

Suantoro Wicaksono, ST., M.Eng.

PENANGANAN DARURAT LONGSORAN JALAN

Buku naskah ilmiah merupakan *output* dari kegiatan penelitian dan pengembangan subbidang jalan dan jembatan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan dengan judul Naskah Ilmiah Penanganan Darurat Longsor Jalan (2432.001.002.107.AT). Salah satu tujuan akhir dari kegiatan ini adalah untuk menyediakan pedoman praktis penanganan darurat longsor jalan yang sesuai dengan kondisi di Indonesia.

Longsor pada jalan sering mengakibatkan terputusnya lalu lintas dalam waktu yang relatif lama dan merugikan perekonomian secara tidak langsung. Longsor tersebut harus ditangani secara darurat dan cepat untuk dapat mengatasi terganggunya aksesibilitas antardaerah. Setelah penanganan darurat, maka longsor jalan ditangani secara permanen.

Buku ini menjelaskan hasil kajian terhadap jenis-jenis longsor serta beberapa penanganan praktisnya dari beberapa literatur terkini. Hasil kajian ini menjadi titik tolak bagi penelitian yang telah dilakukan serta penelitian yang akan dilakukan pada tahun berikutnya.



PUSAT PENELITIAN
DAN PENGEMBANGAN
**JALAN DAN
JEMBATAN**



PUSAT PENELITIAN
DAN PENGEMBANGAN
**JALAN DAN
JEMBATAN**

Suantoro Wicaksono, ST., M.Eng.

PENANGANAN DARURAT LONGSORAN JALAN

Suantoro Wicaksono, ST., M.Eng.

PENANGANAN DARURAT LONGSORAN JALAN





PENANGANAN DARURAT LONGSORAN JALAN

Suantoro Wicaksono, ST., M.Eng.
Reviewer: Ir. GJW Fernandez

PENANGANGAN DARURAT LONGSORAN JALAN

Cetakan ke-1, 2012, (xiv + 82 halaman)

No. ISBN : 978-602-8256-84-1

©Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

Penulis:

Suantoro Wicaksono, ST., M.Eng

Reviewer:

Ir. GJW Fernandez

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Tahun 2012, pada paket pekerjaan Naskah Ilmiah Penanganan Darurat Longsor Jalan.

Pandangan yang disampaikan di dalam publikasi ini tidak menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementerian Pekerjaan Umum, unsur pimpinan, maupun instruksi pemerintah lainnya.

Kementerian Pekerjaan Umum tidak menjamin akurasi data yang disampaikan dalam publikasi ini, dan tanggung jawab atas data dan informasi sepenuhnya dipegang oleh penulis.

Kementerian Pekerjaan Umum mendorong percetakan dan memperbanyak informasi secara eksklusif untuk perorangan dan pemanfaatan nonkomersil dengan pemberitahuan yang memadai kepada Kementerian Pekerjaan Umum. Pengguna dibatasi dalam menjual kembali, mendistribusikan atau pekerjaan kreatif turunan untuk tujuan komersil tanpa izin tertulis dari Kementerian Pekerjaan Umum.

Dicetak oleh:

Penerbit Informatika – Bandung

Anggota IKAPI Jabar No. 033/JBA/99

Pemesanan melalui:

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan

info@pusjatan.pu.go.id

TENTANG PUSLITBANG JALAN DAN JEMBATAN

Puslitbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) adalah institusi riset yang dikelola oleh Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Lembaga ini mendukung Kementerian PU dalam menyelenggarakan jalan dengan memastikan keberlanjutan keahlian, pengembangan inovasi dan nilai – nilai baru dalam pengembangan infrastruktur.

Pusjatan memfokuskan kepada penyelenggara jalan di Indonesia, melalui penyelenggaraan litbang terapan untuk menghasilkan inovasi teknologi bidang jalan dan jembatan yang bermuara pada standar, pedoman, dan manual. Selain itu, Pusjatan mengemban misi untuk melakukan advis teknik, pendampingan teknologi, dan alih teknologi yang memungkinkan infrastruktur Indonesia menggunakan teknologi yang tepat guna.

KEANGGOTAAN TIM TEKNIS DAN SUBTIM TEKNIS

TIM TEKNIS:

1. Prof (R) Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.
2. Ir. Agus Bari Sailendra. M.T.
3. Ir. I. Gede Wayan Samsi Gunarta, M.Appl.Sc.
4. Prof (R) Ir. Lanneke Tristanto, APU
5. Ir. GJW Fernandez

SUBTIM TEKNIS:

1. Rudy Febrijanto, ST., M.T.
2. Ir. GJW Fernandez
3. DR. Ir. M. Eddie Sunaryo, M.Sc.
4. DR. Ir. Maulidya Indah Junica, M.Sc.
5. DR. Ir. Imam Aschuri, M.T.
6. Ir. Benny Moestofa
7. Ir. Suhaimi Daud
8. Drs. M. Suherman
9. DR. Hindra Mulya

Kata Pengantar

Buku naskah ilmiah merupakan *output* dari kegiatan penelitian dan pengembangan subbidang jalan dan jembatan di Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan dengan judul Naskah Ilmiah Penanganan Darurat Longsor Jalan (2432.001.002.107.AT). Salah satu tujuan akhir dari kegiatan ini adalah untuk menyediakan pedoman praktis penanganan darurat longsor jalan yang sesuai dengan kondisi di Indonesia.

Longsor pada jalan sering mengakibatkan terputusnya lalu lintas dalam waktu yang relatif lama dan merugikan perekonomian secara tidak langsung. Longsor tersebut harus ditangani secara darurat dan cepat untuk dapat mengatasi terganggunya aksesibilitas antardaerah. Setelah penanganan darurat, maka longsor jalan ditangani secara permanen.

Buku ini menjelaskan hasil kajian terhadap jenis-jenis longsor serta beberapa penanganan praktisnya dari beberapa literatur terkini. Hasil kajian ini menjadi titik tolak bagi penelitian yang telah dilakukan serta penelitian yang akan dilakukan pada tahun berikutnya.

Bandung,

Tim Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	ix
Daftar Gambar	xi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
BAB 2. LONGSORAN.....	3
2.1 Deskripsi Bagian-bagian Longsoran	4
2.2 Jenis-Jenis Longsoran.....	6
2.2.1 Gelincir (<i>Slide</i>)	6
2.2.2 Jatuhan (<i>Fall</i>).....	9
2.2.3 Aliran (<i>Flow</i>)	11
2.2.4 <i>Spread</i>	15
2.2.5 Longsoran Kombinasi	16
2.3 Identifikasi Visual	17
BAB 3. KRITERIA DESAIN	21
3.1 Batasan Penanganan Darurat Longsoran Jalan	22
3.2 Pemilihan Tipe dan Pertimbangan Penanggulangan	25
BAB 4. METODE PENANGANAN DARURAT	27
4.1 Penimbunan Kembali Daerah Badan Jalan yang Longsor	27
4.2 Pemotongan Tebing di Sisi Jalan.....	29
4.3 Pengendalian Aliran Air	34
4.3.1 Drainase Permukaan	34
4.3.2 Drainase Bawah Permukaan	37

4.4	Perkuatan Lereng Jalan yang Longsor daerah Bronjong	44
4.4.1	Persyaratan Bahan untuk Bronjong	45
4.4.2	Desain Bronjong.....	51
4.4.3	Variasi Bentuk Bronjong	54
4.5	Alternatif Variasi Penanganan Darurat.....	55
BAB 5.	STUDI KASUS	59
5.1	Longsor di Atas Badan Jalan	59
5.1.1	Longsor Tebing Akibat Limpasan Air Permukaan	59
5.1.2	Longsor Tebing Akibat Penjenuhan Tanah ..	61
5.1.3	Longsor Akibat Ketidakstabilan Tebing.....	63
5.2	Longsor pada Badan Jalan dan Lereng Bawah Badan Jalan	64
5.2.1	Gerusan Badan Jalan oleh Sungai	64
5.2.2	Longsor Badan Jalan Akibat Limpasan Saluran Tepi	66
5.2.3	Longsor Badan Jalan Akibat Konstruksi Penahan Lereng Bawah Badan Jalan Tidak Berfungsi	67
5.2.4	Amblasan Badan Jalan Akibat Penjenuhan Tanah Dasar	69
5.2.5	Longsor Badan Jalan Akibat Gerusan Saluran Tepi	70
5.2.6	Gerusan Badan Jalan Akibat Inlet Gorong-gorong/ <i>Box Culvert</i> Terlalu Kecil.....	72
5.2.7	Longsor Badan Jalan Akibat Abrasi Pantai ...	73
BAB 6.	PENUTUP	75
	Daftar Pustaka	77

Daftar Tabel

Tabel 2.1	Identifikasi Visual Longsoran (Departemen Pekerjaan Umum, 1990)	18
Tabel 3.1	Arahan Pemilihan Penanganan Lereng (Departemen Pekerjaan Umum, 2005)	26
Tabel 4.1	Standar Kemiringan Lereng (Departemen Pekerjaan Umum, 2006)	32
Tabel 4.2	Standar Kemiringan Lereng Untuk Granit yang Melapuk (Departemen Pekerjaan Umum, 2006).....	33
Tabel 4.3	Ukuran Kawat Bronjong (Badan Standardisasi Nasional, 1999)	46
Tabel 4.4	Jumlah Puntiran Minimum Kawat Bronjong (Badan Standardisasi Nasional, 1999)	46
Tabel 4.5	Berat Lapisan Seng Kawat Bronjong (Badan Standardisasi Nasional, 1999)	46
Tabel 4.6	Ukuran Bronjong Kawat Bentuk I.....	50
Tabel 4.7	Ukuran Bronjong Kawat Bentuk II.....	50
Tabel 4.8	Persyaratan Cerucuk Kayu (Departemen Pekerjaan Umum, 1999)	56

Daftar Gambar

Gambar 2.1	Bagian-bagian Longsoran (U.S. Geological Survey, 2008)	5
Gambar 2.2	Gelincir Translasi (U.S. Geological Survey, 2008)	7
Gambar 2.3	Gelincir Baji pada Batuan (Wedge Failure, Tampak Atas) (Departemen Pekerjaan Umum, 2005).....	7
Gambar 2.4	Gelincir Rotasi (U.S. Geological Survey, 2008).....	8
Gambar 2.5	Longsoran dengan Bidang Gelincir Lebih dari Satu	9
Gambar 2.6	Tipe Longsoran Jatuhan Batuan (U.S. Geological Survey, 2008)	10
Gambar 2.7	Tipe Longsoran Keruntuhan Jungkiran (U.S. Geological Survey, 2008)	11
Gambar 2.8	Tipe Longsoran Aliran Batuan Lapuk atau Material Lepas (U.S. Geological Survey, 2008)	12
Gambar 2.9	Aliran pada Tanah (U.S. Geological Survey, 2008).....	13
Gambar 2.10	Creep (Slow Earthflow) (U.S. Geological Survey, 2008)	14
Gambar 2.11	Lahar (<i>Volcanic Debris Flows</i>) (U.S. Geological Survey, 2008)	15
Gambar 2.12	Lateral Spread (U.S. Geological Survey, 2008).....	16
Gambar 2.13	Tipe Longsoran Kombinasi (Departemen Pekerjaan Umum, 2005)	16
Gambar 3.1	Bagan Alir Penanganan Darurat Longsoran Jalan	24
Gambar 4.1	Penanganan dengan Menurunkan Elevasi Badan Jalan	29

Gambar 4.2	Tipikal Penanggulangan dengan Cara Mengubah Geometri Lereng (Departemen Pekerjaan Umum, 2005).....	31
Gambar 4.3	Tata Salir (Departemen Pekerjaan Umum, 2005).....	35
Gambar 4.4	Menutup Rekahan (Departemen Pekerjaan Umum, 2005)	36
Gambar 4.5	Perbaikan Permukaan Lereng (Departemen Pekerjaan Umum, 2005)	36
Gambar 4.6	Contoh Drainase Bawah Permukaan (Departemen Pekerjaan Umum, 2005)	38
Gambar 4.7	Cara Pengendalian Air Rembesan (Departemen Pekerjaan Umum, 2005)	40
Gambar 4.8	Saluran Air dengan Terjunan	41
Gambar 4.9	Sistem Drainase Bawah Permukaan	42
Gambar 4.10	Anyaman Kawat Bronjong	47
Gambar 4.11	Bronjong Kawat Bentuk I Sebelum Dibentuk Menjadi Kotak	48
Gambar 4.12	Bronjong Kawat Bentuk II Sebelum Dibentuk Menjadi Kotak	48
Gambar 4.13	Bronjong Kawat Bentuk I Setelah Dibentuk Menjadi Kotak	49
Gambar 4.14	Bronjong Kawat Bentuk II Setelah Dibentuk Menjadi Kotak	49
Gambar 4.15	Tipikal Desain Bronjong (Modular Gabion Systems, 2004)	51
Gambar 4.16	Kebutuhan Lebar Bronjong untuk Tinggi Tertentu	52
Gambar 4.17	Potongan Melintang Konstruksi Bronjong.....	53
Gambar 4.18	Konstruksi Bronjong yang Telah Bertahan Lama	53
Gambar 4.19	Bronjong Berekor.....	54
Gambar 4.20	Mattress (wikipedia.org).....	55
Gambar 4.21	Trapion (wikipedia.org).....	55
Gambar 4.22	Cerucuk	56
Gambar 4.23	Prinsip Kerja <i>Buffer Zone</i>	57
Gambar 4.24	<i>Buffer Zone</i>	58
Gambar 4.25	Penggeseran Badan Jalan ke Tebing.....	58
Gambar 5.1	Sketsa Longsor Akibat Limpasan Air Permukaan	60

Gambar 5.2	Saluran Tepi yang Tergerus.....	61
Gambar 5.3	Sketsa Longsoran Tebing Akibat Penjenuhan Tanah	62
Gambar 5.4	Longsoran Tebing Akibat Penjenuhan Tanah	62
Gambar 5.5	Sketsa Longsoran Akibat Ketidakstabilan Tebing	64
Gambar 5.6	Longsoran Akibat Ketidakstabilan Tebing.....	64
Gambar 5.7	Sketsa Longsoran Akibat Gerusan Sungai.....	65
Gambar 5.8	Gerusan Badan Jalan oleh Sungai	66
Gambar 5.9	Sketsa Longsoran Badan Jalan Akibat Limpasan Saluran Tepi	67
Gambar 5.10	Longsoran Badan Jalan Akibat Limpasan Saluran Tepi .	67
Gambar 5.11	Sketsa Longsoran Akibat Konstruksi Penahan Lereng Bawah Badan Jalan Tidak Berfungsi.....	68
Gambar 5.12	Amblasan Jalan	69
Gambar 5.13	Sketsa Longsoran Akibat Penjenuhan Tanah Dasar.....	70
Gambar 5.14	Rayapan	70
Gambar 5.15	Sketsa Longsoran Akibat Gerusan Saluran Tepi.....	71
Gambar 5.16	Kerusakan Jalan Akibat Gerusan Saluran Tepi	72
Gambar 5.17	Sketsa Longsoran Akibat Inlet Gorong-gorong Terlalu Kecil.....	73
Gambar 5.18	Kerusakan Gorong-gorong.....	73
Gambar 5.19	Longsoran Badan Jalan Akibat Abrasi Pantai	74

1

PENDAHULUAN

Sehubungan dengan terjadinya perubahan kondisi tata guna lahan, sering terjadi longsor yang dipicu oleh tingginya intensitas maupun durasi curah hujan serta semakin tingginya laju pelapukan batuan dasar. Longsor pada jalan sering mengakibatkan terputusnya lalu lintas dalam waktu relatif lama dan merugikan perekonomian baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Longsor tersebut harus ditangani secara darurat dan cepat untuk dapat mengatasi gangguan aksesibilitas antar daerah, khususnya untuk memperlancar arus lalu lintas di sekitar daerah longsor.

Secara garis besar ada 3 (tiga) jenis penanganan longsor jalan yaitu: (1) pencegahan potensi bahaya tanah longsor, (2) penanggulangan sementara (darurat), dan (3) penanggulangan permanen.

Standar perencanaan penanggulangan longsor jalan secara permanen sudah ada yaitu SNI 03-1962-1990, Tata Cara Perencanaan Penanggulangan Longsor. Saat ini belum tersedia Pedoman Praktis Penanganan Darurat Longsor Jalan yang dapat diterapkan secara cepat dan sederhana

sebelum adanya penanganan permanen yang membutuhkan waktu relatif lama.

Buku ini merupakan Naskah Ilmiah yang menjelaskan secara rinci hasil kajian literatur serta beberapa studi kasus yang akan menjadi dasar untuk penyusunan Pedoman Praktis Penanganan Darurat Longsoran Jalan.

2

LONGSORAN

Longsoran merupakan kejadian di mana massa tanah di atas kedalaman batas di dalam permukaan tanah berangsur-angsur bergerak ke bawah. Lokasi longsoran cenderung terkonsentrasi di daerah yang memiliki geologi atau struktur geologi khusus. Dibandingkan dengan keruntuhan lereng galian atau lereng alami, lereng yang lebih landai bergerak dalam skala-besar, membentuk suatu topografi khusus (topografi longsoran) (Departemen Pekerjaan Umum, 2006).

Terjadinya longsoran dapat diakibatkan oleh dua sebab, yaitu

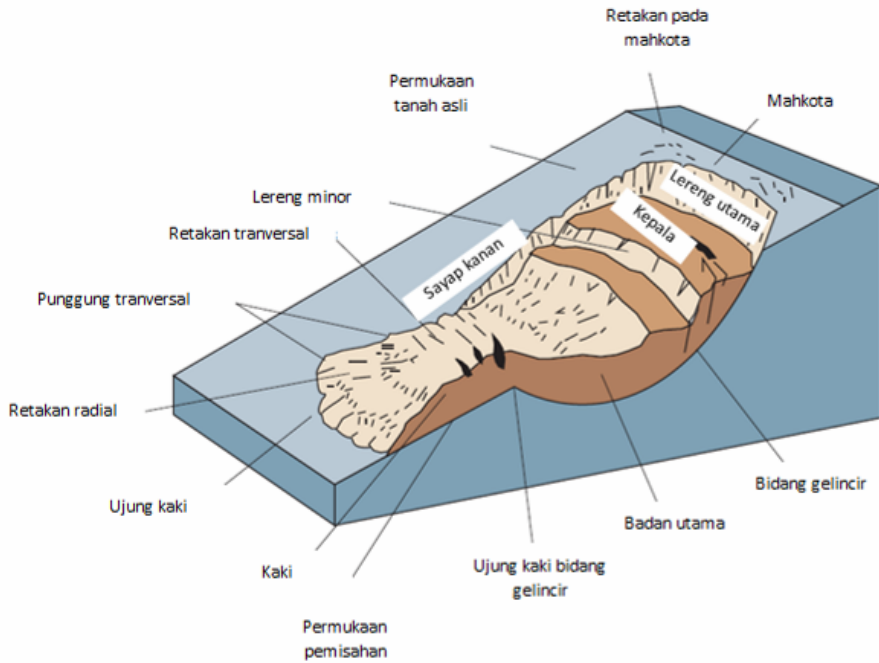
- Akibat adanya intervensi manusia yang mengakibatkan kondisi kestabilan alami yang sudah tercapai menjadi terganggu dan sistem struktur geoteknik mengalami perubahan mekanis untuk mencapai kesetimbangan yang baru.
- Akibat adanya proses geologi alami yang belum mencapai kesetimbangan statiknya, atau terjadinya gangguan alam yang mengubah kesetimbangan yang ada. Sedimentasi material letupan gunung berapi, sebagai contoh, mengalami proses yang cukup panjang

untuk mencapai kondisi kesetimbangan statiknya sehingga material masih sering mengalami pergerakan-pergerakan longsor. Proses alami yang dapat mengganggu kesetimbangan statik suatu lereng alami diantaranya adalah:

- Erosi oleh aliran air, sungai dan gelombang laut yang menciptakan lereng dengan kemiringan yang tajam.
- Lereng batuan dan tanah yang mengalami perlemahan akibat penjuhan oleh air hujan dan pelapukan. Curah hujan dengan intensitas lebih dari 70 mm/jam pada umumnya dapat memicu terjadinya longsor pada daerah-daerah rawan.
- Gempa bumi yang menimbulkan tegangan tambahan sehingga mengakibatkan keruntuhan lereng yang lemah. Gempa bumi dengan skala 4.0 atau lebih dapat memicu terjadinya longsor.
- Letusan gunung berapi menghasilkan deposit debu lepas, aliran debris dan sering diikuti hujan lebat. Material lereng yang mengalami penjuhan kemudian berubah menjadi aliran debris atau aliran lumpur.

2.1 Deskripsi Bagian-bagian Longsor

Untuk menjelaskan bagian-bagian longsor dapat dilihat pada Gambar 2-1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Bagian-bagian Longsoran (U.S. Geological Survey, 2008)

Mahkota: material yang tidak berpindah tempat yang berdekatan dengan bagian tertinggi dari lereng utama.

Ujung kaki: adalah bagian yang paling bawah, biasanya berbentuk melengkung dari materi yang dipindahkan longsor, ini adalah yang paling jauh dari lereng curam utama.

Kaki: bagian dari longsor yang telah bergerak melampaui ujung permukaan pecah dan terletak di atas permukaan tanah asli.

Sayap: material yang tidak dipindahkan yang berdekatan dengan sisi permukaan pecah. Arah mata angin yang lebih baik dalam menggambarkan

posisi sayap, tetapi jika sebelah kiri dan kanan yang digunakan, ini mengacu pada kedua sayap yang dilihat dari mahkota.

Bidang gelincir: adalah permukaan yang terbentuk (atau yang telah terbentuk) yang merupakan batas bawah dari bahan dipindahkan di bawah permukaan tanah asli.

2.2 Jenis-jenis Longsoran

Berdasarkan pola pergerakannya, longsoran dapat diklasifikasikan menjadi gelincir (*slide*), jatuhan (*fall*), aliran (*flow*), *spread* serta kombinasi.

2.2.1 Gelincir (*Slide*)

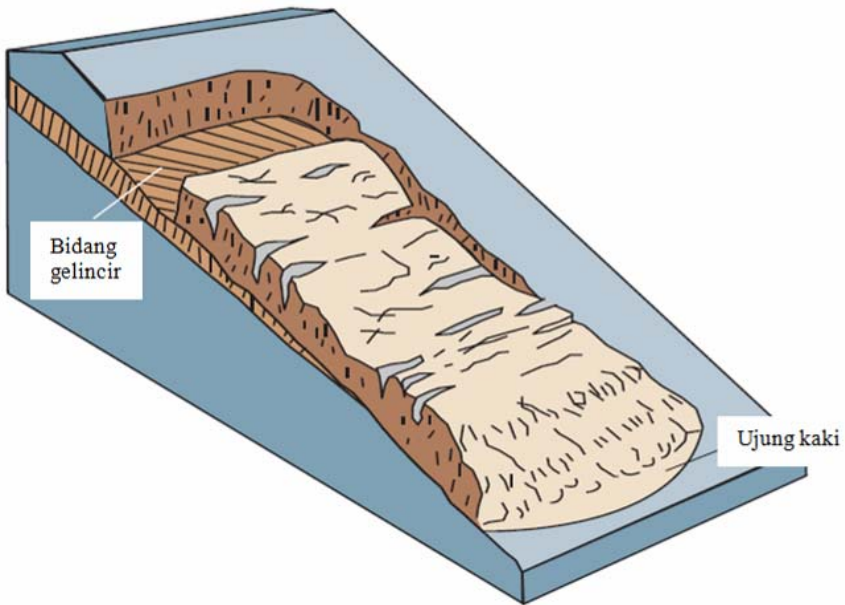
Gelincir terjadi akibat massa tanah bergerak pada suatu bidang yang disebut bidang gelincir (Departemen Pekerjaan Umum, 2005). Jenis-jenis gelincir berupa translasi dan rotasi.

1) Gelincir Translasi (*Translational Landslide*)

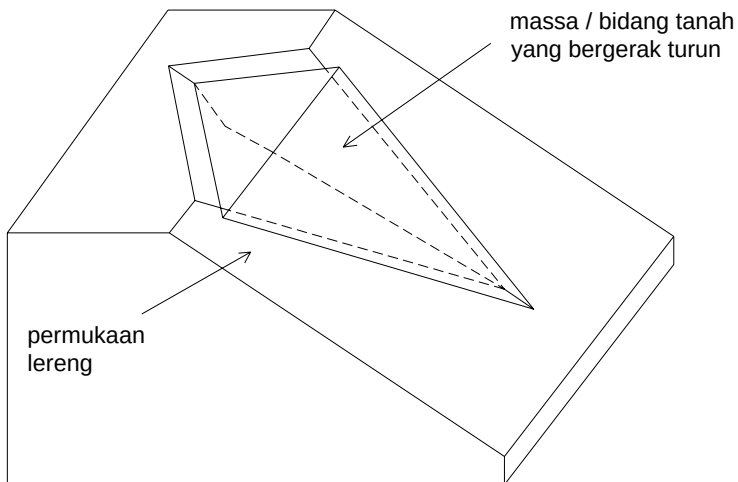
Ciri-ciri gelincir translasi adalah sebagai berikut:

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

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



Gambar 2.2 Gelincir Translasi (U.S. Geological Survey, 2008)



Gambar 2.3 Gelincir Baji pada Batuan (*Wedge Failure*, Tampak Atas) (Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

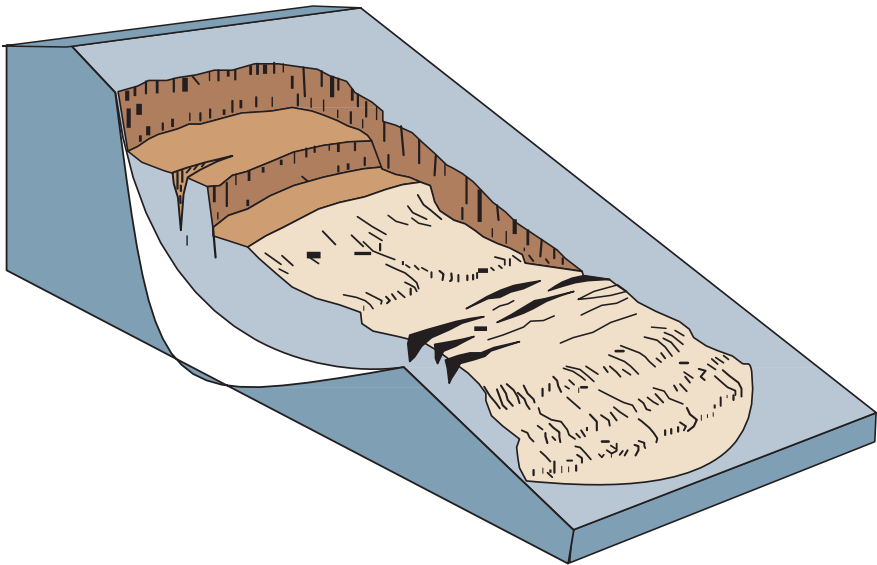
2) Gelincir Rotasi (*Rotational Landslide*)

- Rotasi pada batuan

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

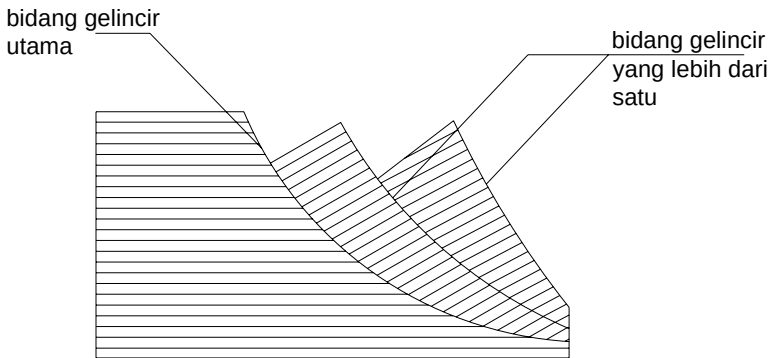
- Rotasi pada tanah

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



Gambar 2.4 Gelincir Rotasi (U.S. Geological Survey, 2008)

Gelincir rotasi dapat terjadi dengan bidang gelincir lebih dari satu (**Gambar 2.5**). Jenis pergerakan ini sering terjadi setelah kemiringan lereng dirubah.



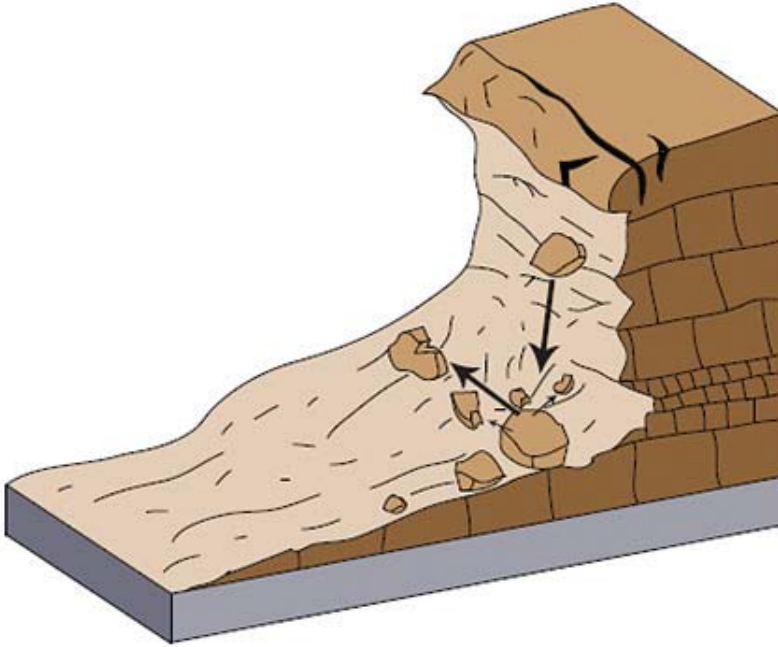
Gambar 2.5 Longsoran dengan Bidang Gelincir Lebih dari Satu

2.2.2 Jatuhan (*Fall*)

Longsoran tipe jatuhan terjadi karena pelepasan tanah atau batuan, atau keduanya, dari lereng yang curam sepanjang permukaan di mana sedikit atau tanpa perpindahan geser yang terjadi (U.S. Geological Survey, 2008). Longsoran yang termasuk ke dalam kategori jatuhan adalah jatuhan batuan (*rock fall*) dan jungkiran (*topple*).

1) Jatuhan Batuan (*Rock Fall*)

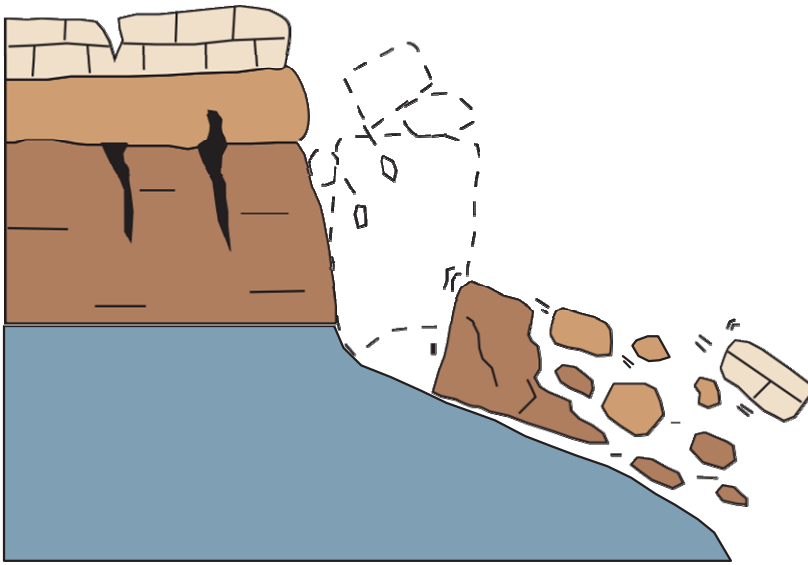
Rock fall adalah material jatuh bebas yang kehilangan kontak dengan permukaan batuan. Pergerakan massa bergerak dari ketinggian tertentu melalui udara (**Gambar 2.6**).



Gambar 2.6 Tipe Longsoran Jatuhan Batuan (U.S. Geological Survey, 2008)

2) Jungkiran (*Topple*)

Jungkiran (*topple*) terjadi akibat momen guling yang bekerja pada suatu titik putar di bawah titik massa. Jungkiran terjadi pada batuan yang mempunyai banyak kekar (**Gambar 2.7**).



Gambar 2.7 Tipe Longsor Keruntuhan Jungkiran (U.S. Geological Survey, 2008)

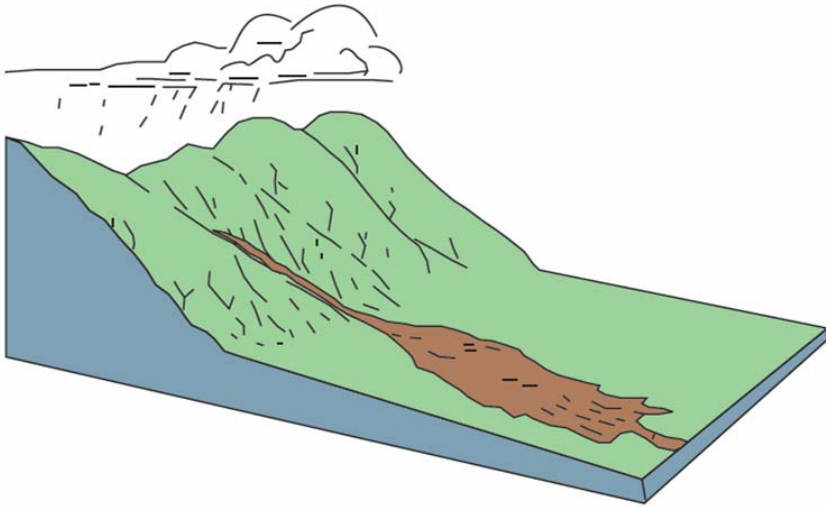
2.2.3 Aliran (*Flow*)

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

1) Aliran Batuan Lapuk atau Material Lepas (*Debris Flow*)

Aliran pada batuan lapuk termasuk ke dalam deformasi yang terus menerus, termasuk juga rangkak. Aliran jenis ini umumnya melibatkan rangkak dalam yang lambat dan perbedaan pergerakan antara unit-unit yang utuh. Ciri-ciri pergerakan aliran pada batuan lapuk adalah:

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

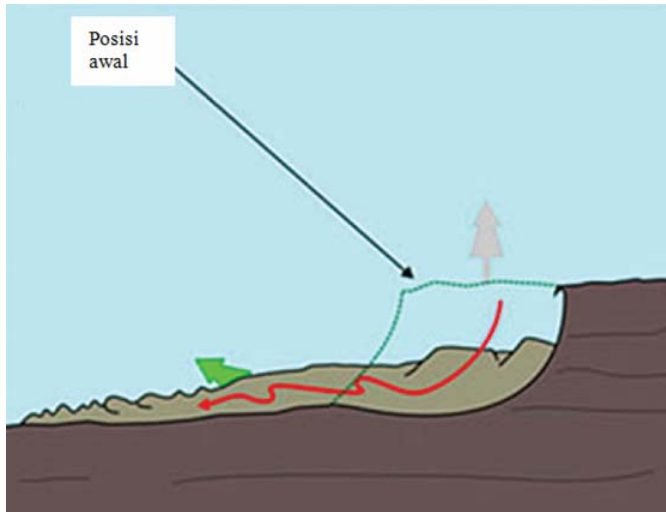


Gambar 2.8 Tipe Longsoran Aliran Batuan Lapuk atau Material Lepas (U.S. Geological Survey, 2008)

2) Aliran pada Tanah (*Earthflow*)

Aliran pada tanah adalah pergerakan material yang menyerupai fluida kental. Permukaan gelincir pada bidang material yang bergerak dapat berupa permukaan tajam, perbedaan pergerakan atau suatu zona distribusi geser (Gambar 2.9). Rentang pergerakan mulai dari sangat cepat sampai sangat lambat. Ciri-ciri pergerakan aliran pada tanah adalah:

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

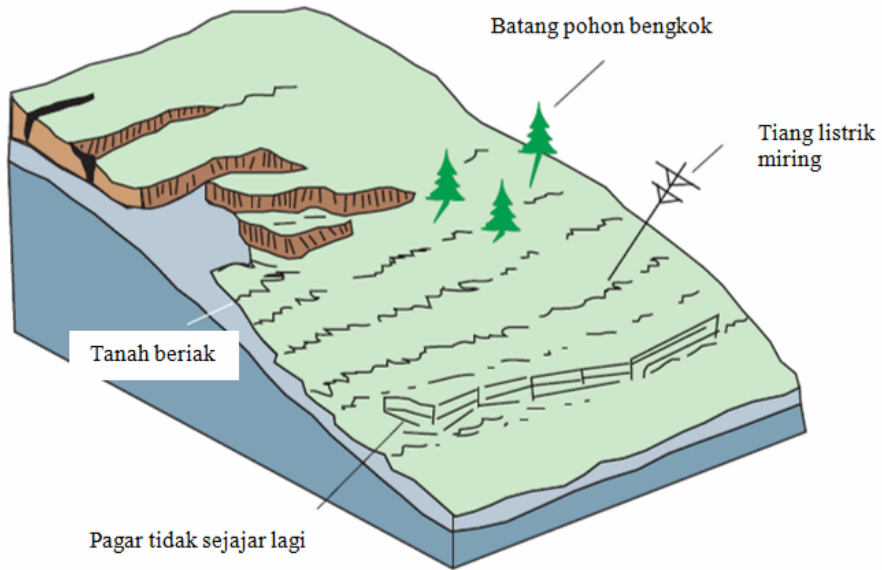


Gambar 2.9 Aliran pada Tanah (U.S. Geological Survey, 2008)

3) *Creep (Slow Earthflow)*

Creep terdiri dari gerakan stabil sangat lambat ke bawah lereng tanah atau batuan. Gerakan ini disebabkan oleh tegangan geser internal yang cukup untuk menyebabkan deformasi tetapi tidak cukup untuk menyebabkan keruntuhan. Secara umum, tiga jenis creep adalah:

- Musiman, di mana gerakan berada dalam kedalaman tanah dipengaruhi oleh perubahan musiman dalam kelembaban tanah dan suhu
- Kontinu, dimana tegangan geser terus menerus melebihi kekuatan material
- Progresif, di mana lereng yang mencapai titik kegagalan untuk jenis lain gerakan massa.



Gambar 2.10 Creep (*Slow Earthflow*) (U.S. Geological Survey, 2008)

4) Lahar (*Volcanic Debris Flows*)

Lahar adalah arus yang berasal di lereng gunung berapi dan merupakan jenis aliran batuan lapuk. Lahar dapat memobilisasi akumulasi tephra longgar (udara padat yang meledak dari gunung berapi) dan aliran debris batuan lapuk (U.S. Geological Survey, 2008).



Gambar 2.11 Lahar (*Volcanic Debris Flows*) (U.S. Geological Survey, 2008)

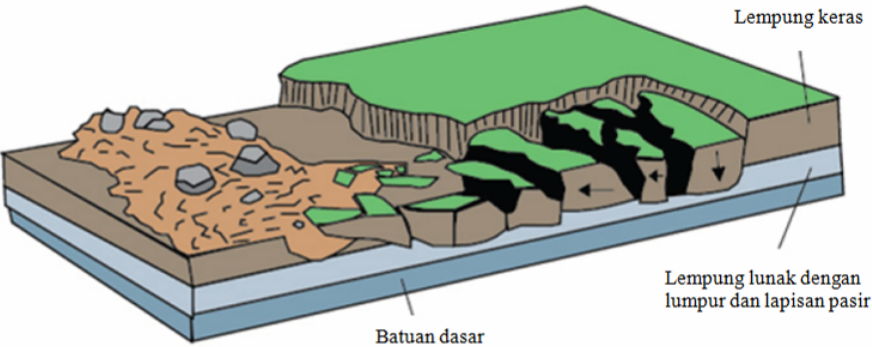
2.2.4 *Spread*

Spread adalah perpanjangan tanah kohesif atau massa batuan dikombinasikan dengan penurunan umum dari massa retak material kohesif menjadi bahan dasar lembut. *Spread* dapat dihasilkan dari pencairan atau aliran (dan ekstrusi) dari bahan dasar lembut (U.S. Geological Survey, 2008).

Penyebaran Lateral (*Lateral Spread*)

Penyebaran lateral biasanya terjadi pada lereng yang sangat lembut atau yang medan dasarnya datar, terutama di mana lapisan atas lebih kuat dari batu atau tanah mengalami perpanjangan dan bergerak di atas lapisan lembut yang lebih lemah. Kegagalan tersebut biasanya disertai oleh beberapa penurunan umum ke dalam lapisan dasar yang lebih lemah. Pada rock spread, tanah padat meluas dan meretakan, perlahan menarik dari tanah stabil dan bergerak di atas lapisan yang lebih lemah tanpa harus membentuk permukaan diketahui pecah. Unit yang lebih lembut mungkin, dalam kondisi tertentu, menekan ke atas ke dalam fraktur yang memisahkan lapisan ke blok. Dalam spread bumi, lapisan stabil atas

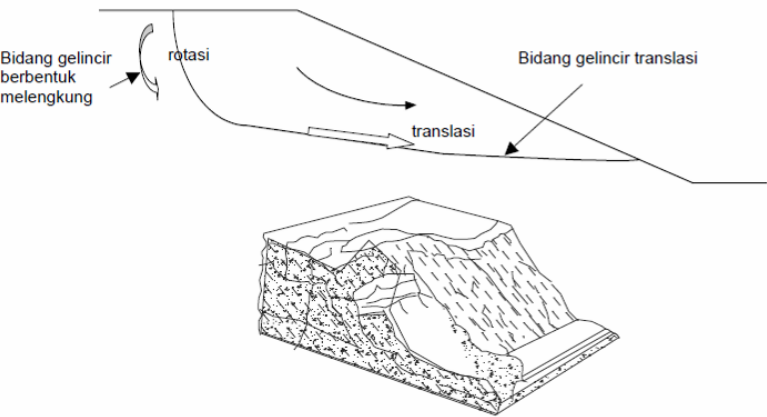
memanjang di sepanjang permukaan lemah yang telah mengalir mengikuti pencairan atau deformasi plastik. Jika unit yang lebih lemah adalah yang relatif tebal, blok retak utama mereda ke dalamnya, bertranslasi, berotasi, hancur, liquifaksi, atau bahkan mengalir.



Gambar 2.12 *Lateral Spread* (U.S. Geological Survey, 2008)

2.2.5 Longsoran Kombinasi

Longsoran kombinasi merupakan bentuk gabungan beberapa tipe longsoran seperti gabungan antara gelincir translasi dan rotasi (Gambar2.13). Tipe longsoran ini terjadi pada tanah maupun batuan lapuk.



Gambar 2.13 Tipe Longsoran Kombinasi (Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

2.3 Identifikasi Visual

Gerakan tanah untuk tipe gelincir (*slide*), jatuhan (*fall*), aliran (*flow*) dan *spread* dapat dikenali secara visual di lapangan dengan memperhatikan ciri-ciri dari masing-masing tipe seperti yang tercantum dalam **Tabel 2.1**. Setiap tipe gerakan tanah mempunyai mekanisme yang berbeda satu terhadap lainnya, sehingga setiap tipe gerakan pun menampilkan cirinya yang khusus. Gerakan pada massa tanah menunjukkan ciri yang berbeda pada dengan gerakan massa batuan, walaupun tipe gerakannya sama, karena perbedaan sifat fisik dan teknik antara massa tanah dan batuan. Oleh karena itu dalam mempelajari tipe gerakan yang pertama kali harus dikenali dulu jenis materialnya; yaitu tanah atau batuan.

Setelah mengenali betul jenis materialnya selanjutnya harus diamati secara teliti massa yang bergerak dan massa yang stabil disekelilingnya. Setiap bagian dari kedua massa tersebut menampilkan ciri yang berbeda. Massa yang bergerak perlu diamati dan dicatat tentang segala kenampakan di bagian kepala, badan, kaki dan di ujung kaki; sedangkan massa yang stabil perlu diamati di bagian mahkota, gawir utama dan sayapnya. Dengan mengenali jenis material massa gerakan dan ciri-ciri yang nampak di setiap bagian tersebut di atas, maka dapatlah diperkirakan tipe gerakan tanah yang terjadi (Departemen Pekerjaan Umum, 1990).

Tabel 2.1 Identifikasi Visual Longsor (Departemen Pekerjaan Umum, 1990)

Tipe Gerakan	Macam Material	Bagian Stabi di Sekeliling Bagian yang Longsor			Bagian yang Bergerak		
		Mahkota	Gawir Utama	Sayap	Kepala	Badan	Kaki
1. Gelincir (Side) 1.1 Gelincir Translasi	Blok tanah/ batuan	Kebanyakan retakan hampir tegak dan cenderung mengikuti garis ketinggian.	Hampir tegak pada bagian atasnya, hampir datar dan miring agak curam sampai curam di bagian bawahnya.	Gawir sayap sangat rendah, retakan tegak lurus. Retakan sayap biasanya menyebar ke arah bawah.	Relatif tidak terganggu. Tidak ada gerakan memutar.	Biasanya terdiri satu atau beberapa unit, tidak terganggu kecuali pada retakan tank. Relakan sedikit atau tidak menunjukkan pergeseran tegak.	Tidak ada kaki, tidak ada daerah yang terangkat.
	Batuan	Batuan lepas, ada retakan antar blok	Biasanya bertangga mengikuti bidang kekar atau perlapisan. Permukaan tidak teratur pada bagian atas agak landai sampai curam di bagian bawahnya, bisa berbentuk corong.	Tidak teratur.	Banyak blok batuan.	Beberapa blok mempunyai kemiringan hampir sama dengan aslinya, tetapi pada bagian bawahnya lebih rendah bila gerakannya lambat.	Biasanya tidak ada kaki.
1.2. Gelincir Rotasi	Tanah	Banyak retakan, hampir semuanya cekung ke arah longsor	Curam, gundul, cekung ke arah longsor. Biasanya tinggi menunjukkan adanya alur goresan pada permukaan dari mahkota sampai kepala. Bagian atas gawir bisa tegak.	Goresan pada gawir sayap mempunyai komponen tegak dekat kepalanya. Ketinggian gawir sayap menurun mendekati kaki. Sayap longsor bisa lebih tinggi dari permukaan asli antara kaki dan ujung kaki, pada tingkat awal ditandai dengan adanya rangkaian retakan.	Permukaan tanah lebih landai dari lereng asli atau bahkan miring ke arah bukit membentuk cekungan. Retakan melintang gawir kecil, terban dan blok sesar. Kemiringan lapisan berbeda dengan arah daerah sekelilingnya. Pohon-pohon condong ke arah kepala.	Blok nendat asli umumnya pecah menjadi massa yang kecil, retakan-retakan memanjang. Pungungan terbentuk karena tekanan, kadang-kadang menyungkup. Biasanya terbentuk genangan-genangan kecil di atas kaki.	Pungungan melintang dan retakan biasanya terjadi di atas kaki merupakan daerah yang terangkat. Tidak ada blok, pohon-pohon condong ke arah ujung kaki
							Seringkali merupakan daerah aliran tanah. Berbentuk seperti daun telinga, material tergulung dan tertimbun. Pohon-pohon rebah dan bercampur aduk dengan tanah setempat.

Tipe Gerakan	Macam Material Batuan	Bagian Stabil di Sekeliling Bagian yang Longsor			Bagian yang Bergerak		
		Mahkota	Gawir Utama	Sayap	Kepala	Badan	Kaki
		Retakan mengikuti pola kekar batuan dasarnya.	Sda	sda	sda	sda, tetapi material tidak pecah sebanyak yang di atas dan tidak berubah bentuk secara plastis.	sda
2. Jatuhan (Fall)	Tanah	Ada retakan-retakan di belakang bagian atas gawir.	Curam, segar, aktif.	Hampir tegak.	Umumnya sulit dikenali. Runtuhan material membentuk tumpukan dekat gawir.	Tidak teratur.	Bagian kaki umumnya tertimbun. Bila terlihat akan menunjukkan bukti-bukti sebab terjadinya longsor seperti lapisan batuan yang lembek atau tergerus.
	Batuan	Batuan lepas, kemungkinan ada retakan dibelakang gawir bentuknya tidak teratur mengikuti pola kekar.	Biasanya hampir vertikal, bentuk tak teratur gundul, segar. Biasanya permukaan gawir merupakan bidang kekar atau sesar.	Umunya bagian atas batu tersingkap.	Biasanya tidak jelas pada kepala. Material yang meluncur membentuk tumpukan disamping gawir.	Permukaan tidak teratur terdiri dari tumpukan batuan, melandai menjauhi gawir.	Bila longsor kecil merupakan tumpukan bahan rombakan yang tidak teratur. Bila longsorannya besar maka bentuk ujung kakinya bulat dengan punggung melengkung dan lebar.

Tipe Gerakan	Macam Material	Bagian Stabil di Sekeliling Bagian yang Longsor				Bagian yang Bergerak		
		Mankota	Gawir Utama	Sayap	Kepala	Badan	Kaki	Ujung Kaki
3. Aliran (Flow) 3.1. Aliran Batuan Lapuk atau Material Lepas	Batuan	Sama seperti pada runtuhuan batuan.	Sama seperti pada runtuhuan batuan.	Sama seperti pada runtuhuan batuan.	Tidak ada kepala.	Permukaan tidak teratur, terdiri dari campuran pecahan batuan yang melandai dari arah sumbernya, dan umumnya meluas sampai dasar lembah menunjukkan punggung dan lembah.	Tidak ada kaki.	Menjulang seperti lidah, bisa melewati punggung yang rendah di lembah.
3.2. Aliran pada Tanah	Tanah	Tidak ada retakan.	Berbentuk corong pada sudut hentinya.	Lengkung menerus sampai ke gawir.	Biasanya tidak ada kepala.	Merupakan tumpukan pasir berbentuk kerucut, yang volumenya sama dengan pada daerah kepala.	Tidak ada kaki.	Tidak ada kaki.

3

KRITERIA DESAIN

Perencanaan penanggulangan longsor berdasarkan SNI 03-1962-1990 (Tata Cara Perencanaan Penanggulangan Longsor) bersifat pencegahan dan tindakan korektif. Pencegahan dimaksudkan untuk menghindari kemungkinan terjadinya longsor pada daerah yang berpotensi longsor, sedangkan tindakan korektif dapat berupa penanganan darurat (sifatnya sementara dan sederhana) dan permanen.

Pemilihan metode penanggulangan longsor tergantung dari beberapa faktor:

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

Berdasarkan SNI 03-1962-1990 (Tata Cara Perencanaan Penanggulangan Longsoran) penanganan longsoran dapat dibagi tiga yaitu:

a. Pencegahan

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

b. Penanggulangan Darurat

Penanggulangan darurat adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan dengan segera pada saat kejadian bencana (longsoran) untuk menangani dampak buruk yang ditimbulkan, antara lain dengan memperbaiki jalan yang longsor secara darurat dan cepat, agar lalu lintas di daerah longsoran lancar dan berfungsi kembali.

c. Penanggulangan Permanen

Penanggulangan permanen memerlukan waktu untuk penyelidikan, analisis dan perencanaan yang matang. Metode penanggulangan longsoran dibedakan dalam tiga kategori yaitu: mengurangi gaya-gaya yang menimbulkan gerakan, menambah gaya-gaya yang menahan gerakan, dan tindakan lain.

3.1 Batasan Penanganan Darurat Longsoran Jalan

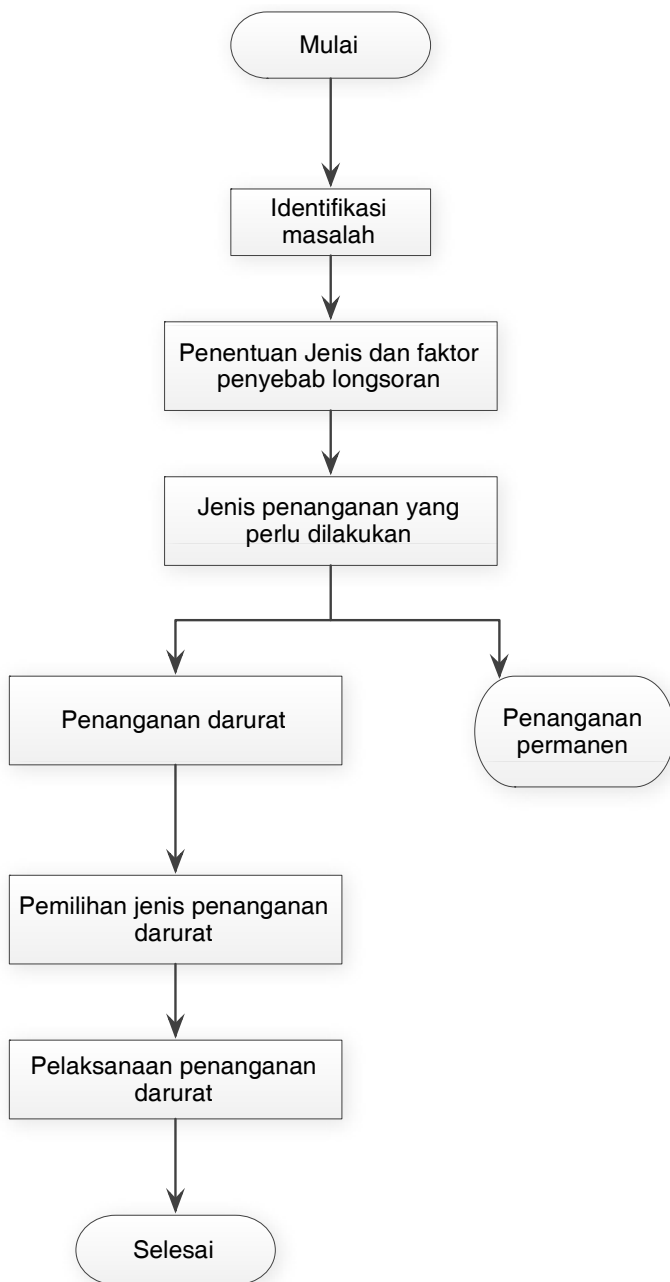
Berdasarkan Manual Pemeliharaan Rutin untuk Jalan Nasional dan jalan Provinsi (1995), pekerjaan darurat tidak dapat dikategorikan sebagai pemeliharaan rutin, pemeliharaan periodik atau peningkatan jalan. Pekerjaan ini hanya untuk kondisi yang mendesak yang harus dilakukan dalam waktu singkat, biasanya hanya dengan sumber daya yang tersedia di lapangan. Setelah jalan dapat dilalui oleh lalu lintas, survei lapangan yang

lengkap mungkin diperlukan untuk merencanakan pekerjaan selanjutnya, seperti perbaikan atau peningkatan.

Berdasarkan Manual Pemeliharaan Jalan Tol (2011), lingkup kegiatan penanganan darurat adalah sebagai berikut:

1. Pembersihan insidental ruang milik jalan dan ruang pengawasan jalan dari benda-benda yang keberadaannya sebagai akibat kejadian tak terduga serta mengganggu kelancaran lalu lintas dan/atau membahayakan pengguna jalan
2. Perbaikan insidental unsur-unsur jalan yang kondisinya mengganggu kelancaran lalu lintas dan/atau membahayakan pengguna jalan
3. Pengendalian lalu lintas selama masa pelaksanaan pemeliharaan
- 4 Upaya-upaya insidental lain untuk memulihkan secepatnya kondisi jalan

Bagan alir penanganan darurat longsor jalan adalah seperti pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Bagan Alir Penanganan Darurat Longsor Jalan

3.2 Pemilihan Tipe dan Pertimbangan Penanggulangan

Penanganan darurat longsor jalan dimaksudkan agar lalu lintas tetap berjalan sesegera mungkin setelah terjadinya longsor jalan. Sehingga yang perlu dilakukan pada penanganan darurat adalah pekerjaan-pekerjaan yang sederhana, cepat, relatif murah, tidak memerlukan perhitungan yang rumit serta menggunakan material yang tersedia (material lokal).

Prinsip pekerjaan penanganan darurat longsor jalan adalah sebagai berikut:

- Identifikasi jenis dan faktor penyebab longsor
- Pengukuran dimensi longsor
- Penentuan jenis penanganan darurat
- Pembuatan gambar konstruksi penanganan darurat
- Pengambilan foto-foto dokumentasi lapangan (saat longsor, saat pekerjaan penanganan dan setelah selesai penanganan).

Lingkup penanganan darurat dibatasi sebagai berikut:

- Penimbunan kembali daerah badan jalan yang longsor.
- Pemotongan tebing di sisi jalan.
- Pengendalian aliran air.
- Perkuatan lereng jalan yang longsor dengan bronjong.
- Alternatif variasi penanganan darurat

Berdasarkan Departemen Pekerjaan Umum, 2005, pemilihan penanganan darurat berdasarkan tipe longsor adalah seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 3.1 Arahan Pemilihan Penanganan Lereng (Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

Tipe gerakan	Tipe-tipe penanggulangan											
	Pemotongan tebing di sisi jalan							Pengendalian aliran air				
	Pemotongan kepala	Pelandaian lereng	penanggaan	Pemotongan habis	Pengupasan tebing	Pengupasan lereng	Timbunan pada kaki lereng	Menanam tumbuhan	Menutup rekahan	Tata salir	Perbaikan permukaan lereng	Konstruksi bronjong
1. Gelincir (<i>slide</i>)												
1.1. Gelincir translasi tanah			1	2	2	3		1	2	1	1	1
1.2. Gelincir translasi batuan			1	2	2	3		1	2	1	1	1
1.3. Gelincir rotasi tanah		1	1	1	2	3	1	1	2	1	1	1
1.4. Gelincir rotasi batuan	1	1	1	2	2	3	2		2	1	1	1
2. Jatuhan (<i>fall</i>)												
2.1. Tanah		1	1	2				1	2	1	1	1
2.2. Batuan		1	1	2					2	1	1	1
2.3. Bahan lepas		1	1	2				1	2	1	1	1
3. Aliran (<i>flow</i>)												
3.1. Tanah		1	2		2	3		1	2	1	1	
3.2. Batuan		1	2						2	1	1	1
3.3. Bahan lepas				2	2			1		1	1	1
3.4. Lumpur				2	2			1		1	1	

Keterangan:

1 = sering dilakukan

2 = kadang-kadang

3 = jarang dilakukan

4

METODE PENANGANAN DARURAT

4.1 Penimbunan Kembali Daerah Badan Jalan yang Longsor

Badan jalan yang sudah terkena longsor harus segera dikembalikan ke kondisi awal. Badan jalan yang amblas harus ditimbun kembali. Untuk keperluan praktis, material untuk penimbunan dapat menggunakan material di sekitar longsor yang dapat dipadatkan sesuai dengan spesifikasi.

Jenis tanah yang akan digunakan sebagai timbunan badan jalan sebaiknya menggunakan material berkualitas baik dan mudah digunakan, mempunyai kuat geser yang tinggi setelah dilakukan pemadatan, mempunyai kompresibilitas yang rendah, mempunyai resisten yang tinggi jika terendam air hujan dan sifat mengembang yang rendah akibat air. Pada tahap pelaksanaan penimbunan, hal-hal yang harus diperhatikan dengan hati-hati adalah sebagai berikut (Departemen Pekerjaan Umum, 2006):

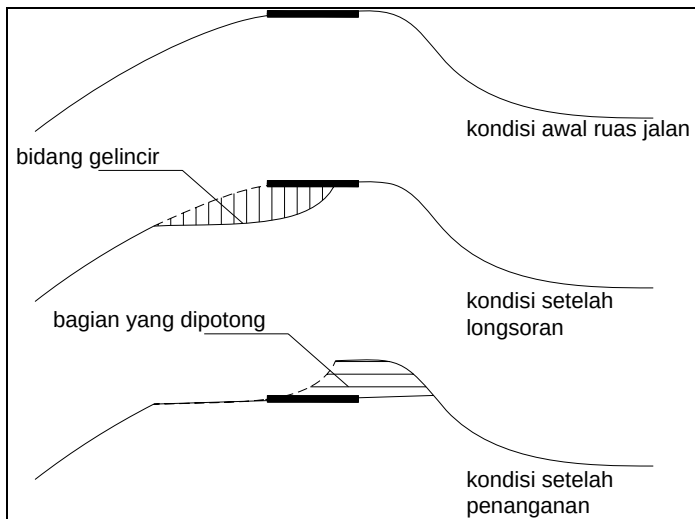
- Tanah mengandung rumput, pohon dan/atau batang pohon, dll. yang telah lapuk, dalam jumlah yang besar seharusnya tidak digunakan.
- Perlu melakukan tindakan penanggulangan seperti perbaikan kualitas tanah atau mengubah penggunaannya harus dipertimbangkan, jika material tersebut memiliki kompresibilitas yang tinggi begitu juga dengan rendahnya kuat geser pada tahap pelaksanaan dengan melihat pada tinggi dan bentuk timbunan.
- Jika kelancaran lalu lintas untuk alat berat serta kendaraan proyek lainnya tidak terjamin, maka harus dipertimbangkan suatu cara untuk mengatasinya.
- Walaupun sulit untuk meletakkannya, menyebarkan dan memadatkan tanah yang memiliki perbandingan campuran yang tinggi antara pecahan batu, material batuan dan bongkahan terhadap tanah, tapi tanah jenis ini mempunyai tingkat stabilitas yang tinggi saat timbunan telah selesai.
- Jika serpihan batuan lunak yang dihasilkan dari penggalian terowongan, dll, digunakan sebagai material timbunan, maka material ini akan mudah menjadi lunak karena diaduk dengan mesin di dalam kondisi *slaking*. Oleh karena itu, harus mengetahui sifat batuan sebelumnya.

Beberapa butir yang perlu diperhatikan dalam penanganan longsoran adalah sebagai berikut:

- Bahan timbunan harus dipadatkan lapis per lapis di mana setiap lapis setebal 30 cm.
- Jika tanah di bawah badan jalan yang akan ditimbun berkualitas jelek, berair atau berlumpur, maka perlu diberi separator sebelum melakukan penimbunan. Separator dapat berupa geotekstil, gedek bambu, bilik bambu, dan lain-lain.
- Bila aliran air permukaan masuk ke badan jalan yang amblas maka perlu dipasang *sand bag* sebagai tanggul untuk menghindari air masuk.

Khusus untuk kasus amblas badan jalan yang terjadi di punggung bukit, penanganan yang dilakukan sebaiknya tidak dilakukan dengan penimbunan

langsung. Penanganan yang dianjurkan adalah dengan menurunkan elevasi badan jalan pada elevasi tertinggi material longsor, seperti ditunjukkan pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1 Penanganan dengan Menurunkan Elevasi Badan Jalan

4.2 Pemotongan Tebing di Sisi Jalan

Pada prinsipnya pemotongan tebing adalah untuk mengurangi tegangan. Hal ini dapat dicapai dengan pemotongan di bagian yang lebih banyak menimbulkan tegangan tangensial daripada tahanan geser. Sebagai contoh, pemotongan di ujung kaki lereng dapat mengurangi tahanan geser. Cara pemotongan ini hanya dapat dilakukan untuk keruntuhan lereng yang mempunyai massa relatif kecil baik sebagai penanggulangan maupun pencegahan dan juga harus diperhitungkan kemungkinan yang akan memicu keruntuhan lereng baru di bagian atas (Departemen Pekerjaan Umum, 2005).

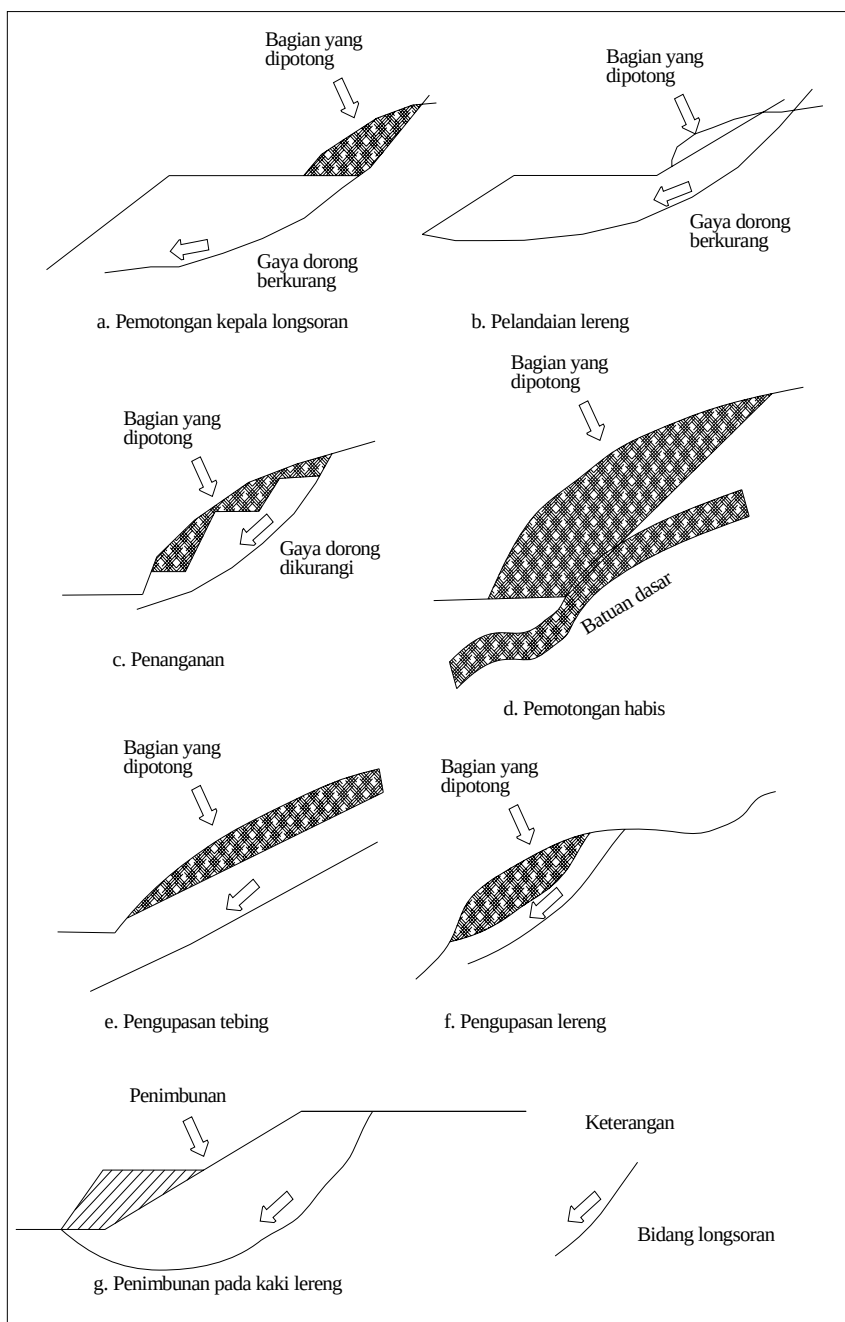
Tahapan pertama dalam penanganan longsor ini adalah dengan membuang material longsor yang menutupi badan jalan. Material

longsor tersebut dapat dibuang ke lereng jalan bila lerengnya stabil. Tahap selanjutnya adalah pengaliran aliran permukaan ke tempat yang aman atau tidak memicu longsor baru.

Hal – hal berikut ini yang harus diperhatikan bila terdapat bangunan di sekitar longsor:

- Pemotongan di kepala keruntuhan lereng umumnya tidak dilakukan bila terdapat bangunan di dekatnya
- Pelandaian dapat diterapkan bila bangunan terletak pada kaki longsor
- Pemotongan seluruhnya hanya dapat diterapkan bila bangunan terletak pada ujung kaki longsor
- Penanganan umumnya dapat diterapkan bila letak bangunan baik di dekat kepala, di tengah maupun pada kaki longsor
- Penimbunan tidak dapat diterapkan bila bangunan terletak pada kaki longsor
- Umumnya tersering dikombinasikan dengan penanaman vegetasi seperti vetiver, gebalan rumput, dan lain-lain.

Beberapa tipikal pemotongan tebing yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:



Gambar 4.2 Tipikal Penanggulangan dengan Cara Mengubah Geometri Lereng (Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

Pemotongan tebing memiliki kecenderungan menjadi tidak stabil setelah pekerjaan selesai karena kondisi tanah asli yang sifatnya tidak seragam. Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum telah membuat standar kemiringan lereng yang secara empiris telah dibuktikan dengan berdasarkan pekerjaan proteksi seperti penanaman rumput, jaringan kawat atau tanpa perlindungan. Kemiringan yang dimaksud di sini adalah kemiringan lereng tunggal yang tidak memiliki bahu.

Tabel 4.1 Standar Kemiringan Lereng (Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

Klasifikasi Tanah		Tinggi Tebing yang dipotong	Kemiringan
Batuan keras			1 : 0,3 – 1: 0,8
Batuan lunak			1 : 0,5 – 1: 1,2
Pasir	Tidak padat dan gradasi buruk		1 : 1,5
Tanah pasiran	Padat	< 5 m	1 : 0,8 – 1: 1,0
		5 – 10 m	1 : 1,0 – 1: 1,2
	Tidak padat	< 5 m	1 : 1,0 – 1: 1,2
		5 – 10 m	1 : 1,2 – 1: 1,5
Tanah pasiran bercampur dengan kerikil atau massa batuan	Padat atau bergradasi baik	< 10 m	1 : 0,8 – 1: 1,0
		10 – 15 m	1 : 1,0 – 1: 1,2
	Tidak padat atau bergradasi buruk	< 10 m	1 : 1,0 – 1: 1,2
		10 – 15 m	1 : 1,2 – 1: 1,5
Tanah lempungan		0 – 15 m	1 : 0,8 – 1: 1,2
Tanah lempungan bercampur dengan massa batuan atau kerakal		< 5 m	1 : 1,0 – 1: 1,2
		5 – 10 m	1 : 1,2 – 1: 1,5

Tabel 4.2 Standar Kemiringan Lereng Untuk Granit yang Melapuk (Departemen Pekerjaan Umum, 2006)

Kategori batuan dasar	Kondisi tanah						Tinggi dan kemiringan lereng (m)				
	Kategori batuan konvensional		Situasi pelapukan		Kondisi lubang bor	Kecepatan gelombang elastis tanah (Gelombang P) (km/detik)	0	10	20	30	50
Batuan lapuk yang membusuk	D	DL DH	Batuan lunak yang mengendap	Membusuk	Pasiran	0,4 – 1,1	1,0 – 1,2	1,2 – 1,5	1,5 – 1,8		
Granit lapuk	C	CL	Batuan yang sangat lunak	Batuan yang hampir membusuk dengan sedikit retakan atau konsentrasi retakan	Pasiran hingga serpihan halus	1,1 – 1,5	0,6 – 0,8	0,8 – 1,0	1,0 – 1,2	1,2 – 1,5	
Granit lapuk ringan		CM	Batuan lunak	Perubahan warna batuan menjadi coklat kekuningan hingga ke inti dan mengembangkan kekar	Terbreksi hingga seperti batang pendek	1,5 – 2,3	0,4 – 0,5	0,6 – 0,8	0,8 – 1,0	1,0 – 1,2	1,2 – 1,5
Granit tak lapuk		CH	Batuan keras	Massa batuan segar dengan kekar yang berkembang dengan cara masif	Seperti batang	> 2,3	0,3 – 0,4	0,4 – 0,6	0,6 – 1,8		
	B										
	A										

Standar kemiringan lereng seperti pada **Tabel 4.1** dan **Tabel 4.2** tidak dapat digunakan pada kasus-kasus berikut ini:

- Pemotongan tebing pada deposit koluviyal atau lereng atau lereng dengan tingkat pelapukan tinggi
- Pemotongan tebing pada permukaan tanah yang mudah erosi seperti tanah pasiran
- Pemotongan tebing pada batuan yang cepat lapuk seperti batulempung, tuf dan serpentinit
- Pemotongan tebing pada batuan dengan banyak rekahan
- Pemotongan tebing pada struktur tebing dengan *dip* dan mempunyai rekahan
- Pemotongan tebing pada air tanah tinggi
- Tebing skala besar (tebing yang lebih tinggi dari 15 m)
- Pemeriksaan ketahanan tebing terhadap gempa
- Apabila keruntuhan tebing dapat menimbulkan kerusakan pada struktur atau bangunan sekitarnya

4.3 Pengendalian Aliran Air

Penanganan longsor dengan pengendalian aliran air dapat dilakukan dengan pengendalian aliran permukaan (drainase permukaan) dan pengendalian air rembesan (drainase bawah permukaan).

4.3.1 Drainase Permukaan

Pengendalian aliran air permukaan akan mengurangi berat massa tanah yang bergerak dan menambah kekuatan material pembentuk lereng. Dua hal yang harus diperhatikan adalah air permukaan yang akan mengalir pada permukaan lereng dan air permukaan yang akan meresap/masuk ke dalam tanah. Setiap upaya harus dilakukan untuk mencegah air permukaan yang menuju daerah keruntuhan lereng, sedangkan mata air, rembesan dan genangan di daerah keruntuhan lereng dialirkan ke luar melalui lereng (Departemen Pekerjaan Umum, 2005).

Mengendalikan air permukaan (drainase permukaan) dapat dilakukan dengan cara menanam tumbuhan, tata salir, menutup rekahan dan perbaikan permukaan lereng (Departemen Pekerjaan Umum, 2005).

- Menanam tumbuhan

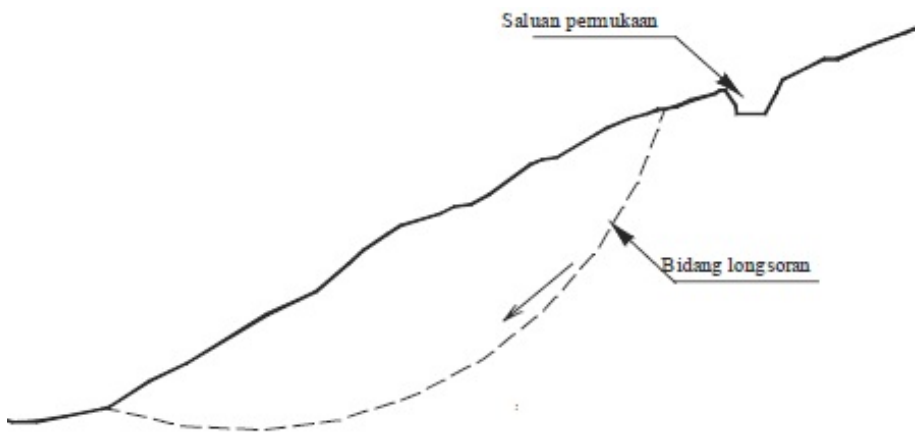
Penanaman tumbuhan dimaksudkan untuk mencegah erosi tanah permukaan, mengurangi peresapan air permukaan dan pengaruh cuaca. Penanaman tumbuhan dapat dilakukan antara lain dengan penaburan biji rerumputan atau lempengan rumput. Untuk mempercepat air limpasan permukaan, lereng juga dapat disemprot aspal.

- Tata salir

Tata salir/saluran permukaan sebaiknya dibuat pada bagian luar keruntuhan lereng dan mengelilingi keruntuhan lereng sehingga dapat mencegah aliran limpasan yang datang dari lokasi yang lebih tinggi.

Untuk saluran terbuka yang dipasang pada daerah keruntuhan lereng harus diberi kemiringan sedemikian rupa sehingga dapat mengalirkan air secara cepat agar air tidak meresap ke dalam daerah keruntuhan lereng.

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



Gambar 4.3 Tata Salir (Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

- Menutup rekahan

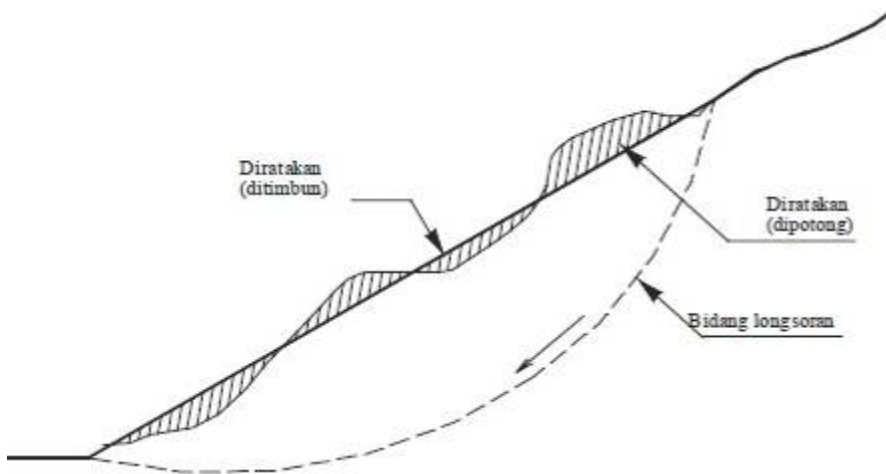
Penutupan rekahan dapat memperbaiki kondisi pengaliran air permukaan pada lereng. Rekahan dapat ditutup dengan tanah lempung, aspal atau semen yang disesuaikan dengan jenis tanahnya. Penutupan rekahan akan mencegah masuknya air permukaan, sehingga tidak akan menimbulkan naiknya tekanan hidrostatik atau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



Gambar 4.4 Menutup Rekahan (Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

- Perbaikan permukaan lereng

Perbaikan permukaan lereng dapat dilakukan dengan merapatkan permukaannya (adanya tonjolan, cekungan) sehingga dapat mempercepat aliran limpasan dan memperkecil rembesan air.



Gambar 4.5 Perbaikan Permukaan Lereng (Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

Metode pengendalian air permukaan dapat digunakan baik secara terpisah maupun bersamaan. Metode ini dapat pula dikombinasikan dengan metode penanganan lainnya.

4.3.2 Drainase Bawah Permukaan

Usaha mengeringkan atau menurunkan muka air tanah dalam lereng dengan mengendalikan air rembesan biasanya cukup sulit dan memerlukan penyelidikan yang cermat sehingga tidak cocok untuk penanganan darurat. Drainase bawah permukaan berdasarkan Rekayasa Penanganan Keruntuhan Lereng pada Tanah Residual dan Batuan (Departemen Pekerjaan Umum, 2005) terdiri dari sumur dalam, penyalir tegak, penyalir mendatar, pelantar, sumur pelega, penyalir parit pencegat, penyalir liput dan elektro osmosis.

- Sumur dalam (*deep well*)

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

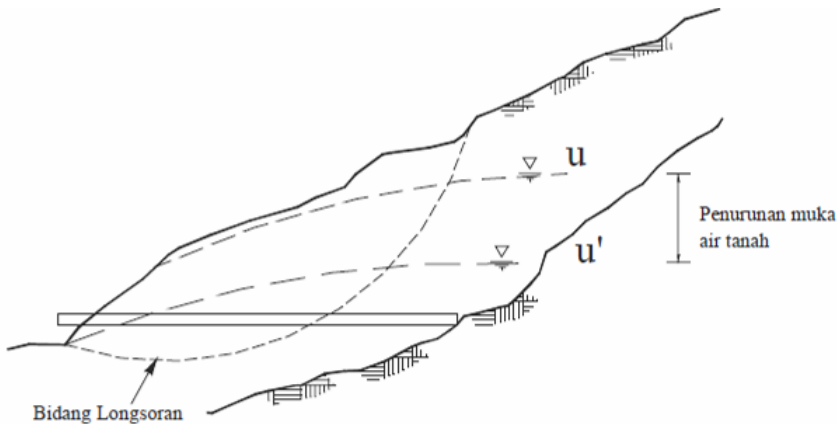
- Penyalir tegak/saluran tegak (*vertikal drain*)

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

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

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

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

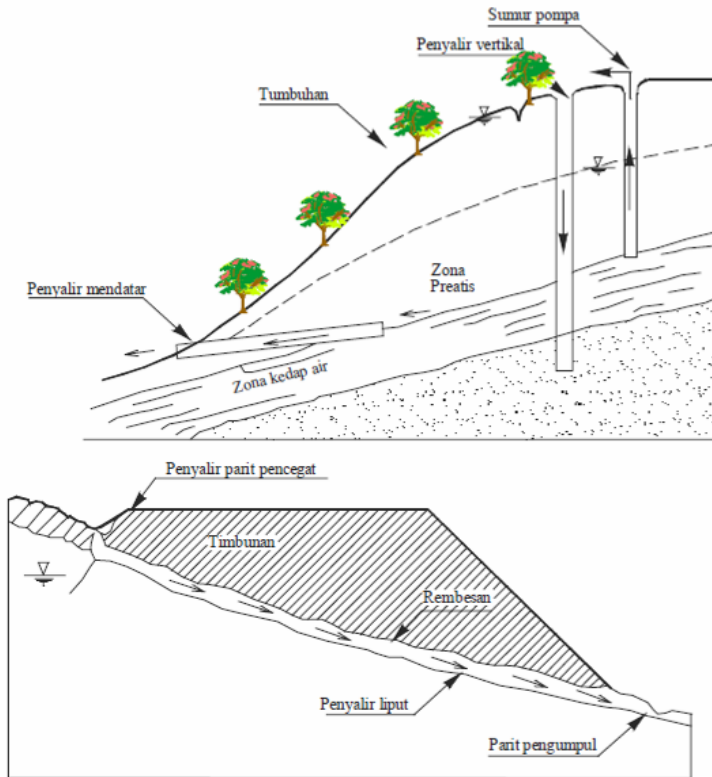


Gambar 4.6 Contoh Drainase Bawah Permukaan (Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

- Pelantar (drainase galery)
Pelantar sangat efektif untuk menurunkan muka air di daerah keruntuhan lereng yang besar, tetapi pemasangannya sulit dan mahal. Cara ini lebih banyak dilakukan pada lapisan batu, karena umumnya memerlukan penyangga yang relatif sedikit daripada bila dilakukan pada tanah. Agar dapat berfungsi secara efektif, pelantar ini digali di bawah bidang longsor. Kemudian dari atas dibuat lubang yang berhubungan dengan pelantar untuk mempercepat aliran air dalam material yang longsor.
- Sumur pelega (*relief well*)
Pada umumnya sumur pelega efektif untuk menanggulangi keruntuhan lereng berukuran kecil yang disebabkan oleh rembesan. Sumur tersebut dibuat dengan menggali bagian kaki keruntuhan lereng, dan galian ini harus segera diisi dengan batu. Hal ini untuk menjaga agar tidak

kehilangan gaya penahan yang dapat mengakibatkan terjadinya keruntuhan lereng lebih besar.

- Penyalir parit pencegat/saluran pemotong (*interceptor drain*)
Penyalir parit pencegat dibuat untuk memotong aliran air tanah yang masuk ke daerah longsoran. Parit ini digali di bagian atas mahkota sampai ke lapisan kedap air, sehingga air tanah terpotong oleh parit tersebut. Pada dasar galian dipasang pipa dengan dinding berlubang untuk mengalirkan air tanah. Pipa ini kemudian ditimbun dengan material yang dapat berfungsi sebagai filter. Cara ini dapat digunakan bila kedalaman lapisan kedap tidak lebih 3-5 meter. Efektifitas cara ini tergantung dari kondisi air tanah dan perlapisannya.
- Penyalir liput (*blanket drain*)
Penyalir liput dipasang di antara lereng alam dan timbunan yang sebaiknya dilakukan pengupasan pada lereng alam sampai mencapai tanah keras. Sebelum penyalir liput dipasang, material berbutir dari penyalir ini dihamparkan menutupi seluruh lereng alam yang akan ditimbun. Air yang mengalir melalui penyalir liput ini ditampung pada penyalir terbuka yang digali di bawah kaki timbunan
- Elektro osmosis
Elektro osmosis merupakan salah satu cara penanggulangan keruntuhan lereng khususnya untuk lanau dan lempung lanauan. Cara ini relatif mahal dan jarang digunakan, karena tidak dapat menyelesaikan masalah secara tuntas jika proses elektro osmosis tidak berjalan dengan baik. Metode ini dilakukan dengan menempatkan dua elektroda sampai kedalaman lapisan jenuh air yang akan dikeringkan, untuk kemudian dialiri arus listrik searah. Arus listrik terimbas menyebabkan air pori mengalir dari anoda ke katoda. Elektroda diatur agar tekanan air menjauhi lereng yang berfungsi mengurangi kadar air dan tekanan air pori sehingga meningkatkan kemandapan lereng.



Gambar 4.7 Cara Pengendalian Air Rembesan (Departemen Pekerjaan Umum, 2005)

Secara garis besar, penanganan darurat longsoran jalan dengan cara pengendalian dapat dilakukan dengan beberapa hal berikut ini:

- Perbaiki saluran yang telah ada

Pada kasus longsoran tebing di atas badan jalan umumnya terjadi penutupan saluran air oleh material longsoran. Saluran yang telah ada seperti selokan dan gorong-gorong dibersihkan dari material longsoran yang menutupi saluran air tersebut. Saluran permukaan yang telah ada dapat diperlebar apabila debit air yang terjadi diperkirakan lebih besar daripada kapasitas saluran yang ada. Untuk mengurangi terjadinya sedimentasi pada saluran permukaan, penampang saluran dapat dibuat seperti huruf "V".

- Tata salir

Tata salir ditujukan untuk menghilangkan air hujan dari permukaan jalan sehingga lalu lintas dapat melaju dengan aman dan efisien serta untuk meminimalkan penetrasi air hujan ke dalam struktur jalan. Alas saluran terbuka dilapis dengan material yang kedap agar air tidak masuk ke dalam tanah. Saluran dibuat dengan kemiringan tertentu agar dapat mengalirkan air secara cepat. Pada daerah yang tinggi dapat dibuat terjunan sebagai pemecah energi. Pembuatan gorong-gorong diperlukan untuk mengurangi debit air yang mengalir pada selokan tepi, serta pada daerah tikungan.



Gambar 4.8 Saluran Air dengan Terjunan

- Pembuatan konstruksi sub drain

Untuk kasus-kasus longsoran akibat penjeñuhan tanah perlu dilakukan pengurangan kadar air tanah dengan cara mengalirkan air yang terperangkap dalam tanah. Drainase bawah permukaan berfungsi untuk mencegah masuknya air dalam struktur jalan dan/atau menangkap dan

mengeluarkan air dari struktur jalan. Penggunaan bahan porous sebagai konstruksi sub drain harus sesuai dengan Divisi 2 Spesifikasi Umum Bina Marga.



Gambar 4.9 Sistem Drainase Bawah Permukaan

Apabila konstruksi drainase bawah permukaan menggunakan bahan porous untuk penimbunan kembali atau penyaring (filter), maka harus sesuai dengan Divisi 2 Spesifikasi Umum Bina Marga; atau yang dirangkum sebagai berikut:

- a. Bahan porous untuk penimbunan kembali atau bahan penyaring (filter) haruslah keras, awet dan bersih. Bahan tersebut harus bebas dari bahan organik, gumpalan lempung, dan bahan lain yang tidak dikehendaki. Bahan padas lapuk atau bekas bongkaran beton tidak boleh digunakan.
- b. Gradasi partikel bahan yang disyaratkan tergantung dari fungsi masing-masing keperluan dalam pekerjaan dan tergantung dari karakteristik bahan untuk sisi hulu atau sisi hilir dari air yang akan melewatinya, dan

juga tergantung dari tersedianya bahan. Gradasi yang disyaratkan harus dapat menjamin bahwa "piping" (hanyutnya butir-butir halus) dari bahan arah "hulu" (sebelum bahan porous) ke bahan porous, atau dari bahan porous ke bahan arah "hilir" (setelah bahan porous), tidak akan terjadi. Gradasi-gradasi tersebut harus sesuai dengan kriteria berikut ini:

$$(i). \frac{D_{15} \text{ (filter)}}{D_{85} \text{ (tanah)}} < 5$$

$$(ii). 4 < \frac{D_{15} \text{ (filter)}}{D_{15} \text{ (tanah)}} < 20$$

$$(iii). \frac{D_{50} \text{ (filter)}}{D_{50} \text{ (tanah)}} < 25$$

di mana D_{15} , D_{50} , dan D_{85} adalah ukuran partikel dari kurva gradasi masing-masing pada 15%, 50% dan 85% berat yang lebih halus. Istilah "filter" merujuk pada bahan pelindung yang lebih kasar; dan istilah "tanah" merujuk pada bahan yang lebih halus dan dilindungi dari "piping".

- c. Batas-batas gradasi untuk bahan porous untuk penimbunan kembali dan penyaring (filter) yang akan mengalirkan aliran air tanpa "piping" dari timbunan lempung sampai pasangan batu kosong berdiameter 30 cm harus ditentukan terlebih dahulu. Secara umum pasangan batu kosong harus dilindungi oleh kerikil, dan kerikil dilindungi oleh pasir, dan pasir oleh pasir kelanauan atau oleh anyaman penyaring (filter) plastik.
- d. Bilamana bahan arah "hilir" (setelah bahan porous) dari bahan porous yang ditimbun kembali bukan bahan berbutir, tetapi digunakan lubang sulingan atau pipa berlubang banyak (*perforated pipe*) maka pemilihan dan persetujuan atas bahan porous untuk penimbunan kembali harus didasarkan atas kriteria berikut ini :

- (i). D_{85} (bahan untuk penimbunan kembali) $> 0,2 D$ (lubang)
dan
- (ii). D_{50} (bahan untuk penimbunan kembali) $> 0,04 D$ (lubang)

di mana D (lubang) adalah diameter dalam dari lubang sulingan atau pipa berlubang banyak (*perforated pipe*).

- e. Setiap ukuran bahan porous untuk penimbunan kembali dapat digunakan untuk arah “hilir” (setelah bahan porous) dari suatu anyaman penyaring (filter) plastik. Sebagai contoh, untuk drainase bawah permukaan perkerasan, dapat digunakan bahan porous untuk penimbunan kembali yang terdiri dari kerikil kasar berbutir seragam, bilamana bahan porous tersebut dibungkus anyaman penyaring (filter) plastik yang cocok, akan tetapi umumnya haruslah terdiri dari pasir halus yang dipilih sesuai dengan alinea (b) di atas. Dalam segala hal, ijuk tidak boleh digunakan sebagai pengganti anyaman penyaring (filter) plastik.

4.4 Perkuatan Lereng Jalan yang Longsor dengan Bronjong

Bronjong dapat dianggap sebagai dinding penahan tanah tipe gravitasi, yaitu dinding penahan tanah yang menggunakan berat sendiri untuk melawan tekanan lateral tanah. Kekuatan utama yang bekerja pada bronjong adalah gaya vertikal dari berat bronjong dan tekanan tanah lateral yang bekerja pada bagian belakang. Berat persatuan panjang dari dinding hanyalah hasil dari penampang dinding dan kepadatan bronjong yang terisi.

Keuntungan penggunaan bronjong adalah sebagai berikut:

- Bronjong adalah struktur yang tidak kaku sehingga dapat menahan gerak vertikal maupun horizontal
- Masih dapat dimanfaatkan lagi bila runtuh

- Bersifat lulus air sehingga tidak menyebabkan terjadinya genangan air permukaan
- Pelaksanaannya mudah
- Material mudah didapatkan
- Biayanya relatif lebih ekonomis

Dasar bronjong harus diletakkan di bawah bidang longsoran. Untuk itu harus diidentifikasi terlebih dahulu letak tanah yang stabil untuk dudukan bronjong. Bronjong yang dipasang di kaki lereng juga berfungsi mencegah penggerusan. Keberhasilan penggunaan bronjong sangat tergantung dari kemampuannya dalam menahan geseran pada tanah di bawah alasnya.

4.4.1 Persyaratan Bahan untuk Bronjong

Batu untuk bronjong harus terdiri dari batu yang keras dan awet dengan sifat sebagai berikut (Depertemen Pekerjaan Umum, 20xx):

- Keausan agregat dengan mesin Los Angeles harus kurang dari 35 %.
- Berat isi kering oven lebih besar dari 2,3.
- Peyerapan Air tidak lebih besar dari 4 %.
- Kekekalan bentuk agregat terhadap natrium sulfat atau magnesium sulfat dalam pengujian 5 siklus (daur) kehilangannya harus kurang dari 10 %.

Kawat yang digunakan sebagai pembentuk bronjong adalah batang kawat baja karbon rendah yang sesuai dengan SNI 07-0053-1987. Bahan logam pelapis adalah seng (Zn) dengan kadar minimum 98,5% sesuai dengan SNI 07-2586-1992.

Permukaan kawat bronjong harus halus dan rata serta bebas dari cacat berupa serpihan, retak, pengelupasan maupun cacat yang dapat merugikan

dalam pemakaian. Ukuran diameter serta toleransi kawat bronjong adalah sebagai berikut.

Tabel 4.3 Ukuran Kawat Bronjong (Badan Standardisasi Nasional, 1999)

No.	Diameter Kawat (mm)	Toleransi (mm)
1	Di atas 1,80 – 2,24	± 0,08
2	Di atas 2,24 – 2,72	± 0,11
3	Di atas 2,72 – 3,55	± 0,12
4	Di atas 3,55 – 4,25	± 0,16

Kuat tarik kawat bronjong minimal 41 kg/mm² (Badan Standardisasi Nasional, 1999). Kawat bronjong juga harus mampu menahan puntiran dan tidak putus sesuai tabel berikut ini.

Tabel 4.4 Jumlah Puntiran Minimum Kawat Bronjong (Badan Standardisasi Nasional, 1999)

No.	Diameter Kawat (mm)	Minimum Jumlah Puntiran (kali)
1	Di atas 1,80 – 2,24	38
2	Di atas 2,24 – 2,72	28
3	Di atas 2,72 – 3,55	26
4	Di atas 3,55 – 4,25	21

Ukuran tebal lapisan seng pada kawat bronjong berdasarkan berat lapisan seng tidak boleh kurang dari persyaratan sebagai berikut.

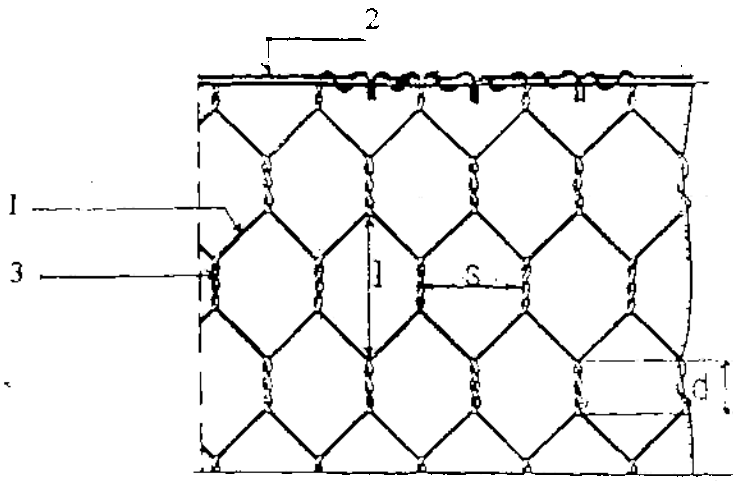
Tabel 4.5 Berat Lapisan Seng Kawat Bronjong (Badan Standardisasi Nasional, 1999)

No.	Diameter Kawat (mm)	Minimum Berat Lapisan Seng (g/m ²)
1	Di atas 1,80 – 2,24	240
2	Di atas 2,24 – 2,72	260
3	Di atas 2,72 – 3,55	275
4	Di atas 3,55 – 4,25	290

Kawat bronjong dililit sebanyak 6 kali lilitan melingkari batang inti dengan diameter 4 kali diameter kawat untuk kawat dengan diameter sampai dengan 3,8 mm, dan batang inti dengan diameter 5 kali diameter kawat untuk kawat dengan diameter 3,8 mm (Badan Standardisasi Nasional,

1999). Lapisan seng setelah dililit tidak boleh menyepih, retak-retak atau mengelupas apabila digesek dengan tangan.

Bronjong harus kokoh, bentuk anyaman heksagonal dengan lilitan ganda dan berjarak maksimum 40 mm dan harus simetri. Lilitan harus erat dan tidak terjadi kerenggangan, hubungan antara kawat sisi dan kawat anyaman dililit minimum 3 kali sehingga bronjong kawat mampu menahan beban dari segala arah.



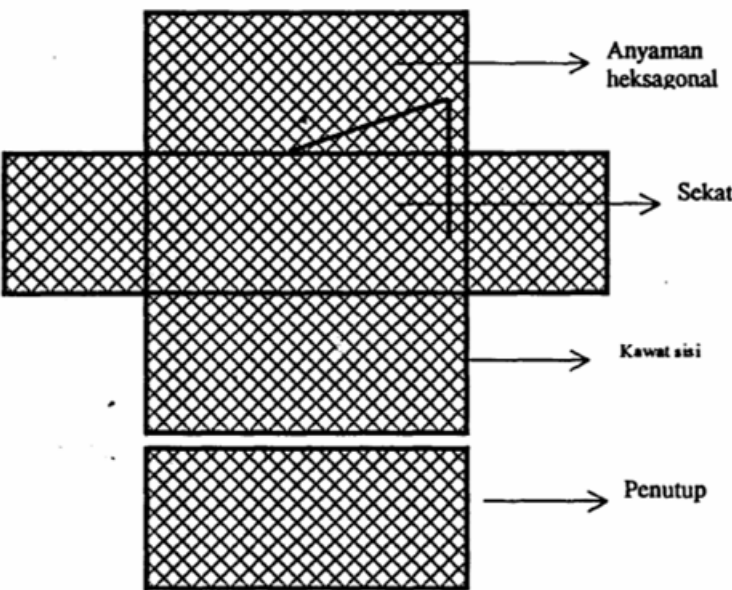
CATATAN :

- 1. kawat anyaman
- 2. kawat sisi
- 3. lilitan ganda
- S. lebar anyaman
- d. panjang lilitan
- L. panjang anyaman

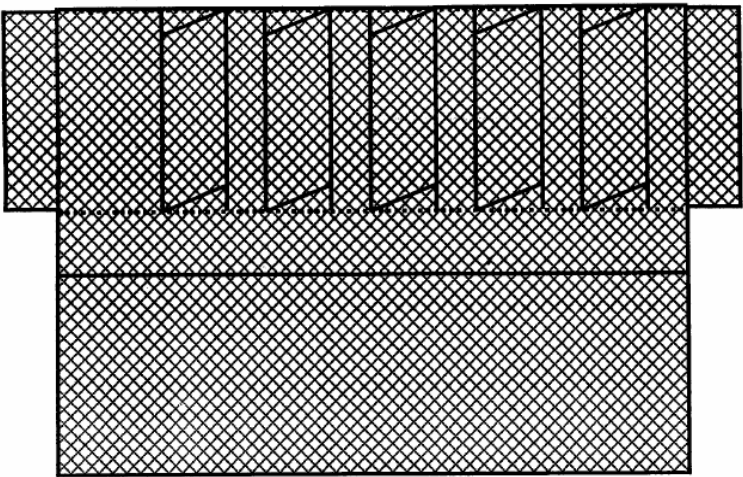
Gambar 4.10 . Anyaman Kawat Bronjong

Bronjong kawat berbentuk seperti pada **Gambar 4.11** dan **Gambar 4.12**. apabila dibentuk akan menjadi kotak persegi panjang dengan lempengan-

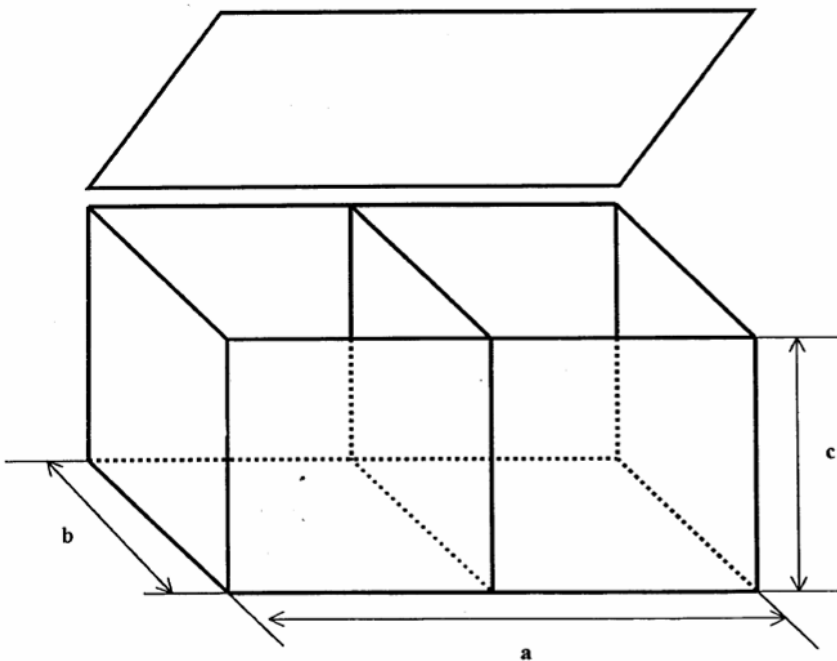
lempengan anyaman kawat penyekat pada tiap-tiap jarak 1 m (lihat **Gambar 4.13** dan **Gambar 4.14**).



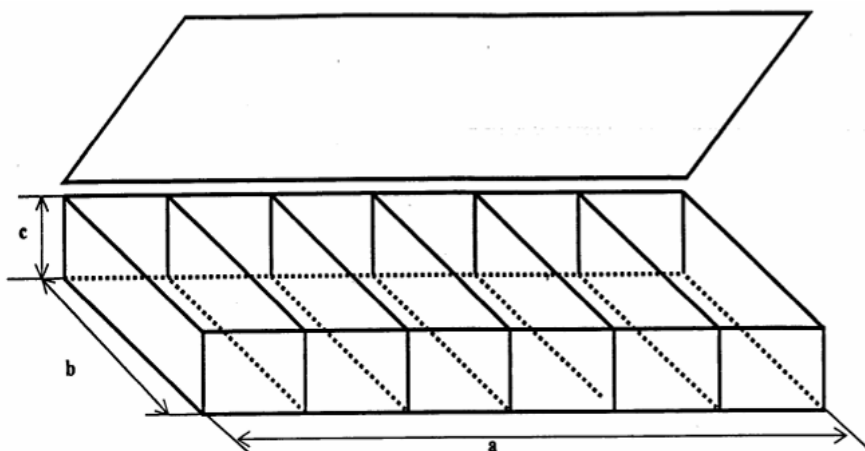
Gambar 4.11 Bronjong Kawat Bentuk I Sebelum Dibentuk Menjadi Kotak



Gambar 4.12 Bronjong Kawat Bentuk II Sebelum Dibentuk Menjadi Kotak



Gambar 4.13 Bronjong Kawat Bentuk I Setelah Dibentuk Menjadi Kotak



Gambar 4.14 Bronjong Kawat Bentuk II Setelah Dibentuk Menjadi Kotak

Ukuran bronjong kawat adalah sebagai berikut.

Tabel 4.6 Ukuran Bronjong Kawat Bentuk I

Kode	Ukuran dalam meter			Jumlah sekat	Kapasitas (m ³)
	a	b	c		
A	2	1	1	1	2
B	3	1	1	2	3
C	4	1	1	3	4
D	2	1	0,5	1	1
E	3	1	0,5	2	1,5
F	4	1	0,5	3	2

Kolom kode menunjukkan ukuran bronjong kawat sedangkan untuk ukuran anyaman bronjong kawat 80 x 100 mm, diameter kawat anyaman 2,70 mm, kawat sisi 3,400 mm, kawat pengikat 2 mm. Untuk ukuran anyaman bronjong 100 x 120 mm, diameter kawat anyaman 3,00 mm, kawat sisi 4,00 mm dan diameter kawat pengikat 2,0 mm. Toleransi ukuran kotak (lebar, tinggi dan panjang) sebesar 5%.

Tabel 4.7 Ukuran Bronjong Kawat Bentuk II

Kode	Ukuran dalam meter			Jumlah sekat	Kapasitas (m ³)
	a	b	c		
G	6	2	0,17	5	2,04
H	6	2	0,23	5	2,76
I	6	2	0,3	5	3,60

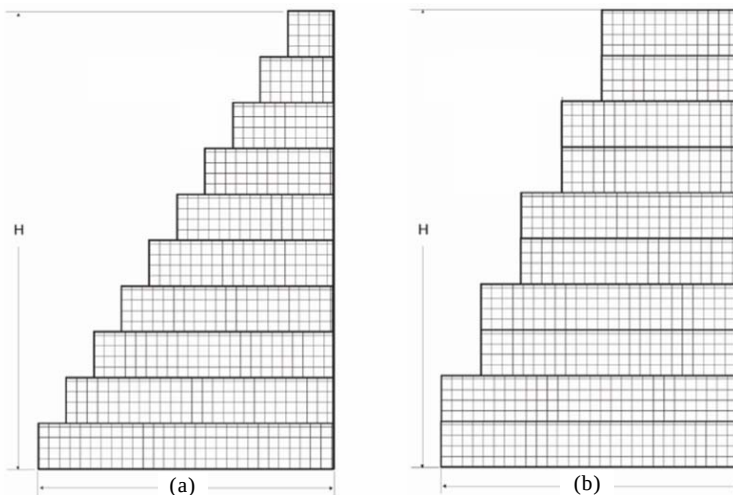
Kolom kode menunjukkan ukuran bronjong kawat sedangkan untuk ukuran anyaman bronjong kawat 60 x 80 mm, diameter kawat anyaman 2 mm, kawat sisi 2,70 mm, kawat pengikat 2 mm dan untuk ukuran anyaman bronjong 80 mm x 100 mm, diameter kawat anyaman 2,70 mm, kawat sisi 3,40 mm dan kawat pengikat 2 mm. Toleransi ukuran kotak (lebar, tinggi dan panjang) sebesar 5%.

4.4.2 Desain Bronjong

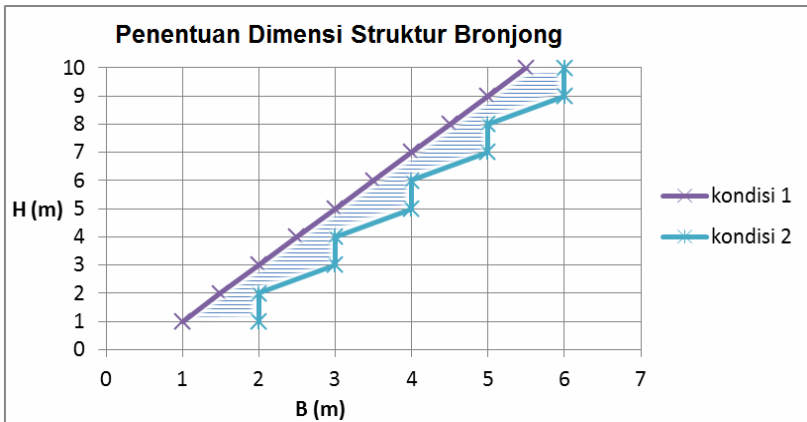
Desain bronjong dimulai dengan pemilihan dimensi untuk penampang vertikal dinding. Empat langkah utama adalah sebagai berikut (Modular Gabion Systems, 2004):

1. Tentukan gaya yang bekerja pada dinding.
2. Periksa momen penahan yang melampaui momen guling dengan faktor keamanan yang sesuai.
3. Periksa ketahanan geser yang melampaui kekuatan horisontal aktif dengan faktor keamanan yang sesuai.
4. Periksa bahwa gaya resultan berada pada tengah ketiga dari dasar dinding, dan tekanan *bearing* maksimum dalam batas yang diijinkan.

Langkah-langkah ini diulangi secara iteratif sampai desain yang cocok yang memenuhi semua kriteria. Stabilitas dinding harus diperiksa di dasar dan di setiap fase. Tipikal desain bronjong adalah seperti pada **Gambar 4.15**. Untuk memudahkan desain konstruksi bronjong, Modular Gabion Systems (2004) telah membuat panduan penentuan dimensi konstruksi bronjong seperti pada **Gambar 4.16**.



Gambar 4.15 Tipikal Desain Bronjong (Modular Gabion Systems, 2004)

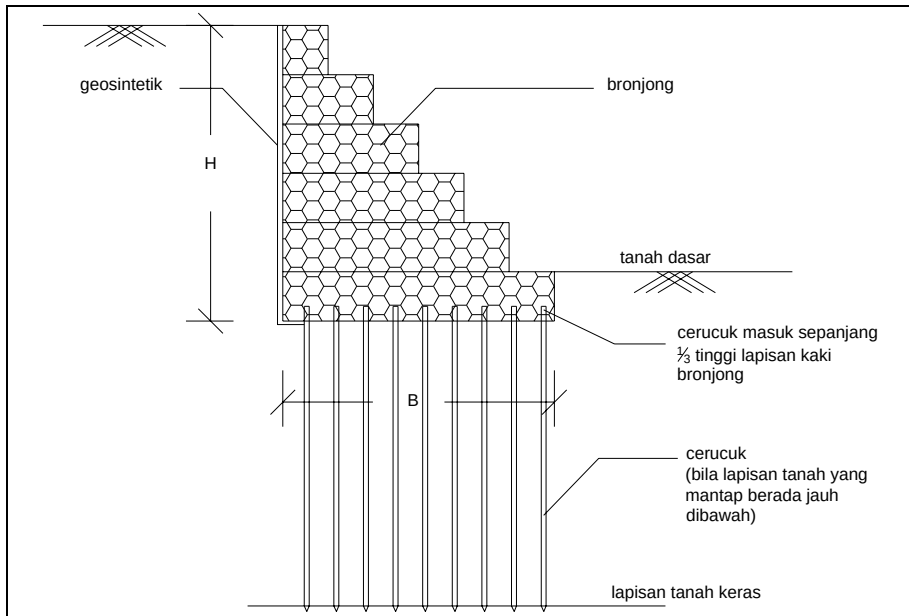


Gambar 4.16 Kebutuhan Lebar Bronjong untuk Tinggi Tertentu

Kondisi 1 pada Gambar 4-16 menunjukkan kebutuhan lebar bronjong untuk konstruksi bronjong dengan bentuk tipikal seperti pada **Gambar 4.15(a)**. Demikian pula kondisi 2 menunjukkan kebutuhan lebar bronjong untuk konstruksi bronjong dengan bentuk tipikal seperti pada **Gambar 4.15(b)**. Untuk kebutuhan praktis lapangan, kebutuhan lebar bronjong dapat diambil nilai di antara kedua kondisi tersebut di atas (bagian yang diarsir).

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan konstruksi bronjong adalah sebagai berikut:

- Dasar konstruksi bronjong harus diletakkan pada tanah dasar yang mantap. Bila lapisan tanah dasar yang mantap berada jauh di bawah, di bawah dasar bronjong dapat dipasang cerucuk bambu atau cerucuk kayu. Kedalaman cerucuk adalah hingga mencapai lapisan tanah keras. Jarak antar cerucuk dapat dilihat pada sub bab **4.5**. Pangkal cerucuk masuk sekitar sepertiga tinggi lapisan kaki bronjong untuk kekakuan.
- Lapis terbawah bronjong diletakkan di bawah tanah dasar.
- Geosintetik diletakkan di antara punggung bronjong dan tanah yang akan ditahan oleh konstruksi bronjong.



Gambar 4.17 Potongan Melintang Konstruksi Bronjong

Penanganan longsor jalan dengan konstruksi bronjong dapat bersifat darurat ataupun permanen. Konstruksi bronjong dapat berfungsi sebagai dinding penahan tanah dan bertahan lama. Namun sangat dianjurkan untuk selalu melakukan monitoring.



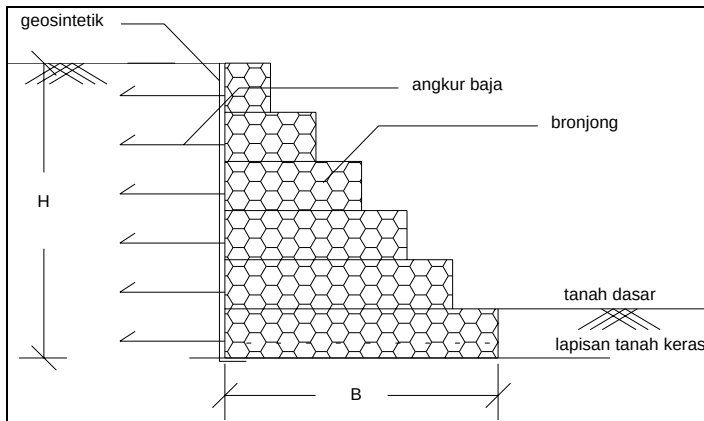
Gambar 4.18 Konstruksi Bronjong yang Telah Bertahan Lama

4.4.3 Variasi Bentuk Bronjong

Beberapa bronjong telah mengalami modifikasi bentuk untuk memenuhi persyaratan fungsional tertentu. Beberapa variasi bentuk bronjong adalah sebagai berikut:

- Bronjong berekor

Bronjong berekor disebut juga bronjong berangkur karena adanya angkur yang menghubungkan punggung bronjong dengan tanah dibelakangnya. Bronjong jenis ini dapat digunakan bila galiannya mencukupi.



Gambar 4.19 Bronjong Berekor

- Bastion

Bastion adalah bronjong berjajar internal dengan membran, biasanya dari geotextile nonwoven agar material pengisinya dapat berupa tanah granular.

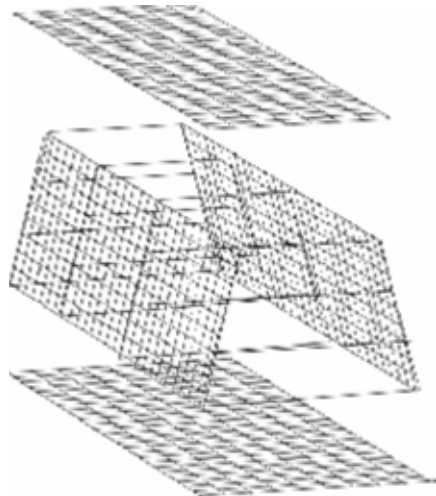
- Mattress

Mattress memiliki bentuk dengan ketinggian relatif kecil dibandingkan dengan dimensi lateral, umumnya sangat luas. Fungsi utamanya adalah untuk melindungi permukaan dari erosi dan yang sejenisnya.



Gambar 4.20 *Mattress* (wikipedia.org)

- Trapion
Bronjong dengan penampang trapesium, dirancang untuk susun berbentuk miring, bukannya bertangga seperti bronjong umumnya. Dapat berfungsi sebagai arsitektural.



Gambar 4.21 *Trapion* (wikipedia.org)

4.5 Alternatif Variasi Penanganan Darurat

Selain keempat metode penanganan darurat yang telah dijelaskan di atas, terdapat beberapa penanganan yang dapat dikategorikan sebagai penanganan darurat, seperti berikut ini:

- Cerucuk

Cerucuk dapat terbuat dari kayu atau bambu, adalah susunan tiang kayu dengan diameter atau ukuran sisi antara 8 dan 15 cm yang dimasukkan ke dalam tanah sehingga berfungsi sebagai fondasi (Departemen Pekerjaan Umum, 1999). Penggunaan cerucuk dimaksudkan untuk menaikkan tahanan geser tanah. Bila tahanan geser meningkat maka daya dukung tanah akan meningkat. Bila daya dukung tanah meningkat, maka kestabilan badan jalan juga akan meningkat. Berdasarkan penelitian Gultom, A.H. (1997), kebutuhan cerucuk adalah 6 (enam) per meter persegi untuk meningkatkan kestabilan badan jalan. Apabila menggunakan cerucuk kayu, maka harus mengikuti persyaratan cerucuk kayu sesuai dengan Tata Cara Pelaksanaan Pondasi Cerucuk Kayu di Atas Tanah Lembek dan Tanah Gambut SPM Bidang Bina Marga 029/T/BM/1999, atau seperti yang dirangkum pada **Tabel 4.8** berikut ini.

Tabel 4.8 Persyaratan Cerucuk Kayu (Departemen Pekerjaan Umum, 1999)

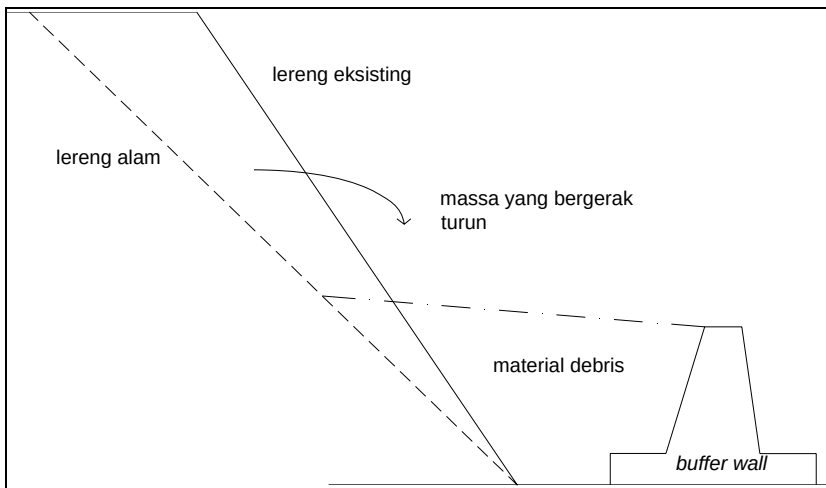
Uraian	Persyaratan
Diameter	Minimum 8 cm, maksimum 15 cm
Panjang	Minimum 3,5 m, maksimum 6 m
Kelurusan	Cukup lurus, tidak belok dan bercabang
Kekuatan	Minimum kelas kuat III PKKI 1973
Tegangan	Minimum kelas kuat III untuk mutu A PKKI 1973



Gambar 4.22 Cerucuk

- Buffer zone

Filosofi dinding penyangga (*buffer zone*) adalah dengan membiarkan batu berjatuhan akan tetapi sebisa mungkin akan dilokalisasi di suatu area yang telah ditentukan di sepanjang area dinding penyangga (*buffer zone*) (Departemen Pekerjaan Umum, 2009). Runtuhan batuan akan berhenti sampai lereng membentuk kemiringan alaminya, seperti pada **Gambar 4.23**. Prinsip ini dimungkinkan karena dalam bidang kebinamargaan selama keruntuhan/jatuhan batuan tidak mengganggu badan jalan. Sebagai *buffer wall* dapat dibuat dari konstruksi bronjong.



Gambar 4.23 Prinsip Kerja *Buffer Zone*



Gambar 4.24 *Buffer Zone*

- Pergeseran badan jalan

Pada kasus-kasus longsor yang terjadi pada lereng bawah badan jalan dapat dilakukan penanganan darurat dengan menggeser badan jalan ke arah tebing. Penganganan ini dimungkinkan bila tebing di atas badan jalan cukup stabil dan tidak memicu terjadinya longsor tebing. Penggeseran badan jalan harus dilengkapi dengan rambu-rambu dan marka yang memadai.



Gambar 4.25 Pergeseran Badan Jalan ke Tebing

5

STUDI KASUS

Berikut ini diberikan tipikal kasus longsor jalan dan penanganan darurat yang pernah dilakukan.

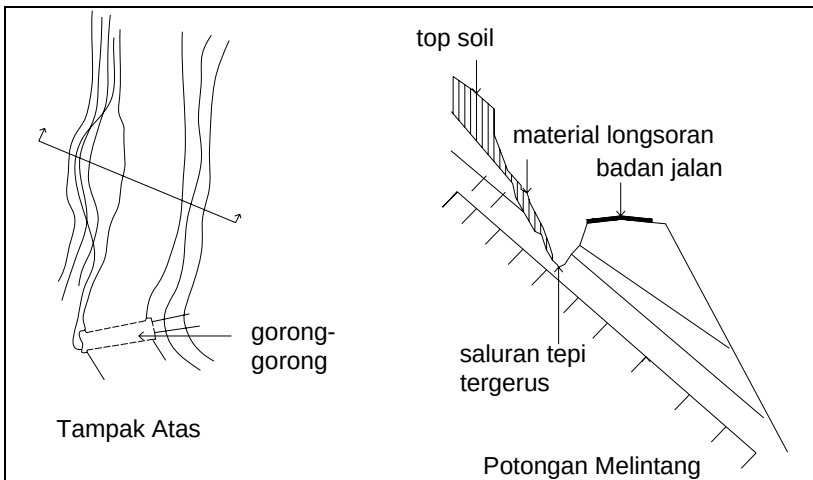
5.1 Longsor di Atas Badan Jalan:

5.1.1 Longsor Tebing Akibat Limpasan Air Permukaan

Penyebab terjadinya longsor adalah limpasan air dari saluran permukaan yang membentuk alur-alur alam baru. Kelebihan debit air, terutama di musim hujan yang terjadi salah satunya akibat penggundulan hutan di daerah bukit. Alur-alur baru terbentuk terutama pada lereng-lereng yang terjal dengan menghanyutkan tanah dan batuan penutup lereng yang menghalanginya.

Penanganan darurat yang dapat dilakukan:

- Pembersihan badan jalan dari material longsor
Material longsor yang menutupi badan jalan harus segera dibersihkan agar jalan dapat fungsional kembali. Harus diperhatikan lokasi pembuangan material longsor tersebut, apakah dapat langsung dibuang ke bawah lereng / jurang atau tidak.
- Perbaiki saluran air
Saluran permukaan yang telah ada diperlebar. Sebagai pemecah energi dapat digunakan saluran dengan sistem bertangga ke arah memanjang. Dipertimbangkan untuk menggunakan gorong-gorong untuk mengeluarkan air dari saluran tepi.



Gambar 5.1 Sketsa Longsor Akibat Limpasan Air Permukaan



Gambar 5.2 Saluran Tepi yang Tergerus

5.1.2 Longsoran Tebing Akibat Penjenuhan Tanah

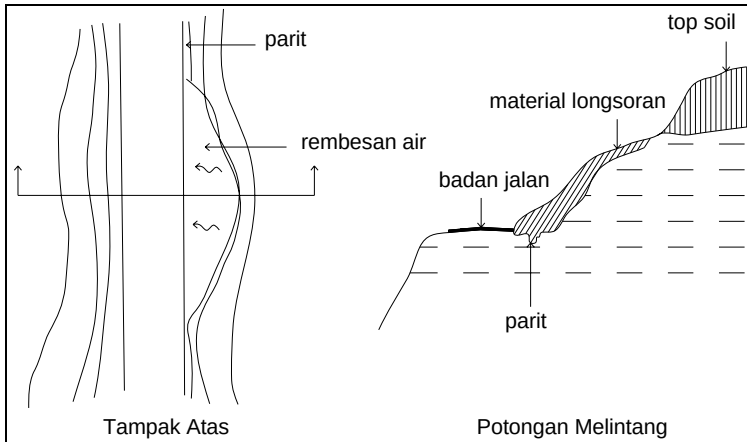
Penyebab terjadinya longsoran karena material tanah/batuan memiliki sifat sangat rentan longsor pada kondisi jenuh. Kondisi diperparah dengan tata salir yang tidak sanggup mengalirkan air permukaan pada musim penghujan.

Penanganan darurat yang dapat dilakukan:

- Pembersihan badan jalan dari material longsoran
Material longsoran yang menutupi badan jalan harus segera dibersihkan agar jalan dapat fungsional kembali. Harus diperhatikan lokasi pembuangan material longsoran tersebut, apakah dapat langsung dibuang ke bawah lereng/jurang atau tidak.
- Pembuatan konstruksi sub drain untuk mengalirkan air tanah
Untuk mengurangi kadar air dalam tanah perlu dialirkan air yang terperangkap di dalam tanah.
- Pelandaian lereng
Pelandaian lereng sangat diperlukan bila lereng galian yang dilakukan terlalu curam. Perlu diperhatikan kemiringan kritis pada tebing.

- Pembuatan konstruksi bronjong dan *buffer zone*

Buffer zone diperuntukkan sebagai penampungan material longsor, untuk kemudian material longsor tersebut dapat dibuang secara berkala. Sebagai tembok penahan pada penanganan darurat dapat dibangun konstruksi bronjong. Kaki bronjong harus diletakkan pada tanah dasar yang mantap.



Gambar 5.3 Sketsa Longsor Tebing Akibat Penjenuhan Tanah



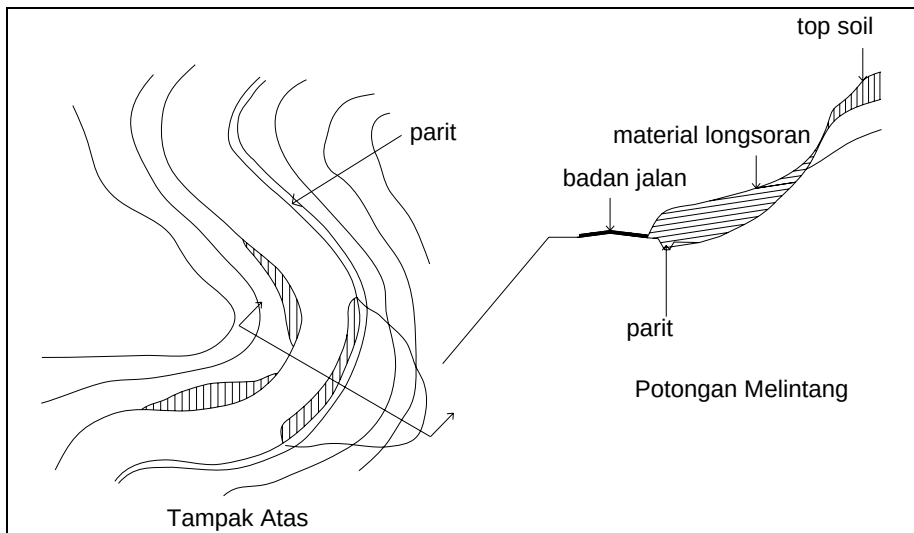
Gambar 5.4 Longsor Tebing Akibat Penjenuhan Tanah

5.1.3 Longsoran Akibat Ketidakstabilan Tebing

Penyebab terjadinya longsoran adalah pemotongan pinggang bukit yang terlalu curam. Pemotongan tebing ini biasanya terjadi karena sedang dilaksanakan pekerjaan pembangunan seperti pembangunan *fly over*. Kondisi ini juga dipengaruhi oleh pengaruh air permukaan dan bawah permukaan.

Penanganan darurat yang dapat dilakukan:

- Penataan tebing
Penataan tebing dapat dilakukan dengan melandaikan lapisan atas (*top soil*) tebing yang longsor. Material longsor dari tebing tersebut dibuang sehingga diperoleh daerah bebas untuk menampung material longsor baru. Perlu diperhatikan bahwa pembuangan material longsor ke jurang harus mempertimbangkan kemantapan badan jalan dan tidak ditimbun pada daerah sembarangan karena akan mengganggu kemantapan badan jalan yang ada.
- Tata salir
Saluran tepi difungsikan kembali dengan diperlebar dan dibuat dengan penampang berbentuk “V” untuk mengurangi sedimentasi. Pada daerah yang tinggi dapat dibuat terjunan sebagai pemecah energi. Untuk mengalirkan air tanah diperbanyak subdrain dan gorong-gorong pada tanah dasar di bawah parit tepi. Sebelum tikungan dibuat konstruksi gorong-gorong.
- Perkuatan tebing
Yang dapat dilakukan sebagai penanganan sementara longsoran jalan untuk perkuatan tebing adalah dengan konstruksi bronjong. Tapi dipertimbangkan pembangunan konstruksi dinding penahan tanah dari beton bertulang untuk penanganan longsoran permanen.



Gambar 5.5 Sketsa Longsoran Akibat Ketidakstabilan Tebing



Gambar 5.6 Longsoran Akibat Ketidakstabilan Tebing

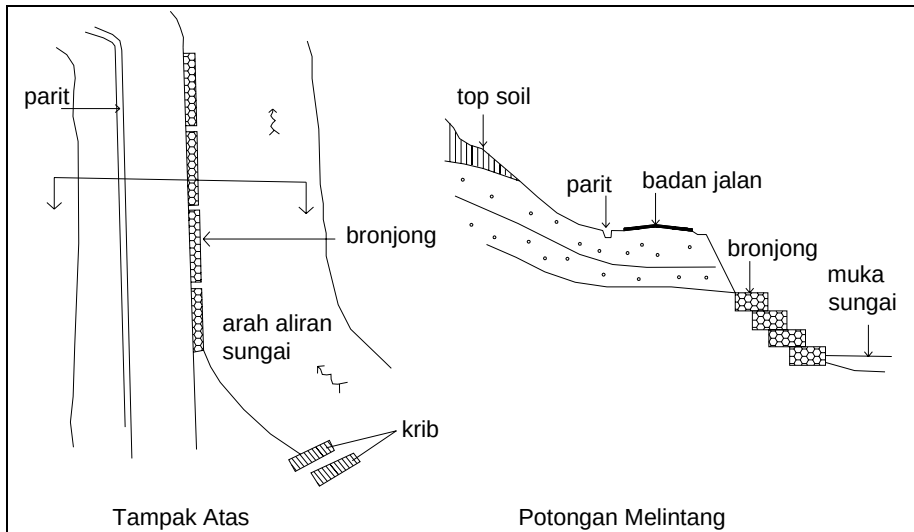
5.2 Longsoran pada Badan Jalan dan Lereng Bawah Badan Jalan

5.2.1 Gerusan Badan Jalan oleh Sungai

Penyebab terjadinya gerusan sungai terutama akibat badan jalan terletak pada tikungan luar sungai dan tanah dasar berupa dataran banjir (*flood plain*) yang terdiri dari aluvial sungai yang bersifat lepas.

Penanganan darurat yang dapat dilakukan:

- Dibuat konstruksi penahan lereng terhadap erosi sungai
Dipertimbangkan untuk mengembalikan pola aliran sungai. Sebagai penahan erosi sungai dapat dilakukan dengan konstruksi krib dan bronjong. Bronjong juga berguna untuk mencegah overtoping aliran sungai. Konstruksi penahan erosi juga diperlukan pada pangkal jembatan dan outlet gorong-gorong.
- Penggeseran badan jalan ke arah tebing
Dilakukan apabila memungkinkan dengan memberikan rambu-rambu yang memadai.
- Perbaiki tata salir
Sedimentasi pada sungai serta saluran permukaan dan gorong-gorong harus dibersihkan. Dibuat parit-parit penyalur berdasarkan debit air terbesar.



Gambar 5.7 Sketsa Longsoran Akibat Gerusan Sungai



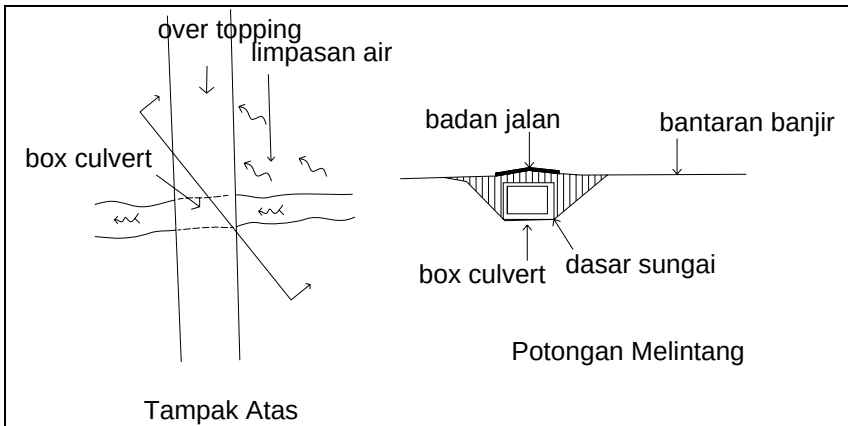
Gambar 5.8 Gerusan Badan Jalan oleh Sungai

5.2.2 Longsoran Badan Jalan Akibat Limpasan Saluran Tepi

Longsoran ini terjadi pada daerah badan jalan yang menurun dan menikung. Kondisi ini diperparah dengan penyumbatan saluran oleh sedimentasi dan sampah.

Penanganan darurat yang dapat dilakukan:

- Perbaikan tata salir
Gorong-gorong yang rusak diperbaiki dan dibersihkan. Untuk mengurangi terjadinya sedimentasi pada saluran permukaan, penampang saluran dapat dibuat seperti huruf “V”.
- Perkuatan lereng bawah badan jalan dengan bronjong
Perlu diperhatikan bahwa kaki bronjong diletakkan pada tanah dasar yang mantap.



Gambar 5.9 Sketsa Longsoran Badan Jalan Akibat Limpasan Saluran Tepi



Gambar 5.10 Longsoran Badan Jalan Akibat Limpasan Saluran Tepi

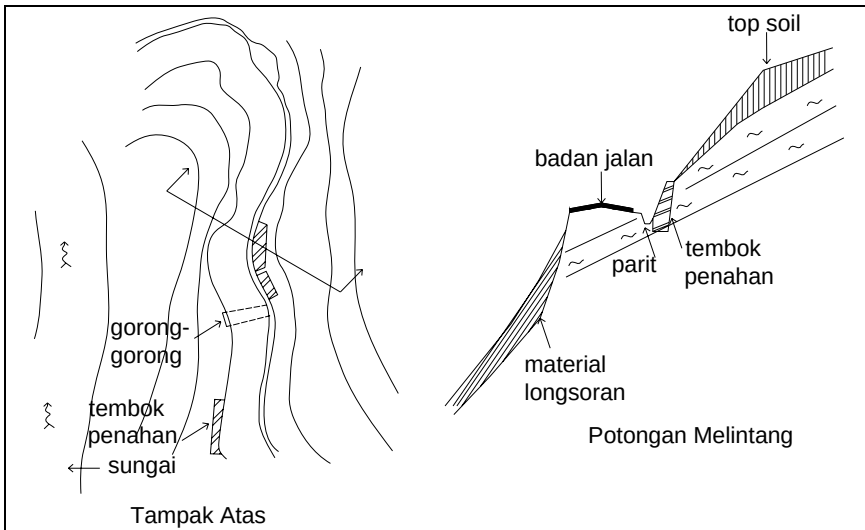
5.2.3 Longsoran Badan Jalan Akibat Konstruksi Penahan Lereng Bawah Badan Jalan Tidak Berfungsi

Konstruksi penahan berupa dinding pasangan batu maupun dinding beton bertulang mengalami longsor karena dasar fondasi tidak terletak pada lapisan batuan dasar yang mantap. Longsoran dinding dikarenakan

terjadinya aliran air dibelakang dinding yang menggerus tanah dasar fondasi sehingga konstruksi dinding jatuh meluncur ke bawah.

Penanganan darurat yang dapat dilakukan:

- Penggeseran badan jalan ke arah tebing
Dilakukan apabila memungkinkan dengan memberikan rambu-rambu yang memadai.
- Perbaiki konstruksi penahan
Bronjong yang telah rusak diperbaiki dengan mengganti batunya menjadi yang lebih besar dan kaki bronjong diletakkan pada tanah dasar yang mantap. Dipertimbangkan untuk melakukan penangan permanen dengan konstruksi dinding penahan tanah dari beton bertulang atau dengan *bor pile*.



Gambar 5.11 Sketsa Longsor Akibat Konstruksi Penahan Lereng Bawah Badan Jalan Tidak Berfungsi



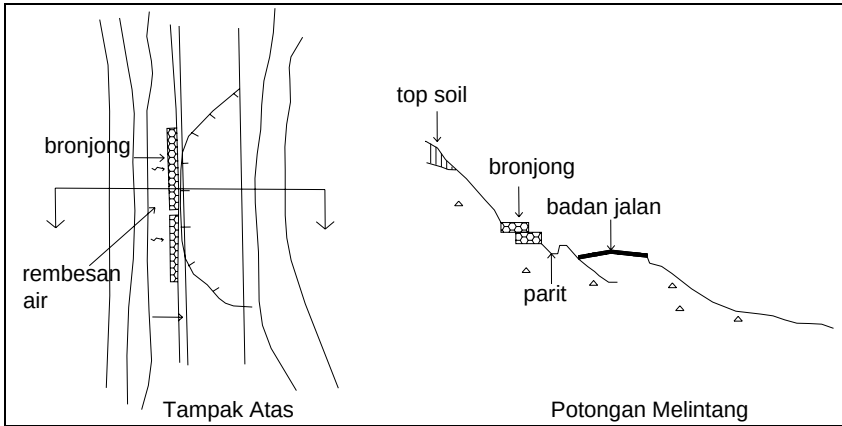
Gambar 5.12 Amblasan Jalan

5.2.4 Amblasan Badan Jalan Akibat Penjenuhan Tanah Dasar

Penyebab longsor adalah rayapan (*creep*) pada daerah-daerah yang muka air tanahnya cukup tinggi.

Penanganan darurat yang dapat dilakukan:

- Perkuatan lereng bawah badan jalan dengan bronjong
Perlu diperhatikan bahwa kaki bronjong diletakkan pada tanah dasar yang mantap.
- Pembongkaran badan jalan yang amblas dan menggantinya dengan material granular yang dipadatkan
- Tata sailr
Saluran tepi dibersihkan, diperlebar dan dibuat dengan penampang berbentuk “V” untuk mengurangi sedimentasi. Pada daerah yang tinggi dapat dibuat terjunan sebagai pemecah energi. Untuk mengalirkan air tanah diperbanyak subdrain dan gorong-gorong pada tanah dasar di bawah parit tepi.



Gambar 5.13 Sketsa Longsoran Akibat Penjenuhan Tanah Dasar



Gambar 5.14 Rayapan

5.2.5 Longsoran Badan Jalan Akibat Gerusan Saluran Tepi

Penyebab longsoran adalah akibat gradien hidrolik aliran cukup tinggi pada selokan tepi tanpa diperkeras yang cukup panjang (jarak antar gorong-gorong), sehingga lapisan tanah/batuan bersifat sangat lepas.

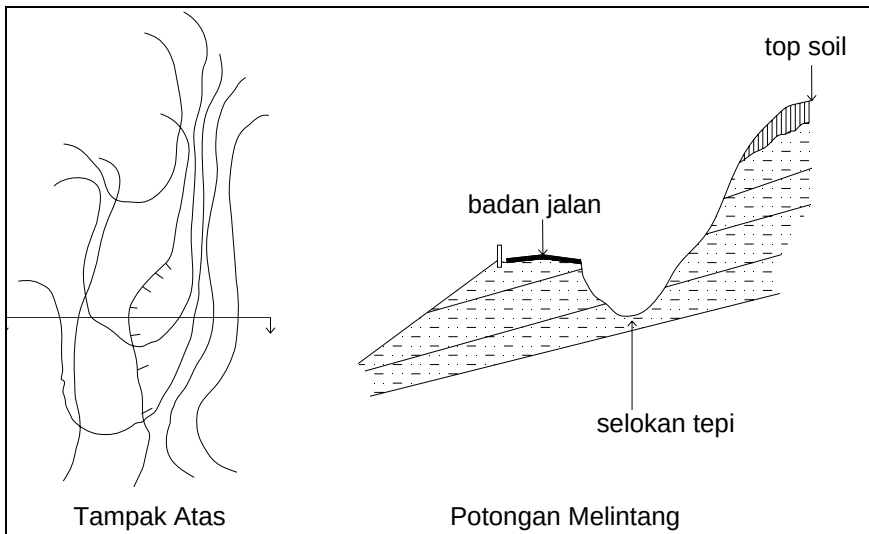
Penanganan darurat yang dapat dilakukan:

- Perbaikan tata salir

Saluran permukaan diperbanyak untuk menghindari terjadinya limpasan. Untuk mengurangi erosi pada saluran permukaan dapat dibuat saluran permukaan dengan sistem bertangga. Diperbanyak gorong-gorong untuk mengeluarkan air dari saluran tepi. Konstruksi sub drain dibuat di daerah kaki lereng untuk mengalirkan air tanah.

- Perkuatan lereng bawah badan jalan dengan bronjong

Konstruksi bronjong diperpanjang hingga daerah badan jalan yang tergerus.



Gambar 5.15 Sketsa Longsoran Akibat Gerusan Saluran Tepi



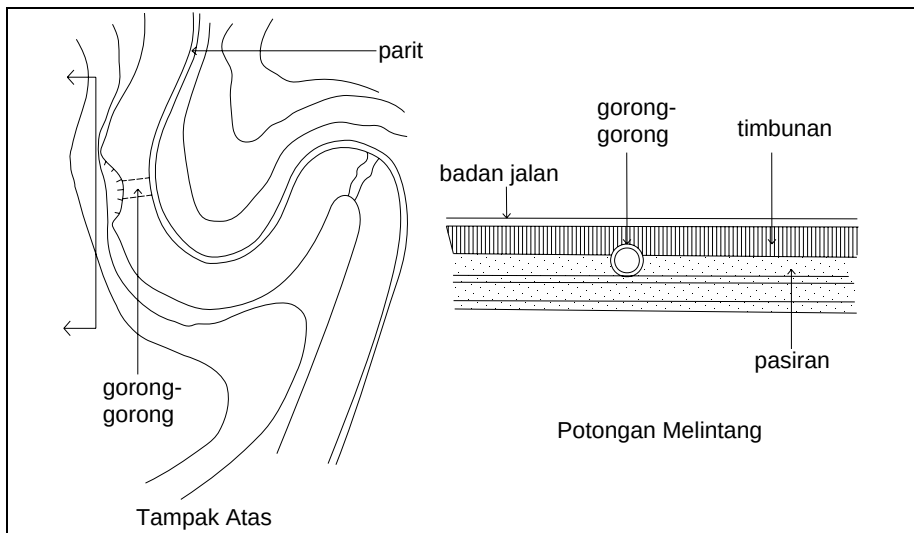
Gambar 5.16 Kerusakan Jalan Akibat Gerusan Saluran Tepi

5.2.6 Gerusan Badan Jalan Akibat Inlet Gorong-gorong / *Box Culvert* Terlalu Kecil

Penyebab longsor adalah inlet gorong-gorong/*box culvert* terlalu kecil dibandingkan alur alam yang berada di bagian hulunya. Kondisi ini diperparah dengan penyumbatan saluran oleh sedimentasi dan sampah.

Penanganan darurat yang dapat dilakukan:

- Perbaiki tata salir
Gorong-gorong yang telah ada dibersihkan. Dibat bangunan terjunan sebagai peredam aliran air dari gorong-gorong untuk menghindari gerusan lereng.
- Perkuatan lereng bawah badan jalan dengan bronjong
- Mengganti konstruksi gorong-gorong/*box culvert* dengan jembatan
Pada daerah alur alam yang besar, konstruksi gorong-gorong/*box culvert* diganti dengan jembatan pelat yang sesuai dengan lebar alur ($\pm 8,00$ meter), sehingga material bawaan aliran tidak menyumbat aliran air.



Gambar 5.17 Sketsa Longsoran Akibat Inlet Gorong-gorong Terlalu Kecil



Gambar 5.18 Kerusakan Gorong-gorong

5.2.7 Longsoran Badan Jalan Akibat Abrasi Pantai

Lokasi jalan yang berdampingan langsung dengan laut menyebabkan badan jalan sering mendapat terjangan ombak yang mengakibatkan gerusan badan jalan.

Penanganan darurat yang dapat dilakukan:

- Dibuat konstruksi penahan abrasi
Hantaman gelombang laut ditanggulangi dengan pemasangan konstruksi penahan abrasi seperti riprap, bronjong, geo bag ataupun pemasangan *tetrapod* dan *breakwater* sebagai penanganan permanen. Dipertimbangkan untuk melakukan penanganan permanen dengan melakukan studi terlebih dahulu.
- Penggeseran badan jalan ke arah tebing
Dilakukan apabila memungkinkan dengan memberikan rambu-rambu yang memadai.



Gambar 5.19 Longsoran Badan Jalan Akibat Abrasi Pantai

6

PENUTUP

Longsoran merupakan kejadian di mana massa tanah di atas kedalaman batas di dalam permukaan tanah berangsur-angsur bergerak ke bawah. Berdasarkan pola pergerakannya, longsoran dapat diklasifikasikan menjadi:

- Gelincir (*slide*)
- Jatuhan (*fall*)
- Aliran (*flow*)
- *Spread*
- Gelincir kombinasi

Penanganan darurat longsoran jalan dimaksudkan agar jalan tetap fungsional dan lalu lintas tidak terputus. Diperlukan pekerjaan-pekerjaan yang sederhana, cepat, relatif murah, tidak memerlukan perhitungan yang rumit serta menggunakan material yang tersedia (material lokal). Berdasarkan tinjauan pustaka dan studi kasus longsoran jalan yang pernah terjadi, penanganan darurat longsoran jalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Penimbunan kembali daerah badan jalan yang longsor.
- Pemotongan tebing di sisi jalan untuk penyiapan badan jalan baru.
- Pengendalian aliran air.
- Perkuatan lereng jalan yang longsor dengan bronjong.
- Alternatif variasi penanganan darurat

Penanganan darurat, seperti halnya namanya, hanya bersifat darurat/ sementara. Beberapa penanganan seperti penanganan dengan menggunakan konstruksi bronjong dapat pula bersifat permanen, namun perlu dilakukan monitoring terhadap penanganan darurat tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Bakornas. 2004. Pedoman Penyusunan Rencana Manajemen Bencana di Daerah. Bakornas. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1995. Manual Pemeliharaan Rutin untuk Jalan Nasional dan Jalan Provinsi, Jilid II: Metode Perbaikan Standar. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1996. Laporan Peninjauan Longsor pada Ruas Jalan Kutacane – Blangkejeren – Takengon Provinsi D.I. Aceh. Departemen Pekerjaan Umum. Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1999. Tata Cara Pelaksanaan Pondasi Cerucuk Kayu di Atas Tanah Lembek dan Tanah Gambut. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Panduan Geoteknik Jalan: Manajemen Pekerjaan Tanah untuk Jalan. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Rekayasa Penanganan Keruntuhan Lereng pada Tanah Residual dan Batuan. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.

- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Penanganan Lereng Jalan, Buku 1 Petunjuk Umum. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Penanganan Lereng Jalan, Buku 2 Manual Perencanaan. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Penanganan Lereng Jalan, Buku 3 Manual Pelaksanaan. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2006. Panduan Geoteknik Jalan, Edisi II. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2007. Dokumen Pelelangan Nasional Pekerjaan Jasa Pelaksanaan Konstruksi (Pemborongan) untuk Kontrak Harga Satuan, Bab IV Spesifikasi Umum. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 20xx. Konsep Pedoman Penyusunan Spesifikasi Teknis Volume I : Umum Bagian – 5 : Pekerjaan Pasangan. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2009. Kajian Pengawasan Teknologi Penanganan Longsoran Jalan di Ende – Maumere KM 13 & KM 76. Departemen Pekerjaan Umum. Bandung.
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. Tata Cara Identifikasi Awal di Daerah Longsoran. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. Bandung.
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. 2003. Pedoman Pengendalian Pemanfaatan Ruang di Kawasan Rawan Bencana Longsor. Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. Jakarta.
- Gultom, A.H. 1997. Meningkatkan Stabilitas Badan Jalan dengan Menggunakan Cerucuk. STTH Edisi 007. Medan.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2011. Penyusunan Sistem Manajemen Bencana Alam Bidang Jalan dan Jembatan (draft). Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta.

- Kementerian Pekerjaan Umum. 2011. Manual Pemeliharaan Jalan Tol. Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Modular Gabion Systems. 2004. Gabion Walls Design. Modular Gabion Systems, A Division of C. E. Shepherd Company. Houston, TX.
- SNI. 1990. SNI 03-1962-1990. Tata Cara Perencanaan Penanggulangan Longsoran. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- SNI. 1999. SNI 03-0090-1999. Bronjong Kawat. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI. 1999. SNI 03-6154-1999. Kawat Bronjong. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- U.S. Geological Survey. 2008. The Landslide Handbook— A Guide to Understanding Landslides. U.S. Geological Survey. Reston, Virginia.
- en.wikipedia.org

CATATAN

[illegible]

CATATAN

[illegible]