATAN BELAJAR 4	76
PERBAIKAN DAN PEMELIHARAAN LERENG	76
5.1 Permasalahan Longsoran Jalan akibat Abrasi	76
5.2 Permasalahan Longsoran Dalam dan Longsoran Lereng	79
5.3 Permasalahan jalan pada Longsoran Alam	85
5.4 Permasalahan jalan pada lereng Galian	88
Rangkuman	90
Latihan.....	90
PENUTUP.....	91
DAFTAR PUSTAKA	92

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Evaluasi Empiris Pemilihan Konstruksi Penahan sebagai Penambatan tipe longsor Tanah.....	24
Tabel 2. Evaluasi Empiris Pemilihan Konstruksi Penahan sebagai Penambatan tipe longsor Batuan	37
Tabel 3. Petunjuk dalam Pemilihan metode Penanganan Lereng terhadap Bahaya Longsor atau yang telah mengalami longsor memperhatikan Klasifikasi Longsor ..	54
Tabel 4. Karakteristik Tajuk dan Perakaran Vegetasi untuk Pengendalian Longsor, Sumber: Strategy of Vegetative Selection for Landslide Hazard Reduction oleh Hatma Suryatmojo.....	62
Tabel 5. Kemiringan, Jarak Permukaan dan Jarak Garis Tegak*).....	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Alternatif Penanganan Sementara yang perlu diterapkan	7
Gambar 2. Geometrik Lereng disesuaikan dengan Karakteristik dan Propertis lapisan Tanah/Batuan penyusun lereng.....	10
Gambar 3. Metode Geometri dengan Pemotongan Bagian Atas Lereng sebagai Beban yang mengakibatkan Momen Pendorong.....	12
Gambar 4. Metode Geometri dengan Pemotongan Bagian Atas Lereng sebagai Beban yang mengakibatkan Momen Pendorong.....	12
Gambar 5. Penanganan Lereng dengan Re-garding, Pengendalian Air Permukaan (termasuk saluran samping jalan) serta Menutup Rekahan.....	13
Gambar 6. Penempatan Saluran Permukaan Tepi Jalan (side ditch).....	14
Gambar 7. Horisontal Drain	16
Gambar 8. Prinsip Penerapan Sumur Kolektor	17
Gambar 9. Pemasangan Subdfrein dan Interception Drain	18
Gambar 10. Pemasangan Bongkah dan Pecahan Batuan pada kaki lereng.....	19
Gambar 11. Matode dengan Teknologi Pemasangan Bronjong	19
Gambar 12. Penulangan Tanah, sebelah kiri menggunakan Bahan Geosintetik (Geotekstil dan Geogrid).....	20
Gambar 13. Metode Penambatan dengan Dinding Penahan dan Tiang Pancang.....	21
Gambar 14. Penanganan Longsoran Debris, Avalance dan Translasi.....	22
Gambar 15. Longsoran Rayapan pada Endapan Sedimen (Daratan).....	23
Gambar 16. Longsoran Rayapan pada Morfologi Pegunungan	23
Gambar 17. Longsoran runtuhan pada morfologi dan topografi pegunungan	24
Gambar 18. Kejadian Longsoran Timbunan pada Morfologi Lereng dengan tinjauan longsoran Lokal sebagai model Longsoran Translasi	26
Gambar 19. Stabilitas Lereng terhadap Beban Timbunan	27
Gambar 20. Permasalahan stabilitas Abutmen Jembatan yang mengalami longsoran akibat beban timbunan Oprit Jembatan.....	28

Diklat Penanganan Longor pada Struktur Jalan

Gambar 21. Keruntuhan Timbunan akibat tanah dasar tidak mampu mendukung nya.	29
Gambar 22. Mekanisme dan Tipe Longsoran Batuan.....	32
Gambar 23. Dampak yang diakibatkan oleh longsoran batuan.....	32
Gambar 24. Longsoran Debris Avalance yang terdiri dari bermacam material longsor baik tanah, pasir, batuan dan sisi tumbuhan.....	32
Gambar 25. Hubungan Longsoran Batuan dan Longsoran Tanah diperhatikan terhadap kecepatan pergerakannya.....	33
Gambar 26. Scalling System untuk Mengetahui RQD dengan menghitung jumlah joint kekar yang mencerminkan adanya geologi struktur yang berkembang per-meter panjang.....	35
Gambar 27. Runtuhan Batuan antara Jatuh bebas (rock fall) dan jungkiran (Toppling)	36
Gambar 28. Pengukuran Kekuatan Batuan dengan Schimdt Hammer.....	38
Gambar 29. Penanganan Lereng Batuan terhadap Longsoran yang dapat terjadi.....	40
Gambar 30. Penambatan dengan tumpuan Beton pada tebing Batuan	41
Gambar 31. Penambatan dengan Baut Batuan (rock Bolt)	41
Gambar 32. Penambatan dengan Pengikat Batuan, seperti nailing atau grouting	41
Gambar 33. Penambatan dengan jangkar Kabel pada Lereng Batuan	41
Gambar 34. Perkuatan dengan pengangkeran kabel yang digrouting dengan beton untuk meningkatkan stabilitas lereng galian dibawahnya.....	43
Gambar 35 . Penanganan Longsoran Batuan sebagai Pelindung Pengguna Jalan	44
Gambar 36. Teknologi Penanganan Longsoran / Runtuhan Batuan.....	44
Gambar 37. Penambatan batuan dengan melindungi pengguna jalan menggunkan pelindung atap (contoh North Wales, United Kingdom)	44
Gambar 38. Percepatan Pergerakan.....	47
Gambar 39. Peta Gempa 2010, Penentuan Magnitude Beban Gempa (Siklik) untuk periode 50 tahun dengan periode waktu 1 detik	48

Gambar 40. Konstruksi Pelebaran Jalan menggunakan Material Ringan di Morfologi Perbukitan untuk mengurangi beban yang berdampak pada meningkatnya momen pendorong.....	49
Gambar 41. Stabilisasi dengan meningkatkan nilai kuat geser	51
Gambar 42. Contoh Relokasi	52
Gambar 43. Penanganan Lereng terhadap Longsoran dengan Galian / Timbunan	59
Gambar 44. Rumput Vetiveria Zizanioides (a) dan Rumput Vetiveria Nemoralis (b) ..	63
Gambar 45. Pemotongan Rumput Vetiver (a) dan Pemisahan Bibit (b).....	65
Gambar 46. Pemotongan Plastik Polibag Secara Memanjang dari Atas ke Bawah	66
Gambar 47. Pola Penanaman Rumput Vertiver.....	67
Gambar 48. Hubungan antara Kemiringan Lahan, Jarak Permukaan dan Jarak Garis Tegak (Vertical Interval).....	68
Gambar 49. Penyiraman Rumput Vetiver yang Baru Ditanam	70
Gambar 50. Rumput Vetiver yang Berumur 6 Bulan sebelum Dipotong (a) dan setelah Dipotong (b)	71
Gambar 51. Pengendalian Air Permukaan.....	72
Gambar 52. Cara-cara Pengendalian Air Rembesan	74
Gambar 53. Kasus Abrasi Sungai yang berdampak pada Hilangnya Sebagian Jalan ...	77
Gambar 54. Penanganan Abrasi pada Longsoran Jalan ditepi Sungai	79
Gambar 55. Penanganan jalan akibat abarasi pada sungai tikungan dengan memindah palung sungai dengan memasang krib dan pelebaran kearah tebing setelah kondisi batuan dasarnya diketahui.	79
Gambar 56. Modus Keruntuhan Geser yang mengakibatkan terjadinya ketidakstabilan Timbunan jalan pada beberapa kondisi lapisan tanah problematic yang terdiri dari lempung dan pasir kelempungan.....	81
Gambar 57. Perkembangan terjadinya Longsoran Dalam pada Timbunan diatas Tanah Lunak dengan Konsistensi Rendah.....	81
Gambar 58. Beberapa Alternatif teknologi yang dapat diterapkan untuk mengatasi keruntuhan timbunan yang dibangun diatas tanah lunak.....	84
Gambar 59. Permasalahan Jalan pada Tanah Ekspansif	85

Gambar 60. Lokasi Ciregol berupa longsor alam akibat Kehilangan Gaya Penahan di kaki lereng karena abrasi sungai85

Gambar 61. Penanganan dengan menggeser Jalan ke puncak Bukit di Ciregol86

Gambar 62. Ruas Jalan Ciregol, Brebes setelah penanganan Longsor86

Gambar 63. Rencana Galian Lereng dan Permasalahan Longsor88

Gambar 64. Penanganan Longsor Galian dengan Borpile kombinasi dengan Shotcrete serta Rock Angker.....88

1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Longsoran dapat terjadi pada lokasi dengan keadaan geologi, morfologi, hidrologi dan iklim yang kurang menguntungkan. Longsoran secara alami terjadi antara lain karena menurunnya kemantapan suatu lereng, akibat degradasi tanah / batuan bersamaan waktu dan usia lapisan tanah/batuan penyusun lereng. Oleh karena itu penanganan longsoran yang berdasarkan pengalaman sebelumnya atau secara coba-coba pada umumnya kurang berhasil karena lapisan tanah/batuan penyusun lereng bukan material yang mempunyai sifat karakteristik properties tetap tetapi sangat mudah berubah. Prasarana umum seperti jalan dan jembatan merupakan sangat vital sehingga bilamana terletak pada lapisan tanah /batuan yang mudah berubah karakteristik propertisnya akan rentan terhadap longsor, sehingga diperlukan penanganan dengan tepat, cepat dan ekonomis. Penanganan prasarana jalan dan jembatan yang mengalami kerusakan akibat bahaya longsor perlu ditangani terutama untuk menanggulangi kerugian-kerugian gangguan ekonomi masyarakat. Longsoran yang berdampak pada terganggunya jaringan infrastruktur jalan maka akan mengganggu kelancaran distribusi barang dan jasa yang juga akan berdampak menghambat pertumbuhan ekonomi suatu wilayah karena terisolasi.

Faktor pemicu terjadinya longsoran diakibatkan oleh terganggunya stabilitas lereng baik lereng alami maupun lereng buatan yang diakibatkan oleh beberapa hal yaitu keberadaan wilayah di Indonesia terdiri dari kondisi geologi yang beragam serta telah mengalami gangguan akibat perubahan lingkungan. Di beberapa tempat di Indonesia, longsoran juga dipicu oleh adanya struktur geologi yang berkembang dan kondisi tanah yang berupa lapukan dari proses lapukan batuan yang mengalami degradasi baik oleh perubahan cuaca maupun akibat proses teroksidasi dan mengalami penjumlahan oleh kondisi ke-air-an yang fluktuatif. Struktur geologi yang berkembang di sebabkan oleh keberadaan Indonesia berada pada zona gempa-an tinggi akibat pertemuan lempeng samudera dan daratan, yaitu lempeng Samudra Hindia dan Dataran Asia serta Lempeng Samudra Pasifik

dengan lempeng Dataran Asia. Hal lain yang juga sebagai pemicu terjadinya longsor adalah adanya curah hujan yang tinggi dan pengaruh perubahan cuaca akibat pemanasan global. Dengan demikian maka terjadinya longsor dipicu oleh keadaan geologi batuan dasar yang mengalami perubahan karakteristik propertisnya akibat mengalami degradasi dalam kurun waktu geologi, kondisi geo-morfologi, kondisi topografi, kondisi geo-hidrologi, kondisi pola aliran, kondisi tingkat pelapukan, kondisi perubahan iklim dan e-gempa-an serta gunung berapi. Secara teknis dapat dijelaskan bahwa longsor terjadi karena perubahan keseimbangan antara gaya yang diakibatkan oleh adanya momen pendorong tidak mampu diimbangi oleh gaya yang dibentuk oleh momen penahannya. Secara eksplisit dapat dijelaskan bahwa longsor terjadi akibat gaya pendorong tidak dapat didukung oleh gaya penahannya sehingga longsor yang terjadi dapat dikelompokkan antara longsor tanah, longsor batuan dan longsor kombinasi antara tanah dan batuan serta berupa longsor alam maupun longsor buatan.

Dengan demikian dalam merencanakan dan membangun jaringan jalan yang melewati kondisi tanah atau batuan di Indonesia yang diduga telah mengalami degradasi perlu dievaluasi dan dianalisis sebelumnya untuk memperoleh kondisi jaringan jalan yang stabil dan mantap sehingga dapat mewujudkan tujuan agar jalan dapat memenuhi 3 (tiga) kriteria, yaitu: aman dan nyaman bagi pengguna jalan serta kuat sehingga dapat memberikan masa layan yang sesuai dengan umur rencananya. Penanganan longsor yang hanya berdasarkan coba-coba akan kurang berhasil karena tidak tepat menangani kasusnya dan kurang memadai.

1.2 Diskripsi Singkat

Diharapkan dengan memahami modul 5 tentang INVESTIGASI LERENG DAN LONGSORAN JALAN adalah merupakan bagian dari Modul Diklat PENANGANAN LONGSOR PADA STRUKTUR JALAN yang terdiri dari 5 modul akan memberikan manfaat bagi peningkatan sumber daya manusia dibidang ke-PUPR-an khususnya dibidang Jalan dan jembatan di instansinya masing-masing sehingga peserta diklat mampu memahami tentang pengertian longsor terutama menyebabkan terganggunya bangunan infrastruktur umum terutama jalan dan jembatan.

1.3 Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembelajaran ini, Peserta mampu memahami dan menjelaskan pengertian longsoran pada struktur jalan.

1.4 Kompetensi Dasar

Setelah mengikuti pembelajaran ini, Peserta dapat mempunyai kemampuan dalam mengenal dan memahami tentang:

- 1) Penanganan Lereng Tanah berpotensi longsor
- 2) Penanganan Lereng Batuan berpotensi longsor
- 3) Kriteria Penanganan Longsoran
- 4) Perbaikan dan Pemeliharaan Lereng.

1.5 Indikator Keberhasilan

Diharapkan setelah memahami Modul 1 tentang IMPLEMENTASI PENANGANAN LERENG TERHADAP BAHAYA LONGSOR yang merupakan bagian dari Modul DIKLAT PENANGANAN LONGSOR PADA STRUKTUR JALAN diharapkan dapat dicapai indikator keberhasilan sebagai berikut:

1. Penanganan Lereng Tanah berpotensi longsor
2. Penanganan Lereng Batuan berpotensi longsor
3. Kriteria Penanganan Longsoran
4. Perbaikan dan Pemeliharaan Lereng.

1.6 Materi Pokok dan Sub Materi Pokok

Materi pokok pada modul 3 ini yang membahas Investigasi Lereng dan Longsoran Jalan yang merupakan bagian dari Modul Diklat Penanganan Longsor Pada Struktur Jalan.

Submateri pokok yang dibahas dalam modul 3 ini membahas tujuan dan prosedur Diklat Penanganan Longsor pada Struktur Jalan yang hasilnya hasil

diharapkan dapat untuk menambah pengetahuan peserta dalam mengatasi permasalahan stabilitas lereng untuk infrastruktur jalan dan jembatan yang dilaksanakan selama mengikuti diklat antara lain:

- 1) Setelah mengikuti pembelajaran BAB I peserta mampu memahami pengertian dan ruang Lingkup serta deskripsi cakupan Investigasi Lereng dan Longsor Jalan.
- 2) Setelah mengikuti pembelajaran BAB II peserta mampu memahami dan merancang Prosedur Penyelidikan Lereng Tanah dan Lereng Batuan.
- 3) Setelah mengikuti pembelajaran BAB III peserta mampu memahami pengertian dan ruang Lingkup Penerapan Investigasi dan Analisa Jenis Tipe Longsor Tanah.

2

KEGIATAN BELAJAR 1 PENANGANAN LERENG TANAH

Indikator Keberhasilan :

Setelah mengikuti pembelajaran ini peserta mampu memahami tentang hubungannya dengan stabilitas lereng terhadap karakteristik dan mekanisme longsoran pada pembangunan infrastruktur Jalan dan Jembatan.

2.1 Umum

Cara-cara penanganan lereng terhadap bahaya longsor dapat dilakukan dengan mengurangi gaya pendorong yang dilakukan antara lain dengan pemotongan bagian atas lereng dan pengendalian air permukaan, sedangkan penanganan dengan menambah gaya penahan antara lain dengan pengendalian air rembesan, penambahan beban pada kaki lereng dan perkuatan struktur penahan. Sehubungan dengan 2 (dua) prinsip penanganan terdapat penanganan lainnya yaitu dengan mengubah geometri lereng, pengendalian air baik permukaan, maupun bawah permukaan termasuk mengendalikan air rembesan, serta penambatan dan tindakan lainnya juga sering dilakukan. Longsoran tanah akibat penurunan kuat geser disebabkan oleh naiknya tegangan air pori (pore pressure) atau air tanah dalam sistem lereng mengalami kenaikan. Disamping longsoran tanah dijumpai longsoran batuan yang diakibatkan oleh berkurangnya kuat geser karena ketidak selarasan hubungan antara joint fragment batuan (rock discontinuity pattern). Dengan memperhatikan bahwasanya lereng tersusun oleh lapisan stratifikasi yang terdiri dari tanah dan batuan maka dijumpai pula longsoran kombinasi antara longsoran tanah dan batuan.

Dengan demikian, penanganan lereng tanah berdasar pada ketentuan umum diatas maka dapat dilakukan dengan membuat lereng dengan kemiringan dan sudut lereng disesuaikan dengan kemampuan nilai kuat geser yang mampu didukung oleh berat massa lereng tersebut. Penyesuaian terhadap susut dan ketinggian lereng ini tergantung oleh karakteristik properties tanah/batuan penyusun lereng yang dapat dikenali dari lapisan stratifikasinya.

Diklat Penanganan Longor pada Struktur Jalan

2.2. Penanganan Sementara

Penanganan sementara diperlukan untuk menjaga agar fungsi jalan tetap berlangsung sehingga dilapangan atau paling tidak dapat dijangkau dalam keadaan darurat yaitu harus disiapkan perambuan peringatan, pengarahan arus lalu-lintas, pembuatan jalur alternatif dan alat berat seperti diperlihatkan pada Gambar 2- 1. Penanganan sementara mungkin tidak dapat dilakukan dengan menerapkan seperti pada Gambar 2- 1, sehingga perlu pengalihan arus melalui ruas jalan lainnya yang kemungkinan kelas jalannya dibawah dari jalan yang mengalami longsor. Tentunya bilamana ini diterapkan maka penyesuaian kendaraan yang sebelumnya melalui daerah longsor perlu diatur pembagiannya pada jalur alternative yang ditentukan dan disesuaikan dengan kelas jalannya.



Perambuan Peringatan



Pengarahan dan pengaturan arus Lalu Lintas



Pembuatan jalur alternatif



Penyiapan Alat Berat

Gambar 1. Alternatif Penanganan Sementara yang perlu diterapkan

2.2.1. Teknik Teknik Penanggulangan Preventif Non Permanen

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

2.2.1.1. Penanganan Darurat Terhadap Kerusakan Tanaman (rumpuk) Pelindung Lereng (pada lereng galian dan timbunan)

Pada tahap pengawasan, diamati adanya retakan dan runtuh tanah pada lereng yang telah diberi tanaman pelindung. Pada tahap darurat, retakan harus ditutup dengan plastik untuk mencegah masuknya air hujan yang akan berkembang menjadi bencana.

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

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

2.2.1.2. Penanganan Darurat Terhadap Kerusakan Bangunan Struktur Pelindung Lereng

Penanganan darurat terhadap kerusakan bangunan struktur pelindung lereng yang terdiri dari beton semprot, pasangan batu dan krib. Untuk lereng yang tidak dilindungi dan runtuh, perlu dilakukan langkah-langkah darurat sebagai berikut:

- Buat ruangan yang mampu menampung runtuhan;

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

2.2.1.3. Tindakan Penanganan Darurat Pada Daerah Longsor (landslide) dilakukan dengan langkah-langkah berikut :

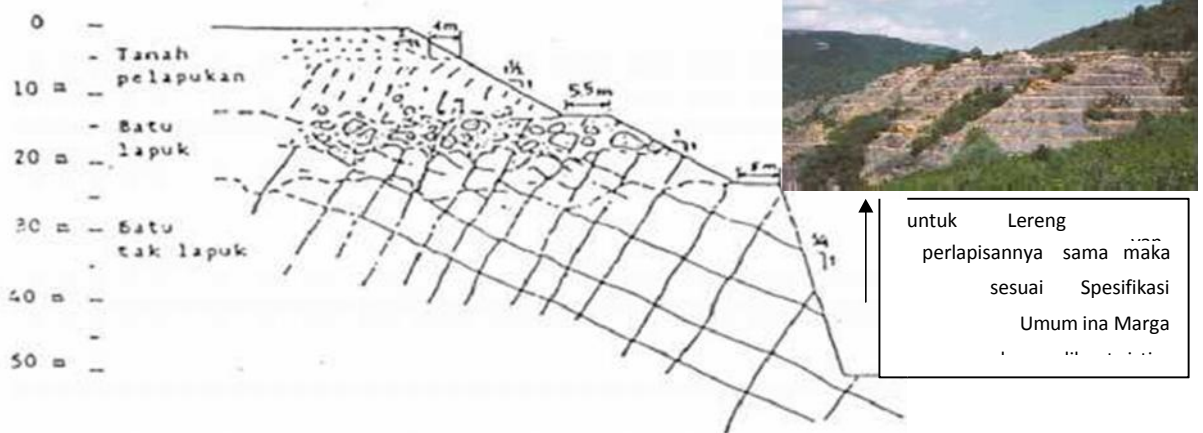
Untuk daerah yang menunjukkan gejala gerakan tanah harus dipasang alat pantau yang dapat dijadikan sebagai peringatan bagi penduduk atau pengguna jalan di daerah tersebut. Apabila gerakan tanah sudah berbahaya atau telah terjadi gerakan tanah/ keruntuhan lereng maka lakukan segera:

1. Penyelidikan awal untuk tindakan darurat dengan urutan sebagai berikut:
 - a. Menentukan sejarah gerakan tanah, sebaran dan karakteristiknya;
 - b. Menentukan pola letak dan skala retakan secara rinci (retak tarik, retak tekan), lokasi mata air;
 - c. Menentukan mekanisme, struktur geologi, bidang gelincir.
2. Perbaikan darurat)
 - a) Lokasi jalan dipindahkan dan dilindungi dari keruntuhan lereng;
 - b) Jika tidak ada lokasi pemindahan, maka jalan darurat langsung dibuat pada material runtunan walaupun akan menambah tinggi longitudinal gradien;
 - c) Jika jalan darurat sudah tidak memungkinkan lagi (misal, di daerah lereng gunung), maka fasilitas penahan tanah bisa dibuat dengan membuang tanah sesedikit mungkin;
 - d) Jika jalan adalah jalur penting, maka segera lakukan perbaikan dengan pekerjaan galian, perlindungan lereng galian, pekerjaan drainase permukaan dan bawah permukaan yang semuanya harus direncanakan dengan matang.
3. Tindakan darurat lainnya
 - a. Genangan air segera dialirkan keluar daerah yang longsor;
 - b. Retakan ditutup dengan plastik vynil;
 - c. Air dari mata air segera dialirkan melalui pipa dan dibuang jauh;
 - b. Air tanah yang berpotensi menimbulkan gerakan tanah harus segera dialirkan melalui pemboran horizontal;
 - a. Membuang bagian atas lereng (mengurangi beban).

2.3. Penyesuan Geometri Lereng

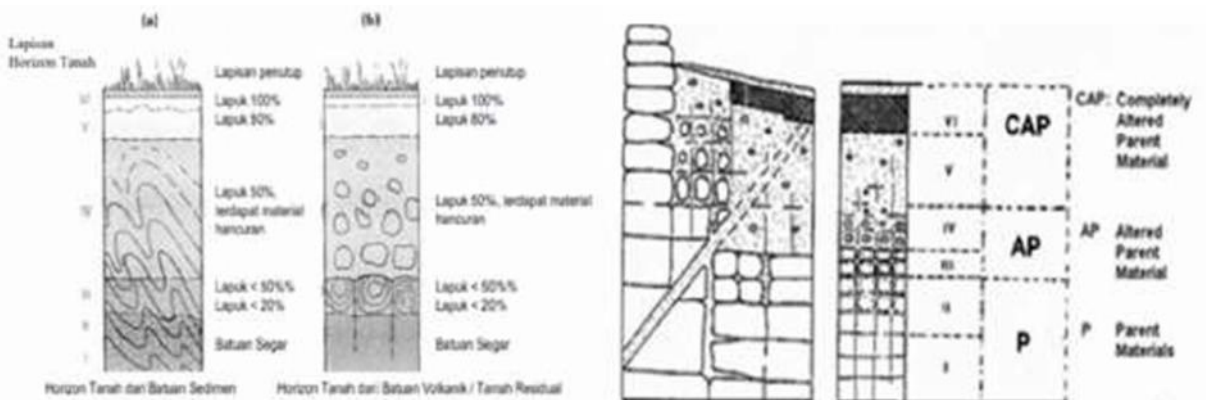
Lereng alam umumnya menunjukkan kemantapan yang dapat dikenali dalam kurun waktu jangka panjang sejak terbentuknya, walau pada beberapa kasus tidak demikian karena mengalami gangguan dari luar. Gangguan luar misalnya pembentukan lereng karena keperluan pembangunan jalan dan jembatan yang idealnya harus memenuhi persyaratan standar pelayanan minimum sesuai dengan Undang-Undang Jalan yang berlaku. Untuk itu perlu dilakukan perubahan geometri lereng sesuai dengan kondisi lapisan tanah / batumannya yang ditunjukkan dalam stratifikasi perlapisan.

Penerapan teknologi dengan penanganan lereng tanah menerapkan metode geometri lereng berdasarkan pada tingkat pelapukannya dapat dilihat pada Gambar 2. Dilapangan dasar yang digunakan dalam memilih metode geometri ini tentunya juga berdasarkan faktor pengaruh lainnya, misalnya pola aliran air (permukaan dan bawah permukaan), struktur geologi yang berkembang dan sifat karakteristik properties lapisan tanah/batuan penyusun lereng yang mencerminkan kekuatan dan kerapatan nya. Adapun struktur geologi yang berkembang, misalnya adanya pola sesar, perlipatan dan kerapatan serta kekompakan joint kekar yang dijumpai.



Gambar 2. Geometrik Lereng disesuaikan dengan Karakteristik dan Propertis lapisan Tanah/Batuan penyusun lereng

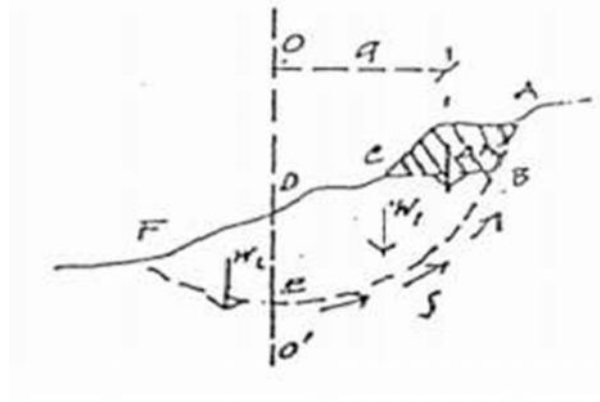
Penerapan metode geometri lereng dapat dilakukan dengan cara pemotongan pada bagian atas lereng yang diidentifikasi sebagai pengurangan beban yang mengakibatkan meningkatnya momen pendorong dan penimbunan pada kaki lereng sebagai usaha untuk menambah beban sehingga menaikkan momen penahan (resiting moment). Metode penanggulangan ini umumnya dilakukan pada tipe longsor rotasi, sehingga keuntungan yang utama dari metoda ini dapat merupakan penanggulangan permanen tergantung pada besarnya faktor keamanan yang diperoleh. Prinsip penanganan mengurangi gaya dorong dari massa tanah yang longsor (Gambar 2- 3) dan menambah gaya penahan dengan cara penimbunan pada ujung kaki lereng (Gambar 2- 4), sehingga faktor keamanan lereng dapat bertambah sehingga Faktor Keamanan, $FK = MR / MD > 1.3$, dimana MR = Momen Penahan



(resiting Moment) dan MD = Momen Pendorong (Driving Moment).

Gaya yang menyebabkan momen pendorong berupa berat massa tanah yang longsor W1 (ABED) dapat dikurangi dengan memotong sebagian massa tanah (ABC) sebagai beban yang mengakibatkan momen pendorong.

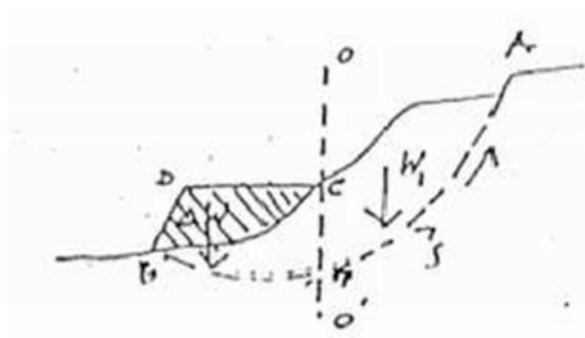
Faktor Keamanan akan bertambah karena pengurangan momen pendorong dengan lengan momen yang lebih panjang (a).



Gambar 3. Metode Geometri dengan Pemotongan Bagian Atas Lereng sebagai Beban yang mengakibatkan Momen Pendorong

Tahanan geser s dan massa tanah BCD yang melawan atau menahan gaya dorong W_1 dapat ditambah dengan penimbunan BCD.

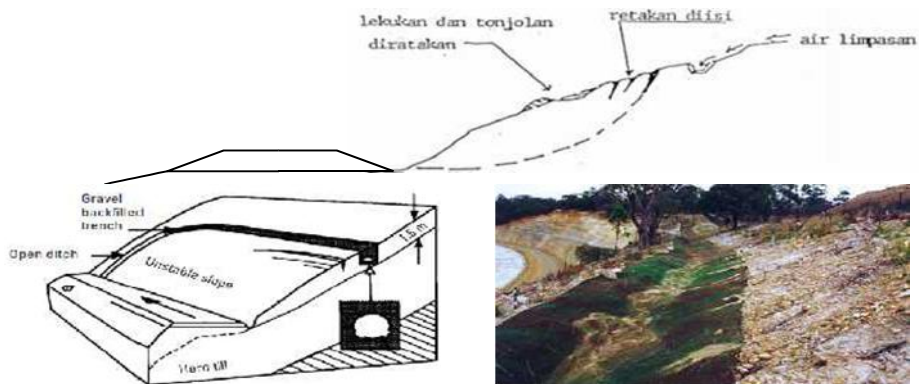
Faktor keamanan akan bertambah sesuai dengan beratnya penimbunan dan letaknya terhadap bidang putar.



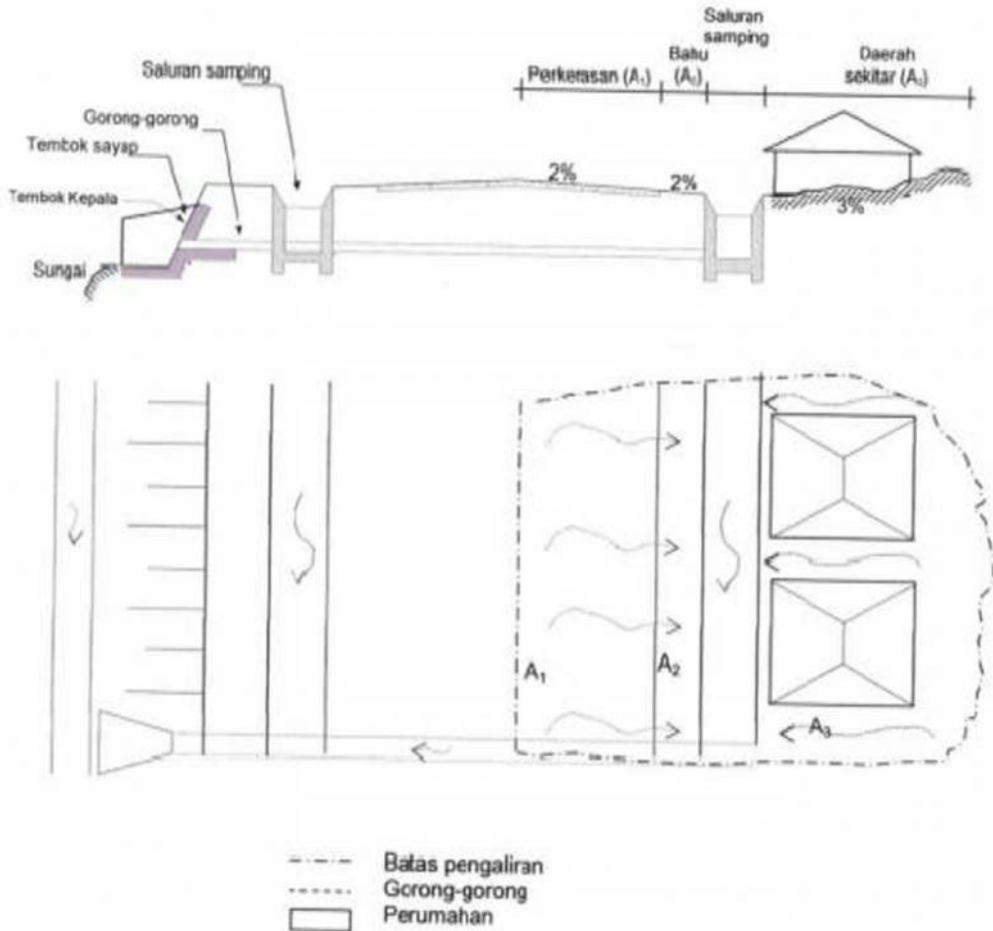
Gambar 4. Metode Geometri dengan Pemotongan Bagian Atas Lereng sebagai Beban yang mengakibatkan Momen Pendorong

2.4. Mengendalikan Air Permukaan

Air permukaan merupakan salah satu faktor penyumbang ketidakmampuan lereng disamping air bawah permukaan, karena akan meninggikan tekanan air pori. Genangan air yang terdapat dipermukaan juga akan menimbulkan penjenuhan karena air meresap kedalam tanah sehingga massa tanah akan menjadi lembek dan menambah berat massa longsor. Disamping itu aliran air permukaan juga dapat menimbulkan erosi permukaan lereng sehingga akan menyebabkan longsor permukaan (Gully Erosion). Oleh karena itu air permukaan perlu dikendalikan dengan maksud untuk mencegah agar tidak sempat merembes atau mengerosi permukaan lereng. Mengendalikan air permukaan terhadap erosi dapat dilakukan dengan cara menanam tumbuhan, menutup retakan, menyiapkan sistem drainase tata salir dan perbaikan permukaan lereng (regrading) dan diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Penanganan Lereng dengan Re-garding, Pengendalian Air Permukaan (termasuk saluran samping jalan) serta Menutup Retakan



Gambar 6. Penempatan Saluran Permukaan Tepi Jalan (side ditch)

2.5. Mengendalikan Air Bawah Permukaan

Metode mengendalikan air bawah permukaan atau mengendalikan air rembesan (drainase bawah permukaan) adalah untuk menurunkan muka air tanah di daerah longsor. Dalam memilih cara yang tepat perlu dipertimbangkan jenis dan letak kedalaman muka air tanah.

Metode pengendalian rembesan air ini juga salah satu usaha dalam mengeringkan genangan air atau menurunkan muka air tanah dan umumnya cukup sulit

Diklat Penanganan Longor pada Struktur Jalan

disamping memerlukan penyelidikan yang ekstensif juga mencakup kehidupan masyarakat setempat.

Metoda pengendalian air rembesan yang sering digunakan adalah sumur dalam (deep well), penyalir tegak (vertical drain) dan penyalir pencegat (interceptor drain), penyalir mendatar (horizontal drain), pelantar air atau kisi drainase (drainage gallery), sumur pelega (relief well), penyalir liput (blanket drain), dan elektro osmosis.

2.5.1. Horisontal Drain

Horisontal drain diterapkan untuk ruas jalan yang berada pada potensi longsor dan diketahui adanya perkembangan retakan/rekahan yang dapat terisi air permukaan, juga bilamana dibagiuan atas lereng terdapat sumber air seperti kolam atau persawahan serta adaya remebsan air yang keluar dari permukaan lereng tanah karena berada diatas lapisan batuan yang kedap air atau lapisan tanah yang permeabilitasnya rendah (compacted Soils) dan diperlihatkan pada Gambar 7.

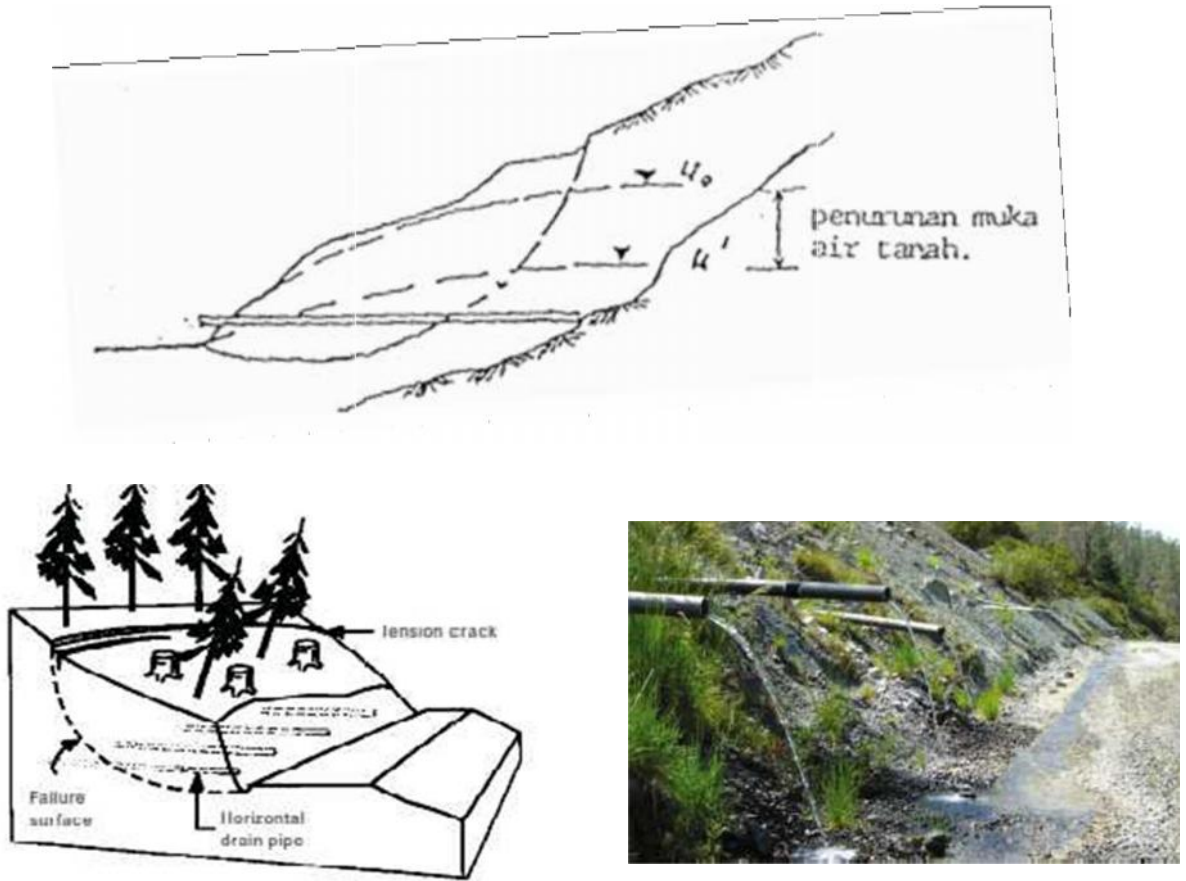
2.5.2. Sumuran kolektor

Sumuran kolektor dimaksudkan untuk menghubungkan dan menampung aliran air dari subdrain atau dari saluran permukaan sebelum dialirkan ke luar daerah longsor dan diperlihatkan pada Gambar 2- 8.

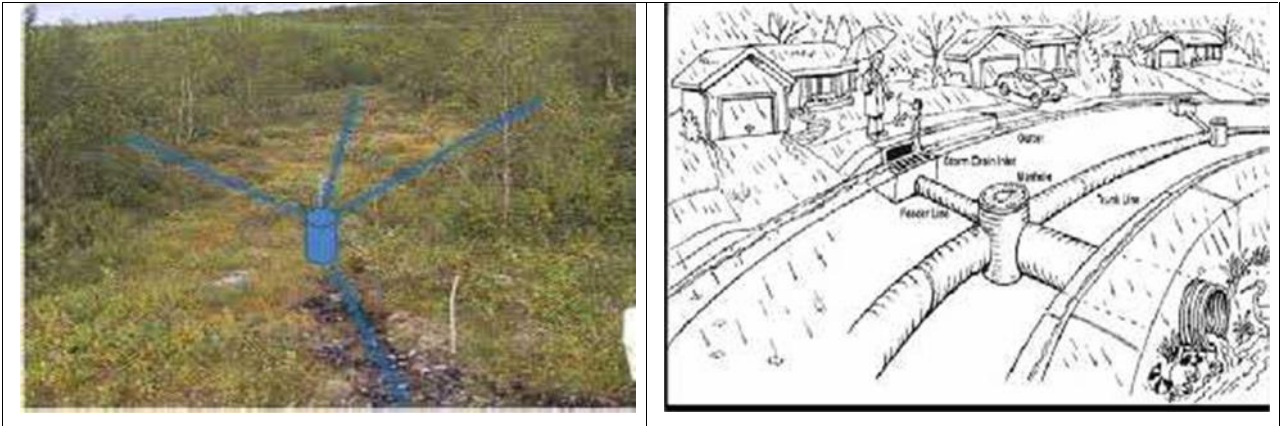
Problem yang dihadapi adalah kebutuhan lahan sehingga diperlukan lahan diluar area jalan (ROW = Road of Width) yang kemungkinan besar masih dikelola oleh pihak lain. Hal lain yang menjadi kendala adalah premasalahan terganggunya muka air tanah disekitar lokasi sehingga perlu dikaji lebih dalam terhadap dampaknya pada masyarakat disekitar yang menggunakan keperluan air untuk kebutuhan sehari-hari.

2.5.3. Penyalir Tegak (vertical drain) dan Penyalir Pencegat (interceptor drain)

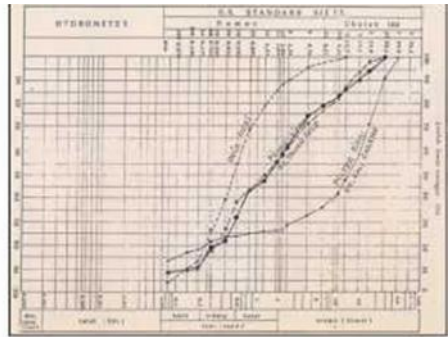
Penyalir tegak (vertical drain) dan penyalir pencegat (interceptor drain) dipasang untuk memotong aliran air serta juga untuk menurunkan muka air tanah. Fungsi lain dari penyalir tegak dan penyalir pencegat ini adalah untuk membuat sistim drainase bawah permukaan yang baru sehingga air diberi fasilitas untuk mudah mengalir. Penyalir tegak dan penyalir pencegat diperlihatkan pada Gambar 9.

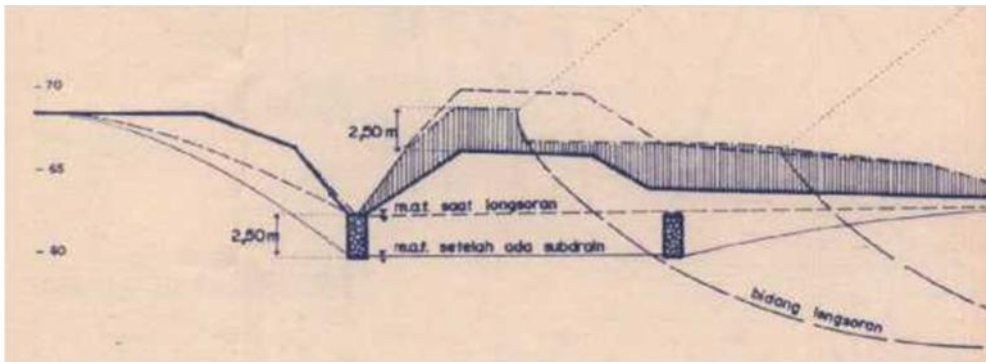


Gambar 7. Horizontal Drain



Gambar 8. Prinsip Penerapan Sumur Kolektor





Gambar 9. Pemasangan Subdrain dan Interception Drain

2.6. Penambatan Longsoran Tanah

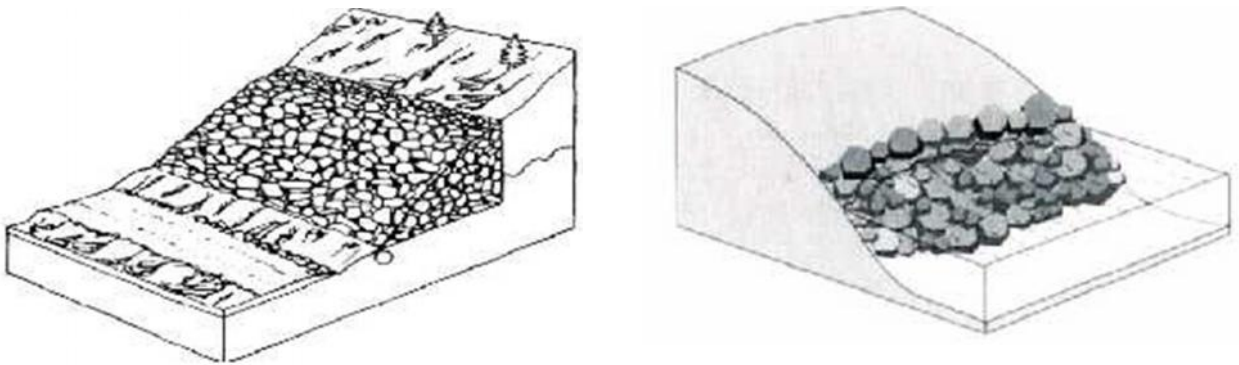
Penambatan untuk mengatasi longsoran tanah merupakan cara penanggulangan yang bersifat mengikat atau menahan massa tanah yang bergerak. Metode penambatan tanah ini dilakukan setelah teknologi yang diterapkan sebagai tindakan yang dilakukan dengan geometri lereng, mengendalikan air tidak dapat diterapkan. Penambatan tanah umumnya dilakukan dengan bangunan penahan yang berfungsi sebagai penahan massa tanah yang bergerak, sehingga eningkatan tahanan geser dipenuhi karena adanya struktur konstruksi pengutaan tersebut. Terdapat beberapa metode untuk meningkatkan nilai kuat geser yaitu dengan menerapkan bangunan penahan, sbagai berikut:

2.6.1. Konstruksi Penahan Penanganan longsoran tipe gelinciran (Rotasi)

Bangunan penahan yang digunakan untuk penanggulangan longsoran tipe gelincir (slide) terdiri dari beberapa macam antara lain bronjong, tembok penahan (gaya berat, semi gravitasi atau beton), sumuran, tiang (pancang, bor, turap baja), tanah bertulang dan dengan penopang isian batu (*buttrese*).

2.6.1.1. Penambatan dengan metode Buttress,

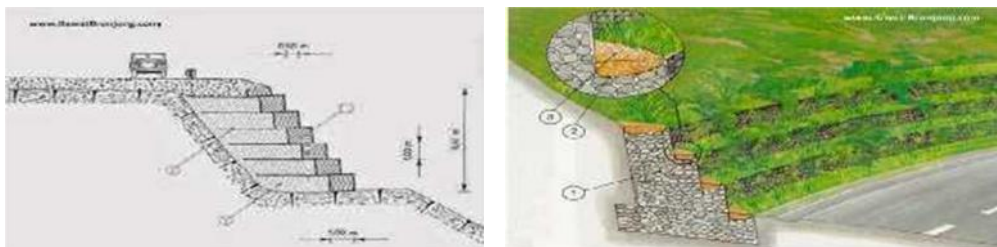
Penambatan dengan konstruksi Buttress yaitu dengan menempatkan batu dibagian kaki lereng yang disusun sedemikian sehingga dapat meningkatkan nilai kuat geser penahan lereng (Gambar 10).



Gambar 10. Pemasangan Bongkah dan Pecahan Batuan pada kaki lereng

2.6.1.2. Penambatan dengan Pemasangan Brojong

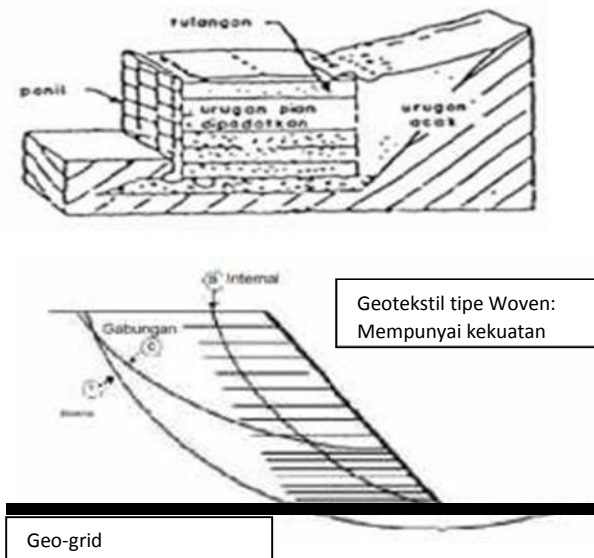
Penerapan Bronjong atau Gabion yang berupa batu dibungkus anmyaman kawat dan ditempatkan pada bagian kaki lereng yang diidentifikasi mengalami longsor seperti diperlihatkan pada . Keuntungan lain dari pemasangan brojong ini, disamping menambah nilai kuat geser penahan lereng juga dapat difungsikan sebagai sistim drainase yang lama kelamaan akan tumbuh tanaman vegetasi dipermukaan lereng karena longoran erosi permukaan dapat diantisipasi dan diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Metode dengan Teknologi Pemasangan Bronjong

2.6.1.3. Penambatan dengan Penulangan Tanah

Metode penulangan tanah dapat diterapkan dengan bronjong yang didesain mempunyai ikatan sehingga berfungsi sebagai tahanan tarik. Dengan berkembangnya kemajuan jalan maka metode penulangan tanah dapat digunakan bahan Geosintetik yang berupa geotekstil yang tipe anyam sehingga mempunyai nilai kuat geser yang cukup. Penerapan metode penulangan tanah dengan geosintetik ini semakin populer karena dapat diisi dengan material berbutir dan juga material yang mempunyai sifat kohesif yang tidak terlalu tinggi seperti tanah lateritik. Metode penulangan tanah diperlihatkan pada Gambar 2- 12.



Gambar 12. Penulangan Tanah, sebelah kiri menggunakan Bahan Geosintetik (Geotekstil dan Geogrid)

2.6.1.4. Penambatan dengan Konstruksi Perkuatan

Beberapa metode penambatan dengan perkuatan tanah sering digunakan seperti dengan turap, dinding penahan dan tiang baik tiang pancang (driven pile) maupun tiang bor (Bor pile).

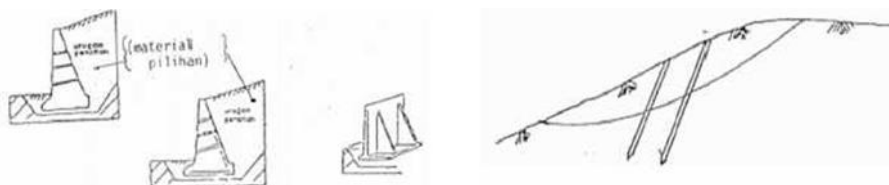
Tembok penahan merupakan bangunan penambat tanah dari pasangan batu, beton atau beton bertulang. Tipe tembok penahan terdiri dari dinding gaya berat (gravity

wall), semi gaya berat (semi gravity wall) dan dinding pertebalan (counterfort wall). Sama halnya dengan bronjong keberhasilannya tergantung dari kemampuan menahan geseran, tetapi perlu pula ditinjau stabilitas terhadap guling. Tembok penahan ini disamping digunakan untuk menahan gerakan tanah digunakan juga untuk melindungi bangunan dari runtuh. Tembok penahan harus diberi fasilitas drainase seperti lubang penetes (weep hole) dan pipa salir yang diberi bahan penyaring (filter) supaya tidak tersumbat, sehingga tidak menimbulkan tekanan hidrostatik yang besar.

Metode penambatan lainnya seperti sumuran, tiang (tiang pancang, tiang bor) dan turap baik dari baja maupun beton juga dapat digunakan. Tiang dapat digunakan baik untuk pencegahan maupun penanggulangan longsor. Cara ini cocok untuk longsor yang tidak terlalu dalam, tetapi penggunaan tiang ini terbatas oleh kemampuan tiang untuk menembus lapisan yang keras atau material yang mengandung bongkah-bongkah. Cara ini tidak cocok untuk longsor tipe aliran, karena sifat tanahnya sangat lembek yang dapat lolos melalui sela tiang. Penanggulangan longsor dapat menggunakan tiang pancang, tiang bor, dan turap baja.

Untuk lapisan keras disarankan menggunakan tiang baja terbuka pada ujungnya atau tiang bor (borpile), walaupun demikian tiang bor mempunyai keterbatasan karena pada prinsipnya lebih diutamakan untuk mensupport daya dukung yang mencukupi. Tiang pipa baja dapat pula diisi beton atau komposit beton dengan baja profil untuk memperbesar modulus perlawanannya (section modulus). Tiang pancang tidak disarankan untuk jenis tanah yang sensitif, karena dapat menimbulkan pencairan massa tanah sebagai akibat getaran pada saat pemancangan.

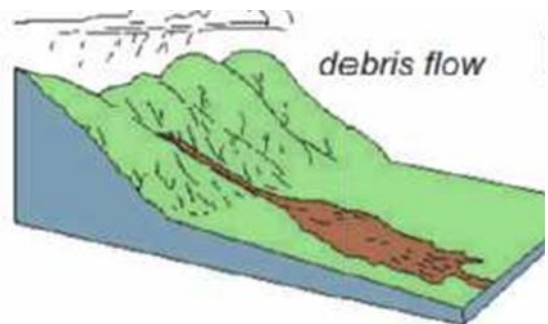
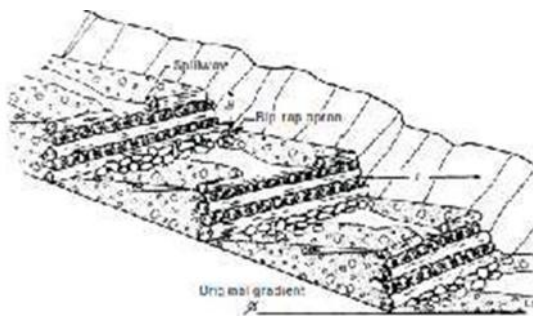
Konstruksi Turap Baja (sheet pile) tidak efektif untuk menahan massa longsor yang besar, karena mempunyai modulus perlawanan (w) yang kecil. Walaupun demikian turap baja dapat diperbesar modulus perlawanannya dengan dipasang ganda atau dipasang sistem "spun pile" sebagai penambat, yaitu dipasang sling baja yang dihubungkan dengan spun pile.



Gambar 13. Metode Penambatan dengan Dinding Penahan dan Tiang Pancang

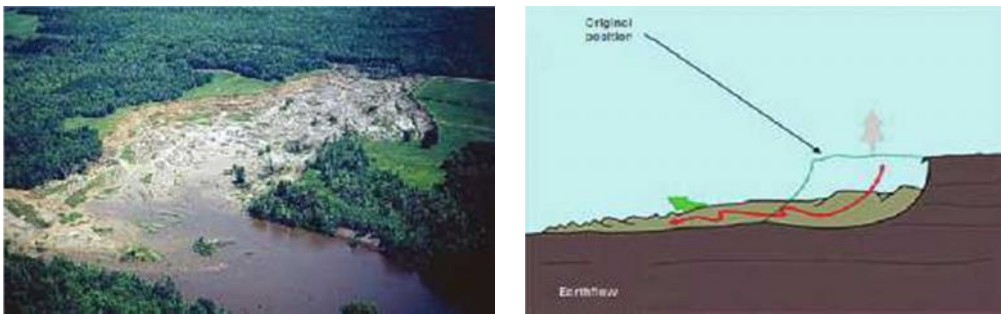
2.6.2. Konstruksi Penahan Penanganan Longsoran tipe Debris, Avalance dan Translasi

Bangunan penahan sebagai konstruksi penambat ini diterapkan tidak untuk menahan berat massa tanah yang bergerak tetapi digunakan untuk menahan material runtunan agar tidak mengganggu secara langsung terhadap fungsi jalan dan umumnya berupa tipe aliran (flow). Beberapa kasus yang banyak dijumpai adalah adanya longsoran debris berupa tanah, batu, kerikil, pasir dan sisa tumbuhan yang terbawa oleh aliran air yang dapat terjadi secara tiba-tiba sehingga diidentifikasi sebagai Debris Avalance. Beberapa contoh longsoran ini sangat besar volumenya sehingga sulit untuk ditangani sehingga penanganan yang diterapkan adalah hanya untuk menjaga fungsionalitas jalan terhadap dampak longsor dan diperlihatkan metode penanganan yang dilakukan secara berjenjang.

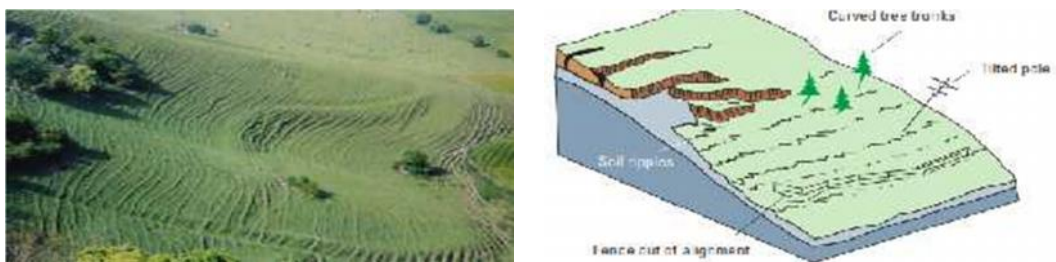


2.7. Pemilihan Bangunan Penahan untuk Penanganan longsoran yang sesuai

Pemilihan Bangunan Penahan sebagai penambatan pergerakan massa tanah untuk tipe longsoran seperti pada Gambar 15 sd Gambar 17, diperlu konstruksi yang sesuai dengan mempertimbangkan berbagai kondisi mulai dari pemicu longsor, kondisi geologi dan tanah/batuan, morforlogi dan topografi lahan (terrain), dan dampak dari aktifitas manusia dan pertimbangannya dapat mengacu pada petunjuk seperti diperlihatkan pada Table 1.



Gambar 15. Longsoran Rayapan pada Endapan Sedimen (Daratan)



Gambar 16. Longsoran Rayapan pada Morfologi Pegunungan

Material lapukan yang terdegradasi air sehingga menurun kuat geser antar butirannya.



Gambar 17. Longsor runtuh pada morfologi dan topografi pegunungan

Tabel 1. Evaluasi Empiris Pemilihan Konstruksi Penahan sebagai Penambatan tipe longsor Tanah

Bobot	Pertimbangan dalam penanganan longsor yang terjadi atau antisipasi sebelumnya (ditotal jumlahnya A)			
100%	1. Pemicu Utama	2. geologi dan tanah/batuan	3. morfologi dan topografi	4. aktifitas manusia
Tiap Kolom	Curah hujan Permeabilitas resapan anah Fluktuasi muka air tanah Adanya penimbunan tanah Adanya galian tanah Kegempaan/ Earthquake • Penimbunan lava gunungapi Pelapukan/ weathering Tanah ekspansif Sering banjir, ada kanal air	Masalah geologi batuan dasar Material lereng (tanah/batuan) Laisan belum terkonsolidasi Lapisan sedimen Lapukan material Grade Kuat geser lapisan berbeda Geologi struktur (discontinuity) Orientasi lapisan rancu Kandungan lempung tinggi	Tectonic or volcanic Fluvial erosion kaki lereng Abrasi sungai kaki lereng Erosi permukaan lereng Erosi lateral didarat Adanya longsor lama Gawir longsor Tekanan pumping lereng Lereng dari longsor lama	Galian di kaki lereng Timbunan unusable material beban pada lereng Pembuatan genangan air penebangan hutan Mengalirkan air pada lereng Mengalami kontaminasi Pengaruh vibrasi pancang Pembuatan saluran di lereng Ada konstruksi lain di lereng
Beri angka dari 1 - 10 dan dijumlah				
Total	B	C	D	E
A	$B/A \times 100\% =$	$C/A \times 100\% =$	$D/A \times 100\% =$	$E/A \times 100\% =$
hasil	Kesimpulan longsor : jenis dan tipe, Pemilihan tipe Longsor (beri Lingkaran dan isi sketsa bila bentuk longsor berbeda)			
	Sketsa Longsor			

Catatan (diisi setelah mengetahui tipe longsorannya):

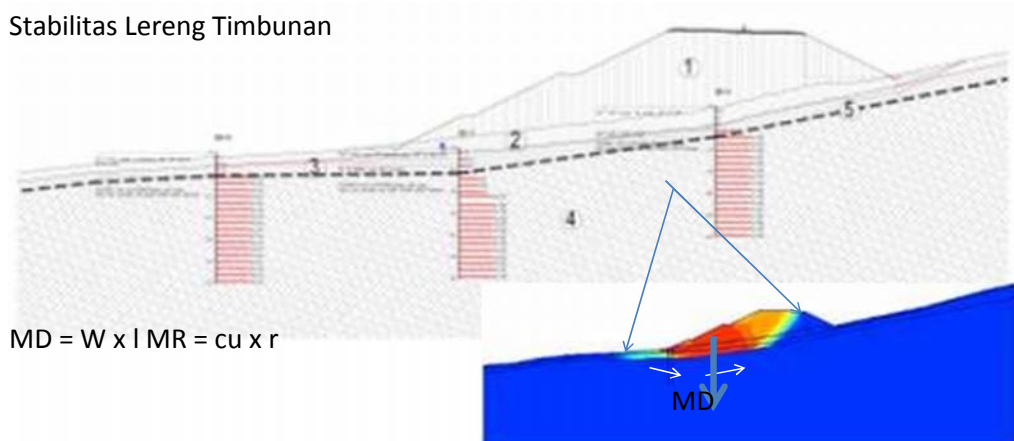
- a) Dampak yang diakibatkan:
- b) Penanganan sementara untuk menjaga fungsi jalan:
- c) Penanganan permanen:

2.8. Ketelitian dalam Pemilihan Penanganan untuk mengatasi Permasalahan Longsoran Timbunan Tinggi

2.8.1. Stabilitas Lereng Timbunan pada Morfologi Lereng Pegunungan / Perbukitan

Pada kasus Stabilitas Lereng timbunan yang berada pada morfologi lereng pegunungan / perbukitan, perlu memperhitungkan stabilitas lerengnya terlebih dahulu dan perlu diamati potensi adanya longsor seperti: adanya rembasan, pergerakan tanah misalnya dengan mengamati adanya mahkota (gawir) longsor lama, pohon yang sudah mulai miring dan adanya daerah tangkapan air atau adanya pola tatasalir yang tidak tertata atau mengalami gangguan sehingga pola alirannya tidak beraturan lagi. Dari hal yang disebutkan tadi maka yang paling utama perlunya investigasi yang teliti sehingga diketahui morfologi stratifikasi lapisan tanah/batuan penyusun lerengnya beserta sifat karakteristik propertisnya yang mencakup hal teknis dan pemanfaatan lahan sebagai sifat non teknisnya. Berikut disampaikan kasus longsor yang terjadi pada timbunan badan jalan yang dibangun diatas morfologi lereng dan diperlihatkan pada Gambar 18.

Stabilitas Lereng Timbunan



Diklat Penanganan Longor pada Struktur Jalan

Circle Landslide, SF= MR/MD =1.00

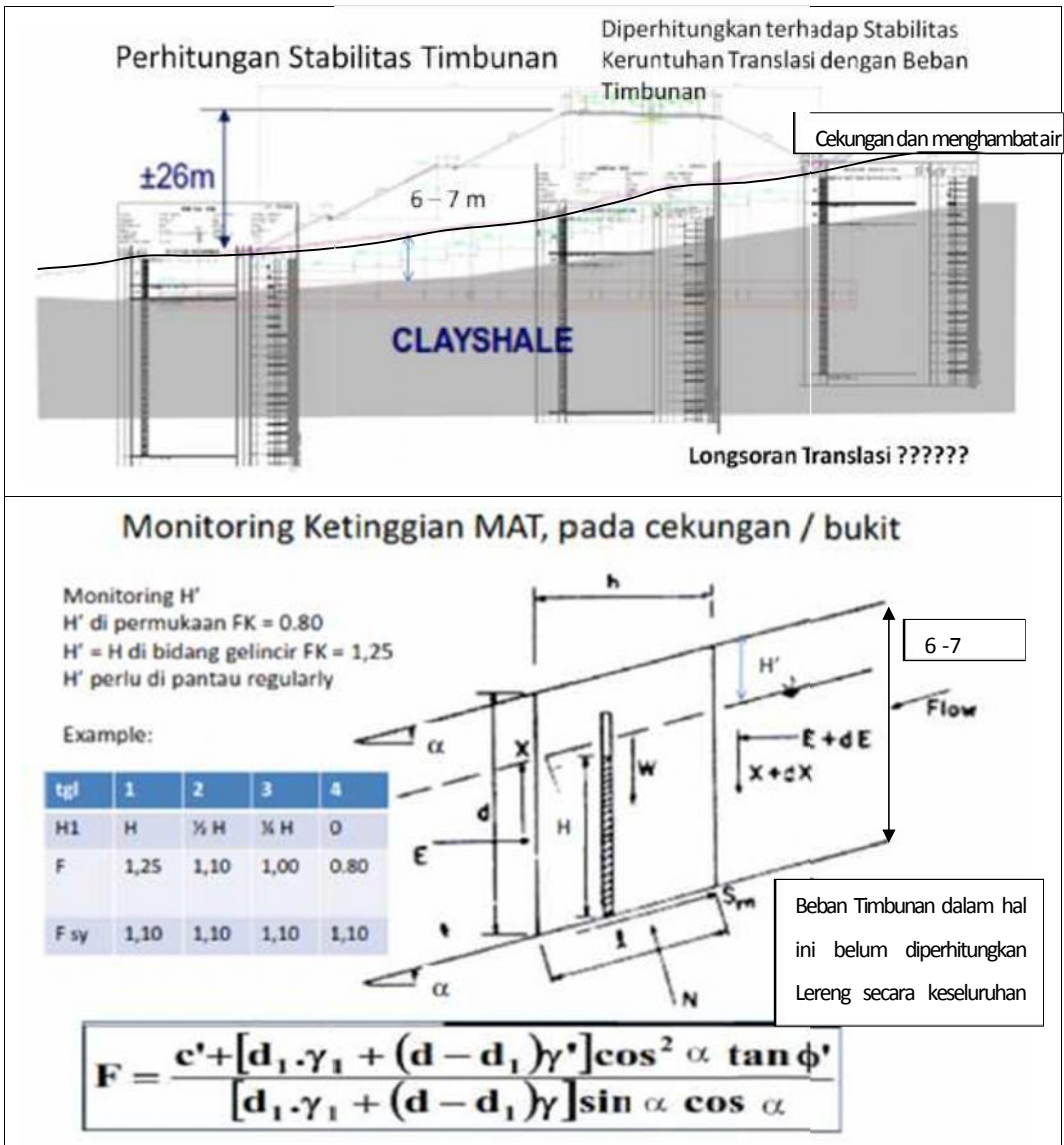
MR W

Parameter Kuat Geser (Assumsi ???)

No	Jenis Lapisan Tanah	γ	c'	ϕ'
		[kN/m ³]	[kPa]	[°]
1	Material Timbunan	18	15	30
2	Colluvial material 1 (Silty Clay dengan gravel) N=3-12	17	3	25
3	Colluvial material 2 (Silty Clay dengan gravel) N=27-46	17.5	10	32
4	Hard Clayshale (Peak Strength) N>60	18	30	41
5	Weathered clayshale pada pre-existing failure plane (Residual Strength) $R_{resid}=0.2$	18	6	10

Gambar 18. Kejadian Longsor Timbunan pada Morfologi Lereng dengan tinjauan longsor Lokal sebagai model Longsor Translasi

Dalam memperhitungkan sebagai keseluruhan maka akan berdampak sebagai longsor Translasi, sehingga dengan adanya timbunan maka aliran air (terutama air permukaan) akan tertahan dan bila diperhitungkan maka Faktor Keamanan (FK) = 0,8 (perhatikan Gambar 2- 19 berikut) pada kondisi ada genangan. Bilamanan genangan dapat dihindarkan maka Faktor Keamanana dapat naik secara signifikan. Dengan adanya beban timbunan maka Faktor Keamanan diperhitungkan terhadap tambahan beban $W' = W + \text{Beban Timbunan}$.



Gambar 19. Stabilitas Lereng terhadap Beban Timbunan

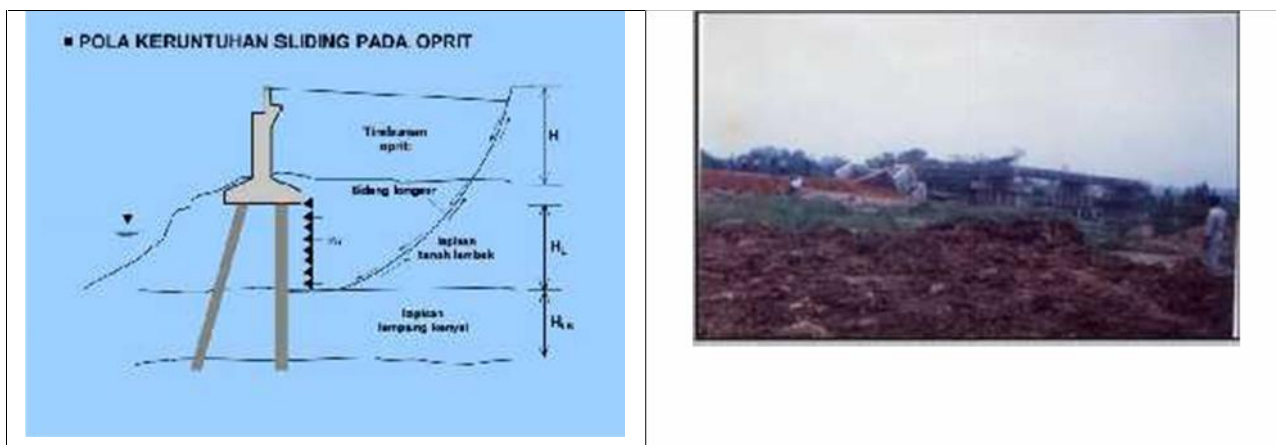
2.8.2. Stabilitas Lereng Timbunan pada Morfologi Dataran

Demikian pula halnya dalam pemilihan konstruksi penahan pada struktur timbunan yang dibangun pada morfologi dataran khususnya stratifikasi lapisan berupa tanah problematik (Tanah Lunak, Tanah Ekspansif dan Tanah Gambut), maka investigasi untuk memperoleh karakteristik properties baik mencakup kekuatan

Diklat Penanganan Longor pada Struktur Jalan

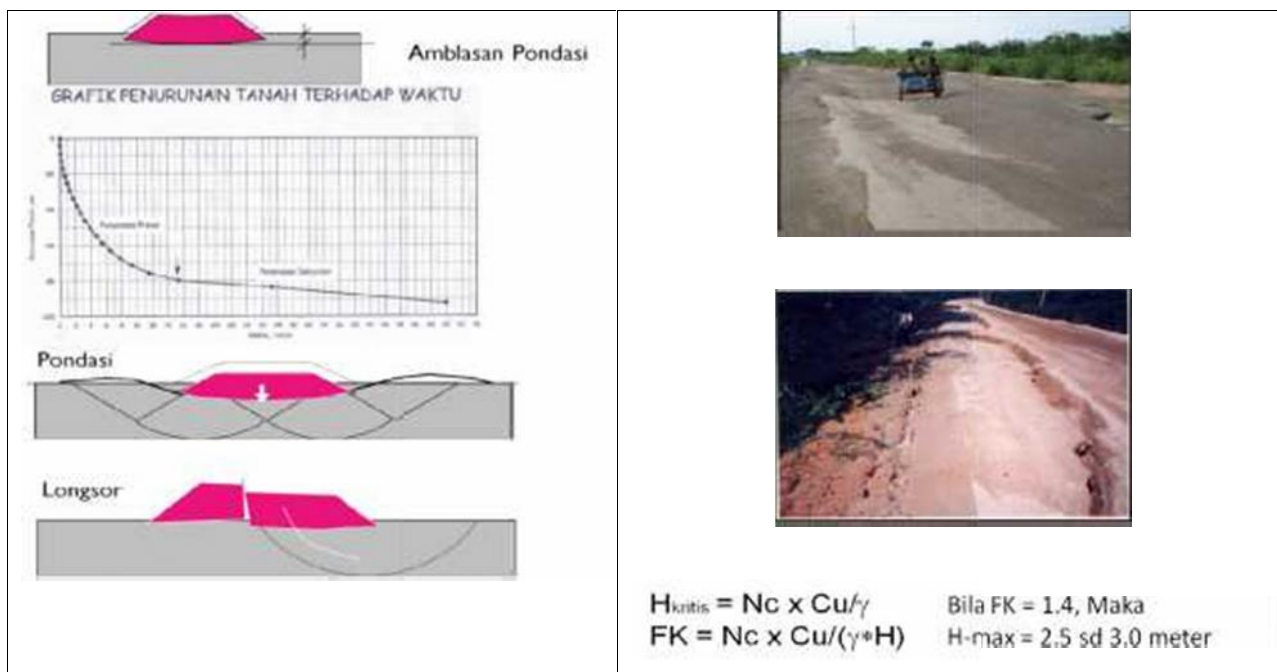
dan kemampuan perlu digunakan dalam mengevaluasi tabilitas timbunannya. Permasalahan yang terjadi pada strktur timbunan pada lapisan tanah problematic, dalam hal ini misalnya tanah lunak (organic dan non-organik) akan diperoleh permasalahan ketidakstabilan yang dapat mengganggu konstruksi baik jalan dan jembatan. Terganggunya struktur konstruksi jembatan adalah terdorongnya atau terputusnya Abutment Jembatan seperti diperlihatkan pada Gambar 2- 20 akibat adanya ketidakstabilan antara:

1. Kesimbangan momen yang dibentuk oleh beban yang mengakibatkan momen pendorong (MD) melebihi tahanan yang menggambarkan momen penahan (MR), tinggi timbunan oprit memlampaui tinggi timbunan batas (kritis) yang mampu didukung oleh lapisan dibawahnya.
2. Stabilitas Geser antara Gaya Horizontal yang bekerja yang terganggu karena bertambahnya beban timbunan dan berkurangnya tahanan/kekuatan geser karena akibat terganggunya profil sungai seperti akibat abrasi (erosi pada tebing sungai) atau degradasi (penurunan dasar sungai) sehingga tekanan tanah pasif menjadi menurun secara signifikan dibandingkan tekanan tanah aktif yang bekerja ditambah beban timbunan yang melebihi tinggi timbunanbatasnya yang dapat didukung oleh lapisan tanah dibawahnya



Gambar 20. Permasalahan stabilitas Abutmen Jembatan yang mengalami longsor akibat beban timbunan Oprit Jembatan

Demikian juga pada kasus timbunan tinggi yang melebihi daya dukung yang mensupport timbunan, maka akan mengalami penurunan dan longsor lereng karena tinggi timbunan batasnya terlampaui seperti diperlihatkan pada .



Gambar 21. Keruntuhan Timbunan akibat tanah dasar tidak mampu mendukung nya.

2.8.3. Pemilihan Penanganan Timbunan Oprit

Dengan memperhatikan dampaknya yang terjadi terhadap stabilitas abutmen jembatan dan badan jalan yang juga dapat akibatnya merusak perkerasan jalan maka perlu perhatian khusus dalam menyingkاپinya, sebagai berikut:

1. Perbaiki dengan mengembalikan level perkerasan jalan dengan leveling atau rising akan berdampak semakin memperberat beban timbunan.
2. Perbaiki dengan prinsip mengatasi faktor penyebab yang mengakibatkan terjadinya longsor timbunan pada daerah yang diduga tidak stabil, perlu dianalisa stabilitas nyaterlebih dahulu dan bilamana timbunan akan dibangun maka pada prinsipnya perlu memperhatikan:
 - a. Tidak menambah beban tambahan dan usahakan beban berkurang atau timbunan yang tidak terlalu berat.

- b. Menambah bangunan penahan sehingga tahanan kekuatan gesernya meningkat.

Rangkuman

Penanganan lereng untuk memperoleh stabilitas yang dapat memenuhi standar pelayanan minimum perlu dilakukan dengan memperhatikan hal-hal seperti penanganan sementara yang diperlukan sebelum penanganan permanen diterapkan. Dalam mengatasi lereng agar stabilitasnya terpenuhi maka perlu dilakukan kajian terhadap kondisi lahan yang menyebabkan terganggunya lereng baik lereng alamnya maupun lereng secara kajian secara lokalnya. Prinsip penanganan lereng harus dilakukan ada dua pendekatan yaitu tidak menambah beban sehingga Faktor Keamanannya menurun atau menambah struktur konstruksi sehingga Faktor Kemamannya meningkat secara signifikan.

Latihan

Buat rangkuman penanganan lereng terhadap konstruksi jalan yang dibangun diatas morfologi lereng pegunungan dan yang dibangun diatas morfologi dataran yang didominasi dengan lapisan tanah problematic. Juga sampaikan metode penanganannya sesuai dengan kebutuhan untuk meningkatkan Faktor Keamananan.

3

KEGIATAN BELAJAR 2 PENANGANAN LERENG BATUAN

Indikator Keberhasilan:

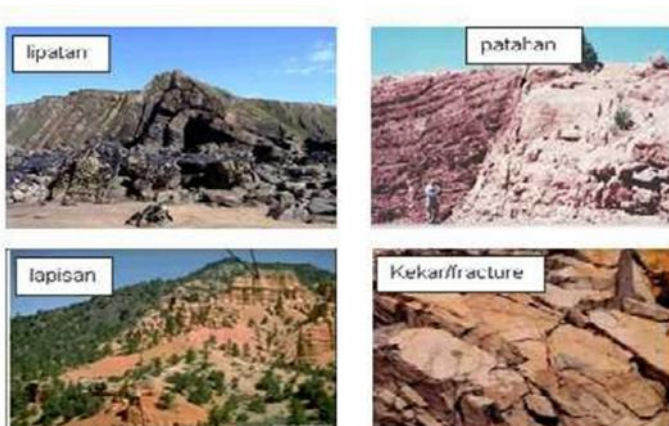
Setelah mengikuti pembelajaran ini peserta mampu memahami tentang hubungannya dengan stabilitas lereng terhadap karakteristik dan mekanisme longsor pada pembangunan infrastruktur Jalan dan Jembatan.

3.1. Mekanisme Keruntuhan Lereng berupa Longsor Batuan

Hal utama dalam menangani longsor batuan adalah mengetahui mekanisme tipe longsor batuan dan mekanisme pergerakan longsor batuan karena hal ini berkaitan dengan penanganan yang perlu diterapkan. Dalam mengevaluasi dan menganalisa mekanisme tipe longsor batuan, penanganan yang dilakukan dititik beratkan dengan melakukan konstruksi penambatan yang pada dasarnya menangani terjadinya longsor batuan secara langsung, sedangkan menganalisa mekanisme pergerakan dititik beratkan pada penanganan yang utamanya untuk melindungi pengguna jalan.

3.1.1. Mekanisme Tipe Longsor Batuan

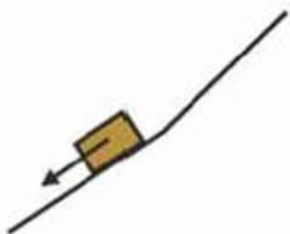
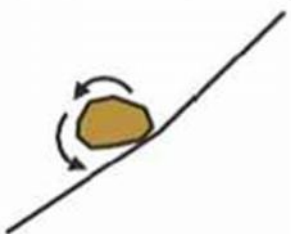
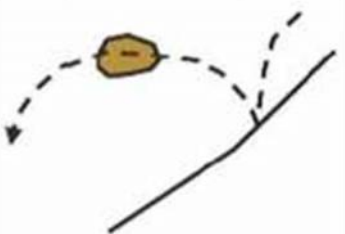
Mekanisme longsor batuan adalah terjadinya runtuh batuan yang berdampak pada berkurangnya kenyamanan dan keamanan berlalu lintas sehingga pelayanan minimum keselamatan jalan tidak dipenuhi, seperti diperlihatkan pada Gambar 22.



Gambar 22. Mekanisme dan Tipe Longsor Batuan

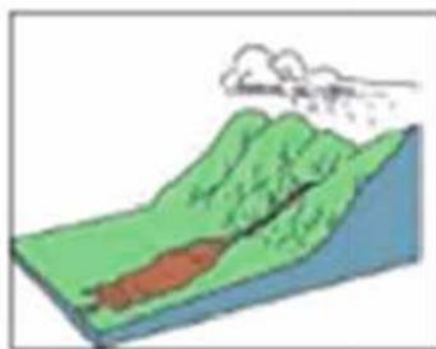
3.1.2. Mekanisme Pergerakan Longsor Batuan

Pergerakan longsor batuan dapat membahayakan pengguna jalan dan terhadap bentuk dan dimensi material longso serta kemiringan geometric lereng maka akan mencirikan mekanisme pergerakan longsor batuanya (Gambar 23).

Motion pattern	Sliding	Rolling	Bouncing
Diagram			
Characteristics	Slides down slopes	Rolls down a slope	Bounces in the air and moves downwards
Falling speed	Slow	Average	Fast
Bounce height	Zero	Small	Great

Gambar 23. Dampak yang diakibatkan oleh longsor batuan

Beberapa tipe pergerakan longsor batuan juga kadang kala bercampur dengan longsor tanah sehingga bila diperhatikan pada Gambar 3- 3, terlihat bahwa perbedaan keduanya dapat dicirikan dengan pergerakannya dari lambat sampai dengan cepat. Longsor ini digolongkan pada longsor debris avalance.



Gambar 24. Longsor Debris Avalance yang terdiri dari bermacam material longsor baik tanah, pasir, batuan dan sisi tumbuhan

Hal lain yang memicu kecepatan pergerakan longsor juga dipengaruhi oleh magnitude ke-gempa-an yang terjadi sehingga dengan mengetahui magnitude ke-gempa-an tersebut akan dapat direncanakan pemiloihan penanganan yang sesuai dan tepat. Untuk mengetahui magnitude ke-gempa-an dapat dilihat pada peta gempa yang diterbitkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum 2010.

TIPE MATERIAL	TIPE GERAKAN (PERTAMBAHAN KECEPATAN)			
	LONGSOR GELINGIRAN (SLIDE)		ALIRAN (FLOW)	JATUHAN (FALL)
	ROTASIONAL	PLANAR		
BATUAN DASAH (BEDROCK)	NENDATAN BATU (ROCK SLUMP)	LUNCIURAN BATU (ROCK SLIDE) LUNCIURAN BLOK (BLOCK SLIDE)	Lawina Batuan (ROCK AVALANCHE)	JATUHAN BATU (ROCK FALL)
TANAH LAPUK (DECOMPOSED SOIL)	NENDATAN TANAH (EARTH SLUMP)	Longsor Bahan Rombakan (Debris Slide)	Lawina Bahan Rombakan (Debris Avalanche) Aliran Bahan Rombakan (Debris Flow)	JATUHAN TANAH (SOIL FALL)
SEDIMEN	NENDATAN SEDIMEN (SEDIMENT SLUMP)	SLAB SLIDE	Aliran Tanah (Earth Flow) Liquefaction Flow Aliran pasir Aliran tanah loos	JATUHAN SEDIMEN (SEDIMENT FALL)

Gambar 25. Hubungan Longsor Batuan dan Longsor Tanah diperhatikan terhadap kecepatan pergerakannya

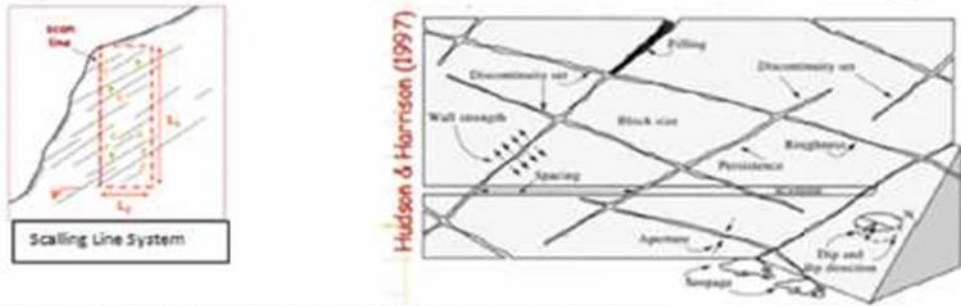
3.2. Pemilihan Konstruksi Penahan Penanganan longsor Batuan yang sesuai

3.2.1. Pengukuran dan Analisa Potensi adanya Longsor Batuan

Pertama-tama seperti telah diuraikan sebelumnya dalam menilai stabilitas lereng batuan perlu adalah menilai discontinuity pattern seperti memeriksa dan mengevaluasi RQD (rock quality designation) nya baik melalui pemboran inti batuan dan pengukuran geologi struktur yang berkembang dilapangan yaitu mengukur DIP/DIRECTION nya pada tiap kondisi geologi struktur yang dijumpai dilapangan dan telah dibahas pada modul sebelumnya.

Khusus pada daerah yang akan dilebarkan atau daerah pembangunan jalan baru didaerah perbukitan yang didominasi oleh batuan, maka pengukuran jumlah joint sesar / kekar yang nampak dilapangan dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan RQD sehingga dapat diketahui potensi longsornya. Dari hasil pengukuran EQD ini maka akan dapat ditentukan RMR (Rock Mass Rating) dan SMR (Slope Mass Rating) nya yang sangat berguna untuk menentukan kemampuan lereng batuan menentukan perlu tidaknya untuk dapat berdiri tegak bila dilakukan penggalian atau dapat dilakukan penanganan untuk menjamin stabilitas lereng batuan terpenuhi. Pengukuran RQD pada singkapan batuan yang nampak dengan menggunakan Scaling System dapat diterapkan sebagai berikut (seara detail telah dibahas di Modul sebelumnya).

Identifikasi Kekompakan Batuan dengan Scalling System untuk mengetahui stabilitas lereng Batuan, misal bila dilakukan penggalian



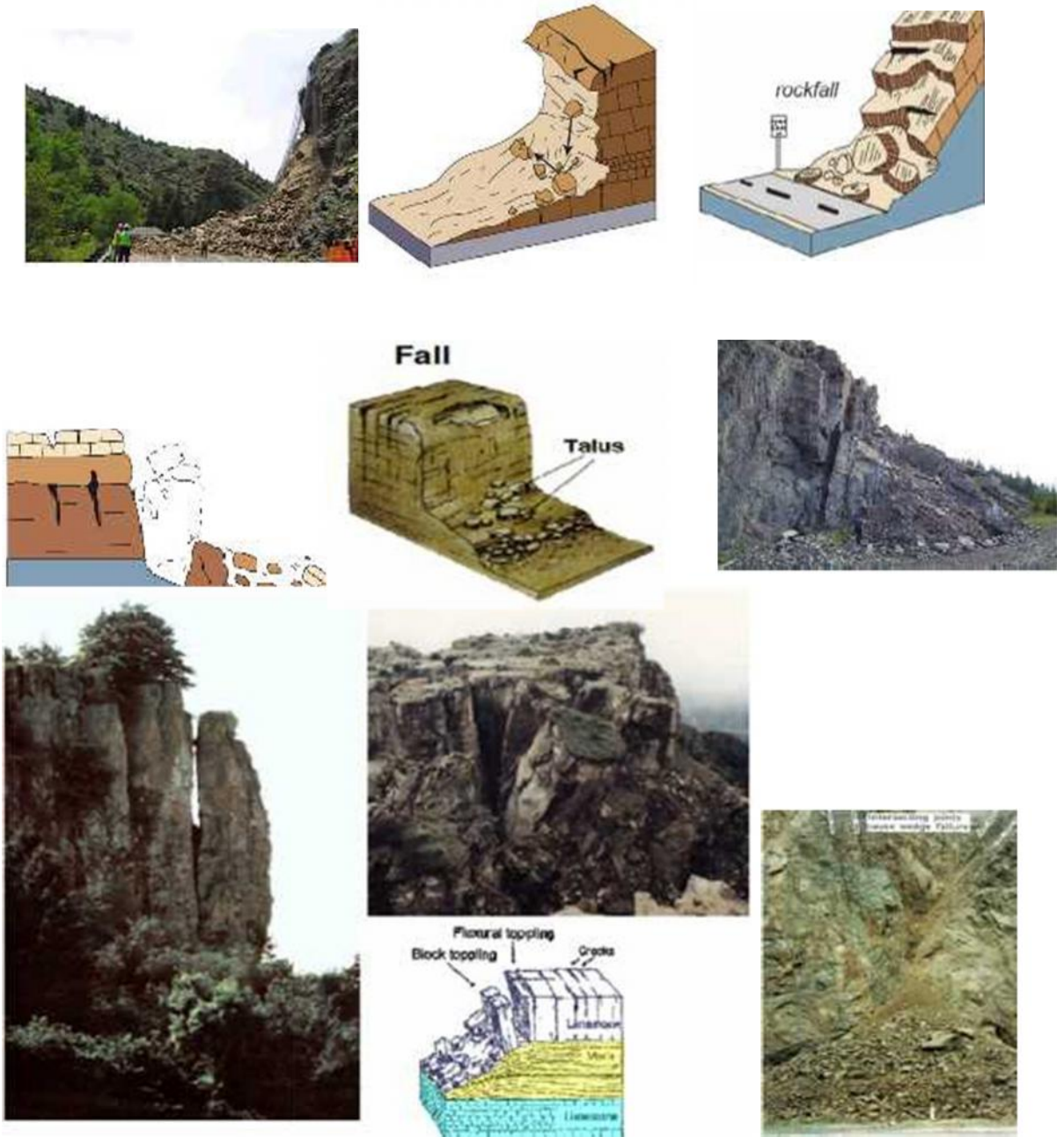
Nilai Scalling merupakan jumlah rekahan per meter panjang

- Jika frekuensi retakan = 20 kekar/meter, maka RQD < 25 %
- Jika frekuensi retakan = 11 kekar/meter, maka RQD = 25 - 50 %
- Jika frekuensi retakan = 5 kekar/meter, maka RQD = 50 - 75 %
- Jika frekuensi retakan = 2 kekar/meter, maka RQD = 75 - 90 %
- Jika frekuensi retakan ≤ 1 kekar/meter, maka RQD = 90 - 100 %

Gambar 26. Scalling System untuk Mengetahui RQD dengan menghitung jumlah join kekar yang mencerminkan adanya geologi struktur yang berkembang per-meter panjang

3.2.2 Identifikasi dan Penciri-an Tipe Longsor Batuan

Pemilihan Bangunan Penahan sebagai penambatan pergerakan massa batuan untuk tipe longsor seperti pada Gambar 2- 14 sd Gambar 2- 16, diperlu konstruksi yang sesuai dengan mempertimbangkan berabagai kondisi mulai dari pemicu longsor, kondisi geologi dan tanah/batuan, morforlogi dan topografi lahan (terrain), dan dampak dari aktifitas manusia.

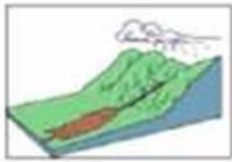


Gambar 27. Runtuhan Batuan antara Jatuh bebas (rock fall) dan jungkiran (Toppling)

3.2.3. Metode Analisa dalam

Dalam menilai longsor batuan pertimbangannya untuk menentukan teknologi penanganannya seperti yang diuraikan sebelumnya dapat mengacu pada petunjuk seperti diperlihatkan pada Table 2- 1 menggunakan pendekatan empiris.

Tabel 2. Evaluasi Empiris Pemilihan Konstruksi Penahan sebagai Penambatan tipe longsor Batuan

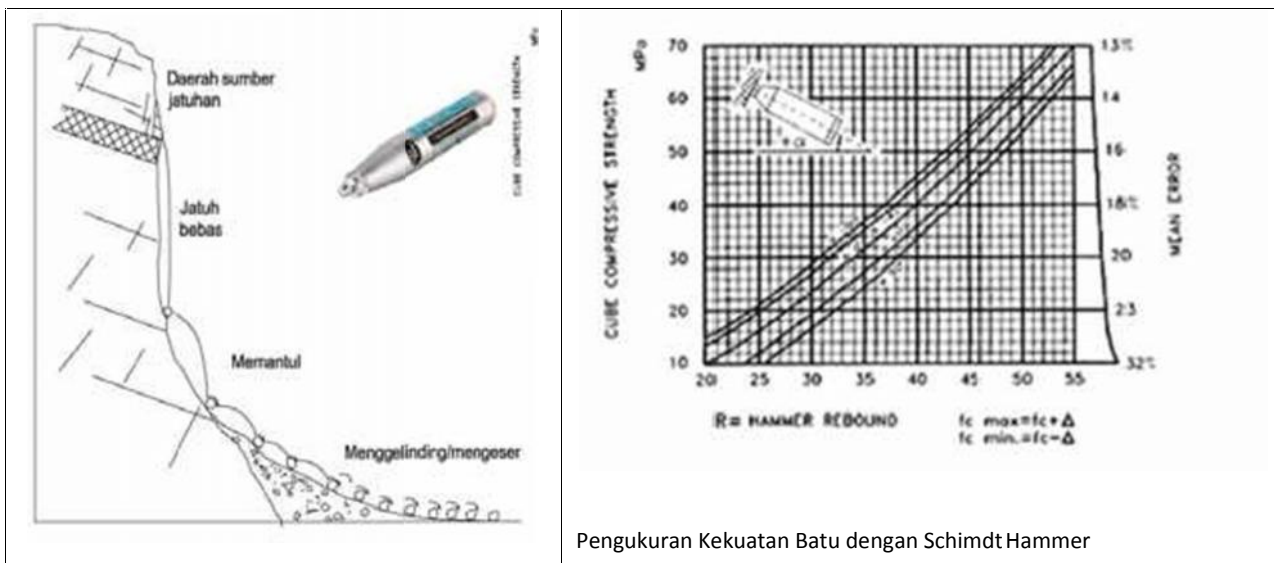
Bobot	Pertimbangan dalam penanganan longsor yang terjadi atau antisipasi sebelumnya (ditotal jumlahnya A)			
100%	1. Pemicu Utama	2. geologi dan tanah/batuan	3. morfologi dan topografi	4. aktifitas manusia
Tiap Kolom	Curah hujan Permeabilitas resapan anah Fluktuasi muka air tanah Adanya penimbunan tanah Adanya galian tanah Kegempaan/ Earthquake• Penimbunan lava gunung api Pelapukan/ weathering Tanah ekspansif Sering banjir, ada kanal air	Masalah geologi batuan dasar Material lereng (tanah/batuan) Lapisan belum terkonsolidasi Lapisan sedimen Lapukan material Grade Kuat geser lapisan berbeda Geologi struktur (discontinuity) Orientasi lapisan rancu Kandungan lempung tinggi	Tectonic or volcanic Fluvial erosion kaki lereng Abrasi sungai kaki lereng Erosi permukaan lereng Erosi lateral didaratkan Adanya longsor lama Gawir longsor Tekanan pumping lereng Lereng dari longsor lama	Galian di kaki lereng Timbunan unusable material beban pada lereng Pembuatan genangan air penebangan hutan Mengalirkan air pada lereng Mengalami kontaminasi Pengaruh vibrasi pancang Pembuatan saluran di lereng Ada konstruksi lain di lereng
Beri angka dari 1 - 10 dan dijumlah				
Total	B	C	D	E
A	$B/A \times 100\% =$	$C/A \times 100\% =$	$D/A \times 100\% =$	$E/A \times 100\% =$
hasil	Kesimpulan longsor : jenis dan tipe, Pemilihan tipe Longsor (beri Lingkaran dan isi sketsa bila bentuk longsor berbeda)			
				
	Sketsa Longsor			

Catatan (diisi setelah mengetahui tipe longsorannya):

- a) Dampak yang diakibatkan:
- b) Penanganan sementara untuk menjaga fungsi jalan:
- c) Penanganan permanen:

3.3. Merekayasa perkuatan Lereng Batuan dengan Penambatan

Penambatan batuan dengan memperkuat perilaku lereng dengan menambah suatu struktur konstruksi perkuatan perlu dilakukan uji kekuatan fragmen batuan seperti diperlihatkan pada Gambar 28 yang titik beratnya adalah melakukan penguatan terhadap lereng batuan sehingga secara terintegrasi juga melindungi pengguna jalan. Alat uji lapangan untuk mengetahui kekuatan fragmen batuan adalah dengan uji Schmidt hammer yang masing masing alat mempunyai grafik yang tertera pada alat uji tersebut, sehingga hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk mengetahui kuat tekan fragmen batuan tersebut.



Gambar 28. Pengukuran Kekuatan Batuan dengan Schimdt Hammer

3.3.1. Prinsip Penanganan dengan Penambatan Batuan

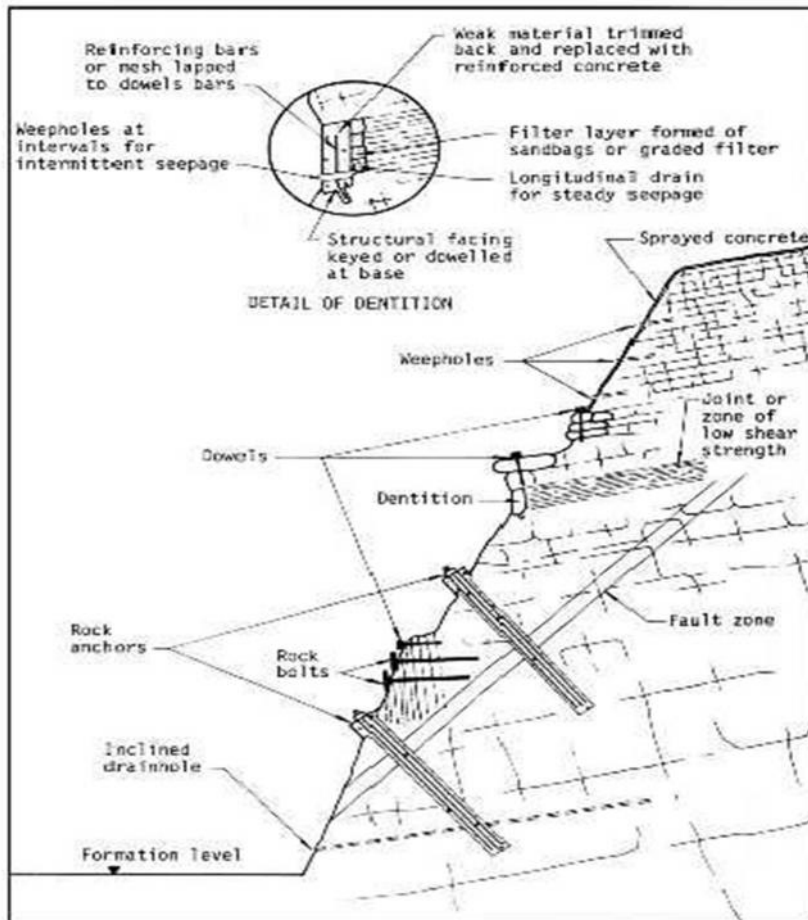
Penambatan untuk menanggulangi longsoran batuan agar tidak berdampak membahayakan bagi keselamatan dan kenyamanan pada pengguna jalan dapat dilakukan dengan menggunakan 2 pendekatan yaitu:

- 1) Penambatan dengan merekayasa perkuatan Lereng Batuan

Penambatan dengan merekayasa perkuatan lereng batuan sehingga dapat kokoh berdiri antara lain tumpuan beton, baut batuan, pengikat batu, jangkar kabel (anker) dan beton semprot.

- 2) Penambatan batuan dengan melindungi pengguna jalan

Penambatan batuan dengan melindungi pengguna jalan adalah merekayasa agar material longsor. jala kawat, dinding / tembok sebagai bangunan penahan batu dan perlindungan runtuhan batuan dengan atap.



Diklat Penanganan Longor pada Struktur Jalan

Gambar 29. Penanganan Lereng Batuan terhadap Longsoran yang dapat terjadi

3.3.2. Tumpuan Beton

Batuan yang menggantung akibat tererosi atau pelapukan dapat ditanggulangi dengan dua cara yaitu meruntuhkan batuan yang menggantung atau menyangga dengan tumpuan beton. Apabila penanggulangan dimulai dengan meruntuhkan batuan yang menggantung karena dapat membahayakan lalu lintas kendaraan, diperlihatkan pada Gambar 30.

3.3.3. Baut Batuan

Baut batuan dipasang untuk memperkuat massa batu yang terbentuk oleh adanya pola ketidak selarasan (diskontinuitas pattern) antara lain: kekar, retakan, agar lereng menjadi mantap dan diperlihatkan pada Gambar 31.

3.3.4. Pengikat Batuan.

Pengikat Beton atau dikenal dengan Rock nailed, digunakan sepertihalnya Baut Batuan, dengan maksud untuk mengurangi jumlah baut batua diperlihatkan pada Gambar 32.

3.3.5. Jangkar Kabel

Jangkar Kabel atau dikenal dengan Rock Achor, adalah bila massa batuan yang bergerak mempunyai ukuran yang besar (Gambar 33).

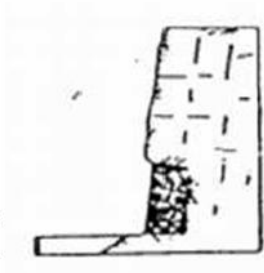
3.3.6. Beton Semprot

Beton semprot digunakan untuk memperkuat permukaan batuan yang berkekar (a) dan pada batuan yang bersifat "*slaking*" (b) yang diperlihatkan pada gambar

3.3.7. Dinding Tipis

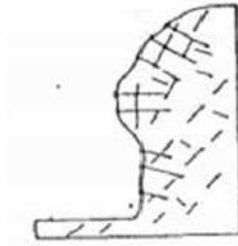
Beberapa jenis batuan seperti serpih atau batu lempung sangat mudah lapuk bila tersingkap. Untuk melindungi batuan tersebut dapat dipasang dinding tipis dari bata, batu atau beton pada permukaan batuan.

Tumpuan Beton



Gambar 30. Penambatan dengan tumpuan Beton pada tebing Batuan

Baut Batuan



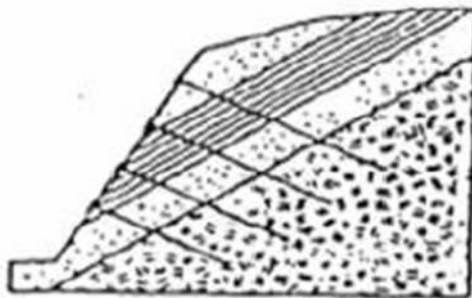
Gambar 31. Penambatan dengan Baut Batuan (rock Bolt)

Pengikat Batuan



Gambar 32. Penambatan dengan Pengikat Batuan, seperti nailing atau grouting

Jangkar Kabel

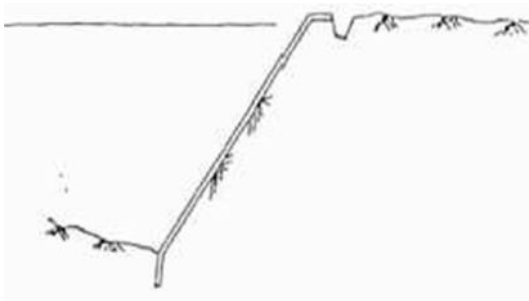


Gambar 33. Penambatan dengan jangkar Kabel pada Lereng Batuan

Beton Semprot

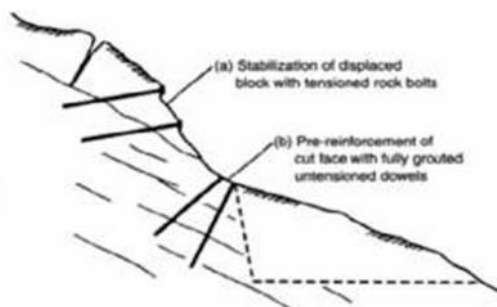


Dinding Tipis



3.3.8. Implementasi terhadap perkuatan Lereng Batuan

Sebagai upaya dalam perkuatan lereng batuan adalah bilamana dibagian bawah atau atas pada lereng tersebut akan dibangun jalan, maka perlu perkuatan yang sifatnya permanen, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3- 12, adalah untuk perkuatan dengan jangkar kabel yang dikombinasikan dengan blok beton sebagai penguncinya.



Gambar 34. Perkuatan dengan pengangkera kabel yang digrouting dengan beton untuk meningkatkan stabilitas lereng galian dibawahnya

3.4. Penambatan batuan dengan melindungi pengguna jalan

Penambatan batuan dengan melindungi pengguna jalan adalah dengan tujuan dan pertimbangan keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan dalam yang terpenting dalam mewujudkan standar pelayanan minimum jalan dalam memenuhi ketentuan undang-undang jalan. Metode dengan penambatan batuan dengan melindungi pengguna jalan diperlihatkan pada Gambar 3- 13 dan Gambar 3- 14.

3.4.1. Dinding / Tembok Penahan Batu

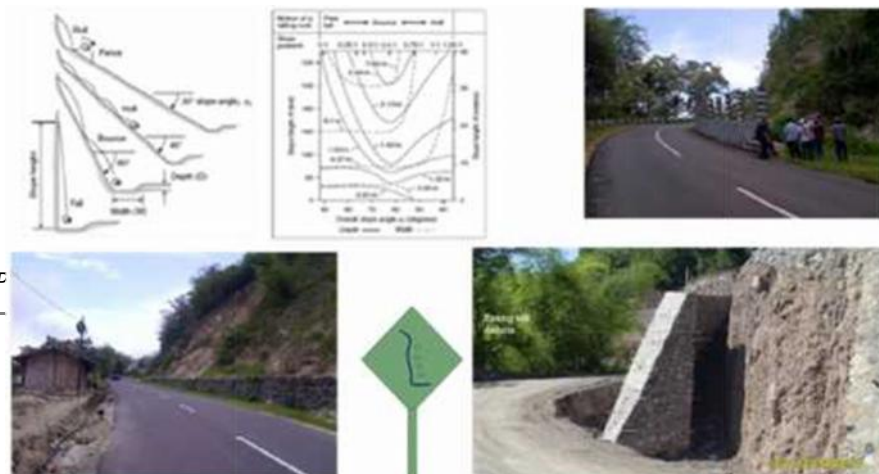
Tembok penahan batu dipasang pada bagian kaki lereng untuk menahan fragmen batuan yang runtuh dari atas. Konstruksi dinding penahan ini telah sedemikian berkembang dapat secara langsung mengamankan jalan yang berada dibawahnya atau mengamankan material longsornya seperti diperlihatkan pada Gambar 3- 15.

3.4.2. Jala Kawat

Jala kawat dipasang pada lereng untuk menjaga agar runtuhuan batu dapat ditahan pada satu tempat (Gambar 3- 15).

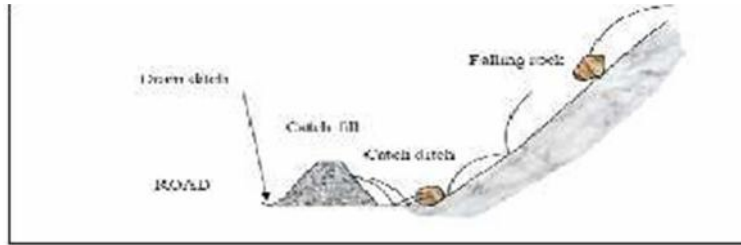
3.4.3. Pengaman dengan Semi Terowongan

Penanganan runtuhuan batuan dapat pula dilakukan dengan konstruksi semi terowongan yang pada prinsipnya melindungi pengguna jalan dari material longsor (Gambar 3- 16).

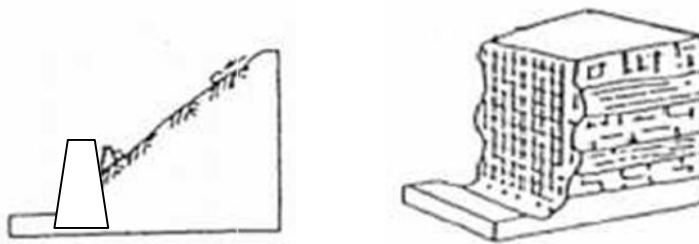


Diklat P

Gambar 35 . Penanganan Longsoran Batuan sebagai Pelindung Pengguna Jalan

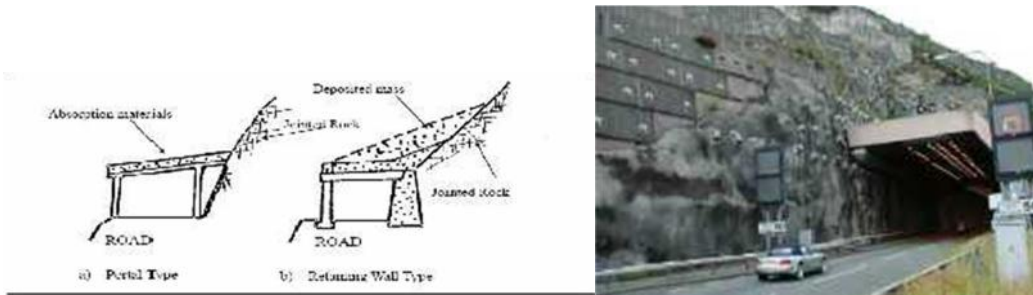


Gambar 3- 14. Runtuhan / Longsoran Batuan



Dinding / Tembok Penahan Batuan Jala Kawat

Gambar 36. Teknologi Penanganan Longsoran / Runtuhan Batuan



Gambar 37. Penambatan batuan dengan melindungi pengguna jalan menggunakan pelindung atap (contoh North Wales, United Kingdom)

4

KEGIATAN BELAJAR 3

KRITERIA PENANGANAN LERENG LONGSOR

Indikator Keberhasilan :

Setelah mengikuti pembelajaran ini peserta mampu memahami pengertian dan ruang Lingkup KRITERIA PENANGANAN LERENG LONGSOR yang pada dasarnya dipengaruhi oleh beberapa faktor morfologinya dan kondisi geoteknik, geologi dan geohidrologi serta faktor-faktor lainnya.

4.1 Umum

Permasalahan longsor jalan umumnya diketahui setelah terjadi keruntuhan dan masyarakat pada umumnya terfokus dengan cara klasik sebagai tipikal solusi untuk memperbaiki kembali lereng atau tebing-tebing, seperti: dengan bronjong batu, pasangan batu kosong, pasangan batu isi dan dengan dinding penahan. Metode tersebut selain tidak ramah lingkungan juga memerlukan biaya yang keberhasilannya belum teruji serta pemeliharaan harus dilakukan terus-menerus karena suatu saat dapat runtuh kembali. Hal lain dalam memilih metode penanganan berdasarkan asumsi tanpa didasari analisa dan evaluasi terhadap faktor penyebabnya maka akan menghasilkan penanganan yang tidak sempurna karena pengaruh percepatan dan jenis material longsor merupakan komponen variabilitas penting sebagai penyebab longsor yang terjadi disamping ke-gempa-an disuatu daerah.

4.2 Percepatan Pergerakan

Beberapa jenis pergerakan dapat diidentifikasi melalui kadar air dan kecepatan pergerakan seperti ditunjukkan pada Gambar 38.

Pelandaian lereng dapat menambah kemantapan, dan sebaliknya penegakan lereng berarti mengurangi kemantapan yang tentunya juga memengaruhi percepatan pergerakan longornya.

1) Pergerakan Lambat

Diklat Penanganan Longor pada Struktur Jalan

Pergerakan lambat terjadi selama 0.3 m tiap 5 tahun atau 1.5 m/tahun serta meliputi rangkai/rayapan dan solifluction. Rangkai adalah pergerakan terus menerus pada kondisi tegangan konstan, sedangkan solifluction adalah pergerakan debris karena faktor geologi dan pengaruh lingkungan termasuk air dan aktifitas manusia.

Dilapangan identifikasi adanya pergerakan lambat ditandai dengan mulainya adanya retakan- retakan tanah dipermukaan serta miringnya tiang-tiang dan pohon-pohon.

2) Pergerakan Sedang

Pergerakan sedang terjadi selama 1.5 m/tahun atau 0.3 m/menit dan mencakup beberapa pergerakan sebagai berikut:

- a) Tanah: terjadi aliran tanah/lumpur (earth flows)
- b) Batuan: terjadi runtuh dan aliran debris batuan (debris slide)
- c) Pergerakan Cepat

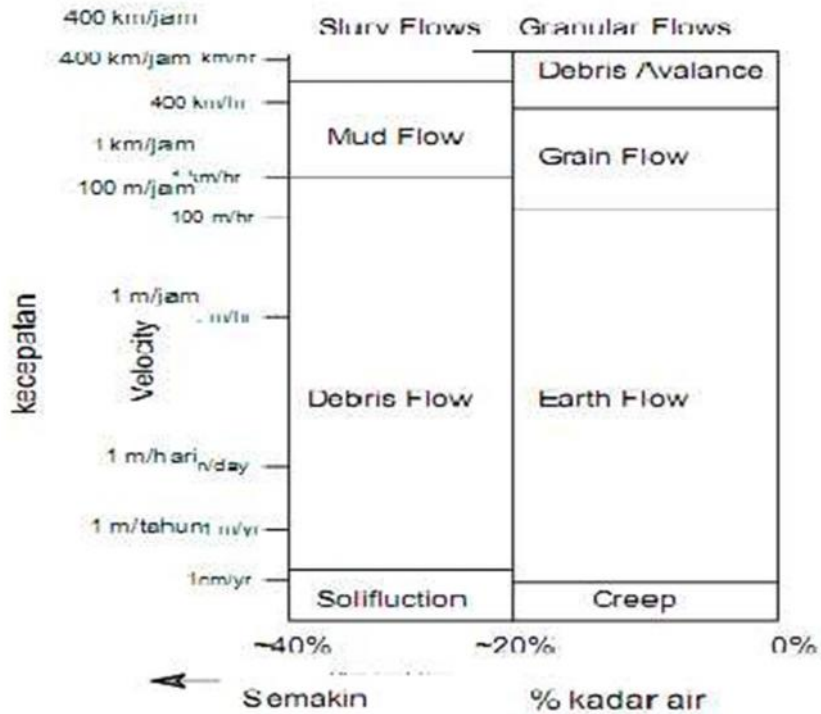
Pergerakan cepat terjadi selama > 0.3 m/menit serta terdiri dari debris avalanche dan rock falls dan terjadi pada debris avalanche yang merupakan perpindahan tanah/batuan yang sangat cepat yang diawali dengan hancuran di sepanjang permukaan runtuh. Penyebab utamanya adalah rembesan air tanah yang besar, curah hujan tinggi, gempa bumi atau rayapan yang berkembang sedikit demi sedikit dari suatu perlapisan batuan dengan umumnya didahului oleh tanda-tanda serta tidak terduga terjadinya.

- a) Yang termasuk gerakan cepat lainnya adalah aliran debris dengan kadar air tinggi sehingga membawa debris mengalir seperti cairan kental (slurry).
- b) Jatuh bebas batuan (rock falls) dan penjurangan (toppling rocks) juga termasuk pergerakan cepat yang membentuk akumulasi batuan pada dasar lereng disebut longsoran talus

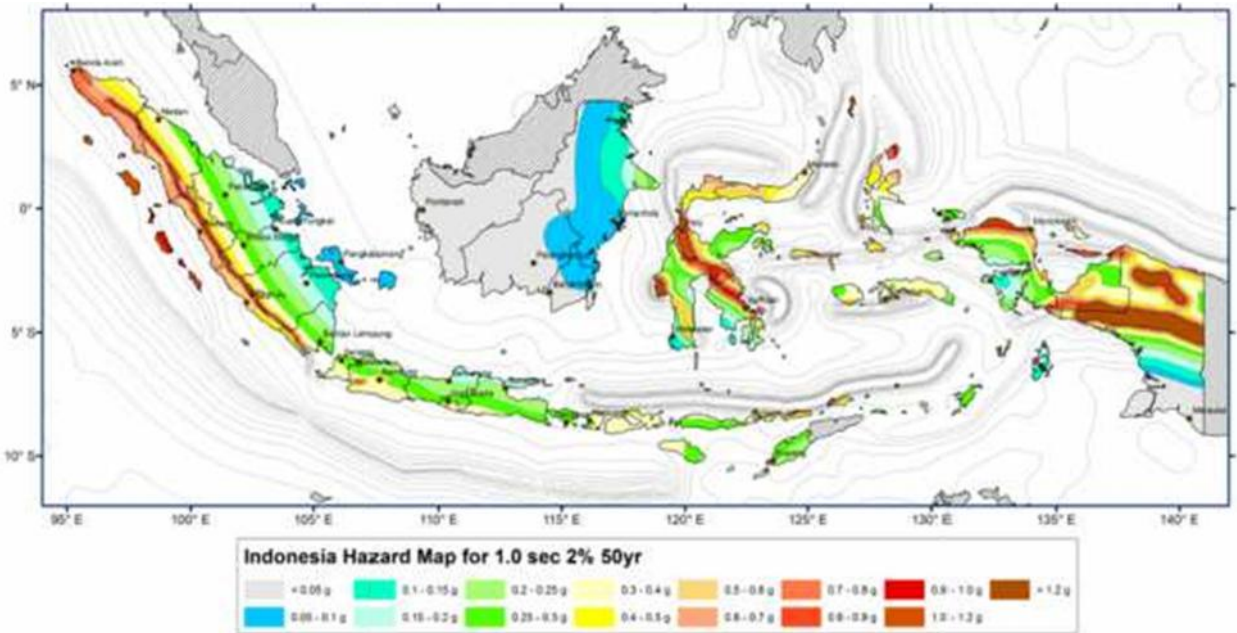
4.3 Tinjauan terhadap Ke-Gempa-an

Gerakan tektonik; dapat mengubah keadaan geometri lereng sehingga akan mempengaruhi stabilitas lereng. Dalam menganalisa dan mengevaluasi beban siklik
Diklat Penanganan Longor pada Struktur Jalan

ini terutama akibat gempa diperlihatkan pada Gambar 38, untuk periode 50 tahun dengan periode 1 detik. Untuk periode lainnya dapat dilihat pada peraturan Gempa SNI Gempa 2010.



Gambar 38. Percepatan Pergerakan



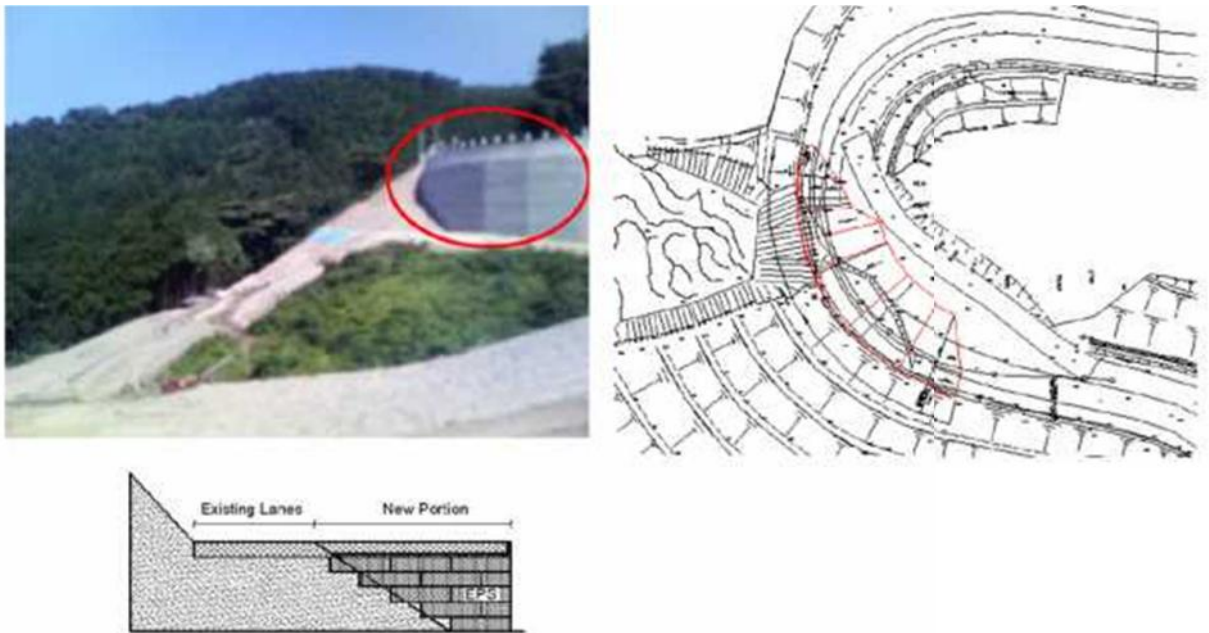
Gambar 39. Peta Gempa 2010, Penentuan Magnitude Beban Gempa (Siklik) untuk periode 50 tahun dengan periode waktu 1 detik

4.4 Penanganan Longsoran Tanah dengan Memperbaiki Material Lereng

Tindakan lain dilakukan bila penanggulangan dengan cara-cara sebelumnya tidak dapat diterapkan, yaitu penggunaan bahan ringan, yang telah diuraikan penggantian material, stabilisasi, bangunan silang dan relokasi. Penanganan yang disebutkan ini pada intinya adalah berdasarkan criteria penanganan terhadap faktor penyebabnya.

4.4.1 Penggunaan Bahan Ringan

Penanggulangan dengan cara ini adalah mengganti material longsor dengan bahan yang lebih ringan dan berfungsi untuk mengurangi gaya dorong. Cara ini hanya digunakan pada longsor jenis rotasi yang relatif kecil. Bahan ringan yang umumnya digunakan antara lain : batu apung, abu sekam, polisterin, serbuk gergaji, alwa, armco dan drum kosong. Khususnya yang menyangkut Jalan Raya maka stabilisasi badan jalan perlu diperhatikan, bila bidang gelincir sampai perkerasan jalan.



Gambar 40. Konstruksi Pelebaran Jalan menggunakan Material Ringan di Morfologi Perbukitan untuk mengurangi beban yang berdampak pada meningkatnya momen mendorong

4.4.2 Penggantian Material

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

Dalam pemilihan cara ini harus diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

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

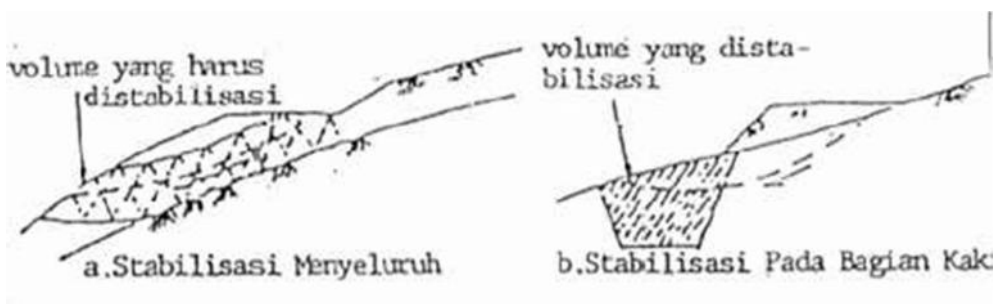
4.4.3 Metode Stabilisasi

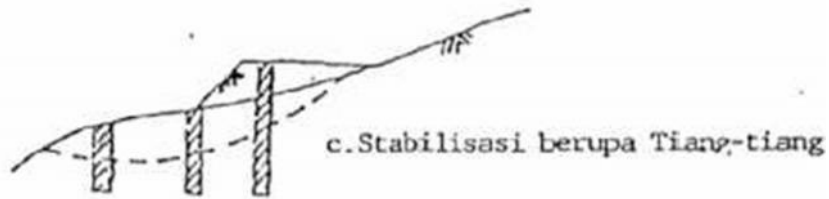
Stabilisasi dimaksudkan untuk meningkatkan kuat geser dari material longsor. Material yang distabilisasi dapat dilakukan secara menyeluruh (Gambar 41.a), pada bagian kaki (Gambar 41.b) atau berupa tiang-tiang (Gambar 41.c).

Stabilisasi dapat dilakukan dengan cara "grouting" atau injeksi melalui retakan, celah-celah dan lubang-lubang batuan. Stabilisasi dapat menggunakan antara lain, kapur dan semen yang efektif pada material kasar. Berhasil dan tidaknya cara penanggulangan ini tergantung dari peningkatan kuat geser material, terutama sepanjang bidang gelincirnya. Stabilisasi tanah lempung kurang efektif karena sulit pelaksanaannya.

Penggunaan stabilisasi harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

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





Gambar 41. Stabilisasi dengan meningkatkan nilai kuat geser

4.4.4 Bangunan Silang

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

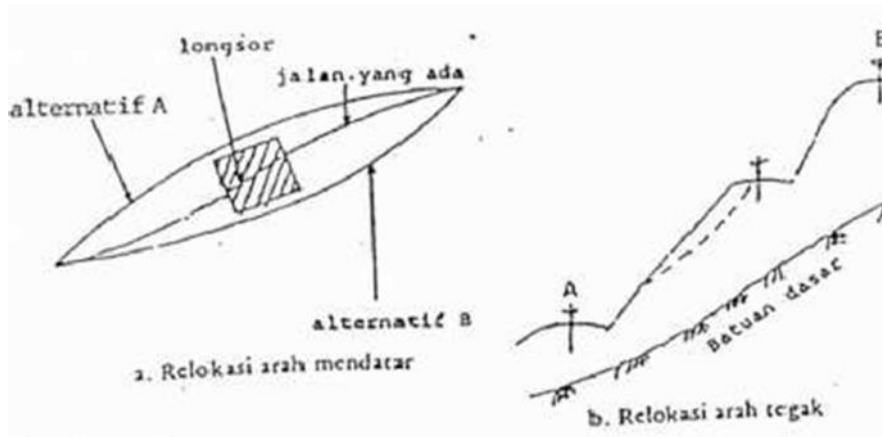
Penggunaan jembatan sebagai penanggulangan harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

- 1) Penanggulangan hanya efektif untuk longsor kecil dan lereng yang lebih curam dari 2 : 1.
- 2) Penggunaan bangunan silang harus mempertimbangkan kemungkinan perlunya pilar di

tengah yang harus aman terhadap pengaruh longsor.

4.4.5 Relokasi

Cara ini dilakukan dengan memindahkan bangunan misalnya jalan, saluran air dan pemukiman ketempat lain yang lebih aman. Penanggulangan dengan cara ini baru dilakukan apabila cara-cara lain tidak memungkinkan lagi. Penanganan ini hanya digunakan bila penanggulangan permanen.



Gambar 42. Contoh Relokasi

Relokasi ini dapat dilakukan baik ke arah mendatar atau tegak (lihat Gambar 19). Dalam penanggulangan cara ini harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- 1) Lokasi yang disarankan tidak akan menimbulkan problema baru dari sudut ketinggian (grade), drainase dan sebagainya.
- 2) Lokasi diatas atau dibawah lokasi yang direncanakan cukup mantap, atau tidak akan menimbulkan masalah ketidakmantapan baru.
- 3) Bila cara-cara penanganan lainnya sudah terlalu mahal dan tidak menjamin keberhasilannya.

Sesuai dengan tipe longsor, faktor penyebab dan metoda penanganan yang telah diuraikan, maka penanganan untuk tipe potensi longsor runtuh, gelinciran dan aliran dapat diperlihatkan pada Tabel 3. Disamping itu dalam penentuan metoda penanganan perlu juga memperhatikan faktor-faktor lainnya yang berkaitan erat dengan pelaksanaan, antara lain tingkat kepentingan dan aspek sosial.

4.5.1 Galian dan Timbunan

Galian dan Timbunan adalah merupakan metode mengubah geometri lereng. Bagian yang dipotong dibagian atas lereng atau penimbunan pada bagian kaki lereng disesuaikan dengan geometri daerah longsor. Pemotongan bagian atas lereng dapat dilakukan dengan pelandaian dengan pengupasan tebing, pemotongan dan penangaan, dan pemotongan lereng bagian atas semuanya dengan maksud agar momen pendorong berkurang.

Lereng yang rawan longsor dan mempunyai sudut kemiringan lebih besar dari sudut geser dalam tanahnya dapat pula dilandaikan dengan sudut lereng yang cukup aman. Penetapan metoda ini perlu mempertimbangkan mekanisme longsor yang terjadi. Pemotongan untuk tipe longsor berantai yang gerakannya dimulai dari bagian kaki tidak efektif. Cara pemotongan ini tidak disarankan untuk tipe aliran, kecuali bila dibarengi dengan tata salir (drainase). Contoh perhitungan pemotongan dapat dilihat pada lampiran.

Mengubah geometri dengan cara penimbunan dilakukan dengan memberikan beban berupa timbunan pada daerah kaki yang berfungsi untuk menambah momen perlawanan. Penanggulangan ini hanya tepat untuk longsor rotasi tunggal yang massa tanahnya relatif utuh dimana bidang putarnya terletak di dalam daerah longsor.

Dalam pemilihan metoda ini harus diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- 1) Tidak mengganggu kemantapan lereng dibawahnya.
- 2) Tidak mengganggu drainase permukaan (pembentukan cekungan/tangga).
- 3) Letaknya diantara bidang netral dan ujung kaki longsor.

Untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas mengenai mengubah geometri lereng dapat dilihat pada Gambar 4- 6. Bangunan pada daerah longsor merupakan pertimbangan yang penting terutama untuk jenis gelincir. Letak bangunan ada yang di dekat kepala, di tengah atau dekat ujung kaki lereng.

Letak/posisi bangunan tersebut merupakan faktor-faktor yang menentukan dalam penanggulangan dengan cara mengubah geometri lereng. Hal-hal yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut :

- 1) Potongan dibagian atas lereng umumnya tidak dilakukan bila bangunan di dekatnya.
- 2) Pelandaian dapat diterapkan bila bangunan terletak pada bagian kaki lereng.
- 3) Pemotongan seluruhnya hanya dapat diterapkan bila bangunan terletak pada ujung kaki lereng.
- 4) Penanganan umumnya dapat diterapkan dengan letak bangunan baik di dekat bagian atas lereng, ditengah maupun pada bagian kaki lereng.
- 5) Penimbunan tidak dapat diterapkan bila bangunan terletak pada kaki lereng.

Tabel 3. Petunjuk dalam Pemilihan metode Penanganan Lereng terhadap Bahaya Longsor atau yang telah mengalami longsor memperhatikan Klasifikasi Longsoran

Klasifikasi Longsoran	I. RUNTLIHAN		II. GELINCIR		III. ALIRAN	
	Batuan	Tanah	Rotasi Batuan	Rotasi Tanah	Batuan	Tanah
Pemotongan Kepala	X	X				
Pelandaian Lereng			1	1	1	1
Penaggakan (Benching)	X	X	2	2	2	2
Pemotongan Habis	X	X	2	2	2	2
Pengupasan Tebing	X	X	2	2	2	2
Pengupasan Lereng	X	X	2	2	2	2
Tumbuinan pada kaki lereng	X	X	2	2	2	2
Menanam Tumbuhan	X	X	2	2	2	2
Menutup Rekahan	X	X	2	2	2	2
Tata salir (salir permukaan)	X	X	2	2	2	2
Perbaikan permukaan lereng	X	X	2	2	2	2
Sumurdalam (Deep Well)	0	0	3	3	3	3
Penyalir Tegak (vertical drain)	0	0	3	3	3	3
Penyalir mendatar (horizontal drain)	0	0	3	3	3	3
Pelantar (drainase gallery)	0	0	3	3	3	3
Sunmur pelega (relief well)	0	0	3	3	3	3
Penyalir part pemecat (interceptor drain)	0	0	3	3	3	3
Penyalir liput (blanket)	0	0	3	3	3	3
Elektro osmosis	0	0	3	3	3	3
Bronjong	0	0	3	3	3	3
Tembok penahan (*)	0	0	3	3	3	3
Sumuran	0	0	3	3	3	3
Tiang (pancang, bor, turap baja)	0	0	3	3	3	3
Teknik penguatan tanah	0	0	3	3	3	3
Dinding Penopang itian baru (buttres)	0	0	3	3	3	3
Tumpuan Beton	0	0	3	3	3	3
Baut Batuan	0	0	3	3	3	3
Pengikat Beton	0	0	3	3	3	3
Jangkar kabel (Pengangkeran batu)	0	0	3	3	3	3
Jala Kawat	X	X				
Tembok penahan batu						
Beton semprot						
Dinding tipis						
Bahan ringan	X	X				
Penggantian material	0	0				
Stabilisasi						
Jembatan, Talang						
Relokasi						

(*) gya berat, semi gya berat, beton

Keterangan :
 0 = menambak gya perahan
 X = penguatan gya pendoring
 1 = scring diklu-klu
 2 = keding-keding
 3 = jarang

Tabel 3. Petunjuk dalam Pemilihan metode Penanganan Lereng terhadap Bahaya Longsor atau yang telah mengalami longsor memperhatikan Klasifikasi Longsoran

4.5.2 Mengendalikan Air

Mengendalikan air permukaan langkah awal dalam setiap rencana pekerjaan rekayasa lereng terutama untuk mengantisipasi terjadinya longsor. Pengendalian air mengurangi berat massa tanah yang bergerak dan meningkatkan kekuatan material tanah pembentuk lereng. Dua hal yang harus diperhatikan adalah air:

Air permukaan lereng dan air yang meresap/masuk ke dalam tanah, sehingga harus dilakukan untuk mencegah yaitu air permukaan termasuk genangan air dialirkan, sedangkan mata air atau air rembesan di daerah lereng dialirkan pula sehingga tidak mengganggu stabilitas lereng.

4.5.2.1 Pengendalian Air Permukaan

Mengendalikan air permukaan (drainase permukaan) dapat dilakukan dengan cara menanam tumbuhan, menutup retakan, tata salir dan perbaikan permukaan lereng. Metoda pengendalian air permukaan dapat digunakan baik secara terpisah maupun bersama-sama. Metoda ini dapat pula dikombinasikan dengan metoda penanggulangan lainnya.

4.5.2.1.1 Saluran Permukaan / Terbuka.

Tata salir sebaiknya dipasang dan berada di luar lereng yang berpotensi mengalami longsor dan secara penuh mengelilingi areal lereng dengan mengikuti kontur sehingga dapat mencegah aliran limpasan (runoff) yang datang dari lokasi yang lebih tinggi. Untuk saluran terbuka yang dipasang pada daerah lereng harus diberi kemiringan sedemikian rupa sehingga dapat mengalirkan air secara cepat agar air tidak meresap (Gambar 4- 14. a).

Alas saluran terbuka dilapis dengan material yang kedap air, agar tidak menjadi sumber air yang dapat meresap ke lereng. Ukuran (dimensi) dan kemiringan saluran terbuka harus pula memperhitungkan debit yang masuk dengan kecepatan pengaliran yang dikehendaki. Untuk tanah lepas (debris) saluran terbuka harus diberi pipa untuk menjamin pengaliran air tidak tersendat.

4.5.2.1.2 Menutup Retakan/Retakan

Penutupan retakan dapat memperbaiki kondisi pengaliran air permukaan lereng. Retakan dapat ditutup dengan tanah lempung, aspal atau semen yang disesuaikan dengan jenis tanahnya. Penutupan retakan akan mencegah masuknya air permukaan, sehingga tidak akan

menimbulkan naiknya tekanan hidrostatis atau lembeknya massa tanah sehingga bergerak (Gambar 4- 14. b).

4.5.2.1.3 Perbaikan Permukaan Lereng (regrading).

Perbaikan permukaan lereng dapat dilakukan dengan meratakan permukaannya (adanya tonjolan, cekungan) sehingga dapat mempercepat aliran limpasan (run-off) dan memperkecil rembesan air (Gambar 4- 14. c).

4.5.2.1.4 Menanam Tumbuhan atau Bio Engineering

Penanaman tumbuhan atau Bio Engineering dimaksudkan untuk mencegah erosi tanah permukaan, mengurangi peresapan air permukaan dan pengaruh cuaca. Penanaman tumbuhan yang dilakukan antara lain dengan penaburan biji rerumputan atau lempengan rumput. Untuk mempercepat air limpasan permukaan, lereng dapat juga disemprot aspal atau beton semprot (Gambar 4- 14. d).

1) Penyediaan Bibit Tanaman

Perlu diketahui bahwa tidak semua tanaman cocok untuk digunakan sebagai tanaman pelindung longsor sehingga diperlukan bibit tanaman yang sesuai. Hal itu disebabkan jenis tanaman di suatu tempat dapat tumbuh karena harus ada kesesuaian dengan kondisi geografi, tanah, iklim, dinamik aliran air, temperatur, penyinaran matahari, dan sebagainya.

Selain kondisi tersebut pemilihan bibit tanaman sebaiknya mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

- Pohon yang mudah diperoleh di daerah sekitar.
- Pohon yang memberikan manfaat bagi masyarakat terutama memberikan hasil panen yang berkelanjutan tanpa menebang tanaman (bukan bibit pohon siap tebang).
- Pohon yang bisa hidup berdampingan dengan pohon lain.
- Pohon yang mempunyai akar tanaman yang efektif untuk menahan longsor (mempunyai perakaran dalam), menarik dan menahan air.
- Pohon yang tumbuh tidak mudah terbakar/mati dimusimkering.
- Pohon yang kuat dan ringan untuk menahan angin kencang/badai.

- Pohon yang tumbuh dengan cepat dan produktif untuk setiap hektarnya.
- Penyediaan bibit tidak 100% monokultur (untuk sistem penanaman tumpangsari, paling tidak ada 10-20% jalur permanen tegakan pohon lindung).

2) Metode Eko-engineering dan Bio-engineering

Konstruksi pasangan batu, umumnya hanya berumur lima tahunan dan kemudian harus diperbaiki kembali. Di-samping itu, bangunan semacam itu secara langsung akan memperpendek alur air permukaan, mempercepat aliran ke kaki bukit. Yang perlu diperhatikan adalah teknologi dengan pemeliharaan minimal dan dapat menangani longsor maksimal serta tidak mengganggu ekosistem yaitu Metode Eko-engineering atau Bio-engineering dimaksudkan adalah disamping relatif murah, mudah dikerjakan, dan terjamin keberlanjutannya. Metode ini pada dasarnya dapat dilakukan hanya dengan tanaman tertentu yang cocok pada lereng / tebing yang rawan longsor. Dengan tanaman tersebut, longsor tebing dapat diperbaiki kembali dan dicegah secara berkelanjutan.

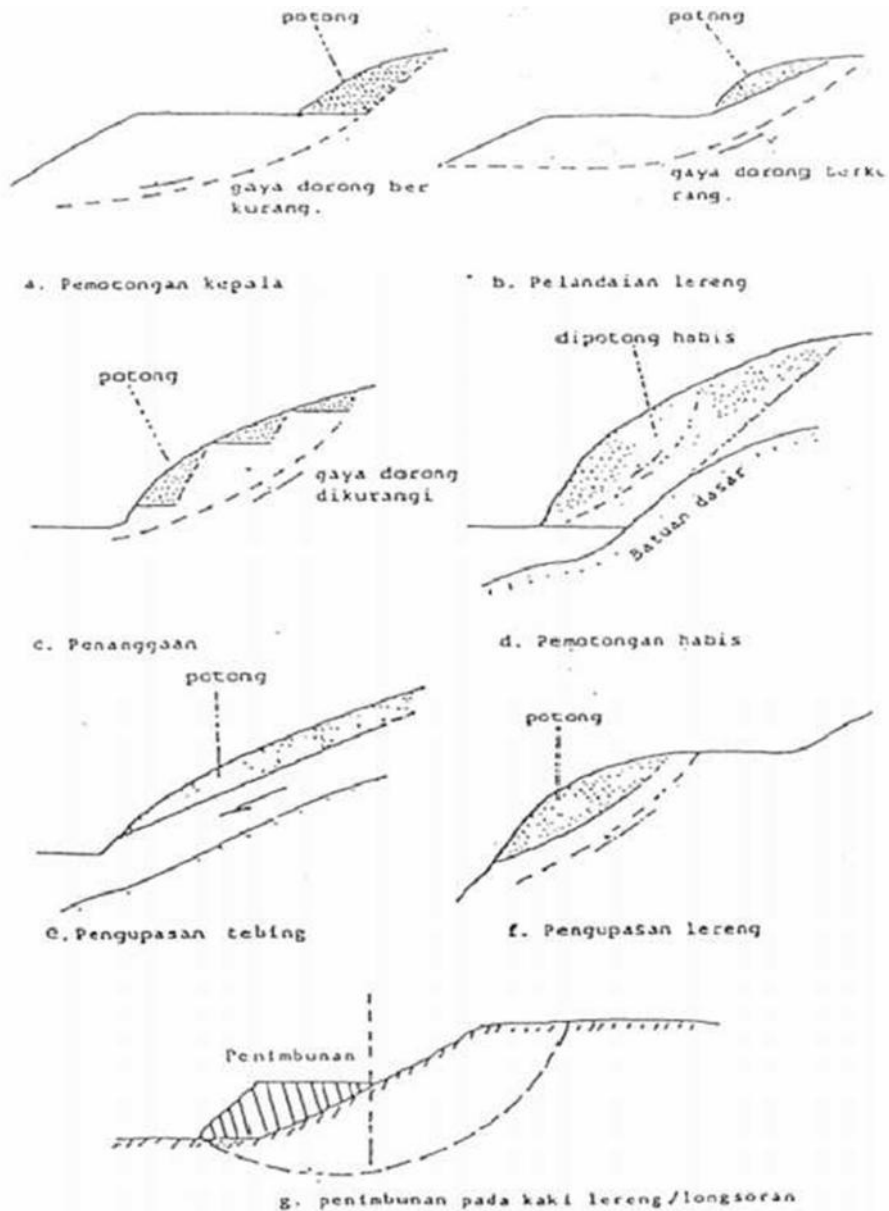
.5.2.1.5 Metode Penanggulangan Longsor dengan Bio Engineering

Metode penanggulangan longsor tebing dengan metode eko/bio engineering yang bisa digunakan:

- 1) Batang pohon yang tak teratur yang diambil dari daerah sekitar dan belum dipotongi dahan dan rantingnya dapat dipasang pada bagian yang rawan longsor. Di daerah pegunungan dapat dipakai pohon cemara. Bagian bawah (akarnya) diletakkan bersilangan dengan rantingnya, diikat dan dipatok di sepanjang kaki tebing yang rawan longsor. Untuk dataran rendah dapat digunakan pohon-pohon atau bambu. Pada longsor yang panjang dapat digunakan sejumlah batang pohon yang dipasang memanjang.
- 2) Ikatan akar, batang dan ranting pohon ditahan batu dan tanah di dalamnya; Fungsi batu dan tanah ini adalah sebagai alat pemberat sehingga ikatan tidak terbawa aliran air permukaan (run off). Di samping itu mempermudah tumbuhnya batang dan ranting.
- 3) Pagar datar; pagar ini dapat dibuat dengan bambu atau batang atau ranting pohon yang ada di sekitar tebing. Penancapan pilar pagar sekitar 50 cm dan jarak pilar antara 50-80 cm. Pagar dipasang di kaki tebing dan paling tepat dilakukan sebelum musim hujan. Namun, dalam waktu berapa bulan tanaman di belakang pagar sudah bisa tumbuh, tergantung jenis tanaman setempat yang dipilih.

4) Selain itu, dapat dibuat pagar penutup tebing untuk menanggulangi erosi, yang dibuat dari berbagai macam bahan, misalnya dari alang-alang, mantang-matangan, jerami kering, rumput gajah kering, daun kelapa, dan lain-lain. Di bagian bawah dipasang ikatan batang pohon untuk penahan dan di antaranya bisa ditanami dengan vegetasi yang sesuai dengan lokasi tersebut.

5) Tebing-tebing yang tanamannya tererosi atau dihilangkan, sebaiknya sesegera mungkin ditanami. Jenis tanaman dapat dipilih dari lokasi setempat.



Gambar 43. Penanganan Lereng terhadap Longsor dengan Galian / Timbunan

4.5.3 Rekayasa Lereng dengan Tindakan Vegetatif menjaga Konservasi Tanah

Banyak kejadian longsor lahan akhir-akhir ini menunjukkan kenyataan bahwa longsor lahan tidak hanya terjadi pada kawasan yang gundul akan tetapi juga melanda pada kawasan- kawasan yang juga tertutup oleh vegetasi dengan “sangat baik”. Dengan fenomena ini menyadarkan kita semua bahwa kita perlu mengenali faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya longsor, seperti kondisi lahan yang sangat erat kaitannya dengan curah hujan, aliran air dan tingkat kekompakan dan kekuatan tanah/batuan penyusun lereng.

Disamping itu karakteristik properties tanah dan batuan sangat mempengaruhi dengan level tertentu. Oleh karena itu, tingkat stabilitas lereng, terlebih bila sudah mengalami derajad pelapukan akan berkurang secara signifikan. Usaha dengan melakukan penanaman hutan kembali (reboisasi) atau penghijauan perlu memperhatikan iklim, mekanik dan kimia tanah, geologi, geomorfologi dan geohidrologi untuk mengenali perilaku run-off dan rembesan (permeabilitas tanah).

Dengan informasi ini, maka dapat dilakukan usaha pencegahan lereng dari bahaya longsor atau memperbaiki longsor yang telah terjadi dengan usaha-usaha antara lain :

- 1) Menghindari atau mengurangi penebangan pohon yang tidak terkendali dan tidak terencana (over cutting, penebangan cuci mangkuk, dan penjarahan).
- 2) Penanaman vegetasi tanaman keras yang ringan dengan perakaran intensif dan dalam bagi kawasan yang curam dan menumpang di atas lapisan impermeabel.
- 3) Mengembangkan usaha tani ramah longsor lahan seperti penanaman Hijauan Makanan Ternak (HMT) melalui sistem panen pangkas.
- 4) Mengurangi beban mekanik pohon-pohon yang besar-besar yang berakar dangkal dari kawasan yang curam dan menumpang di atas lapisan impermeabel.

4.5.3.1 Pemilihan Jenis Tanaman Keras

Pada prinsipnya, pemilihan jenis tanaman untuk pencegahan longsor menjadi kunci penting dalam keberhasilan pencegahan longsor lahan menggunakan teknik

vegetatif. Longsor lahan yang salah satu unsur utamanya disebabkan oleh labilnya lapisan tanah harus dapat diantisipasi dengan pemilihan jenis tanaman yang memiliki perakaran yang mampu menahan kestabilan lapisan tanah yaitu jenis yang memiliki perakaran dalam dan akar serabut yang banyak. Kondisi perakaran memiliki peran dalam menahan lapisan tanah, oleh karena itu semakin banyak akar cabangnya, maka semakin kuat tanaman tersebut menahan (mencengkeram) tanah sehingga kestabilan tanah akan meningkat.

4.5.3.2 Tanaman ditinjau dari Kerapatan Tajuk

Komponen lain pada tanaman yang juga memiliki peran dalam pencegahan longsor adalah kerapatan tajuk pohon. Kerapatan tajuk pohon dikelompokkan berdasarkan prosentase cahaya matahari yang tertahan oleh tajuk dengan pembagian sebagai berikut :

- 1) Kerapatan tajuk < 25% = Tajuk ringan
- 2) Kerapatan tajuk 25 - 75% = Tajuk sedang
- 3) Kerapatan tajuk > 75% = Tajuk berat

Semakin tinggi / berat kerapatan tajuk, hal ini berarti kemampuan tajuk untuk menangkap air hujan dalam bentuk air intersepsi juga semakin besar. Dalam pencegahan longsor, intersepsi yang besar akan mampu mengurangi besarnya hujan yang sampai pada permukaan tanah dan mampu menunda waktu yang dibutuhkan hujan untuk sampai ke permukaan tanah (time lag). Akan tetapi disisi yang lain, semakin rapat tajuk hutan, makin besar intersepsi, akan makin menambah beban mekanik tanah oleh berat air yang tertangkap di tajuk.

Beban mekanik tanah yang tinggi juga berpotensi menyebabkan longsor karena kemampuan tanah untuk menerima beban berat dari adanya vegetasi juga terbatas. Beban mekanik yang melebihi batas kemampuan tanah mempertahankan posisinya akan mempercepat terjadinya longsor lahan terutama jika dipicu oleh kelerengan yang tinggi dan intensitas hujan yang tinggi dan dalam waktu yang lama.

Dengan kelebihan dan kekurangan peran vegetasi dalam pengendalian longsor lahan, maka pemilihan jenis vegetasi menjadi kunci penting keberhasilan pengurangan resiko longsor lahan menggunakan metode vegetatif. Beberapa jenis tanaman keras yang dapat direkomendasikan untuk melindungi lereng berpotensi

longsor atau rehabilitasi lahan yang telah mengalami longsor lahan disajikan pada tabel Tabel 4- 2 yang disesuaikan dengan kemiringan lereng.

Catatan Penting: Tabel 4- 2, hanya membagi jenis tanaman berdasarkan kerapatan tajuk dan perakaran cabangnya. Apabila jenis-jenis tersebut akan diimplementasikan di lapangan, WAJIB untuk memperhatikan faktor-faktor lain seperti kesesuaian iklim, ketinggian tempat, jenis tanah, ketebalan tanah, karakteristik hujan dan keinginan jenis dari masyarakat. Sementara itu untuk jenis-jenis tanaman produktif yang memiliki akar tunggang dalam dan dapat dipergunakan untuk kegiatan rehabilitasi lahan rawan longsor diantaranya adalah :

- 1) Alpukat (*Persea americana*),
- 2) Aren (*Arenga pinnata*),
- 3) Bambu (*Bambusa spp.*),
- 4) Cempedak (*Artocarpus champeden*),
- 5) Cengkeh (*Syzygium aromaticum*),
- 6) Jambu Mete (*Anacardium occidentale*),
- 7) Jengkol (*Pithecollobium jiringa*),
- 8) Kenanga (*Cananga odorata*),
- 9) Kayu Manis (*Cinnamomum burmani*),
- 10) Lengkek (*Euphoria longana*),
- 11) Mangga (*Mangifera indica*),
- 12) Nangka (*Artocarpus heterophylla*),
- 13) Petai (*Parkia speciosa*),
- 14) Rambutan (*Nephelium lappaceum*),
- 15) Sukun (*Artocarpus communis*),
- 16) Mimba (*Azadirachta indica*),
- 17) Asam (*Tamarindus indica*)

Tabel 4. Karakteristik Tajuk dan Perakaran Vegetasi untuk Pengendalian Longsor, Sumber: Strategy of Vegetative Selection for Landslide Hazard Reduction oleh Hatma Suryatmojo

No	Jenis	Kerapatan Tajuk	Akar Cabang Tunggal dan Serabut
Lahan lereng dengan kemiringan < 25°			
1	Tamarindus indicus (asamjawa)	Ringan	Sedikit
2	Acacia leucophloea (pilang)	Ringan	Sedikit
3	Tectonagrandis (jati)	Sedang	Sedikit
4	Pterocarpus indicus (sono kembang)	Sedang	Sedikit
5	Dalbergia sissooides (sono brits)	Sedang	Sedikit
6	Dalbergia latifolia (sono keliang)	Sedang	Sedikit
7	Dalbergia siso (sono siso)	Sedang	Sedikit
8	Cassia fistula (trengguli)	Sedang	Sedikit
9	Bauhiniahirsula (tayuman)	Sedang	Sedikit
Lahan lereng dengan kemiringan 25 - 40°			
1	Homaliumtomentosum(dlingsem)	Ringan	Banyak
2	Meliaazedarach (mindil)	Ringan	Banyak
3	Acacia villosa	Ringan	Banyak
4	Eucalyptus alba	Ringan	Banyak
5	Leucaena glauca (lamtoro sabrang)	Ringan	Banyak
6	Swietenia macrophylla (mahoni daunbesar)	Berat	Sedikit
7	Gluta renghas (renghas)	Berat	Sedikit
8	Schleicheraoleosa (kesambi)	Berat	Sedikit
Lahan lereng dengan kemiringan > 40°			
1	Vitex pubescens (laban)	Sedang	Banyak
2	Lagerstroemia speciosa (bungur)	Sedang	Banyak
3	Cassia siamea (johar)	Berat	Banyak
4	Aleurites moluccana (kemiri)	Berat	Banyak

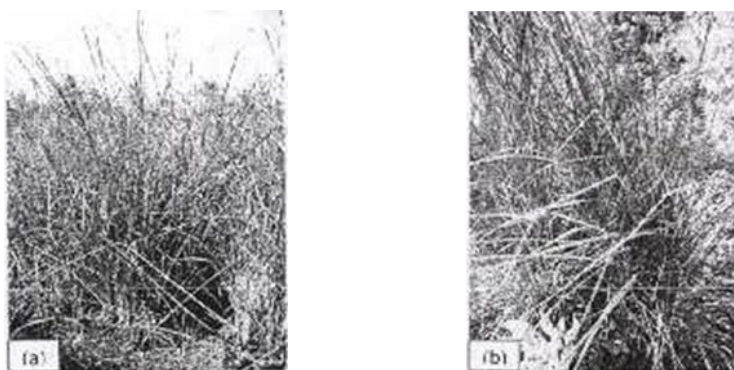
4.5.3.3 Penerapan dengan Rumput Vetiver

Rumput Vetiver adalah tanaman jenis rumput-rumputan berukuran besar yang dikenal istilah Indonesia dengan sebutan akar wangi atau akar sereh. Dalam beberapa bahasa daerah seperti bahasa Jawa disebut Lorosetu; Hapias (Batak); Narawastu, Usar (Sunda); Karabitsu (Madura); Arek Usa (Minang Kabau); Tahele (Gorontalo); Useur (Gayo).

Akar rumput vetiver mampu tumbuh dengan baik bahkan pada jenis tanah yang keras sekalipun. Di tanah berlereng dan memiliki lapisan tanah keras, perakaran ini mampu menembus hingga ke dalamnya sehingga berfungsi sebagai paku atau angkur yang lebih memperkuat kedudukan lereng dan mencegah erosi tanah.

Rumput Vetiver termasuk dalam keluarga Poaceae yang terdiri dari 2 (dua) jenis atau species yaitu:

- a) VETIVERIA ZIZANIOIDES, akarnya panjang, tumbuh ke bawah dan menyatu.
- b) VETIVERIA NEMORALIS, akarnya pendek, tumbuh ke samping dan menyebar (sejenis rumput ilalang atau rumput gajah); tidak disarankan penggunaannya.



Gambar 44. Rumput *Vetiveria Zizanioides* (a) dan Rumput *Vetiveria Nemoralis* (b)

4.5.3.4 Ciri-Ciri Rumput VETIVERIA ZIZANIOIDES

Adapun ciri-ciri dari rumput Vetiver jenis VETIVERIA ZIZANIOIDES, akarnya panjang, tumbuh ke bawah dan menyatu adalah sebagai berikut:

- Daunnya kaku, berbentuk panjang dan sempit,

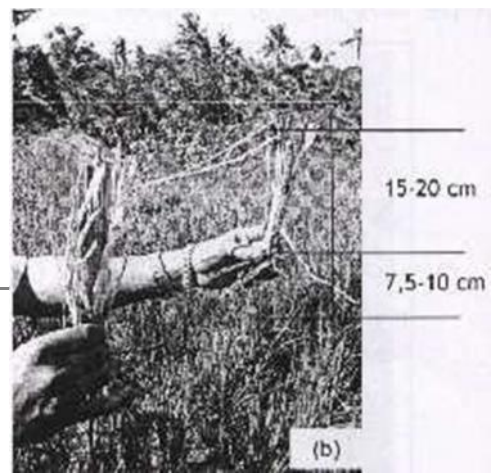
Diklat Penanganan Longor pada Struktur Jalan

- Lebar daun tidak lebih dari 8 mm,
- Tumbuh tegak dengan tinggi 1,5 hingga 2,5 meter,
- Terbentuk rumpun-rumpun besar,
- Memiliki akar yang panjangnya bisa mencapai lebih dari 3 meter,
- Permukaan daun licin, tidak berbulu,
- Bila diraba kearah bawah batangnya tegak dan kuat,
- Kuat dan tahan segala cuaca, dapat bertahan hidup dalam musim kemarau yang berkepanjangan dan dalam rendaman air,
- Dapat tumbuh di daerah dengan kisaran curah hujan yang cukup luas yakni 200-5000 mm setiap tahun,
- Tidak terpengaruh oleh temperatur dingin sampai minus 90 C, suhu yang dikehendaki 17- 270 C, tetapi masih dapat bertahan hidup hingga 550 C,
- Bisa tumbuh di tanah jenis apapun tanpa memandang tingkat kesuburan,
- Tidak tumbuh menyebar di luar habitatnya aslinya di rawa-rawa,
- Jarak ambang batas tingkat derajat keasaman (pH) sangat lebar,
- Perkembang biaknya dengan pemisahan akar atau anakan,
- Berkembang biak dengan cepat.

4.5.3.5 Pemilihan Bibit Rumput (Slip)

Sebelum ditanam ke tempat yang permanent (lokasi yang telah ditentukan), bibit rumput (slip) yang telah disiapkan harus terlebih dahulu dipotong dengan tinggi daun kira-kira 15-20 cm dan akar 7,5-10 cm (Gambar 2a). Hal ini dilakukan dengan maksud untuk merangsang pertumbuhan akar atau dengan cara anakan (Gambar 2b)

Diklat Penanganan Longor pada Struktur Jalan



sebelum dimasukkan ke dalam lubang penanaman. Banyaknya anakan untuk 1 (satu lubang) antara 2-3 slip anakan.



Gambar 45. Pemotongan Rumput Vetiver (a) dan Pemisahan Bibit (b)

4.5.3.6 Penanaman

Sebelum melakukan penanaman rumput vetiver, terlebih dahulu lahan yang akan ditanami harus dibersihkan dari tanaman liar seperti ilalang dan gulma. Lahan yang bersih dari tanaman liar akan memberikan kesempatan kepada rumput vetiver untuk tumbuh tanpa bersaing dengan tanaman lainnya. Untuk tanaman keras yang ada di lapangan seperti pohon kelapa, rambutan, mahoni, dan sejenisnya tidak perlu dibersihkan atau ditebang karena tidak mengganggu pertumbuhan rumput vetiver.

Pembentukan lereng jalan untuk jalan baru perlu dilakukan dimulai dari bagian atas lereng hingga ke bawah sesuai dengan yang diisyaratkan sedang untuk jalan lama penanaman disesuaikan dengan kondisi lereng yang sudah ada. Dengan demikian penanaman rumput Vetiver dilakukan dengan pola tanaman baris dengan memperhatikan beberapa hal antara lain:

- Buatlah lubang dengan diameter minimum 10 cm dan kedalaman minimum 10-15 cm, dengan jarak masing-masing:
- Jaran Lubang untuk penyemaian bibit rumput
- o Jarak sejajar antar bibit 15-20 cm

- o Jarak melintang antar bibit 30-40 cm, sedangkan pada kondisi kemiringan lahan tertentu, jarak melintang disesuaikan dengan Jarak Garis Tegak (Vertikal Interval) sesuai dengan gambar rencana.
- Lubang yang digali sebaiknya disiram dengan air bersih agar tanahnya menjadi lembab.

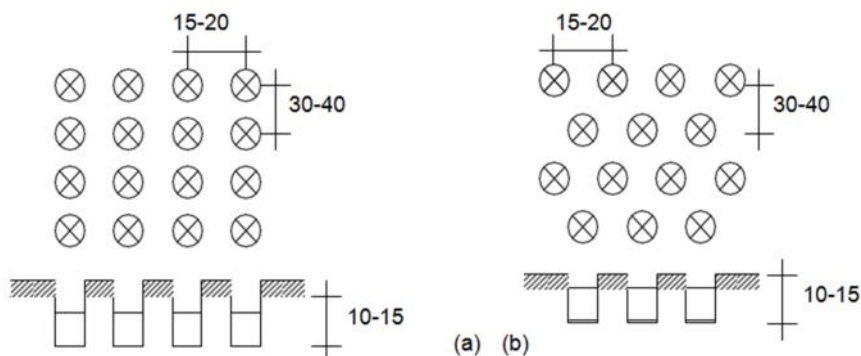


Gambar 46. Pemotongan Plastik Polibag Secara Memanjang dari Atas ke Bawah

4.5.3.7 Proses Penanaman

Proses penanaman dilakukan sebagai berikut:

- 1) Sobeklah plastik polybag secara memanjang dari atas ke bawah. Hal ini dilakukan dengan maksud agar akar bibit vetiver tidak rusak atau terpotong.
- 2) Bibit vetiver dimasukkan ke dalam lubang yang telah digali, kemudian diisi/ditutupi dengan campuran tanah dan pupuk organik dengan perbandingan 3:1, kemudian tanah dan pupuk organik tersebut dipadatkan. Perlu diperhatikan agar akarnya tidak terlipat atau menghadap ke atas, yang dapat menghambat pertumbuhan rumput.
- 3) Pola penanaman untuk pembibitan dapat dilakukan dengan metode tidak sejajar (ziqzaq). Namun untuk tujuan penahan erosi dilakukan dengan penanaman metode tidak sejajar (ziqzaq), seperti diperlihatkan pada Gambar 47.



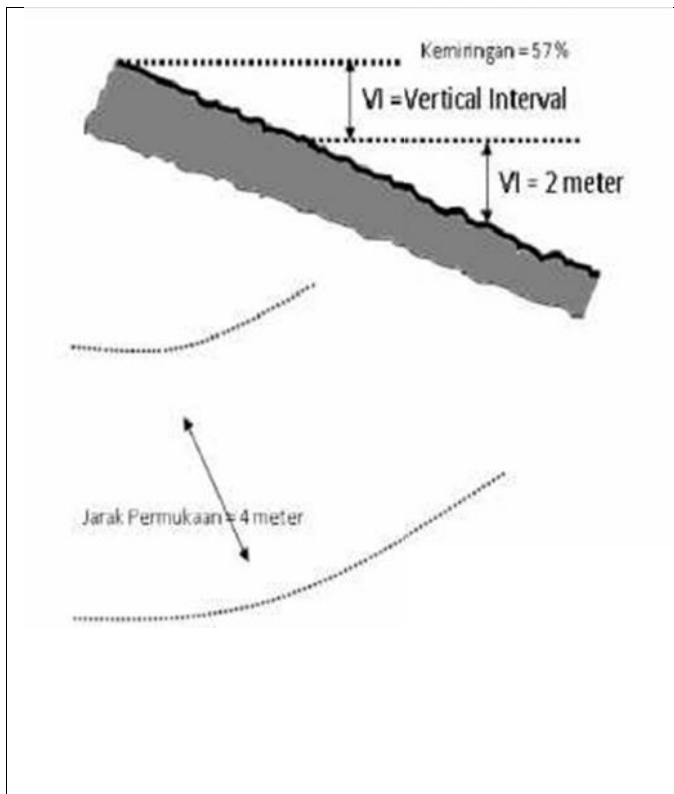
Gambar 47. Pola Penanaman Rumput Vetiver

4.5.3.8 Hal yang perlu diperhatikan saat penanaman Rumput Vetiver

- o Untuk meningkatkan keberhasilan, penanaman pada lereng yang terjal hingga kemiringan 90 derajat, dilakukan dengan penambahan batang bambu sebagai penahan bibit tanaman.
- o Penanaman bibit dianjurkan dilakukan sore hari menjelang matahari terbenam, untuk mengurangi terjadinya proses penguapan air dari dalam tanah maupun dari rumput yang baru disiram setelah penanaman.
- o Penanaman yang baik dilakukan saat musim penghujan. Jika penanaman dilakukan pada musim kemarau, harus dilakukan penyiraman 3 kali sehari (pagi, sore, malam) sejak bibit ditanam (minimum untuk 3 bulan pertama sejak ditanam).
- o Pada daerah-daerah tertentu yang banyak ternak masyarakat berkeliaran dengan bebas, agar diberi pagar pengaman untuk menghindari bibit tanaman dimakan atau diinjak ternak. Walaupun pada kenyataannya beberapa ternak kurang suka makan rumput vetiver.

Agar rumput vetiver dapat memberikan perlindungan yang maksimal menahan erosi, barisan pagar rumput harus diatur dengan “Jarak Garis Tegak” (VI atau Vertical Interval) yang tepat. Jarak Garis Tegak adalah Jarak Tegak Lurus kemiringan dari barisan pagar yang satu dengan barisan yang berikutnya sepanjang turun naiknya lereng. Jarak sesungguhnya apabila diukur pada permukaan tanah yang digarap, disebut dengan “Jarak Permukaan” (surface run), sangat bervariasi tergantung kemiringan lereng. Lihat Gambar 48 dan Tabel.1, untuk mendapatkan pemahaman

yang lebih baik mengenai hubungan antara kemiringan lahan, jarak permukaan dan jarak garis tegak.



Misalnya :

Jarak Garis Tegak = 2 meter dengan kemiringan 57 persen.

Maka :

Seharusnya Jarak Permukaan antara barisan pagar adalah :
 = Jarak Garis Tegak x kemiringan
 = 2 x nilai persentase kemiringan 57 persen
 = 2 x 2
 = 4,0 meter

Jadi permukaan antara barisan pagar rumput vetiver yang ditanampada lahan dengan kemiringan 57 persen dan jarak garis tegak 2 meter adalah berkisar 4 meter.

Gambar 48. Hubungan antara Kemiringan Lahan, Jarak Permukaan dan Jarak Garis Tegak (Vertical Interval)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan menurut Sumber: Rumput Vetiver Pagar Hidup Penahan Erosi (2000), maka Kemiringan lereng berpengaruh terhadap Jarak Permukaan dan Jarak Garis Tegaknya dan kondisi ini diterapkan dengan catatan perlu media penanaman karena jenis tanah tidak selalu sama.

Tabel 5. Kemiringan, Jarak Permukaan dan Jarak Garis Tegak*)

Kemiringan		Gradien	Jarak Permukaan (a) (meter)	Kemiringan		Gradien	Jarak Permukaan (a) (meter)
Derajat	Persen			Derajat	Persen		
1	1.7	1" 57.3	57.3	24	44.5	1" 2.3	2.5
2	3.5	1" 28.6	28.7	25	46.6	1" 2.1	2.4
3	5.3	1" 19.1	19.1	26	48.8	1" 2.0	2.3
4	7.0	1" 14.3	14.3	27	51.0	1" 2.0	2.2

5	8.8	1" 11.4	11.5	28	53.2	1" 1.9	2.1
6	10.5	1" 9.5	9.6	29	55.4	1" 1.8	2.1
7	12.3	1" 8.1	8.2	30	57.7	1" 1.7	2.0
8	14.0	1" 7.1	7.2	31	60.1	1" 1.7	2.0
9	16.0	1" 6.3	6.4	32	62.5	1" 1.6	1.9
10	17.6	1" 5.7	5.8	33	65.0	1" 1.5	1.8
11	19.4	1" 5.1	5.2	34	67.5	1" 1.5	1.8
12	21.3	1" 4.7	4.8	35	70.0	1" 1.4	1.7
13	23.1	1" 4.3	4.5	36	72.7	1" 1.4	1.7
14	25.0	1" 4.0	4.1	37	75.4	1" 1.3	1.7
15	27.0	1" 3.7	4.0	38	78.1	1" 1.3	1.6
16	28.7	1" 3.5	3.6	39	80.1	1" 1.2	1.6
17	30.6	1" 3.3	3.4	40	84.0	1" 1.2	1.6
18	32.5	1" 3.1	3.2	41	87.0	1" 1.2	1.5
19	34.4	1" 3.0	3.1	42	90.0	1" 1.1	1.5
20	36.4	1" 2.8	3.0	43	93.0	1" 1.1	1.5
21	38.4	1" 2.6	2.8	44	96.6	1" 1.0	1.4
22	40.4	1" 2.5	2.7	45	100.0	1" 1.0	1.4
23	42.5	1" 2.4	2.6				

Keterangan *) Sumber : Rumpun Vetiver Pagar Hidup Penahan Erosi

4.5.3.9 Pemupukan

Pemupukan diutamakan dilakukan pada masa penanaman pertama kali, sementara untuk pemupukan setelah masa penanaman bibit rumput, hanya dilakukan sesuai kebutuhan. Adapun pupuk organik maupun kimia yang disarankan adalah sebagai berikut :

- Pupuk organik yang dianjurkan dan lebih baik adalah pupuk organik kotoran ayam. Selain pupuk organik kotoran ayam, pupuk organik dari kotoran sapi, dan kotoran kambing juga dapat diberikan.
- Tidak dianjurkan menggunakan pupuk organik dari kotoran babi.

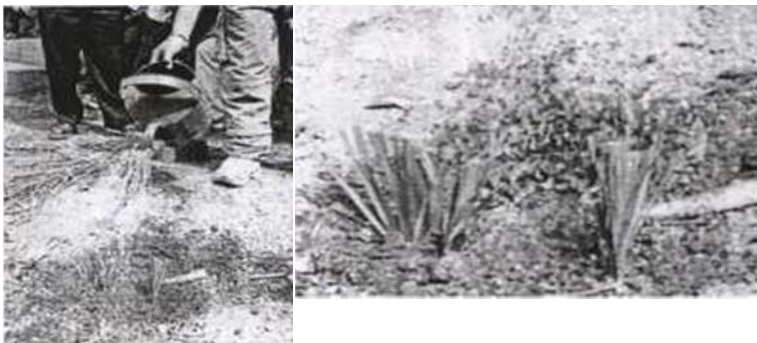
- Pupuk DAP (diamonium phosphate) diberikan dengan menaburkan pupuk di sekitar batang bibit rumput yang ditanam secukupnya (satu genggam/ kira-kira 150 gram).
- Pemupukan dapat dilakukan setiap hari untuk lebih mempercepat pertumbuhan rumput vetiver dengan takaran yang sesuai sekitar rumput vetiver.

4.5.3.10 Pemeliharaan

Pemeliharaan tanaman dilakukan dengan melakukan penyiraman, pendangiran dan pemangkasan. Hal ini penting dilakukan minimal 3 bulan pertama sejak penanaman bibit.

4.5.3.10.1 Penyiraman

Penyiraman dilakukan sejak awal penanaman bibit, minimal sehari sekali pada sore hari setelah pukul 16.00. Pada musim kemarau penyiraman dilakukan pagi sebelum jam 10.00 dan sore hari setelah jam 16.00 (saat sinar matahari sudah tidak terik/panas lagi). Penyiraman dilakukan dengan mencurahkan air atau menyemprotkan air hingga daun dan batang basah dan diperkirakan meresap ke dalam tanah. Yang diutamakan adalah agar air meresap ke dalam tanah, tidak hanya basah pada daunnya saja. Setelah 3 bulan dari sejak pembibitan, penyiram boleh ditiadakan atau tidak perlu disiram lagi karena akar telah dapat tumbuh dengan sendirinya.



Gambar 49. Penyiraman Rumput Vetiver yang Baru Ditanam

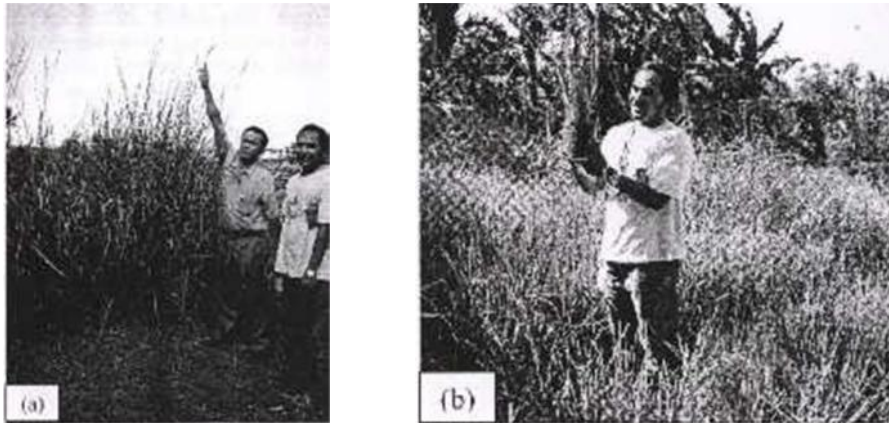
4.5.3.10.2 Pendangiran

Pendangiran atau pembersihan sekitar rumput vetiver dari tanaman rumput liar dilakukan untuk meningkatkan kemurnian pertahanan dan mengurangi tanaman pesaing rumput vetiver seperti rumput liar dan gulma. Pendangiran dapat dilakukan sesering mungkin hingga tidak ada tanaman lain yang tumbuh.

Diklat Penanganan Longor pada Struktur Jalan

4.5.3.10.3 Pemangkasan

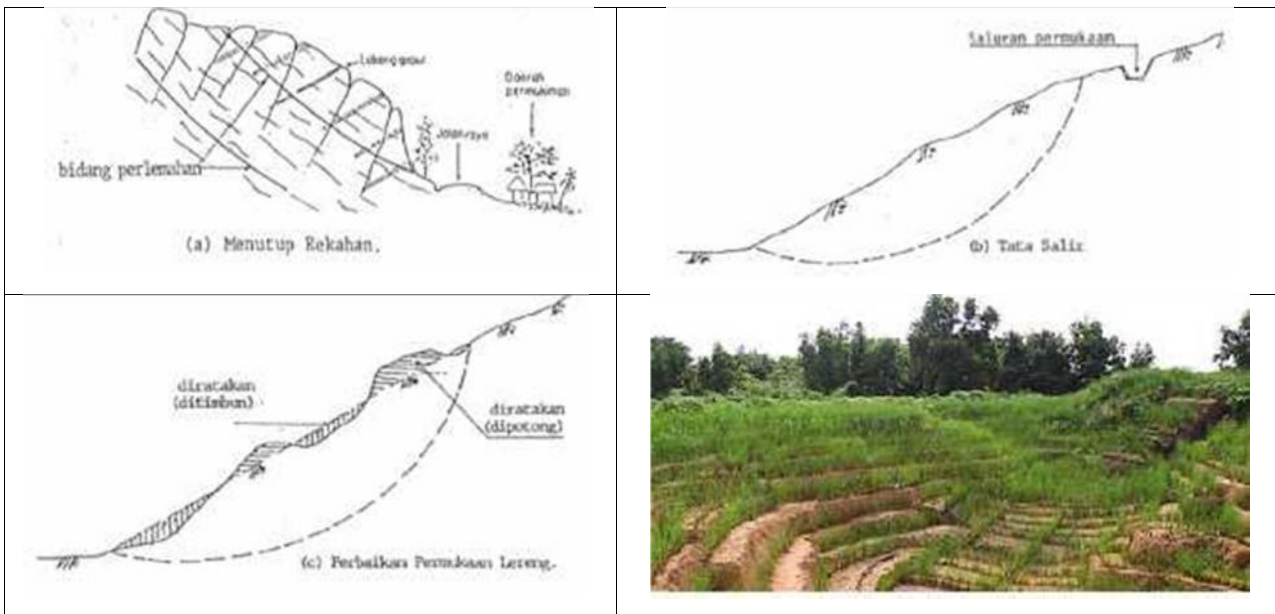
Pemangkasan dapat dilakukan terhadap pertumbuhan daun yang sudah berlebihan, setelah rumput vetiver berumur 6 bulan sejak penanaman. Pemangkasan dilakukan untuk menghambat pertumbuhan daun yang semakin tinggi dan batang semakin besar serta untuk menghindari terjadinya kebakaran saat musim kemarau akibat adanya gesekan antar helai daun yang berpotensi menimbulkan percikan api penyebab kebakaran.



Gambar 50. Rumput Vetiver yang Berumur 6 Bulan sebelum Dipotong (a) dan setelah Dipotong (b)

Catatan hasil pengamatan rumput vertiver:

- Pada umur 6 bulan, rumput vetiver dapat mencapai tinggi 2 meter (Gambar 7).
- Pemangkasan dapat dilakukan dengan memotong batang atau daun rumput vetiver setinggi 30-40 cm yang diukur dari muka tanah, dengan maksud menstimulir (merangsang) tumbuhnya tunas yang baru.
- Dengan pemangkasan rumput vetiver menjadi bebas atau tidak terhalangi mendapatkan sinar matahari, karena pertumbuhannya akan lambat jika kurang mendapatkan sinar matahari minimal 4 jam sehari.



Gambar 51. Pengendalian Air Permukaan

4.5.4 Mengendalikan Air Bawah Permukaan (Rembesan).

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

1) Sumur Dalam.

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

2) Penyalir Tegak (Saluran Tegak).

Metoda ini dilakukan dengan mengalirkan air tanah sementara kelapisan lulus air dibawahnya, sehingga dapat menurunkan tekanan hidrostatik. Efektifitas metoda ini tergantung dari kondisi air tanah dan per lapisannya.

3) Penyalir Mendatar / Saluran Mendatar.

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

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

4) Pelantar

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

5) Sumur Pelega.

Umumnya sumur pelega efektif untuk menanggulangi longsor berukuran kecil yang disebabkan oleh rembesan. Dibuat dengan menggali bagian kaki longsor akan tetapi galian ini harus segera diisi dengan batu, hal ini untuk menjaga agar tidak kehilangan gaya penahan yang dapat mengakibatkan terjadinya longsor lebih besar.

6) Penyalir Parit Pencegat (Saluran Pemootong).

Penyalir parit pencegat dibuat untuk memotong aliran air tanah yang masuk ke daerah longsor. Parit ini digali di bagian atas mahkota sampai ke lapisan yang kedap air, sehingga air tanah terpotong oleh parit tersebut.

Pada dasar galian dipasang pipa dengan dinding berlubang untuk mengalirkan air tanah. Pipa ini kemudian ditimbun dengan material yang dapat berfungsi sebagai penyalir (filter). Cara ini dapat digunakan bila kedalaman lapisan kedap tidak lebih 3 - 5 meter. Efektifitas cara ini tergantung dari kondisi air tanah dan perlapisannya.

7) Penyalir Liput

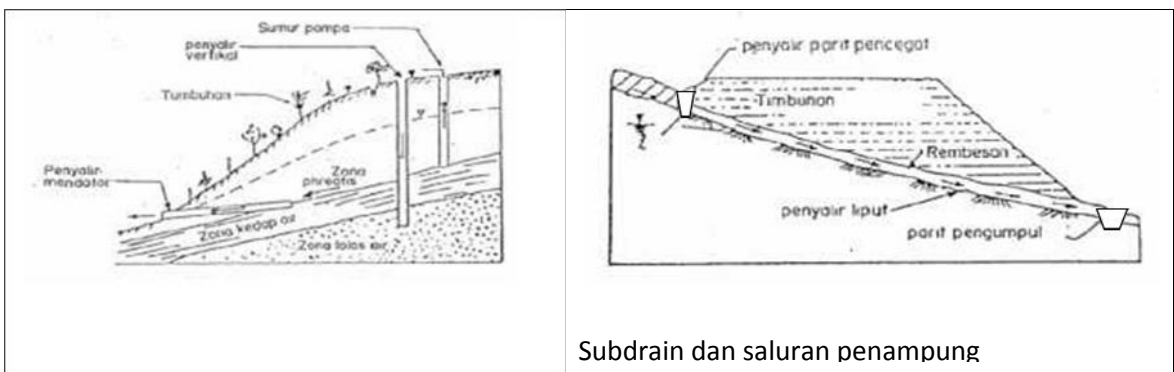
Penyalir liput dipasang diantara lereng alam dan timbunan yang sebaiknya dilakukan pengupasan pada lereng alam sampai mencapai tanah keras, sebelum penyalir liput dipasang penyalir yang terdiri dari material berbutir ini dihamparkan menutupi seluruh lereng alam yang akan ditimbun. Air yang mengalir melalui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

8) Elektro Osmosis

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

4.5.5 Metode Lainnya

air dan tekanan air pori sehingga meningkatkan kemantapan. Macam-macam cara penanganan lereng dari bahaya longsor adalah dengan mengendalikan air rembesan dapat dilihat pada Gambar 52 yang menggambarkan dengan sumur pompa yang dikombinasikan dengan horizontal drain dan penerapan subdrain atau saluran pematas untuk menurunkan muka air tanah dan mengalirkan dibawah timbunan serta saluran kolektornya.



Gambar 52. Cara-cara Pengendalian Air Rembesan

Rangkuman

Kriteria penanganan longsoran pada suatu lereng perlu dilakukan dengan mengamati pergerakan dan kegempaan serta potensi penerapan teknologi penanganannya sebelum menentukan tipe penanganan yang sesuai serta merekayasa dengan penggunaan metode lainnya.

Latihan

Uraikan pemilihan metode penanganan longsoran rekayasa lereng yang dapat dilakukan!

5

KEGIATAN BELAJAR 4 PERBAIKAN DAN PEMELIHARAAN LERENG

Indikator Keberhasilan :

Setelah mengikuti pembelajaran ini peserta mampu memahami pengertian dan ruang Lingkup Perbaikan Dan Pemeliharaan Lereng yang dalam suatu ruas jalan yang potensi atau sudah mengalami longsor serta telah dilakukan penanganan.

5.1 Permasalahan Longsoran Jalan akibat Abrasi

Kejadian longsor tergantung dari perubahan lahan seperti pelebaran jalan dan dampak yang diakibatkan adanya perubahan lingkungan seperti adanya peningkatan arus sungai yang membawa berbagai material longsor. Dampak yang diakibatkan terhadap keberadaan jalan dan jembatanakan mengalami abrasi yang diakibatkan oleh penampang basah sungai (tebingnya) mengalami penggerusan dan kejadian ini juga berdampak pada jalan di tepi laut yang juga kemungkinan mengalami keruntuhan lereng akibat oleh abrasi laut. Disamping jenis material yang mempengaruhi abrasi tebing sungai juga faktor kecepatan sungai juga berpengaruh disamping tentunya tingkat ke-gempaa-an disuatu daerah. Sebagai contoh adalah ruas jalan yang mengalami abrasi karena ditikungan yaitu mengalami erosi pada bagian tebing penampang basah sungai nya.



Gambar 53. Kasus Abrasi Sungai yang berdampak pada Hilangnya Sebagian Jalan

Dengan memperhatikan Gambar 53 yang diambil dari salah satu ruas jalan lintas tengah Profinsi Aceh Nangroe Darrusalam di Kalapinang.

Dari hasil pengamatan dan diskusi untuk penanganannya maka dilakukan kajian untuk memperoleh informasi hal-hal yang perlu dilakukan dalam pengadaan data sebagai data primer dalam mengevaluasi penanganannya adalah:

- 1) Aliran sungai yaitu, kecepatan aliran dan material yang dibawa pada saat debit air mengalami kenaikan secara signifikan yang merupakan bagian dari data geo-hidrologi.
- 2) Palung sungai atau bagian yang paling dalam dari sungai dan tikungannya karena pada daerah ini akan terjadi abrasi dan degradasi yang akan berpengaruh pada stabilitas struktur konstruksi jalan dan jembatan (pondasi

Diklat Penanganan Longor pada Struktur Jalan

baik abutmen dan pilar jembatan).

- 3) Batuan dasar yang mendominasi perlapisan dibawah badan jalan sampai dengan sungai dan dapat diamati pada kenampakan batuan yang terdapat dipermukaan dasar sungai terutama pada saat debit aliran berkurang.
- 4) Keberadaan ruas jalan merupakan bagian dari lereng sungai maka perlu dilakukan investigasi baik pengujian lapangan/laboratorium dan pengamatan lapangan terhadap struktur geologi yang berkembang, misalnya mamantau RQD melalui pengamatan scalling atau hasil pemboran inti batuan.
- 5) Data 1 sampai dengan 4 di gambarkan dalam peta morfologi yang potongannya (memanjang dan melintang) mancantumkan informasi stratifikasi lapisan tanah dan batuan yang menyusun keberadaan lereng.
- 6) Data untuk penanganan yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan abrasi sungai ini dilakukan sebagai data primer:
 - a) Data sungai, kecepatan aliran dan peotensi adanya abrasi dengan mengamati perubahan palung sungai yang mengarah ke tepi jalan
 - b) Data yang menginformasikan material yang terbawa oleh air sungai terutama pada saat debit air ekstrim misalnya saat hujan deras.
 - c) Data yang menginformasikan perkembangan penggerusan jalan dari waktu kewaktu serta penaganan yang pernah dilakukan.
 - d) Data material penyusun lereng yang Nampak bilamana akan dilebarkan yaitu dengan melakukan investigasi baik untuk material tanah maupun batuan.

Dengan mempelajari data primer ini maka akan dapat dituangkan penanganan yang ideal dengan mempertimbangkan faktor penyebab seperti adanya: penahan abrasi di tikungan sungai, pemindahan palung sungai akibat degradasi, dan pergeseran jalan kearah *bukit yang* berdasarkan startifikasi lapisan tanah/batuan yang diperoleh dari investigasi geoteknik dan geohidrologi cukup baik dan mempunyai kekuatan yang cukup (Gambar 54 dan Gambar 55).



Gambar 54. Penanganan Abrasi pada Longsor Jalan ditepi Sungai



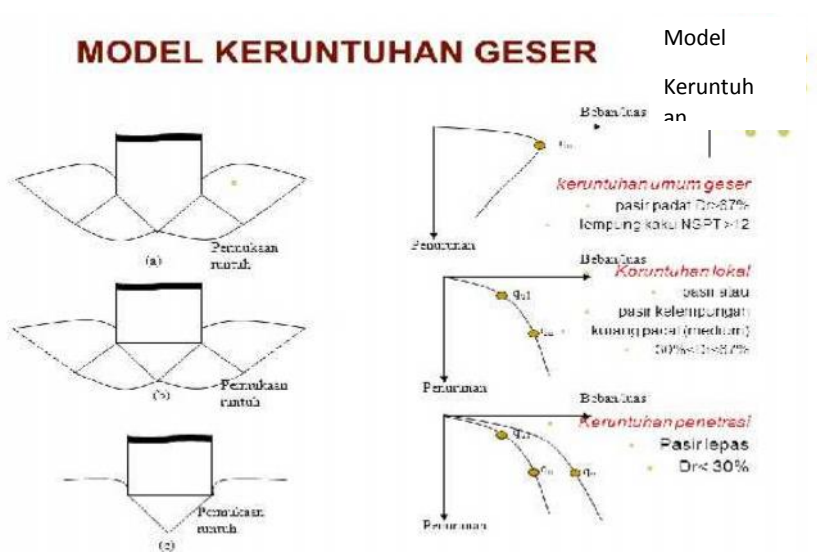
Gambar 55. Penanganan jalan akibat abrasi pada sungai tikungan dengan memindah palung sungai dengan memasang krib dan pelebaran kearah tebing setelah kondisi batuan dasarnya diketahui.

5.2 Permasalahan Longsor Dalam dan Longsor Lereng

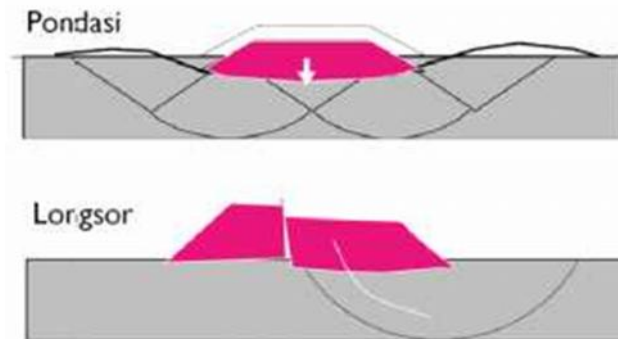
Dalam mengatasi keruntuhan timbunan yang dibangun diatas tanah problematik

khususnya tanah lunak dan tanah gambut serta sebagian tanah ekspansif yang banyak dijumpai di Indonesia disebabkan oleh permasalahan yang diakibatkan oleh keruntuhan geser seperti diperlihatkan pada Gambar 5- 4. Pada Gambar 5- 4 diperlihatkan meskipun timbunan sudah diperhitungkan dengan seksama sehingga mampu untuk mendukung perkerasan jalan tetapi problem penurunan dan berkembang menjadi keruntuhan lereng baik dalam maupun dangkal, dikarenakan keberadaannya diatas tanah problematic menjadi permasalahan yang perlu dicari penyelesaiannya.

Dengan memperhatikan problem yang terjadi adalah adanya penurunan yang besar dan terjadi heaving (penjembulan) tanah disisi kir/kanan timbunan maka dapat diperoleh informasi melalu penyelidikan geoteknik (pemboran dan DCP (sondir)) serta karakteristik properties lapisan stratifikasi tanah/batuan yang mencirikan adanya lapisan tanah problematic. Bilamana konsistensi tanah problematic sangat rendah maka akan terjadi keruntuhan lereng seperti diperlihatkan pada Gambar 5- 6.



Gambar 56. Modus Keruntuhan Geser yang mengakibatkan terjadinya ketidakstabilan Timbunan jalan pada beberapa kondisi lapisan tanah problematic yang terdiri dari lempung dan pasir kelempungan.



Gambar 57. Perkembangan terjadinya Longsor Dalam pada Timbunan diatas Tanah Lunak dengan Konsistensi Rendah

Dengan memperhatikan problem keruntuhan timbunan yang berada diatas tanah problematic (khususnya tanah lunak dan Gambut), maka sketsa beberapa penanganan yang dapat diterapkan untuk mengatasi keruntuhan timbunan pada tanah lunak (Gambar 5- 6) dengan prinsip penanganan yang dapat dilakukan adalah dengan menerapkan beberapa cara sebagai berikut:

- 1) Mengurangi beban timbunan misalnya dengan konstruksi timbunan yang dibuat dari material ringan atau mengganti material timbunan dengan struktur box yang menumpu diatas pondasi tiang.
 - 2) Mempercepat penurunan dengan memasang PVD atau vertika drain dibawah timbunan sehingga waktu konsolidasi dipercepat. Perlu diperhatikan karena penurunan menjadi cepat maka penjembutan samping akan cepat pula, maka perlu diperhitungkan konstruksi penahan gaya lateral.
 - 3) Memperbaiki daya dukung dan dapat dilakukan dengan memperbaiki lapisan
- Diklat Penanganan Longor pada Struktur Jalan*

tanah dasar yang berupa lapisan tanah lunak, menyalurkan beban ke pondasi tiang (pile embankment) dan mengganti struktur timbunan dengan pile slab walaupun relatif menjadimahal.

Hal lain adalah pada konstruksi timbunan yang dibangun diatas tanah ekspansif, maka perlu memperhatikan nilai ekspansifitas atau nilai aktifitas tanah ekspansif tersebut karena beberapa kenadala yang diakibatkan dari dampak yang diakibatkan oleh permasalahan sifat kembang susutnya yang mempengaruhi. Perubahan nilai kembang susut ini dipengaruhi oleh kandungan mineral lempung dengan unsur monmorillonite (pada daerah endapan sedimen daratan) dan kaolinite/illite (pada daerah morfologi pegunungan/perbukitan) walaupun nilai aktifitasnya tidak sama dimana mineral lempung monmorillonite lebih besar dari mineral lempung kaolinit/illite). Nilai aktifitas tanah lempung ekspansif di Spesifikasi Bina Marga 2010 disebutkan tanah dengan Nilai Aktifitas > 1,25.

Sifat-sifat yang ditunjukkan adanya mineral lempung dengan aktifitas tinggi adalah:

- 1) Dalam keadaan kering yang diakibatkan berkurangnya kadar air maka tanah lempung akan menyusut dan ditandai dengan dijumpai adanya retakan dipermukaan.
- 2) Dalam keadaan basah yang diakibatkan bertambahnya kadar air maka tanah lempung akan mengembang dan hal ini dapat terjadi karena daya absorbs tanah lempung serta air yang mengisi retakan yang diakibatkan adanya penyusutan.

Daerah yang dipengaruhi oleh perubahan kadar air disebut zona aktif diperlihatkan pada Gambar 5- 7. Dengan memperhatikan problem keruntuhan timbunan yang berada diatas tanah problematic (khususnya tanah lunak dan Gambut), maka sketsa beberapa penanganan yang dapat diterapkan untuk mengatasi keruntuhan timbunan pada tanah lunak (Gambar 5- 6) dengan prinsip penanganan yang dapat dilakukan adalah dengan menerapkan beberapa cara sebagai berikut:

- 4) Mengurangi beban timbunan misalnya dengan konstruksi timbunan yang dibuat dari material ringan atau mengganti material timbunan dengan struktur box yang menumpu diatas pondasi tiang.
- 5) Mempercepat penurunan dengan memasang PVD atau vertika drain dibawah timbunan sehingga waktu konsolidasi dipercepat. Perlu diperhatikan karena penurunan menjadi cepat maka penjembutan samping akan cepat pula, maka perlu diperhitungkan konstruksi penahan gaya lateral.
- 6) Memperbaiki daya dukung dan dapat dilakukan dengan memperbaiki lapisan tanah dasar yang berupa lapisan tanah lunak, menyalurkan beban ke pondasi tiang (pile embankment) dan mengganti struktur timbunan dengan pile slab walaupun relatif menjadimahal.

Hal lain adalah pada konstruksi timbunan yang dibangun diatas tanah ekspansif, maka perlu memperhatikan nilai ekspansifitas atau nilai aktifitas tanah ekspansif tersebut karena beberapa kenadala yang diakibatkan dari dampak yang diakibatkan oleh permasalahan sifat kembang susutnya yang mempengaruhi. Perubahan nilai kembang susut ini dipengaruhi oleh kandungan mineral lempung dengan unsur monmorillonite (pada daerah endapan sedimen daratan) dan kaolinite/illite (pada daerah morfologi pegunungan/perbukitan) walaupun nilai aktifitasnya tidak sama dimana mineral lempung monmorillonite lebih besar dari mineral lempung kaolinit/illite). Nilai aktifitas tanah lempung ekspansif di Spesifikasi Bina Marga 2010 disebutkan tanah dengan Nilai Aktifitas $> 1,25$.

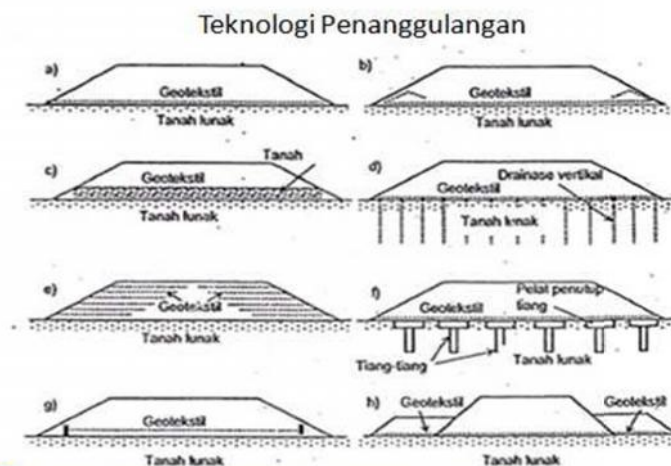
Sifat-sifat yang ditunjukkan adanya mineral lempung dengan aktifitas tinggi adalah:

- 1) Dalam keadaan kering yang diakibatkan berkurangnya kadar air maka tanah lempung akan menyusut dan ditandai dengan dijumpai adanya retakan dipermukaan.

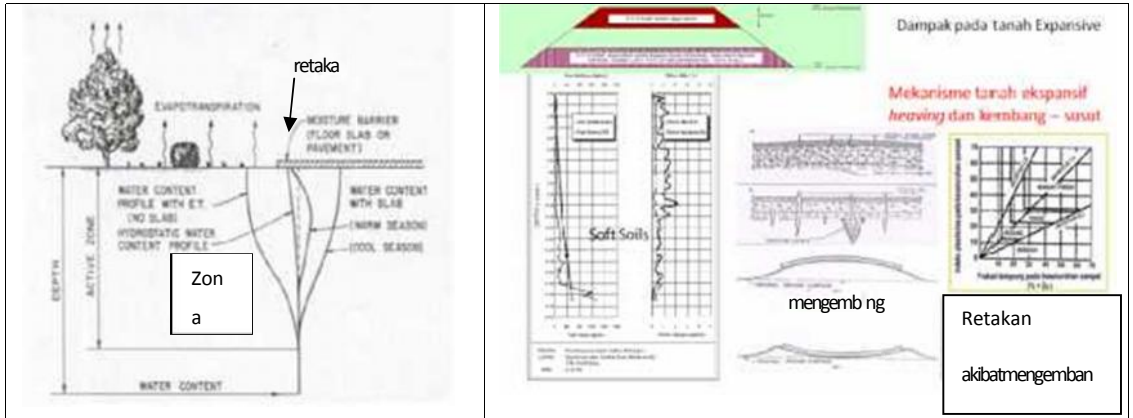
- 2) Dalam keadaan basah yang diakibatkan bertambahnya kadar air maka tanah lempung akan mengembang dan hal ini dapat terjadi karena daya absorbs tanah lempung serta air yang mengisi retakan yang diakibatkan adanya penyusutan.
- 3) Daerah yang dipengaruhi oleh perubahan kadar air disebut zona aktif diperlihatkan pada Gambar 58.

Dengan demikian maka khusus untuk tanah lunak dengan kandungan lempung yang cukup

tinggi serta mempunyai nilai ekspansif lebih dari 1,25, penanganan yang ideal adalah dengan menjaga kadar air dibawah timbunan tetap dan tidak terpengaruh oleh perubahan kadar airnya.



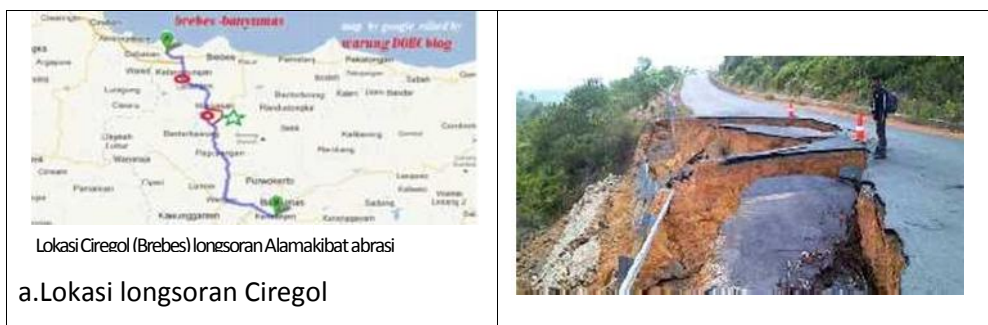
Gambar 58. Beberapa Alternatif teknologi yang dapat diterapkan untuk mengatasi keruntuhan timbunan yang dibangun diatas tanah lunak



Gambar 59. Permasalahan Jalan pada Tanah Ekspansif

5.3 Permasalahan jalan pada Lonsoran Alam

Salah satu dari penanganan jalan pada lokasi ruas jalan yang mengalami longsor alam di Ciregol diperlihatkan pada Gambar 5- 8 a, mengalami longsor. Longsor pertama kali terjadi kira-kira pada tahun 2011 pada jalan lama dan sampai saat ini masih terindikasi pergerakannya walau relative lambat. Longsor berikutnya terjadi pada lokasi yang bersebelahan pada ruas jalan ini pada posisi sebelah kiri di jalan Ciregol dari Brebes seperti pada Gambar 60 b.



Gambar 60. Lokasi Ciregol berupa longsor alam akibat Kehilangan Gaya Penahan di kaki lereng karena abrasi sungai

Dengan memperhatikan tipe longsor yang terjadi dimana hampir seluruh jalan telah runtuh dan mengidentifikasi potensi longsor seperti diperlihatkan pada susulan Gambar 61 a, maka penanganan yang dilakukan disarankan untuk digeser ke kanan dengan pertimbangan badan jalan berada diatas puncak bukit dan juga mengurangi beban tanah yang berpotensi menambah gaya mendorong seperti diperlihatkan pada Gambar 62 b.



Gambar 61. Penanganan dengan menggeser Jalan ke puncak Bukit di Ciregol

Setelah dilakukan penggeseran maka di lokasi ciregol terdapat 2 ruas jalan yang difungsikan secara terpisah yaitu jalan baru untuk ke arah pantura dan jalan lama yang telah mengindikasikan mengalami longsor tahun 2011 difungsikan sebagai jalan untuk memfasilitasi arus lalu lintas dari pantura (Brebes). Penjelasan pembagian arus pada lokasi ciregol diperlihatkan pada Gambar 62

Gambar 62. Ruas Jalan Ciregol, Brebes setelah penanganan Longsor



Penanganan yang dilakukan dengan menggeser jalan ini dilakukan juga dengan penanaman vegetasi dan perbaikan saluran sehingga air permukaan yang merembes ke areal longsor tidak terjadi lagi. Pada saat pengamatan tahun 2016 bulan Mei terlihat konsdruksi cukup stabil dan tidak dijumpai retakan sepanjang jalan baru dan jalan lama juga cukup stabil karena beban diatas lereng telah dipotong dan diperuntukan sebagai lahan untuk jalan baru.

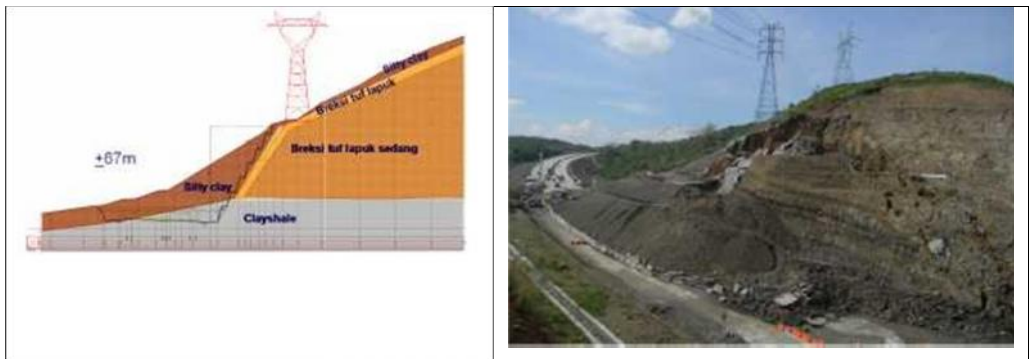
Bilamana manajemen lereng diterapkan maka pada lokasi ciregol ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Ruas jalan telah mengalami longsor tahun 2011 dan mengalami longsor susulan tahun 2015 telah dimana hampir seluruh jalan runtuh.
- 2) Selanjutnya telah ditangani dengan re-alinyemen atau penggeseran trase kearah bukit dengan pertimbangan:
 - a) Mengurangi beban lereng bagian atas yang diduga mempengaruhi bertambahnya gaya pendorong.
 - b) Menambah fasilitas pasangan drainase limpasan air permukaan dari jalan baru sehingga tidak menambah beban pada lereng alamnya dimana jalan lama masih berada.
 - c) Menanam vegetasi pada lereng baru yang tebentuk akibat penggeseran untuk jalan baru guna memperoleh stabilitas lerenggalian.
- 3) Memantau stabilitas jalan baik jalan baru maupun jalan lama sebagai acuan dalam melakukan inspeksi berikutnya.
- 4) Menyiapkan kegiatan untuk inspeksi yaitu dengan memantau hal-hal sebgai berikut:
 - a) Memantau retakan yang ada baik pada jalan (baru dan lama) dan saluran
 - b) Mamantau lendutan yang diduga sebagai mahkota longsor terutama pada jalan lama

- c) Menyiapkan kegiatan untuk perbaikan bilamana butir a dan b terindikasi.

5.4 Permasalahan jalan pada lereng Galian

Sebagai ulasan yang disampaikan pada modul ini adalah ruas jalan yang dibentuk karena adanya penggalian pada media kombinasi tanah dan batuan seperti diperlihatkan pada Gambar 63 dan penanganannya pada Gambar 64.



Gambar 63. Rencana Galian Lereng dan Permasalahan Longsor



Gambar 64. Penanganan Longsor Galian dengan Borpile kombinasi dengan Shotcrete serta Rock Angker

Longsor yang terjadi diakibatkan karena hilangnya daya penahan pada kaki lereng karena penggalian yang cukup tinggi sehingga kuat geser untuk meningkatkan gaya penahan menjadi berkurang. Dengan menerapkan analisa numeric software Plaxis, diperlihatkan bidang longsornya yang terjadi

Diklat Penanganan Longor pada Struktur Jalan

sehingga diperlukan penanganan yang dapat menaikkan Faktor keamanan, dalam hal ini diambil 1.8 karena pertimbangan untuk mengamankan bangunan utilitas seperti menara listrik tegangan tinggi.

Bilamana manajemen lereng diterapkan maka pada ruas jalan ini diperoleh informasi sebagai berikut:

- 1) Lereng galian tinggi dilakukan sebagai antisipasi dalam mewujudkan persyaratan yang ditentukan dari alinyemen dan geometri jalan serta undang-undang jalan guna mewujudkan standar pelayanan minimum jalan.
- 2) Penggalian dilakukan dengan penanggaan tetapi tidak memungkinkan membuat sesuai dengan ketentuan sudut sesuai dengan jains keberadaan tipe tanah dan batuan penyusun lereng walaupun ketinggian lereng sudah mengikuti persyaratan spesifikasi Bina Marga seksi 3 pekerjaan tanah.
- 3) Dari hasil investigasi diperoleh informasi lapisan tanah/batuan terdapat lapisan batu lempung yang lebih dikenal dengan "Clayshale" yang mempunyai ciri, permeabilitas rendah cenderung kedap air, kekuatan yang cukup tinggi dengan nilai N-SPT > 60 dan terdapat material tanah dipermukaan lereng dengan tingkat derajat lapukan lanjut sampai dengan sedang dibawahnya.
- 4) Lapisan tanah yang berasal dari lapukan batuan vulkanik ini merupakan debris colluvial sehingga mempunyai permeabilitas besar sehingga potensi untuk dilalui airtanah.
- 5) Penanganan dengan borpile yang diperkuat dengan anker batuan serta perlindungan lereng dengan shotcrete diterapkan untuk memperoleh stabilitas lereng galian sebagai perlindungan untuk pengguna jalan serta melindungi tower listrik tegnangtinggi.
- 6) Kelengkapan dengan lubang tetes (weep hole) untuk mengalirkan air dibelakang shotcrete serta saluran gendong (sluaran diatas lereng galian tiap tangga galian) untuk mengatasi pengaliran baik air permukaan maupun air dari lubangtetes.

Berdasarkan pengamatan dilapangan maka diperoleh hasil yang dapat
Diklat Penanganan Longor pada Struktur Jalan

diprogramkan dalam melakukan inspeksi mendatang yaitu:

- 1) Rembesan air pada permukaan lereng dengan merikas lubang tetes dan saluran aliran air.
- 2) Memantau instrumen pergerakan bilamana telah dipasang dan pada lokasi ini dipasang inclinometer.
- 3) Memantau retakan yang terjadi sipermukaan lereng dan diseluruh bangunan untuk memastikan bahwa tidak ada pergerakan.

Rangkuman

Beberapa metode penanganan longsoran dilakukan dengan mangidentifikasi tipe dan cakupan longsoran dan faktor penyebabnya. Dalam melakukan manajemen lereng perlu mendetailkan lokasi longsoran termasuk bilamana telah ditangani sehingga diperoleh detail informasi penanganan yang telah dilakukan dan informasi ini sangat berguna untuk membuat kegiatan inspeksi untuk mengetahui kinerjanya.

Latihan

2. Presentasikan suatu penanganan lereng dilokasi masing-masing sehingga diperoleh hasil inventarisasi detail yang dapat ditindaklanjuti dalam kegiatan pemeliharaan!
3. Peserta diwajibkan membuat diskripsi longsoran terhadap pergerakannya, percepatan serta contohnya pada lereng tanah dan batuan.

6

PENUTUP

Modul 1 ini membahas secara lengkap tentang PENGERTIAN LONGSORAN sebagai bagian dari Modul Diklat PENANGANAN LONGSOR PADA STRUKTUR JALAN. yang mencakup mulai dengan STABILITAS LERENG DAN LONGSORAN, PERGERAKAN LONGSORAN, dan KLASIFIKASI GERAKAN MASSA TANAH. Pengertian longsor dan hubungannya dengan stabilitas lereng, karakteristik dan mekanisme longsor pada pembangunan infrastruktur Jalan dan Jembatan menjadi pembahasan pertama dalam modul ini dan dilanjutkan dengan ruang Lingkup pergerakan longsor yang merupakan pergerakan masa tanah atau batuan. Pembahasan akhir dari modul 1 ini adalah klasifikasi gerakan masa tanah dan pola pergerakannya, faktor penyebab longsor dengan memperhatikan karakteristik propertis tanah/batuan penyusun lereng.

DAFTAR PUSTAKA

1. AASHTO (1988), Manual on Subsurface Investigations, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, USA.
2. AASHTO (1993) Guide for design of pavement structures
3. AASHTO T 258-81 Standard method of test for determining expansive soils
4. ASTM D 1452-80 Standard practice for soil investigation and sampling by auger borings
5. ASTM D 2113-83 (1993) Standard practice for diamond core drilling for site investigation
6. ASTM D 4452-85 (1995) e1 Standard methods for X-Ray radiography of soil samples
7. ASTM D 4546-90 Standard test methods for one-dimensional swell or settlement potential of cohesive soils
8. ASTM Standards (1994), Section 4, Construction : Volumes 04.08 and 04.09, Soils and Rock, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
9. Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum (1999), Daftar Istilah Standar Bidang ke-PU-an, Tahun Anggaran 1998/1999, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, Indonesia.
10. BS 1377 (1990), Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes, Parts 1-9, British Standards Institution, London, UK.
11. BS 5930 (1981), Code of Practice for Site Investigation, British Standards Institution, London, UK.
12. BS 8006 (1995), Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and Other Fills, British Standards Institution, London, UK.
13. BSN Pedoman No.8-2000 (Mei 2000), Penulisan Standar Nasional Indonesia, Badan Standardisasi Nasional.
14. Cees van Westen, Introduction to landslides Part 1: Types and causes,

- International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC),
Enschede, The Netherlands, E- mail: westen@itc.nl
15. Direktorat Jenderal Bina Marga (1983), Manual Penyelidikan Geoteknik untuk Perencanaan Fondasi Jembatan, Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, Indonesia.
 16. Direktorat Jenderal Bina Marga (1992), Manual Desain Jembatan (Draf), Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, Indonesia.
 17. Direktorat Jenderal Bina Marga (1994), Perencanaan Geometrik Jalan antar Kota, Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, Indonesia.
 18. ISO/IEC (1999), International Standard ISO/IEC 17025: 1999 (E), General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories, The International Organization for Standardization and the International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland.
 19. ISSMFE (1981), International Manual for the Sampling of Soft Cohesive Soils, The Sub- Committee on Soil Sampling (ed), International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokai University Press, Tokyo, Japan.
 20. Japanese Standards Association (1960), Method of Test for Consolidation of Soils, Japanese Industrial Standard JIS A 1217-1960.
 21. Japanese Standards Association (1977), Method of Unconfined Compression Test of Soil, Japanese Industrial Standard JIS A 1216-1958 (revised 1977).
 22. Lynn M. Highland, United States Geological Survey, and Peter Bobrowsky (2008), The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides, circular 1325, Geological Survey of Canada U.S. Department of the Interior and U.S. Geological Survey
 23. Media Teknik No. 2 Tahun XVII (1995), Tata Istilah Teknik Indonesia, No. ISSN 0216-3012.
 24. Muhammad Noorwantoro, Runi Asmaranto, Donny Harisuseno (2013); ANALISA KAWASAN RAWAN BENCANA TANAH LONGSOR DI DAS UPPER BRANTAS MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFI, Jurusan Teknik

Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Jalan MT. Haryono 167,
Malang 65145, Indonesia

25. NAVFAC (1971), Design Manual: Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures, Dept of Navy, USA.
26. Pedoman Pengendalian Pemanfaatan Ruang di Kawasan Rawan Bencana Longsor KLASIFIKASI DAN FAKTOR PENYEBAB BENCANA LONGSOR
27. Pt M-01-2002-B, Panduan geoteknik 3, timbunan jalan pada tanah lunak :
Penyelidikan tanah lunak, pengujian laboratorium
28. Pt T-08-2002-B, Panduan geoteknik 1, timbunan jalan pada tanah lunak :
Proses pembentukan dan sifat-sifat dasar tanah lunak
29. Pt T-09-2002-B, Panduan geoteknik 2, timbunan jalan pada tanah lunak :
Penyelidikan tanah lunak, desain dan pekerjaan lapangan
30. Pt T-10-2002-B, Panduan geoteknik 4, timbunan jalan pada tanah lunak :
Desain dan konstruksi
31. Pusat Litbang Prasarana Transportasi Bandung, Guideline Road Construction over Peat and Organic Soil, Draft Version 4.0/4.1, Ministry of Settlement and Public Infrastructure of the Republic of Indonesia in co-operation with The Ministry of Transport, Public Works and Water Management (Netherlands), January 2001.
32. Puslitbang Geologi Bandung (1996), Peta Geologi Kuartir Lembar Semarang, Jawa, 5022-II.
33. SNI (1990), Metoda Pengukuran Kelulusan Air pada Tanah Zona Tak Jenuh dengan Lubang Auger, SK-SNI-M-56-1990-F, Dewan Standardisasi Nasional.
34. SNI (1999), Metoda Pencatatan dan Interpretasi Hasil Pemboran Inti, SNI 03-2436 – 1991, Dewan Standardisasi Nasional.
35. SNI (1999), Metoda Pengujian Lapangan Kekuatan Geser Baling, SNI 06-2487 – 1991, Dewan Standardisasi Nasional.
36. SNI 03-1743, Metode pengujian kepadatan berat untuk tanah

37. SNI 03-1964, Metode pengujian berat jenis tanah
38. SNI 03-1965, Metode pengujian kadar air tanah
39. SNI 03-1966, Metode pengujian batas plastis
40. SNI 03-1967, Metode pengujian batas cair tanah dengan alat cassagrande
41. SNI 03-2455, Metode pengujian triaksial A
42. SNI 03-2812, Metode pengujian konsolidasi tanah satu dimensi
43. SNI 03-2813, Metode pengujian geser langsung tanah terkonsolidasi dengan drain
44. SNI 03-2827, Metode pengujian lapangan dengan sondir
45. SNI 03-2832, Metode pengujian untuk mendapatkan kepadatan tanah maksimum dengan kadar air maksimum
46. SNI 03-3420, Metode pengujian geser langsung tanah tidak terkonsolidasi tanpa drain
47. SNI 03-3422, Metode pengujian batas susut tanah.
48. SNI 03-3423, Metode pengujian analisis ukuran butir tanah dengan alat hidrometer
49. SNI 03-3638, Metode pengujian kuat tekan bebas tanah kohesif.
50. SNI 03-4153, Metode pengujian penetrasi SPT.
51. SNI 03-4813, Metode pengujian triaksial untuk tanah kohesif dalam keadaan tanpa konsolidasi dan drain
52. SNI 03-6376, Metode prosedur penggalian parit uji
53. SNI(1999), Metoda Pengujian Lapangan dengan Alat Sondir, SNI 03- 2827 – 1992, Dewan Standardisasi Nasional.