



MANUAL

No : 02-1/BM/2005

Penanganan lereng jalan

BUKU 1

PETUNJUK UMUM



DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

TERKENDALI

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	
DAFTAR GAMBAR	
1. RUANG LINGKUP	1
2. ACUAN NORMATIF	2
3. ISTILAH DAN DEFINISI	3
4. PRINSIP DASAR LERENG JALAN	5
4.1. TIPE LERENG	5
4.1.1. Lereng Alam	5
4.1.2. Lereng Buatan	6
4.2. STABILITAS LERENG	8
4.2.1. Teori Dasar	8
4.2.2. Metode Analisa	13
4.2.3. Hitungan Tekanan Tanah Lateral Pada Dinding Penahan	75
4.2.4. Perhitungan Stabilitas Dinding Penahan	84
4.3. PENANGANAN LERENG	93
4.3.1. Karakteristik Penanganan	93
4.3.2. Metode Penanganan	96
4.4. METODE DRAINASE	122
4.4.1. Metode Drainase	122
4.4.2. Pemilihan Metode Drainase	122

4.5. KARAKTERISTIK MASALAH KESTABILAN LERENG	130
4.5.1. Runtuhan (Falls)	130
4.5.2. Pengelupasan (Topples)	130
4.5.3. Aliran Tanah (Earth Flow)	131
4.5.4. Longsoran (Slides)	132
 5. PENYELIDIKAN DAN PENGUJIAN	135
5.1. TAHAP PENGUMPULAN DATA	135
5.1.1. Peta Topografi	135
5.1.2. Peta Geologi	136
5.1.3. Profil Geoteknik	136
5.1.4. Foto Udara	136
5.1.5. Tata Guna Tanah	136
5.1.6. Data curah Hujan	137
 5.2. TAHAP PENYELIDIKAN PENDAHULUAN	137
5.2.1. Peta Topografi	138
5.2.2. Pemetaan Geologi Tanah	138
5.2.3. Pendugaan Geofisika	138
5.2.4. Sumur Uji (Test Pit)	138
5.2.5. Pengamatan Visual	139
 5.3. TAHAP PENYELIDIKAN TERINCI	139
5.3.1. Penyelidikan Lapangan	139
5.3.2. Pengujian Laboratorium	140
 5.4. INSTRUMENTASI DAN PENGUJIAN	142
5.4.1. Tujuan Instrumentasi	142
5.4.2. Perencanaan Instrumentasi	142
5.4.3. Jenis Pengukuran Yang Dibutuhkan	143
5.4.4. Pemilihan dan Penentuan Jenis Instrumentasi	143

6.	PERENCANAAN LERENG	146
6.1.	DASAR PERENCANAAN	146
6.1.1.	Aspek Yang Harus Diperhatikan	146
6.1.2.	Parameter Perencanaan Lereng	151
6.2.	ANALISA KESTABILAN LERENG	157
6.2.1.	Penentuan Bidang Longsor	157
6.2.2.	Penentuan Kondisi Geohidrologi	159
6.2.3.	Penentuan Penampang Geoteknik	161
6.2.4.	Perhitungan Stabilitas Lereng	162
6.3.	PEMILIHAN DRAINASE LERENG	163
6.4.	PERTIMBANGAN ASPEK LINGKUNGAN	163
6.4.1.	Peruntukan Lahan Di Sekitar Rencana Tapak Lereng	164
6.4.2.	Karakteristik Kawasan	164
6.4.3.	Kawasan Sensitif Di Sekitar Rencana Tapak Lereng	164
6.4.4.	Keberadaan Bangunan Di Sekitar Rencana Tapak Lereng	165
6.4.5.	Aksesibilitas Kawasan	165
6.4.6.	Ketersediaan Lahan	165
6.4.7.	Estetika Kawasan	166
6.4.8.	Pelaksanaan Fisik Konstruksi	166
6.4.9.	Keselamatan	166
6.5.	KRITERIA PEMILIHAN PENANGANAN LERENG	166
6.6.	SPESIFIKASI TEKNIS DAN GAMBAR RENCANA	168
6.6.1	Spesifikasi Teknis	168
6.6.2.	Gambar Rencana	173

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Faktor Keamanan Minimum Kemantapan Lereng	12
Tabel 4.2.	Macam Tanah dan Translasi Saat Tanah Dalam Kondisi Aktif (Bowles, 1977)	49
Tabel 4.3.	Nilai-nilai K_0 Untuk Berbagai Jenis Tanah (Punmia, 1980)	51
Tabel 4.4.	Nilai-nilai Kisaran Koefisien Tekanan Tanah Lateral (Bowles, 1977)	51
Tabel 4.5a.	Koefisien Tekanan Tanah Aktif (K_a) Teori Rankine	58
Tabel 4.5b.	Koefisien Tekanan Tanah Pasif (K_p) Teori Rankine	58
Tabel 4.6a.	Koefisien Tekanan Tanah Aktif (K_a) Teori Coulumb	70
Tabel 4.6b.	Koefisien Tekanan Tanah Pasif (K_p) Teori Coulumb	71
Tabel 4.7.	Koefisien Gesek (f) Antara Dasar Pondasi Dan Tanah Dasar (AREA, 1958)	86
Tabel 5.1.	Macam Pengujian Laboratorium Dan Aplikasinya	141
Tabel 5.2.	Instrumen Di Daerah Gerakan Tanah	144
Tabel 6.1.	Kesesuaian Aplikasi Metode Analisa Stabilitas Lereng	163
Tabel 6.2.	Pemilihan Metode Penanganan Lereng	167

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Ilustrasi Keberadaan Lereng Alam Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Badan Jalan Berada Pada Samping Lereng Alam	5
Gambar 2	Ilustrasi Keberadaan Lereng Alam Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Badan Jalan Berada Pada Daerah Galian	6
Gambar 3	Ilustrasi Keberadaan Lereng Buatan Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Permukaan Badan Jalan Berada Di Bawah Permukaan Tanah Asli	7
Gambar 4	Ilustrasi Keberadaan Lereng Bentuk/Buatan Akibat Timbunan Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Permukaan Badan Jalan Berada Di Atas Permukaan Tanah Asli	8
Gambar 5	Keseimbangan Benda Pada Bidang Miring	8
Gambar 6	Kekuatan Geser Tanah Atau Batu	11
Gambar 8	Sistem Gaya Pada Cara Fellinius	14
Gambar 9	Sistem Gaya Pada Suatu Elemen Menurut Bishop	16
Gambar 10	Sistem Gaya Pada Irisan Dengan Metoda Janbu	18
Gambar 11	Harga m_{∞} Untuk Persamaan Bishop	
Gambar 12	Definisi Dari Tanda-tanda Yang Digunakan Untuk Perhitungan	20
Gambar 13a	Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis – 1	21
Gambar 13b	Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 2	22

Gambar 13c	Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 3	23
Gambar 13d	Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 4	24
Gambar 13e	Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 5	25
Gambar 13f	Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 6	26
Gambar 13g	Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 7	27
Gambar 13h	Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-lingkaran Kritis (lanjutan) – 8	28
Gambar 14	Lereng Yang Terdiri Atas Empat Lapisan	29
Gambar 15	Faktor Reduksi Stabilitas $\phi = 0$ dan $\phi > 0$	32
Gambar 16	Faktor Reduksi Grafik Stabilitas $\phi = 0$ dan $\phi > 0$	33
Gambar 17	Angka Kemantapan dan Koordinat Titik Pusat Bidang Longsor Kritis Untuk Lereng Sederhana	34
Gambar 17a	Grafik Stabilitas Untuk $\phi > 0$	35
Gambar 18	Angka Kemantapan Untuk Lereng Tak Terhingga	39
Gambar 19	Fungsi Untuk Grafik Perencanaan Lereng Bidang Longsoran Planar	41
Gambar 20	Fungsi Untuk Grafik Perencanaan Lereng Bidang Longsoran Lingkaran	42
Gambar 21	Grafik Perencanaan Lereng Bidang Longsoran Planar	43
Gambar 22	Grafik Perencanaan Lereng Bidang Longsoran Lingkaran	44
Gambar 23	Tekanan Tanah Lateral	46
Gambar 24	Tekanan Tanah Lateral dan Lingkaran Mohr	48

Gambar 25	Distribusi Tekanan Tanah Aktif Pada Dinding Penahan Menurut Tipe Gerakan Dinding	50
Gambar 26	Diagram Tekanan Tanah Aktif Rankine	54
Gambar 27	Diagram Tekanan Tanah Aktif Rankine	59
Gambar 28	Diagram Tekanan Tanah Pasif Rankine	61
Gambar 29	Diagram Tekanan Aktif dan Pasif Pada Tanah Kohesif ($c > 0$ dan $\phi > 0$)	63
Gambar 30	Kelongsoran Ditinjau Dari Teori Coulomb	65
Gambar 31	(a) Kondisi Saat Longsor (b) Segitiga Gaya	66
Gambar 32	(a) Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Kondisi Tekanan Pasif (b) Poligon Gaya Untuk Hitungan Tekanan Pasif	67
Gambar 33	Tekanan Tanah Lateral Menurut Teori Coulomb	69
Gambar 34	Diagram Tekanan Tanah Aktif Akibat Beban Terbagi Rata q Untuk Teori Rankine	73
Gambar 35	Tekanan Tanah Pada Dinding Akibat Beban	75
Gambar 36	Penggunaan Teori Tekanan Tanah Lateral Pada Perancangan Dinding Penahan Tanah (Bowles, 1977)	76
Gambar 37	Hitungan Tekanan Tanah Aktif Cara Grafik Culmann	78
Gambar 38	Hitungan Cara Grafik Culmann Untuk Tekanan Tanah Aktif Pada Tanah Kohesif	80
Gambar 39	Hitungan Cara Grafik Culmaan Untuk Tekanan Tanah Pasif	82
Gambar 40	Penggambaran Jaring Arus	84
Gambar 41	Gaya-gaya Yang Bekerja Pada Dinding Penahan Tanah	84
Gambar 41	(a) Stabilitas Terhadap Penggeseran dan Penggulingan (b) Memperbesar Tanah Geser Dengan Pengunci	87

Gambar 42	Penanggulangan Longsoran Dengan Tata Salir	97
Gambar 43	Penanggulangan Longsoran Dengan Tata Salir	98
Gambar 44	Penanganan Lereng Dengan Perbaikan Permukaan Lereng	98
Gambar 45	Penganggulangan Longsoran Dengan Cara Mengubah Geometri Lereng	100
Gambar 46	Penganggulangan Longsoran Dengan Mekanisme Pengendalian Air Rembesan	104
Gambar 47	Penambatan Tanah Dengan Bronjong	105
Gambar 48	Tipe-tipe Konstruksi Dengan Tembok Penahan	106
Gambar 49	Penambatan Tanah Dengan Sumuran	107
Gambar 50	Penambatan Tanah Dengan Tiang	108
Gambar 51	Penambatan Tanah Dengan Teknik Penguatan Tanah	109
Gambar 52	Penambatan Tanah Dengan Dinding Penopang Isian Bahu	109
Gambar 53	Struktur Tanah Bertulang Sistem Tulangan Lajur	111
Gambar 54	Tipe-tipe Struktur Tanah Bertulang Sistem Tulangan Grid	112
Gambar 55	Struktur Tanah Bertulangan Geotekstil	113
Gambar 56	Struktur Tanah Bertulang Dengan Angker	114
Gambar 57	Penambatan Batuan Dengan Tumpuan Beton	114
Gambar 58	Penambatan Batuan Dengan Baut Batuan	115
Gambar 59	Penambatan Batuan Dengan Pengikat Beton	115
Gambar 60	Penambatan Batuan Dengan Jangkar Kabel	115
Gambar 61	Penambatan Batuan Dengan Jala Kawat	116
Gambar 62	Penambatan Batuan Dengan Tembok Penahan Batu	116
Gambar 63	Penambatan Batuan Dengan Beton Semprot	117

Gambar 64	Penambatan Batuan Dengan Dinding Tipis	117
Gambar 65	Penambahan Beban Kontra	118
Gambar 65	Penanganan Lereng Dengan Stabilitas	120
Gambar 68	Relokasi	121
Gambar 69	Lengkung Gradasi Tanah Dan Daerah Pemakaian Metode Drainasi	123
Gambar 70	Contoh Metode Drainasi Lubang Dangkal	125
Gambar 71	Contoh Metode Sumuran Dalam	126
Gambar 72	Sumuran Dalam Untuk Pengurangan Tekanan	127
Gambar 73	Metode Titik Sumur	127
Gambar 74	Prinsip Osmosa Elektronik	129
Gambar 75	Gerakan Tanah Akibat Runtuhan	130
Gambar 76	Gerakan Tanah Akibat Pengelupasan	131
Gambar 77	Gerakan Tanah Akibat Aliran Tanah	131
Gambar 78	Gerakan Tanah Akibat Longsoran	132
Gambar 79	Jenis-jenis Longsoran Rotasi (Vernes, 1958)	133
Gambar 80	Ilustrasi Skematik Longsoran Translasi (TRB, 1978)	134
Gambar 81	Skema Pemasangan Instrumen Di Daerah Gerakan Tanah	144
Gambar 82	Skema Pemasangan Instrumen Di Daerah Galian	145
Gambar 83	Penentuan Bidang Longsor Pada Longsoran Rotasi	158
Gambar 6.5.	Penentuan Bidang Longsor Pada Longsoran Transisi	159

KONSEP MANUAL PENANGANAN LERENG JALAN

1. RUANG LINGKUP

Manual penanganan lereng jalan ini digunakan sebagai bahan rujukan dan petunjuk operasional untuk pekerjaan penanganan lereng jalan pada skala lokal / setempat, yang mencakup penanganan longsoran akibat (amblesan) dan landslide skala lokal. Manual ini tidak mengakomodasikan penanganan lereng akibat longsoran dan landslide yang terjadi pada skala regional / wilayah, serta tidak dapat digunakan untuk penanganan lereng akibat longsoran dan landslide regional / wilayah tersebut.

Manual ini dimaksudkan untuk memperbaiki dan meningkatkan pemahaman tentang pekerjaan penanganan lereng jalan, baik dalam tahap investigasi tanah, perencanaan, pelaksanaan, pemeliharaan serta penanggulangan secara darurat, sebagai upaya untuk memperbaiki dan meningkatkan pekerjaan penanganan lereng jalan, dengan tujuan untuk menghasilkan kualitas penanganan lereng jalan yang baku dan standar.

Buku manual ini disajikan dalam 3 (tiga) buku yang terpisah, yang ketiganya merupakan satu kesatuan yang tidak terpisahkan, dengan ruang lingkup dan substansi isi sebagai berikut :

Buku 1 : Petunjuk umum

Buku 1 Petunjuk umum berisi petunjuk umum penanganan lereng jalan berdasarkan teknologi yang ada, yang menguraikan dan menjelaskan secara rinci semua aspek yang mendukung upaya perbaikan dan peningkatan penanganan lereng jalan yang baku dan standar, mencakup pemahaman dan pengenalan lereng jalan, tipe dan jenis lereng jalan, prinsip prinsip kestabilan lereng, landasan teori, mekanisme penyelidikan tanah, metode penanganan dan aspek aspek yang dipertimbangkan dalam penanganan lereng. Buku 1 merupakan

rujukan untuk operasionalisasi buku 2 Manual Perencanaan dan buku 3 Manual Pelaksanaan dan Pemeliharaan

Buku 2 : Manual Perencanaan

Manual perencanaan mengakomodasikan secara ringkas prosedur operasional untuk perencanaan lereng jalan dengan kalimat-kalimat yang sederhana, mudah dipahami dan dilengkapi dengan bagan alir / flow chart dari setiap prosedur penanganan yang ada.

Buku 3 : Manual Pelaksanaan dan Pemeliharaan

Manual pelaksanaan dan pemeliharaan lereng jalan berisi prosedur operasional ringkas untuk pelaksanaan dan pemeliharaan yang mencakup acuan acuan pelaksanaan dan acuan pemeliharaan yang diakomodasikan di dalam spesifikasi teknis, spesifikasi khusus dan gambar rencana.

Pemisahan buku manual menjadi tiga bagian tersebut, dimaksudkan untuk memudahkan para pemakai (user) dalam menggunakan manual ini. Buku 1 Petunjuk umum dipakai sebagai referensi dan rujukan untuk meningkatkan apresiasi dan pemahaman penanganan lereng jalan, sedang Buku 2 Manual Perencanaan dan Buku 3 Manual Pelaksanaan dan Pemeliharaan digunakan sebagai petunjuk praktis dan operasional berkaitan dengan mekanisme dan prosedur penanganan lereng jalan, khususnya untuk perencanaan, pelaksanaan dan pemeliharaan.

2. ACUAN NORMATIF

Manual ini menggunakan acuan SNI (Standar Nasional Indonesia), AASHTO (American association of State Highway and Transportation Officials), ASTM American Society for Testing and Materials), dan standar lainnya yaitu sebagai berikut :

SNI 03-2417-1991 : Metoda pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles

SNI 03-4141-1996	: Metoda pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 (0,075mm)
SNI 03-1968-1990	: Metoda pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar
SNI 03-4428-1997	: Metoda pengujian agregat halus atau pasir yang mengandung bahan plastis dengan cara setara pasir
SNI 03-4141-1996	: Metoda pengujian gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat
SNI 03-1969-1990	: Metoda pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat Kasar
SNI 03-1970-1990	: Metoda pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat Halus
Pennsylvania DoT Test No. 261	: Determining the percentage of crushed fragments in gravel
AASHTO TP-33	: Test procedure for fine aggregate angularity
SNI 06-2488-1991	: Berat jenis
SNI 06-2441-1991	: Kehilangan berat
SNI 06-2439-1991	: Kadar air
ASTM C-1252-1993	: Uncompacted void content of fine aggregate (as influenced by particle shape, surface texture, and grading)
BS 598 Part 104 (1989)	: Procedure used in the refusal density test

3. ISTILAH DAN DEFINISI

3.1

Gerakan Tanah

Gerakan tanah adalah suatu proses perpindahan massa tanah/ batuan dengan arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula, karena pengaruh gravitasi, arus air dan beban luar. Dalam pengertian ini tidak termasuk erosi, aliran lahar, amblesan, penurunan tanah karena konsolidasi, dan pengembangan.

3.2

Longsoran

Longsoran adalah suatu proses perpindahan massa tanah/ batuan dengan arah miring dari kedudukan semula (sehingga terpisah dari massa yang mantap), karena pengaruh gravitasi, dengan jenis gerakan berbentuk rotasi dan translasi.

3.3

Klasifikasi Gerakan Tanah

Klasifikasi gerakan tanah dimaksudkan untuk menyeragamkan istilah, memudahkan pengenalan tipe gerakan tanah, dan membantu dalam menentukan penyebab dan pemilihan cara penanggulangannya. Klasifikasi gerakan tanah ditetapkan berdasarkan :

- jenis material dan batuan dasar
- jenis gerakan / mekanismenya dengan deskripsi lengkap mengenai bentuk bidang longsoran

3.4

Deskripsi Longsoran

Longsoran perlu diberi deskripsi mengenai sifat lainnya seperti kedalaman, aktivitas atau kecepatannya.

3.5

Daerah Berpotensi Longsor

Daerah berpotensi longsor adalah daerah di mana kondisi terrain dan geologi tidak menguntungkan, sangat peka terhadap gangguan luar baik yang bersifat alami maupun aktivitas manusia yang merupakan faktor pemicu gerakan tanah.

3.6

Longsoran Setempat

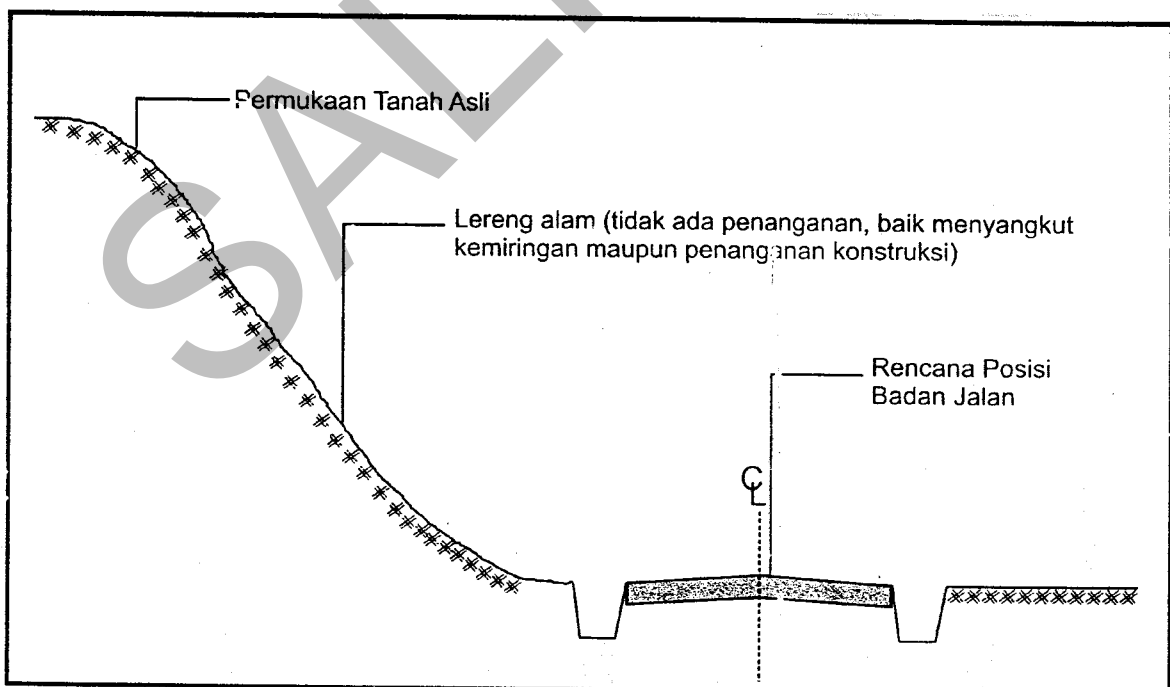
Longsoran setempat adalah longsoran lokal yang tidak meliputi daerah luas dan umumnya sederhana.

4. PRINSIP DASAR LERENG JALAN

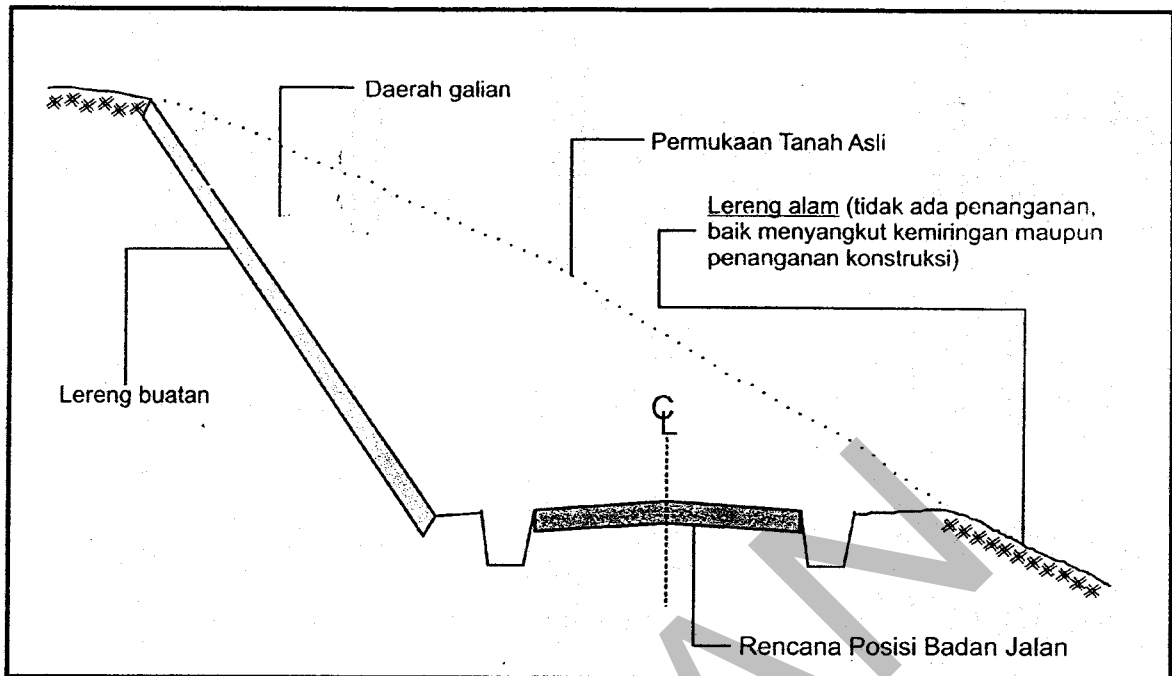
4.1. TIPE LERENG

4.1.1. Lereng Alam

Lereng alam (natural slope) adalah lereng yang terbentuk karena fenomena alam yang terjadi akibat dari proses geologi. Dalam konteks perencanaan teknik jalan, lereng alam sering dijumpai pada kawasan dengan topografi berbukit dan pegunungan, dimana posisi badan jalan berada pada elevasi tanah asli (existing ground) yang berada di sisi sebuah bukit, atau elevasi badan jalan berada pada lereng bukit yang sebagian digali/dipotong untuk posisi badan jalan. Pada daerah dengan topografi datar lereng alam relatif sulit untuk dijumpai keberadaannya. Dalam konteks manual ini, yang disebut lereng alam adalah apabila tidak ada perlakuan dan atau penanganan terhadap lereng tersebut, baik berupa perubahan kemiringan atau penambahan dengan suatu konstruksi tertentu, sehingga kestabilan dan kemantapan dari lereng alam tersebut benar benar mengandalkan kestabilan internal yang terbentuk akibat sifat, karakteristik dan struktur tanah serta bentuk alamiahnya. Gambaran visual yang menunjukkan keberadaan lereng alam seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 dan Gambar 2 berikut.



Gambar 1. Ilustrasi Keberadaan Lereng Alam Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Badan Jalan Berada Pada Samping Lereng Alam.



Gambar 2. Ilustrasi Keberadaan Lereng Alam Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Badan Jalan Berada Pada Daerah Galian.

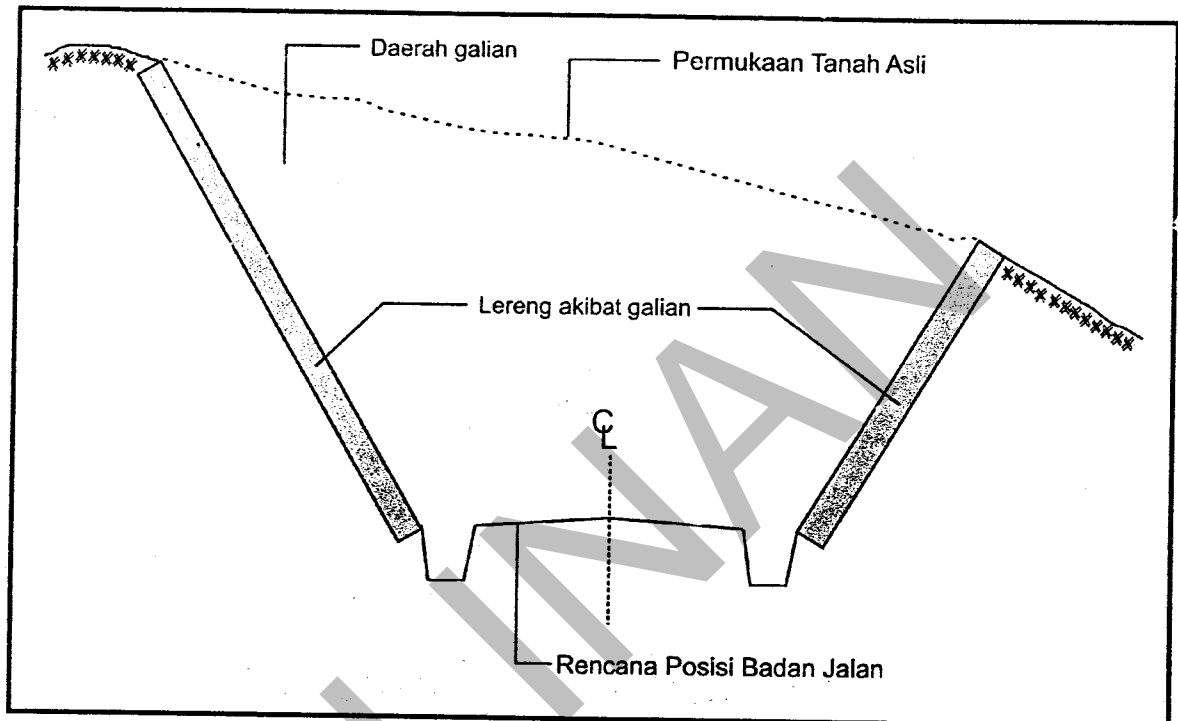
4.1.2. Lereng Buatan

Lereng buatan (man made slope) adalah lereng yang terjadi akibat terbentuknya daerah galian dan atau daerah timbunan pada proses perencanaan geometrik jalan. Lereng buatan dapat berbentuk lereng buatan dengan penanganan konstruksi, baik struktur maupun non struktur, atau lereng buatan tanpa penanganan konstruksi yaitu lereng yang hanya mengandalkan kemiringan dan tinggi kritis berdasarkan karakteristik tanah pembentuk lereng tersebut. Secara normatif lereng buatan dapat terjadi pada semua kondisi topografi, baik kondisi datar, berbukit maupun pegunungan.

4.1.2.1. Lereng Akibat Galian

Dalam konteks perencanaan teknik jalan, lereng buatan akibat galian terjadi sebagai konsekuensi dari tuntutan perencanaan geometrik jalan, dimana elevasi badan jalan direncanakan berada di bawah elevasi tanah asli. Lereng buatan akibat galian dapat terjadi pada semua bentuk kondisi topografi, baik pada kondisi topografi datar, berbukit maupun pegunungan. Kemiringan dan penanganan lereng buatan akibat galian secara normatif ditentukan oleh

perencana berdasarkan pertimbangan pertimbangan teknis, mencakup kondisi geometri jalan, kondisi topografi, karakteristik tanah, kondisi geologi, kondisi geoteknik, sistem drainase dan kondisi lingkungan di sekitarnya. Gambaran visual yang menunjukkan keberadaan lereng buatan akibat galian seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3 berikut.

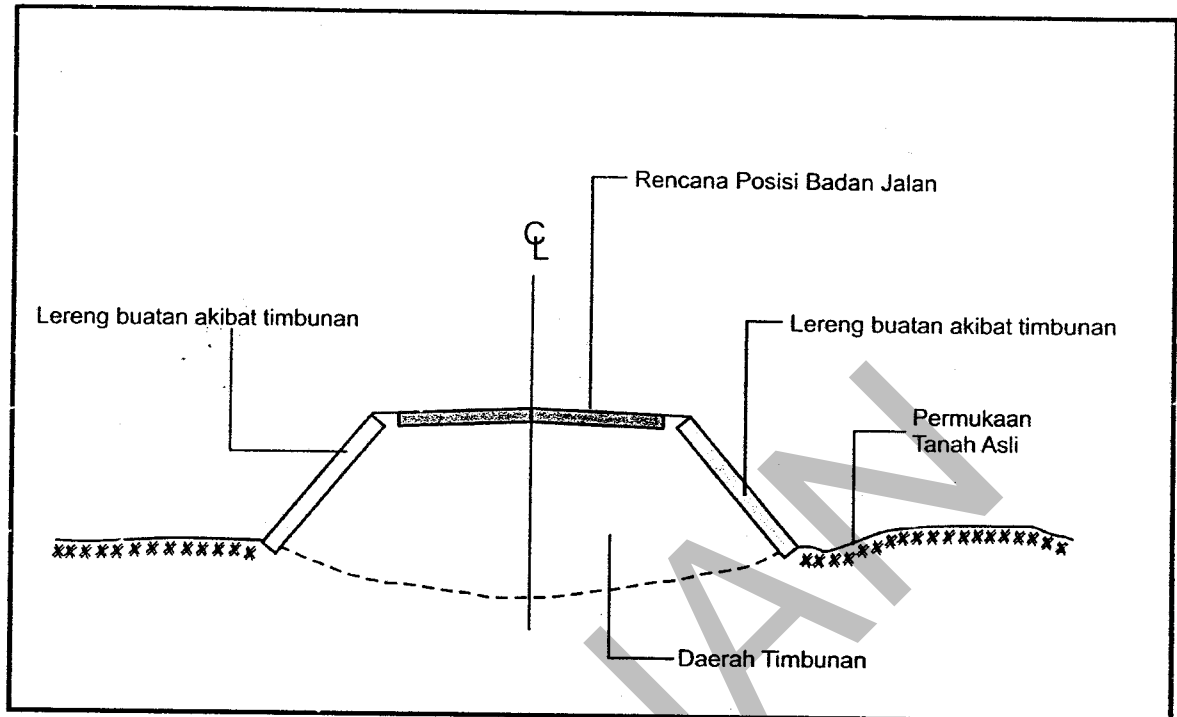


Gambar 3. Ilustrasi Keberadaan Lereng Buatan Akibat Galian Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Permukaan Badan Jalan Berada Di Bawah Permukaan Tanah Asli.

4.1.2.2. Lereng Akibat Timbunan

Dalam konteks perencanaan teknik jalan, lereng buatan akibat timbunan terjadi sebagai konsekuensi dari tuntutan perencanaan geometrik jalan, dimana elevasi badan jalan direncanakan berada di atas elevasi tanah asli. Lereng buatan akibat timbunan dapat terjadi pada semua bentuk kondisi topografi, baik pada kondisi topografi datar, berbukit maupun pegunungan. Kemiringan dan penanganan lereng buatan akibat timbunan secara normatif ditentukan oleh perencana berdasarkan pertimbangan pertimbangan teknis, mencakup kondisi geometri jalan, kondisi topografi, karakteristik tanah timbunan untuk badan jalan, kondisi geologi, kondisi geoteknik, sistem drainase dan kondisi lingkungan di sekitarnya.

Gambaran visual yang menunjukkan keberadaan lereng buatan akibat timbunan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4 berikut.

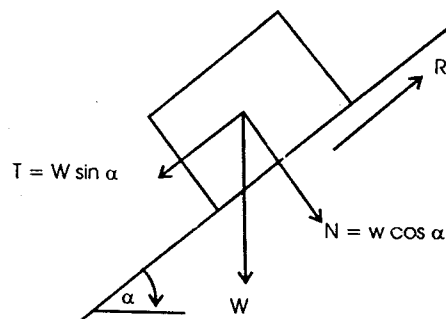


Gambar 4. Ilustrasi Keberadaan Lereng Bentukan / Buatan Akibat Timbunan Dalam Konteks Perencanaan Teknis Jalan Dimana Permukaan Badan Jalan Berada Di Atas Permukaan Tanah Asli.

4.2. STABILITAS LERENG

4.2.1. Teori Dasar

Teori stabilitas lereng pada dasarnya adalah teori mekanisme gerak suatu benda yang terletak pada bidang miring, dimana benda yang menjadi obyek tinjauan adalah butir butir tanah, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 5 yang menganalisis mekanisme gerak benda pada bidang miring serta gaya gaya yang mempengaruhinya.



Gambar 5. Keseimbangan Benda Pada Bidang Miring

Dari mekanisme gerak yang diilustrasikan pada Gambar 5 tersebut dapat diambil kesimpulan beberapa kemungkinan yang terjadi berkaitan dengan kestabilan butir tanah yaitu :

- $R/T < 1$ benda akan bergerak (labil / longsor)
- $R/T = 1$ benda dalam keadaan seimbang (tidak bergerak)
- $R/T > 1$ benda akan diam (stabil)

Mekanisme gerak yang dianalogkan dan diaplikasikan sebagai teori dasar dalam konsepsi kestabilan lereng adalah untuk mengetahui stabilitas tanah terhadap longsor dan stabilitas tanah akibat gaya gaya lateral yang terjadi pada tanah, baik yang disebabkan oleh gaya internal maupun yang disebabkan oleh gaya gaya eksternal yang bekerja pada tanah. Selain menganalisis mekanisme gerak yang disebabkan oleh gaya internal dan eksternal, juga dianalisis parameter parameter yang mempengaruhi terjadinya longsor tersebut.

Dalam kaitan dengan stabilitas terhadap longsor, substansi substansi yang ditinjau mencakup letak, kedalaman dan dimensi bidang longsor, sedang untuk stabilitas terhadap gaya gaya lateral, substansi substansi yang ditinjau mencakup mekanisme gaya lateral yang terjadi dan pengaruhnya terhadap stabilitas.

Parameter dan faktor yang mempengaruhi stabilitas terhadap longsor dan gaya lateral adalah kuat geser, tekanan air pori, berat isi tanah, faktor gempa dan faktor keamanan.

4.2.1.1. Teori Longsor (Landslide)

Fenomena keruntuhan akibat longsor (landslide) merupakan suatu perubahan kestabilan pada bidang longsor yang disebabkan oleh mekanisme gerak yang terjadi akibat gaya gaya internal yang terjadi pada butir butir tanah. Bentuk dan kedalaman bidang longsor sangat penting dalam analisis kestabilan lereng untuk menentukan dimensi dan stabilitas penanggulangan yang dipilih. Bidang longsor juga penting dalam menentukan letak dan kedalaman struktur penanggulangan. Beberapa metode analisis untuk stabilitas lereng dikemukakan dalam beberapa teori stabilitas yang selengkapnyanya dibahas dalam Bab 4.2.2.1.

4.2.1.2. Teori Lateral Tanah

Fenomena keruntuhan akibat gaya lateral tanah merupakan suatu perubahan kestabilan yang disebabkan oleh massa tanah dan atau massa eksternal yang membebaninya. Teori keruntuhan akibat gaya lateral tanah dikemukakan sebagai jawaban terhadap fenomena gaya lateral tanah yang sangat berpotensi menimbulkan keruntuhan lereng, khususnya pada lereng dengan kemiringan terjal dan atau tegak lurus, sehingga teori tersebut digunakan sebagai filosofi dasar dalam penciptaan jenis penahan tanah serta banyak diaplikasikan dalam perhitungan stabilitas penahan tanah. Beberapa metode analisis untuk stabilitas lereng terhadap gaya lateral tanah dikemukakan dalam beberapa teori yang selengkapya dibahas dalam Bab 4.2.2.2.

4.2.1.3. Parameter Tanah / Batuan

4.2.1.3.1. Kuat Geser

Kuat geser terdiri dari kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Untuk analisis kemantapan lereng jangka panjang digunakan harga kuat geser efektif maksimum (c' , ϕ'). Untuk lereng yang sudah mengalami gerakan atau material pembentuk lereng yang mempunyai diskontinuitas tinggi digunakan harga kuat geser sisa ($c_r = 0$, ϕ_r). Harga kuat geser sisa rata-rata untuk lereng yang telah longsor (bila diketahui bidang longsornya) disarankan menggunakan cara analisis balik.

Kuat geser tergantung pada gaya yang bekerja antar butirnya, dengan demikian dapat dikatakan bahwa kekuatan geser terdiri atas:

- (1) Bagian yang bersifat kohesif, tergantung pada macam tanah / batuan dan ikatan butirnya.
- (2) Bagian yang bersifat gesekan, yang sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada bidang geser.

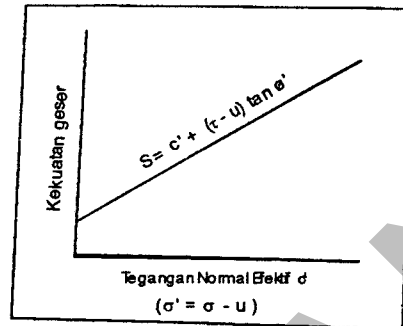
Kekuatan geser tanah dapat dinyatakan dalam rumus:

$$S = C' + (\tau - \mu) \tan \phi \quad (4.1)$$

Dimana :

S = kekuatan geser

- τ = tegangan total pada bidang geser
 μ = tekanan air pori
 C' = kohesi efektif
 Φ' = sudut geser dalam efektif.



Gambar 6. Kekuatan Geser Tanah Atau Batu.

4.2.1.3.2. Tekanan Air Pori

Tekanan air pori diperlukan untuk perhitungan kemantapan lereng jangka panjang. Parameter ini dapat diperoleh dari *flow net*, tinggi muka air tanah dan secara langsung dari hasil pembacaan pisometer di lapangan.

4.2.1.3.3. Berat Isi

Berat isi diperlukan untuk memperhitungkan beban guna analisis kemantapan lereng. Berat isi dibedakan menjadi berat isi asli, berat isi jenuh, dan berat isi terendam air yang penggunaannya tergantung kondisi lapangan.

4.2.1.3.4. Faktor Gempa

Gempa merupakan salah satu faktor yang perlu mendapat perhatian dalam konteks stabilitas lereng, karena gempa merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya longsor. Faktor gempa dapat dihitung dengan menggunakan peta zona seismik. Ada dua jenis peta semacam ini yang telah dikeluarkan dan telah digunakan di lingkungan Departemen Pekerjaan Umum, yang dapat dipakai sebagai bahan rujukan.

4.2.1.3.5. Faktor Keamanan

Mengingat lereng terbentuk oleh material yang sangat beragam dan banyaknya faktor ketidak-pastian, maka dalam mendesain suatu penanggulangan selalu dilakukan penyederhanaan dengan berbagai asumsi. Secara teoritis massa yang bergerak dapat dihentikan dengan menaikkan faktor keamanannya. Hal yang perlu dipertimbangkan dalam penentuan kriteria faktor keamanan adalah resiko yang dihadapi, kondisi beban dan parameter yang digunakan dalam melakukan analisis kemantapan lereng. Resiko yang dihadapi dibagi menjadi tiga yaitu : tinggi, menengah, dan rendah. Dalam analisa harus dipertimbangkan kondisi beban yang menyangkut gempa dan tanpa gempa (normal). Parameter yang digunakan menyangkut hasil pengujian dengan harga batas atau sisa dengan mempertimbangkan ketelitiannya. Tabel 4.1. memperlihatkan faktor keamanan terendah berdasarkan hal-hal tersebut diatas.

Tabel 4.1. Faktor Keamanan Minimum Kemantapan Lereng

Resiko *)	Kondisi Beban	Parameter Kekuatan Geser **)			
		Maksimum		Sisa	
		Teliti	Kurang Teliti	Teliti	Kurang Teliti
Tinggi	Dengan Gempa	1,50	1,75	1,35	1,50
	Tanpa Gempa	1,80	2,00	1,60	1,80
Menengah	Dengan Gempa	1,30	1,60	1,20	1,40
	Tanpa Gempa	1,50	1,80	1,35	1,50
Rendah	Dengan Gempa	1,10	1,25	1,00	1,10
	Tanpa Gempa	1,25	1,40	1,10	1,20

Keterangan :

- *) - Resiko tinggi bila ada konsekuensi terhadap manusia cukup besar (ada pemukiman), dan atau bangunan sangat mahal, dan atau sangat penting.
- Resiko menengah bila ada konsekuensi terhadap manusia tetapi sedikit (bukan pemukiman), dan atau bangunan tidak begitu mahal dan atau tidak begitu penting.
- Resiko rendah bila tidak ada konsekuensi terhadap manusia dan terhadap bangunan (sangat murah).
- ***) - Kekuatan geser maksimum adalah harga puncak dan dipakai apabila massa tanah / batuan yang potensial longsor tidak mempunyai bidang diskontinuitas (perlapisan, rekahan, sesar, dan sebagainya) dan belum pernah mengalami gerakan
- Kekuatan geser residual dipakai apabila : (1) massa tanah/batuan yang potensial bergerak mempunyai bidang diskontinuitas, dan atau (ii) pernah bergerak (walaupun tidak mempunyai bidang diskontinuitas).

4.2.2. Metode Analisis

4.2.2.1. *Analisis Longsoran (Landslide)*

Secara garis besar metode analisis stabilitas lereng terhadap longsoran dibagi menjadi tiga kelompok yaitu: (1) yang berdasar pada pengamatan visual, (2) cara komputansi, dan (3) menggunakan grafik.

4.2.2.1.1. Analisis berdasarkan pengamatan visual

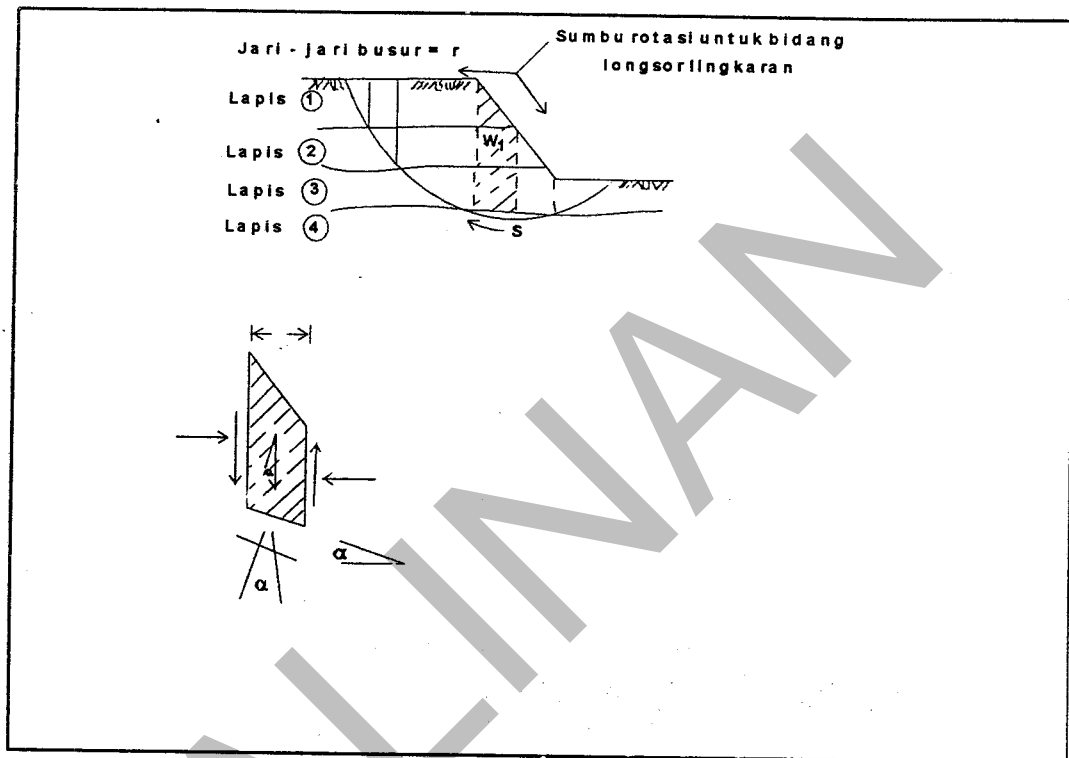
Stabilitas lereng dapat diperkirakan dengan melakukan pengamatan secara visual di lapangan, tanpa melakukan penyelidikan baik di lapangan maupun di laboratorium. Analisis ini dilakukan dengan membandingkan lereng yang stabil dan bergerak, serta keadaan geologinya. Pertama-tama lereng dikelompokkan menurut keadaan geologi, yang sama atau dapat disamakan. Kemudian dibuat grafik antara tinggi dan kemiringan lereng yang merupakan ikhtisar keadaan lereng yang bergerak pada ketinggian dan kemiringan yang berbeda-beda. Lereng yang paling tinggi dan paling tegak dapat dipakai sebagai patokan untuk menentukan lereng yang mantap.

4.2.2.1.2. Analisis dengan komputansi

Analisis stabilitas lereng dengan menggunakan komputansi mencakup metode Fellinius, Bishop, dan Janbu.

4.2.2.1.2.1. Metode Fellenius

Metode fellenius ini dapat dipakai pada lereng-lereng dengan kondisi isotropis, non isotropis dan berlapis-lapis. Massa tanah yang bergerak diandaikan terdiri atas beberapa elemen vertikal. Lebar elemen dapat diambil tidak sama dan sedemikian sehingga lengkung busur di dasar elemen dapat dianggap garis lurus.



Gambar 8. Sistem Gaya Pada Cara Fellenius

Berat "total" tanah / batuan pada suatu elemen (W_t) termasuk beban luar yang bekerja pada permukaan lereng (Gambar 4.4). W_t diuraikan dalam komponen tegak lurus dan tangensial pada dasar elemen. Dengan cara ini, pengaruh gaya T dan E yang bekerja di samping elemen diabaikan. Faktor keamanan adalah perbandingan momen penahan longsor dengan penyebab longsor. Pada Gambar 4.4 momen tahanan geser pada bidang longsor adalah:

$$M_{\text{penahan}} = R \cdot r \quad (4.2)$$

Dimana R adalah gaya geser dan r adalah jari-jari bidang longsor.

Tahanan geser pada dasar tiap elemen adalah:

$$R = S \cdot l = 1 (c' + \sigma \tan \Phi') ; \sigma = \frac{W_t \cos \alpha}{1} \quad (4.3)$$

Momen penahan yang ada sebesar:

$$M_{\text{penahan}} = r (c' + W_t \cos \alpha \tan \phi') \quad (4.4)$$

Komponen tangensial W_t bekerja sebagai penyebab longsor menimbulkan momen penyebab:

$$M_{\text{penyebab}} = (W_t \sin \alpha) \cdot r \quad (4.5)$$

Faktor keamanan dari lereng menjadi:

$$FK = \frac{\sum (c' + W_t \cos \alpha \tan \phi')}{\sum W_t \sin \alpha} \quad (4.6)$$

Jika lereng terendam air atau jika muka air tanah diatas kaki lereng, maka tekanan air pori akan bekerja pada dasar elemen yang ada dibawah air tersebut. Dalam hal ini tahanan geser harus diperhitungkan yang efektif sedangkan gaya penyebabnya tetap diperhitungkan secara total, sehingga rumusnya menjadi:

$$FK = \frac{\sum [c' + (W_t \cos \alpha - \mu) \tan \phi']}{\sum W_t \sin \alpha} \quad (4.7)$$

μ = tekanan air pori didasar bidang longsor.

4.2.2.1.2.2. Metode Bishop

Cara analisis yang dibuat oleh A.W. Bishop (1955) menggunakan cara elemen dimana gaya yang bekerja pada tiap elemen ditunjukkan seperti pada Gambar 4.5. Persyaratan keseimbangan diterapkan pada elemen yang membentuk lereng tersebut. Faktor keamanan terhadap longsor didefinisikan sebagai perbandingan kekuatan geser maksimum yang dimiliki tanah di bidang longsor (S_{tersedia}) dengan tahanan geser yang diperlukan untuk keseimbangan (S_{perlu})

$$FK = \frac{S_{\text{tersedia}}}{S_{\text{perlu}}}$$

Bila kekuatan geser tanah adalah:

$$\begin{aligned} S_{\text{tersedia}} &= c' + (\sigma - \mu) \tan \phi' = \\ &= c' + \sigma \tan \phi', \end{aligned}$$

maka tahanan geser yang diperlukan untuk keseimbangan adalah:

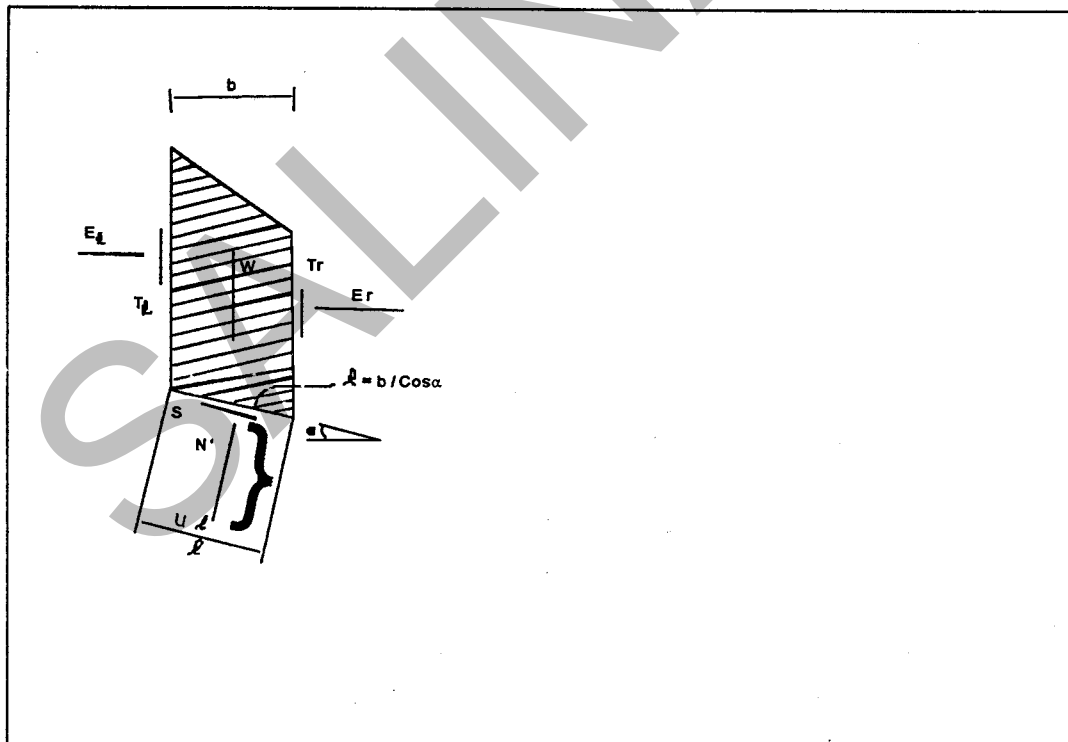
$$S_{\text{perlu}} = \frac{1}{FK} (c' + (\sigma - \mu) \tan \phi') \quad (4.8)$$

Faktor keamanan dihitung berdasar rumus:

$$FK = \frac{\sum \frac{1}{m} (c' + (W - \mu) \tan \phi')}{W \sin \alpha} \quad (4.9)$$

Harga m dapat ditentukan dari Gambar 9. Cara penyelesaian merupakan coba ulang (trial and errors) harga faktor keamanan FK di ruas kiri persamaan (4.9), dengan menggunakan Gambar 9. untuk mempercepat perhitungan.

Faktor keamanan menurut cara ini menjadi tidak sesuai dengan kenyataan terlalu besar, bila sudut negatif (-) di lereng paling bawah mendekati 30° (Gambar 9). Kondisi ini bisa timbul bila lingkaran longsor sangat dalam atau pusat rotasi yang diandalkan berada dekat puncak lereng. Faktor keamanan yang didapat dari cara Bishop ini lebih besar dari yang didapat dari cara Fellenius.



Gambar 9. Sistem Gaya Pada Suatu Elemen Menurut Bishop

4.2.2.2.1.3. Metode Janbu

Janbu (1954) mengembangkan suatu metode analisis stabilitas lereng yang dapat diterapkan untuk semua bentuk bidang longsoran (Gambar 10). Besaran-besaran yang akan dicari adalah: F (yang berhubungan dengan T , N , E dan S).

Berdasarkan keseimbangan gaya vertical:

$$N \cos \theta = W + \Delta S - T \sin \theta$$

$$N = (W + \Delta S) \sec \theta - T \tan \theta$$

Jumlah gaya-gaya tegak lurus maupun tangensial terhadap bidang dasar irisan adalah nol. Sehingga persamaannya adalah:

$$S = y \frac{dE}{dx} - \frac{d}{dx} (Ey_t) \quad (4.10)$$

$$\Delta N = (\Delta W - \Delta S) \cos \theta + \Delta E \sin \theta \quad (4.11)$$

$$\Delta T = (\Delta W + \Delta S) \sin \theta - \Delta E \cos \theta \quad (4.12)$$

Kriteria longsor MOHR – COULOMB adalah:

$$\Delta T = \frac{c \Delta x \sec \theta + \Delta N (\tan \theta)}{F} \quad (4.13)$$

Dengan menggabungkan persamaan (4.11), (4.12), dan (4.13), dan memisalkan $x = 0$,

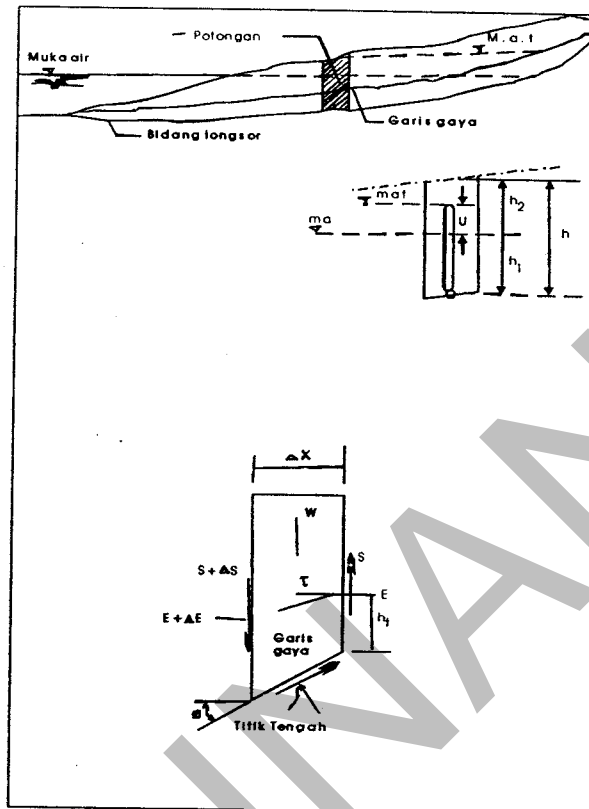
$$\begin{aligned} \frac{dE}{dx} \left(1 + \frac{\tan \phi}{F} \frac{dy}{dx} \right) + \frac{dS}{dx} \left(\frac{\tan \phi}{F} - \frac{dy}{dx} \right) = -\frac{c}{F} \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right] \\ + \frac{dW}{dx} \left(\frac{\tan \phi}{F} + \frac{dy}{dx} \right) \end{aligned} \quad (4.14)$$

Persamaan (4.10) dan (4.14) merupakan dua persamaan diferensial, yang digunakan untuk menentukan E , S , y_t . Untuk melengkapi system persamaan tersebut, dimisalkan:

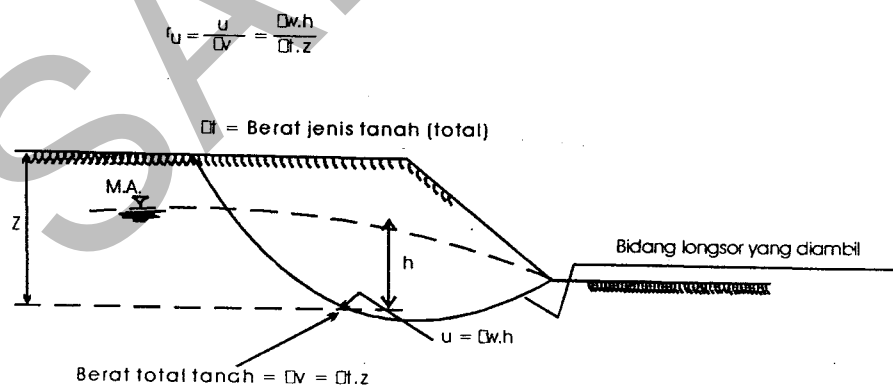
$$S = \lambda f(x) E$$

Dimana $f(x)$ adalah suatu fungsi dari x , dan $\lambda = \text{konstanta}$.

λ dan F dapat dipecahkan dengan persamaan (4.10) dan (4.14). $f(x)$ dimisalkan linier dengan menentukan suatu angka tertentu dapat ditentukan harga λ yang memenuhi persamaan-persamaan tersebut.



Gambar 10. Sistem Gaya Pada Irisan Dengan Metoda Janbu



Gambar 11. Harga m_α Untuk Persamaan Bishop

4.2.2.1.3. Analisis dengan menggunakan grafik

Metode analisis stabilitas lereng dengan menggunakan grafik mencakup metode metode Cousins, Janbu, Duncan & Buchignani, Hoek & Bray.

4.2.2.1.3.1. Metode Cousins

Untuk mengevaluasi stabilitas jangka panjang suatu lereng harus digunakan tegangan efektif dan tegangan air pori yang bekerja pada bidang longsoran. Grafik yang dibuat oleh Cousins (1978) secara luas dipakai untuk keperluan praktis. Pengaruh air pori dinyatakan dalam perbandingan tekanan pori, r_u , yang didefinisikan sebagai perbandingan tekanan air pori dengan beban tanah total pada suatu kedalaman tertentu dalam suatu massa tanah (lihat Gambar 12)

Grafik Cousins [Gambar 13. (a) sampai (p)] didasarkan atas analisis lingkaran geser (friction circle method) seperti untuk grafik Taylor.

Angka kestabilan Cousins didefinisikan sebagai:

$$N = \frac{H_{ada} (FK)}{c} \quad (4.15)$$

Cousins juga menggunakan parameter $c\phi$ pada kelompok tanda yang berhubungan dengan sifat tanah dan tinggi lereng, dimana:

$$c\phi = \frac{H_{ada} \phi}{c} \quad (4.16)$$

faktor kedalaman D diperlihatkan pada grafik-grafik dan dapat digunakan untuk mempelajari longsoran dengan bidang longsoran dalam (base failure)

$$D = \frac{V}{H}$$

dimana: V = jarak vertical dari atas lereng ke titik terbawah pada bidang longsoran

H = tinggi lereng

Bila lereng terkena pengaruh aliran air (seepage), tekanan air pori atau nilai perbandingan tekanan air pori akan berubah besarnya sepanjang bidang longsor tersebut.

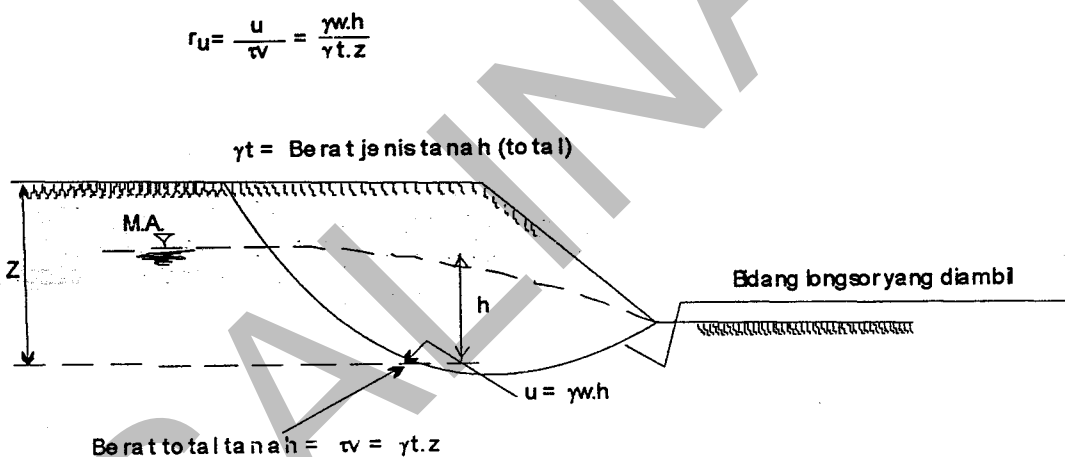
Harga rata-rata yang menguntungkan untuk r_u harus digunakan jika grafik-grafik dipakai. Nilai r_u rata-rata ditetapkan untuk digunakan dalam perhitungan berdasarkan Gambar 13. (p).

Menggunakan nilai r_u , D dan c dapat diketahui nilai N_s dari grafik

Faktor keamanan didapat dari:

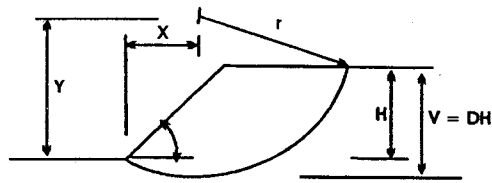
$$F_k = \frac{N_s \cdot c}{\gamma H_{ada}}$$

Koordinat titik pusat bidang longsor dapat diketahui dengan mencari X dan Y dari r_u , $(X/H) \tan I$ dan $(Y/H) \tan I$ yang dapat dilihat pada Gambar 13 (h) s/d 13 (o)

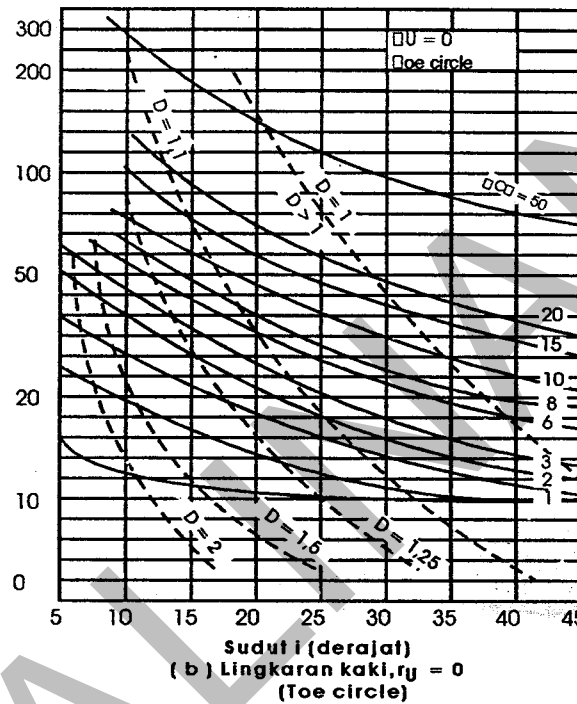


Gambar 12. Definisi Dari Tanda-tanda Yang Digunakan Untuk Perhitungan

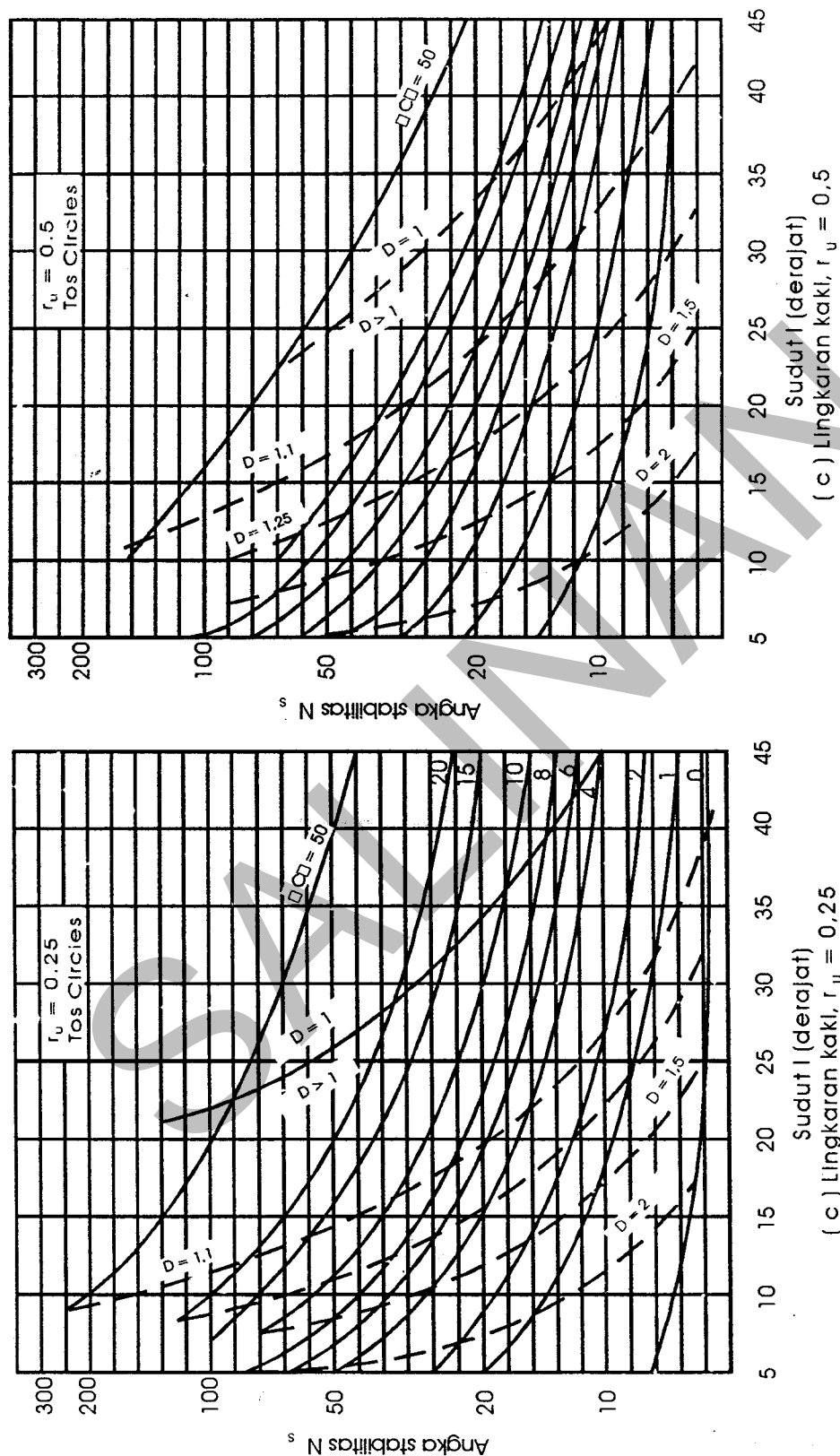
r_u



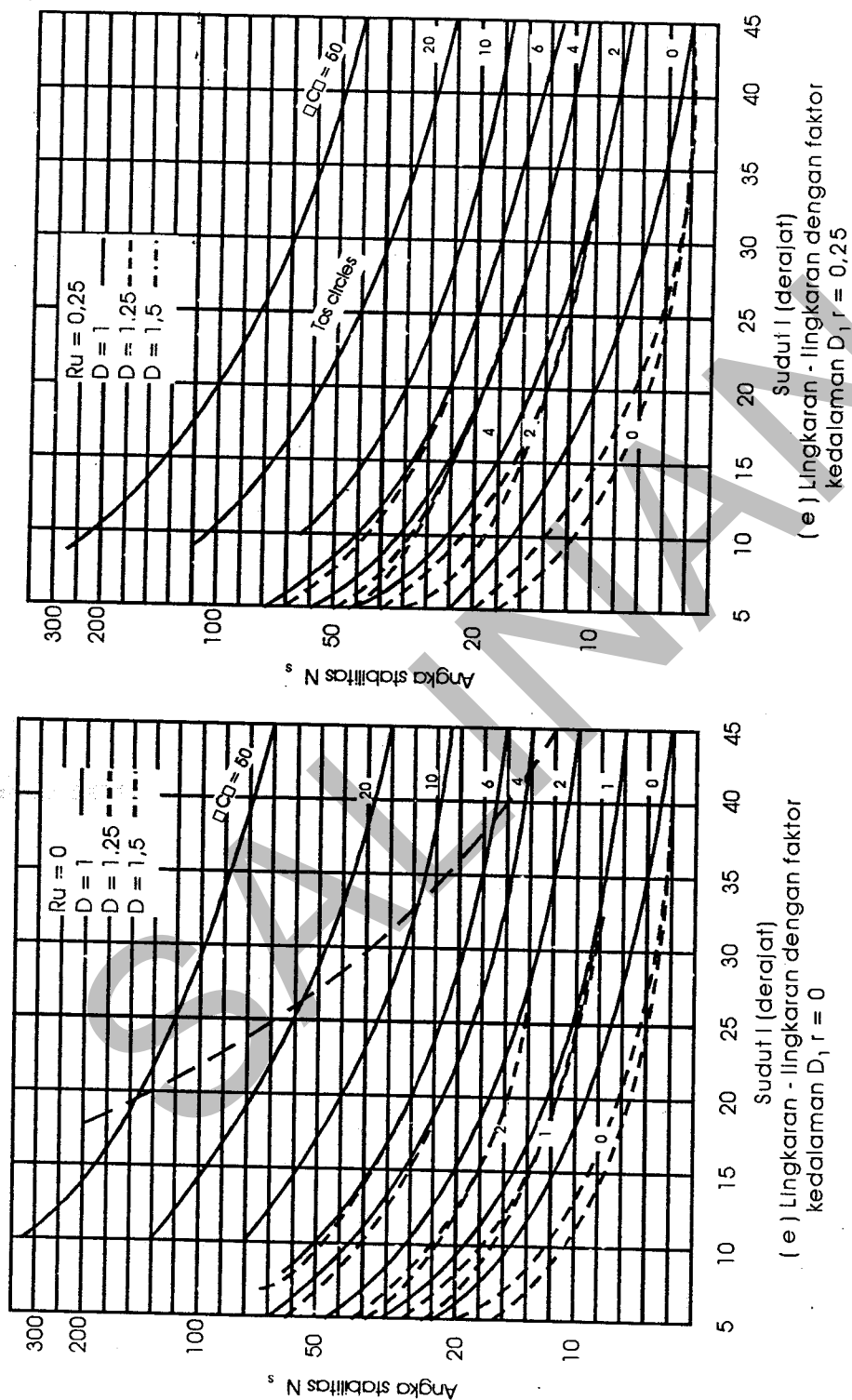
(a) Notasi yang digunakan



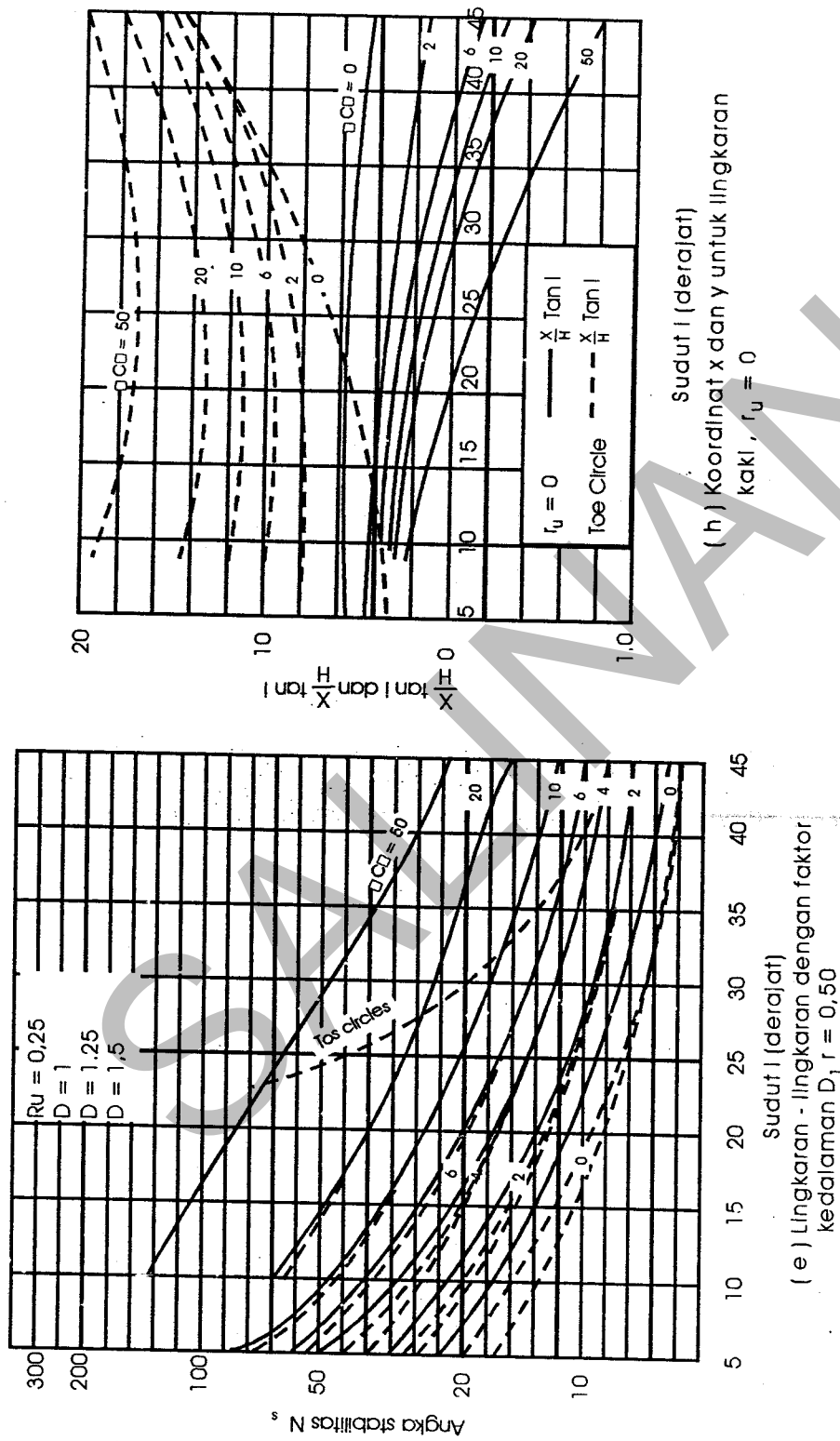
Gambar 13. Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-Lingkaran Kritis - 1



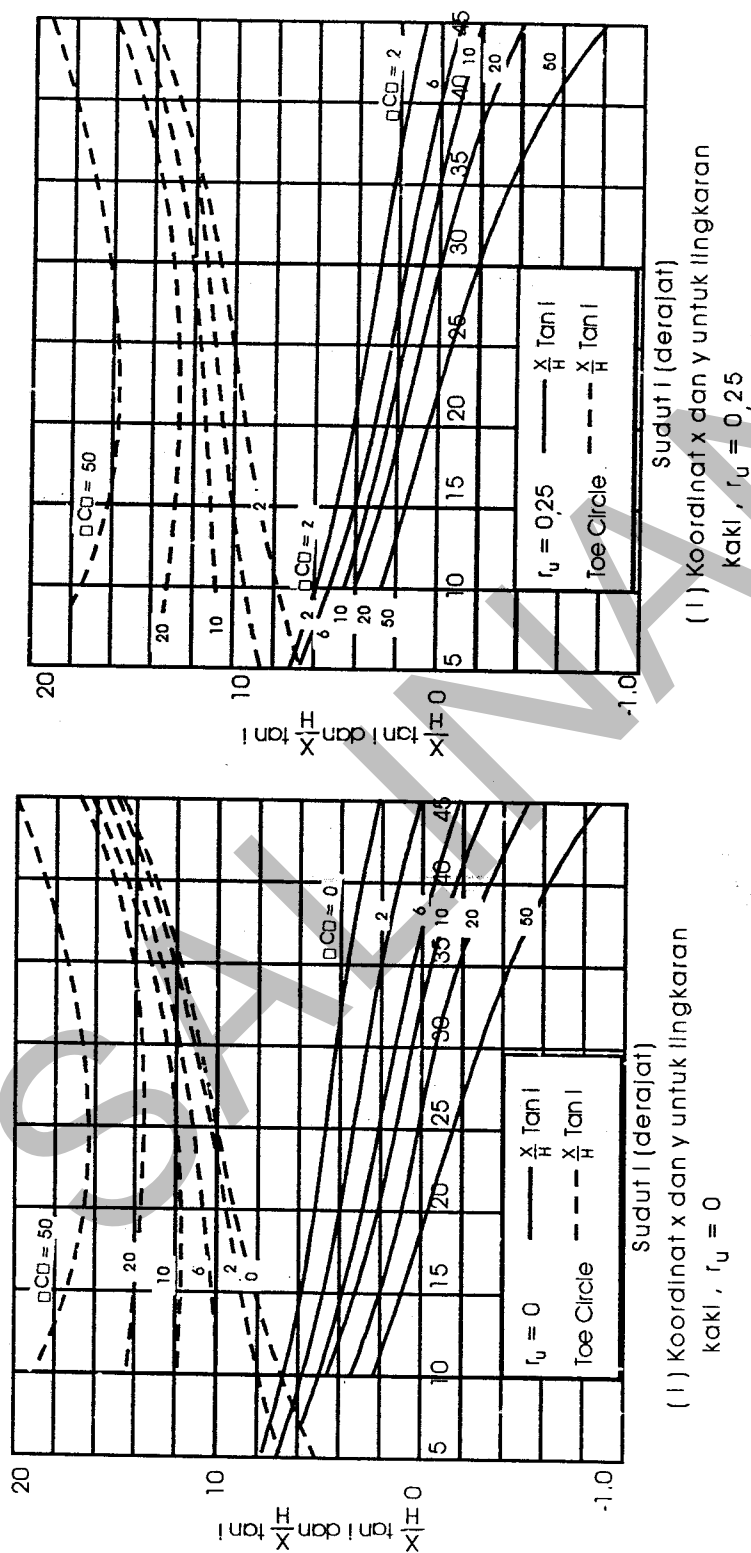
Gambar 13. Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-Lingkaran Kritis (lanjutan) - 2



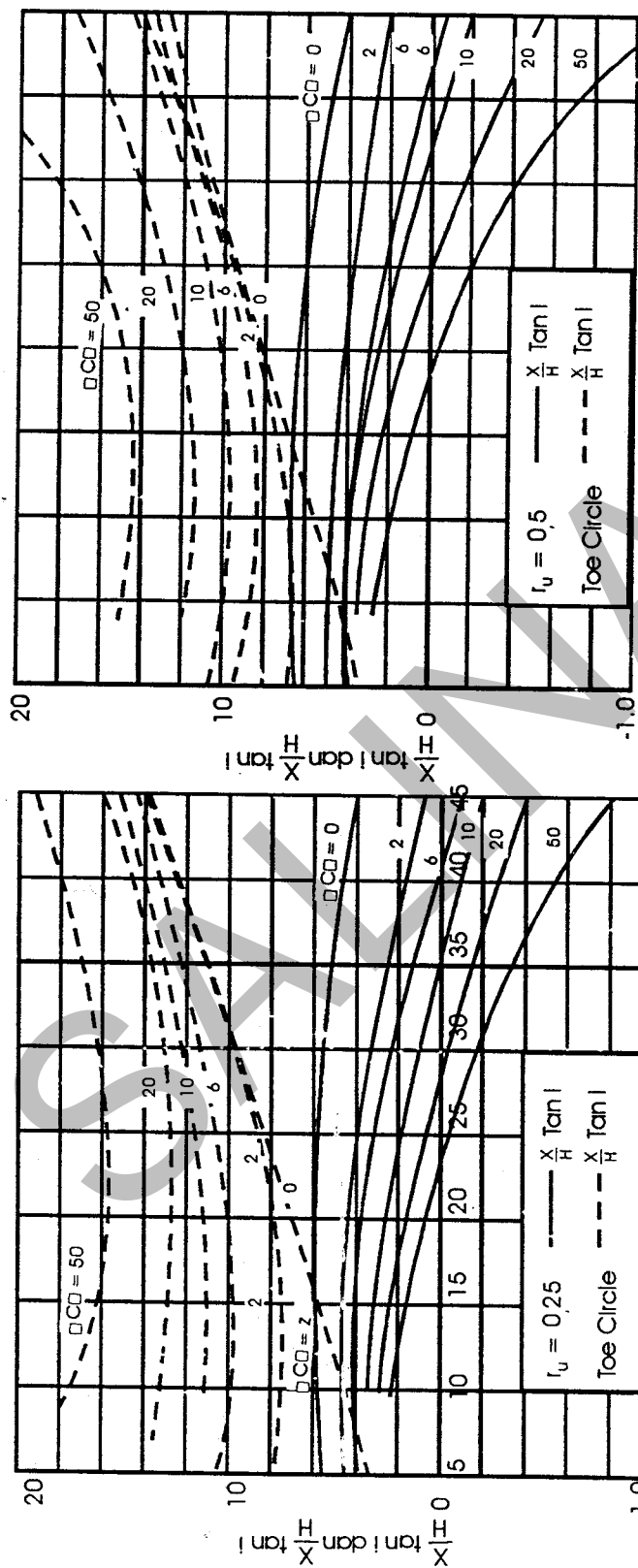
Gambar 13. Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-Lingkaran Kritis (lanjutan) - 3



Gambar 13. Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-Lingkaran Kritis (lanjutan) – 4



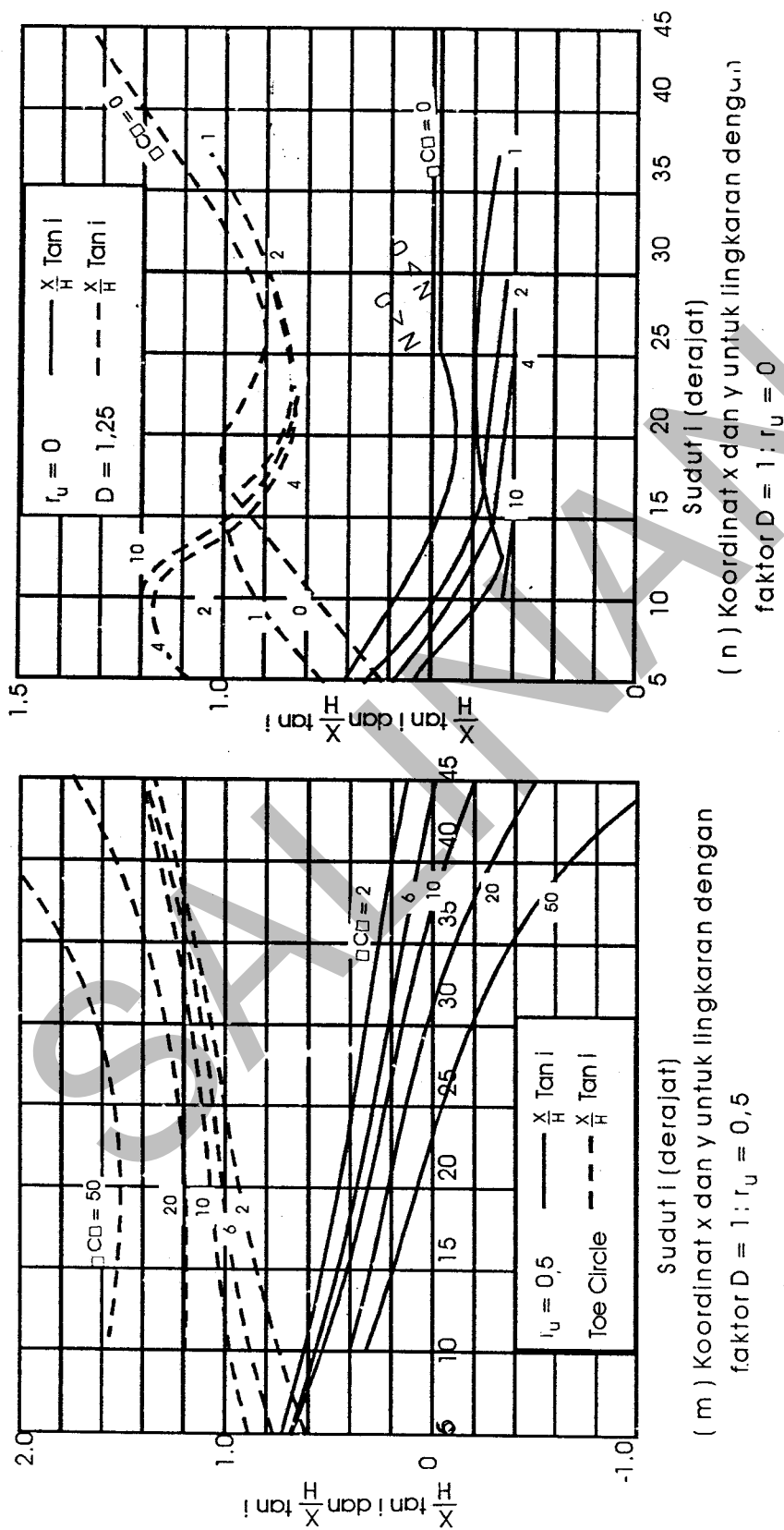
Gambar 13. Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-Lingkaran Kritis (lanjutan) – 5



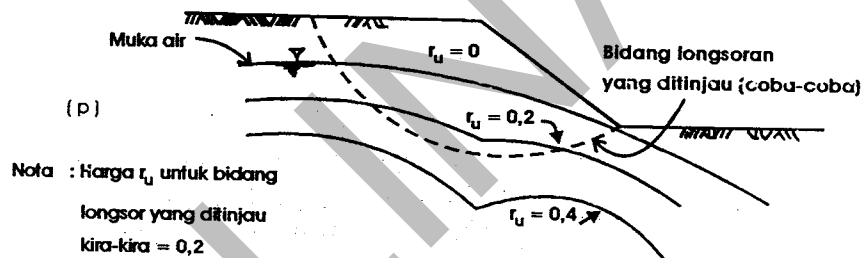
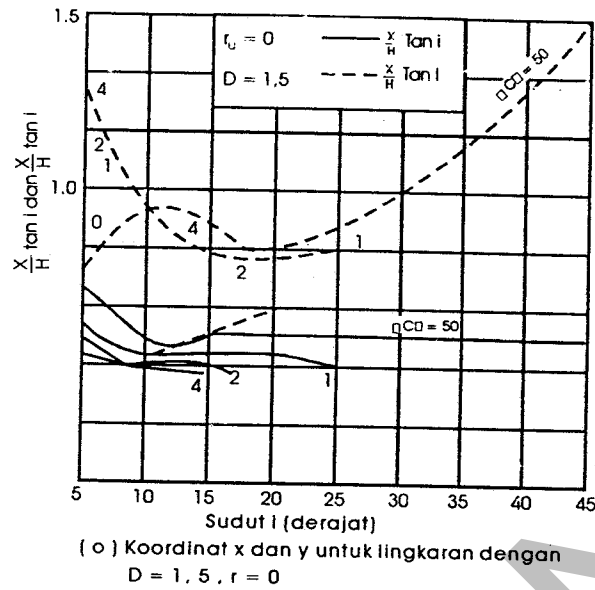
(k) Koordinat x dan y untuk lingkaran dengan
 $D = 1 : r_u = 0.25$

(l) Koordinat x dan y untuk lingkaran dengan
 $D = 1 : r_u = 0.5$

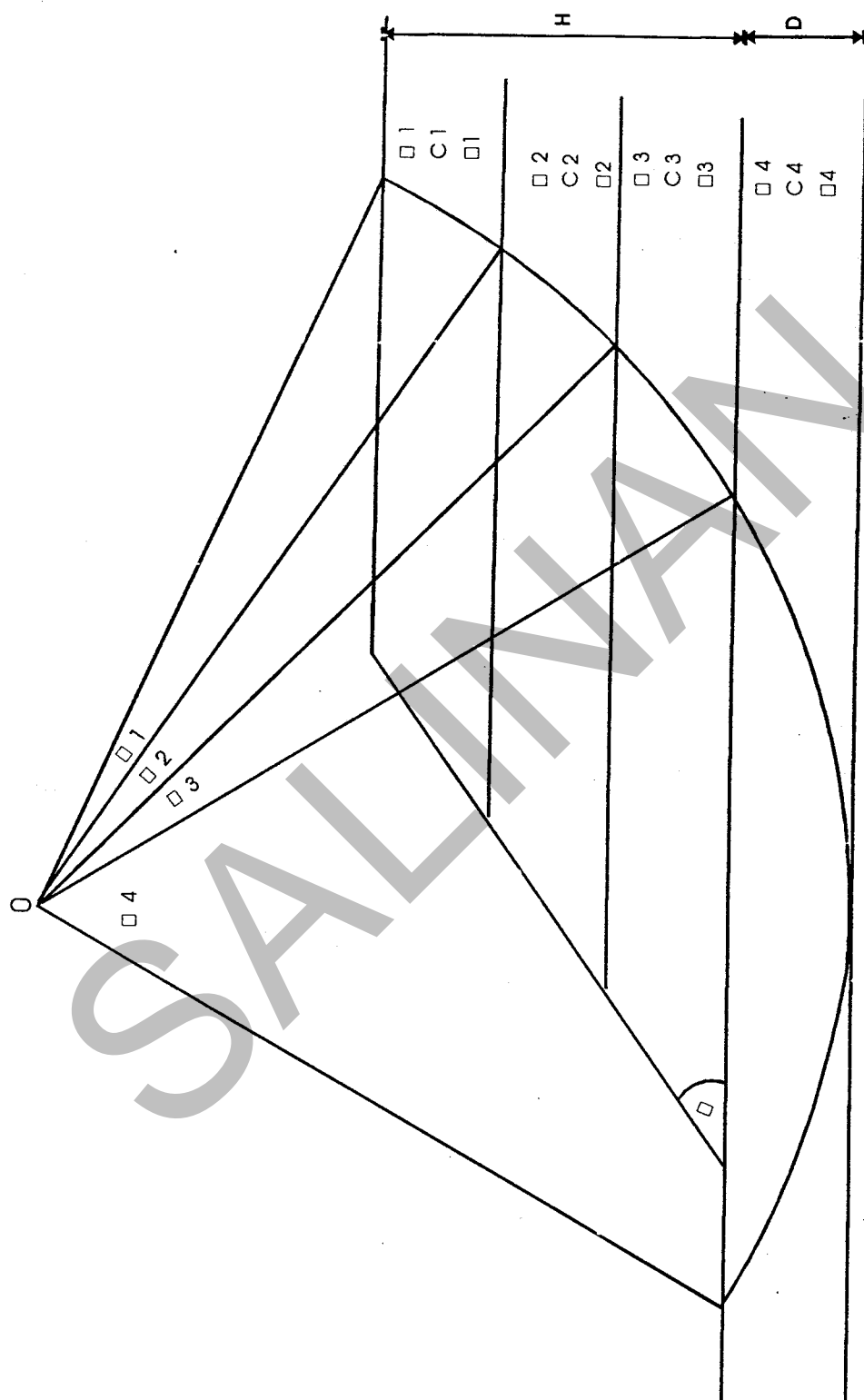
Gambar 13. Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-Lingkaran Kritis (lanjutan) -- 6



Gambar 13. Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-Lingkaran Kritis (lanjutan) – 7



Gambar 13. Grafik Cousins Untuk Angka Stabilitas dan Perletakan Lingkaran-Lingkaran Kritis (lanjutan) – 8



Gambar 14. Lereng Yang Terdiri Atas Empat Lapisan

4.2.2.1.3.2. Metode Janbu

Analisis stabilitas lereng dengan menggunakan grafik dengan metode Janbu dipakai untuk kondisi tanah jenuh air dengan $\Phi = 0$, $c \neq 0$ dan kondisi tanah yang mempunyai harga $\Phi \neq 0$; $c \neq 0$.

a. Kondisi Tanah Jenuh Air $\Phi = 0$, $c \neq 0$

Bagian ini terutama membahas mengenai stabilitas lereng untuk tanah lempung jenuh air.

Langkah-langkah penggunaan grafik stabilitas

- Tentukan parameter desain serta perlapisan tanah yaitu Φ , c , γ , h dan D .
- Tentukan kemiringan lereng periksa Gambar 4.15
- Tanah berlapis-lapis disederhanakan menjadi satu lapisan

Cara yang dapat ditempuh adalah dengan mengambil harga "weighted average" dari Φ dan c dan harga rata-rata dengan menggunakan persamaan:

$$\tan(\phi_{rata}) = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i \tan \phi_i}{\sum_{i=1}^n \theta_i} \quad (4.17)$$

$$c_{rata} = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i c_i}{\sum_{i=1}^n \theta_i} \quad (4.18)$$

$$\gamma_{rata} = \frac{\sum_{i=1}^n \gamma_i}{n} \quad (4.19)$$

- Hitung faktor kedalaman d menggunakan persamaan:

$$d = \frac{D}{H} \quad (4.20)$$

dimana:

- d = faktor kedalaman
- D = kedalaman (m)
- H = tinggi (m)

- Hitung faktor P_d menggunakan persamaan:

$$P_d = \frac{\gamma_{rata} H + q - \gamma_w H_w}{u_q u_w u_t} \quad (4.21)$$

dimana:

- γ_{rata} = berat volume rata-rata (ton/m^3)
- H = tinggi lereng dari dasar (m)
- q = beban merata (ton/m^2)
- H_w = tinggi air diluar lereng (m)
- u_q = faktor koreksi beban merata (lihat Gambar 16)
- u_w = faktor koreksi beban perendaman (Gambar 16)
- u_t = faktor koreksi retakan susut (lihat Gambar 17).

Bila tidak ada beban merata, $u_q = 1$; bila tidak ada perendaman $u_w = 1$ dan bila tidak ada retakan susut $u_t = 1$.

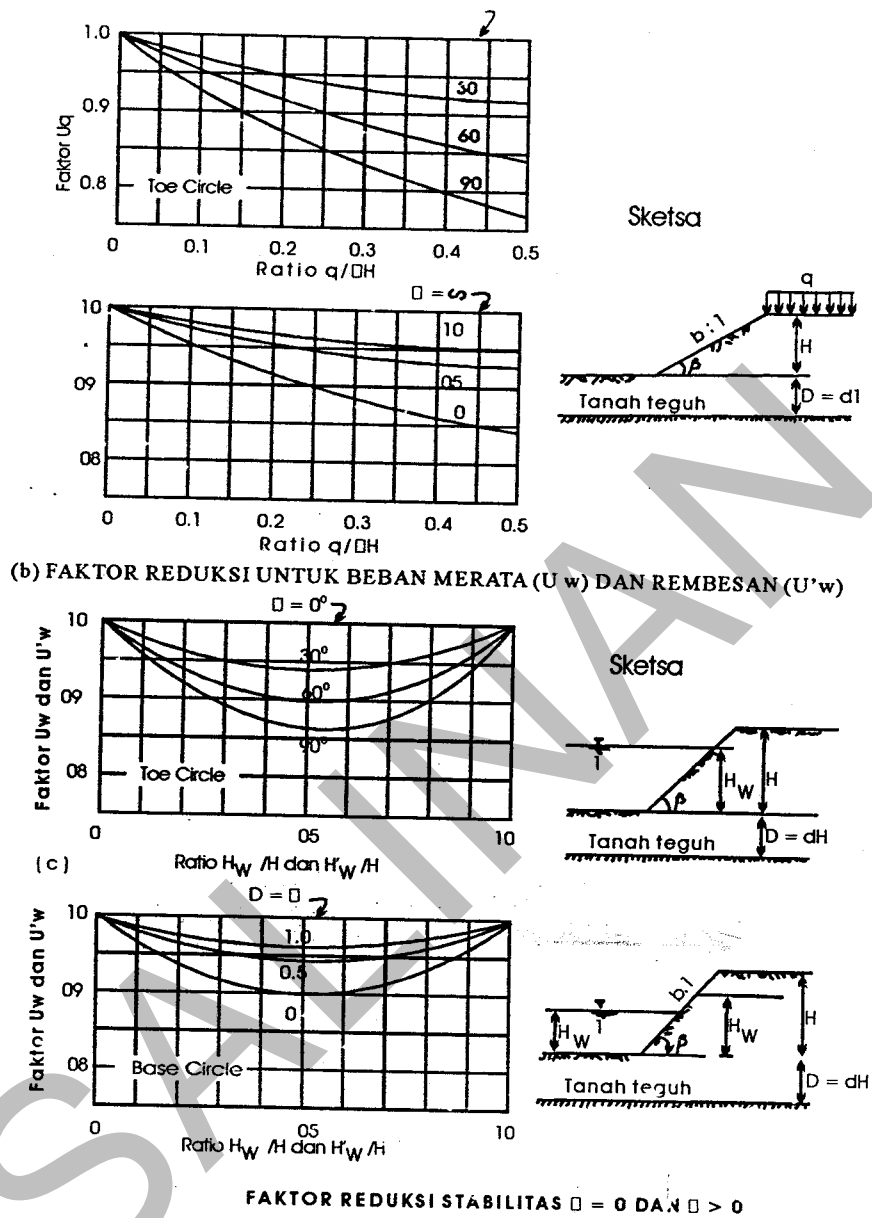
- Menggunakan grafik dalam Gambar 18, dicari angka stabilitas N_o yang tergantung pada harga β dan d
- Hitung faktor keamanan FK, menggunakan persamaan:

$$FK = \frac{N_o c_{rata}}{P_d} \quad (4.22)$$

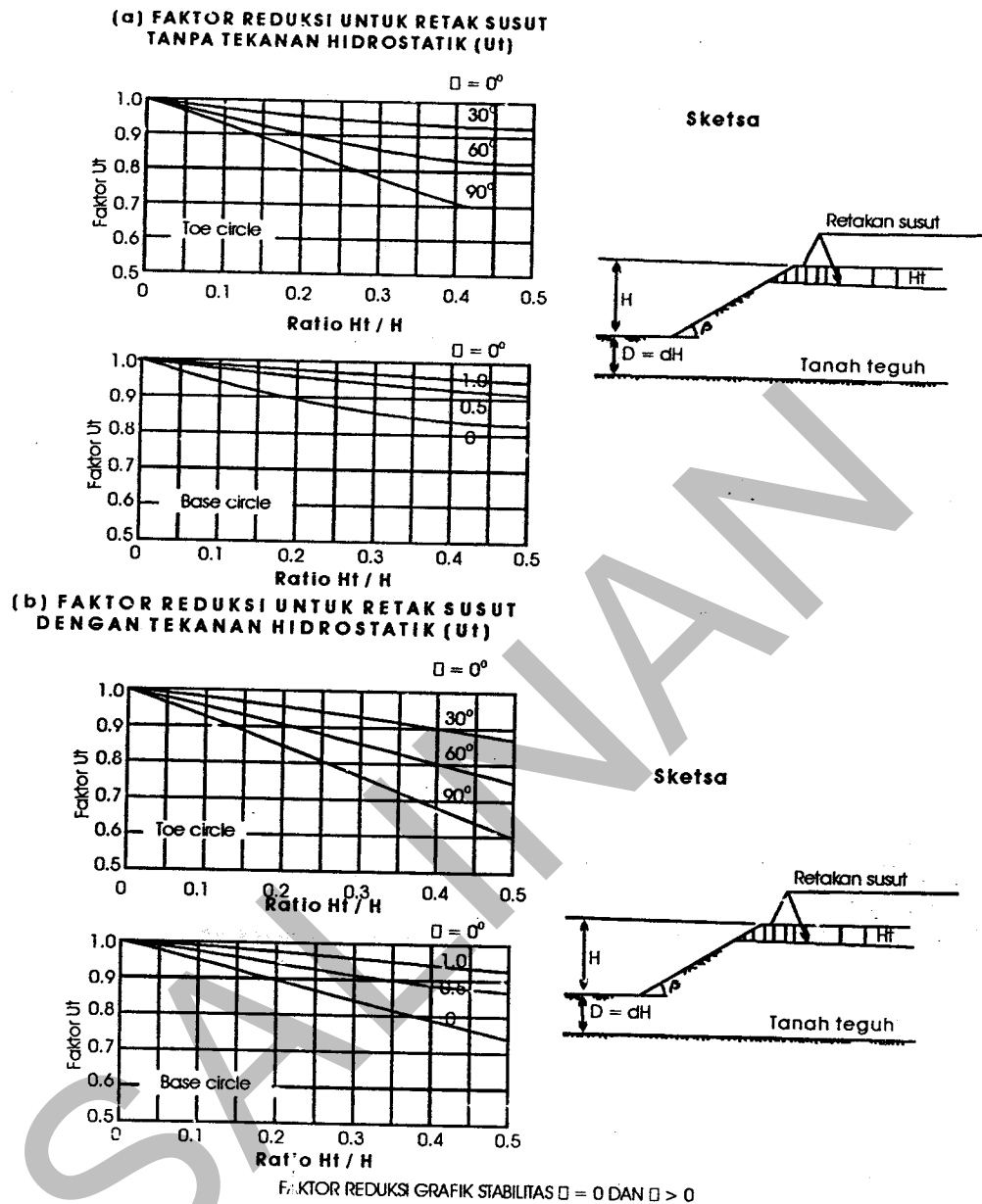
Dimana:

- FK = faktor keamanan
- N_o = angka stabilitas
- c_{rata} = harga kohesi rata-rata (ton/m^2)
- P_d = faktor

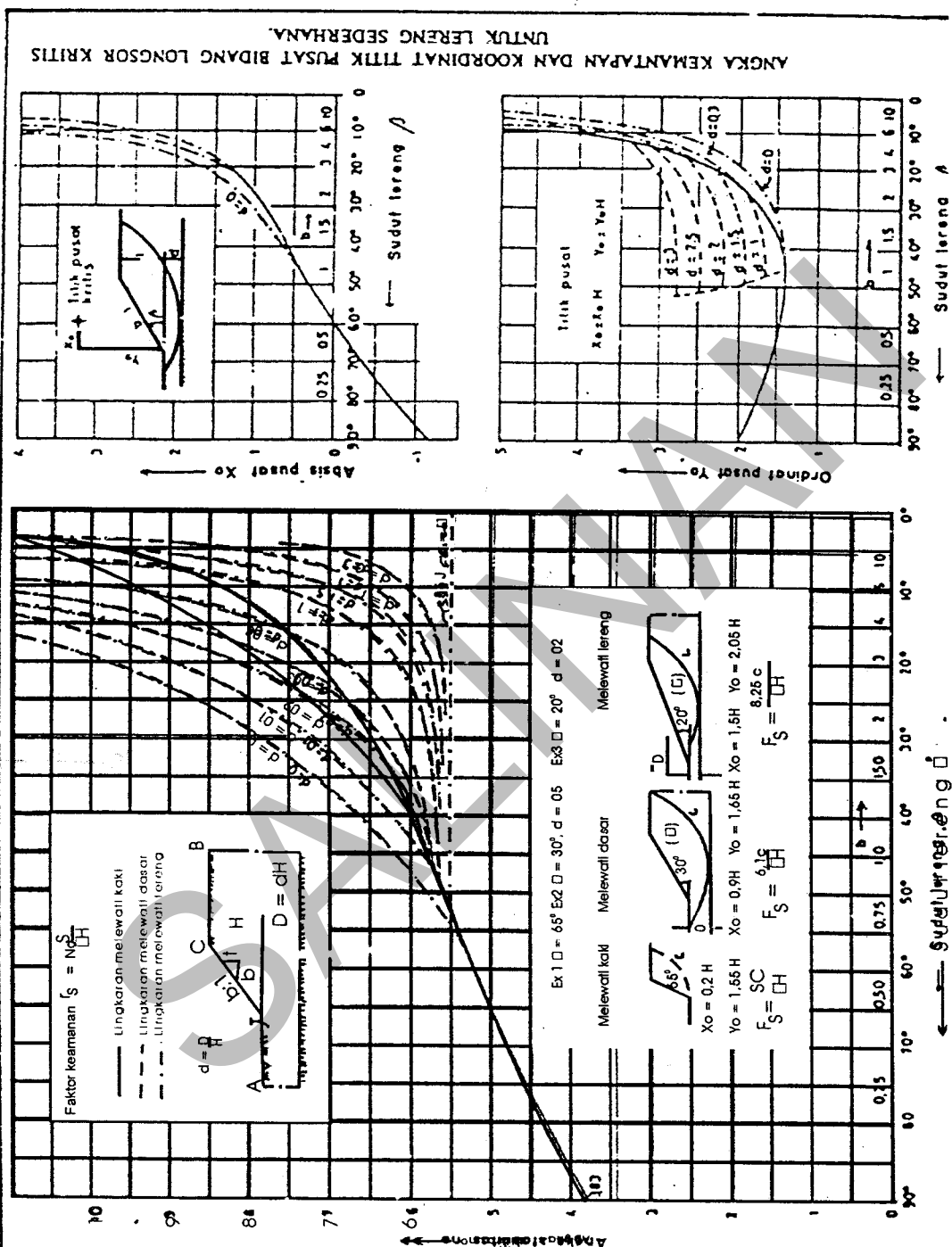
- Tentukan titik tangkap lingkaran kritis (bidang longsoran) menggunakan grafik dalam Gambar 18. Titik tangkap dinyatakan dalam X_o dan Y_o



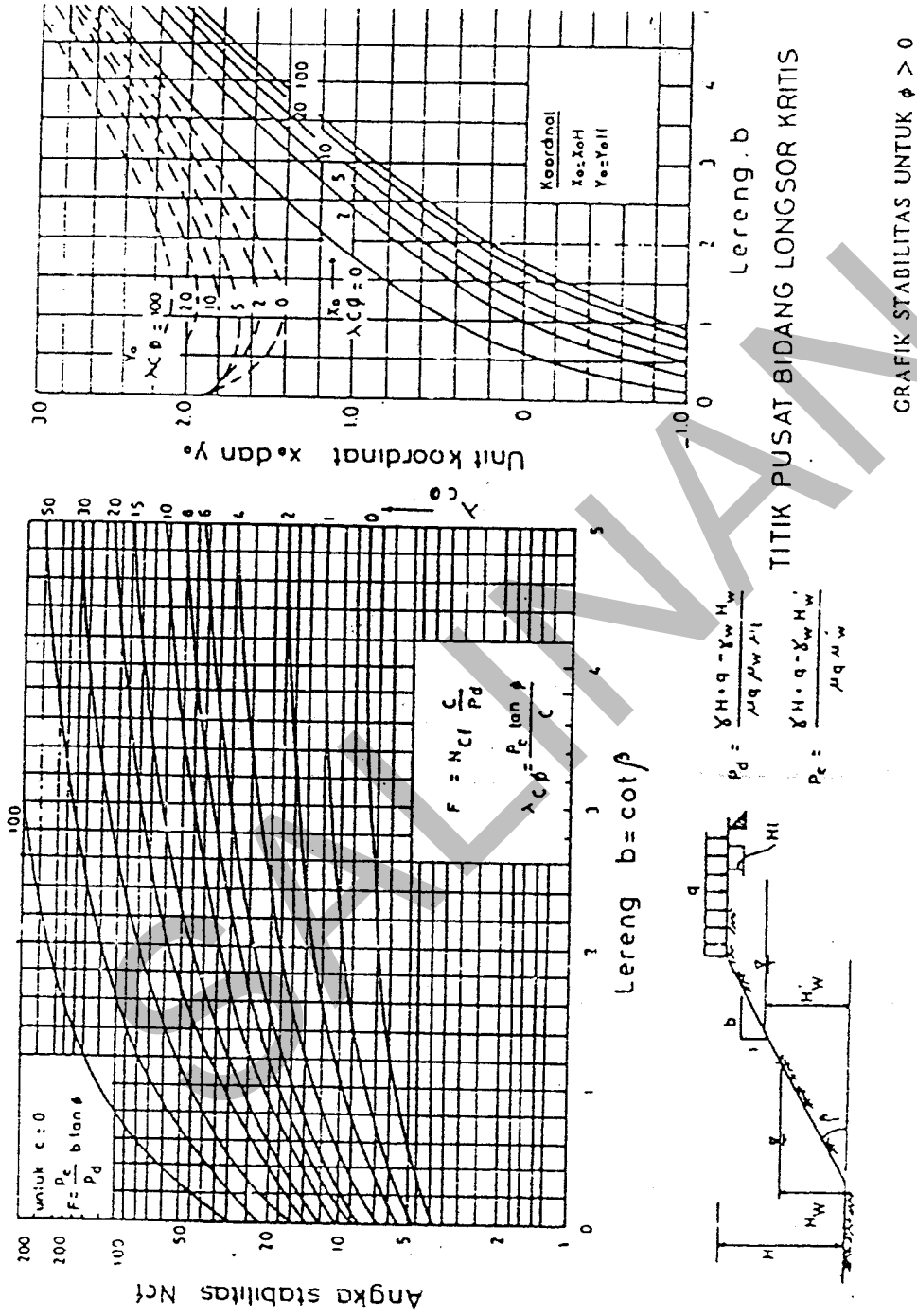
Gambar 15. Faktor Reduksi Stabilitas $\phi = 0$ dan $\phi > 0$



Gambar 16. Faktor Reduksi Grafik Stabilitas $\phi = 0$ dan $\phi > 0$



Gambar 17. Angka Kemantapan dan Koordinat Titik Pusat Bidang Longsor Kritis Untuk Lereng Sederhana.



Gambar 17.a. Grafik Stabilitas Untuk $\phi > 0$

b. Kondisi Tanah yang Mempunyai Harga $\Phi > 0$ dan $c > 0$.

Bagian ini terutama membahas mengenai kemantapan lereng untuk tanah lempung yang mempunyai parameter $\Phi > 0$ dan $c > 0$. dan peninjauan dapat dilakukan terhadap lereng terendam sebagian, retakan susut, dan gaya-gaya luar lainnya.

Langkah-langkah penggunaan grafik:

1. Tentukan parameter desain setiap lapisan tanah yaitu Φ , c , γ , h dan D
2. Tentukan kemiringan lereng
3. Tanah berlapis-lapis disederhanakan menjadi satu lapisan. Caranya sama untuk tanah jenuh air ($\Phi = 0$, $c \neq 0$) dengan menggunakan persamaan (4.12; 4.18; 4.19).
4. Perkiraan letak bidang longsoran
Untuk lereng sederhana dengan $\Phi > 0$ bidang longsoran kritis melewati kaki lereng bila tanah dasarnya akan melewati tanah dasar, menyinggung lapisan yang kuat.
5. Hitung faktor P_d menggunakan persamaan (4.21)

$$P_d = \frac{\gamma_{rata} H + q - \gamma_w H_w}{u_q u_w u_t}$$

6. Hitung faktor P_e menggunakan persamaan

$$P_e = \frac{\gamma_{rata} H + q - \gamma_w H'_w}{u_q u'_w} \quad (4.23)$$

dimana:

H'_w = tinggi air dalam lereng (m)

u'_w = faktor koreksi rembesan (Gambar 4.11)

Bila tidak ada beban merata, $u_q = 1$; bila tidak ada rembesan $u'_w = 1$

7. Hitung parameter tak berdimensi $\lambda_{c\phi}$ menggunakan persamaan

$$\lambda_{c\phi} = \frac{P_e \tan(\phi_{rata})}{C_{rata}} \quad (4.24)$$

dimana:

$\tan(\phi_{rata})$ = harga rata dari $\tan\phi$

C_{rata} = harga kohesi rata-rata (ton/m²)

Bila $c_{rata} = 0$ maka $\lambda_{c\phi}$ menjadi tak terhingga

Dalam hal ini langkah 7 diloncat.

8. Menggunakan grafik dalam Gambar 17 cari angka kemantapan N_{cf} yang tergantung pada sudut kemiringan β dan $\lambda_{c\phi}$
9. Hitung faktor keamanan, FK, menggunakan persamaan:

$$FK = N_{cf} \frac{c_{rata}}{P_d} \text{ (untuk } c > 0 \text{)} \quad (4.25)$$

$$FK = \frac{P_e}{P_d} b \tan \phi_{rata} \text{ (untuk } c = 0 \text{)} \quad (4.26)$$

dimana: $b = \cot \beta$

10. Tentukan titik tangkap lingkaran kritis (bidang longsoran) menggunakan grafik dalam Gambar 17 dan dinyatakan dalam X_o dan Y_o .
11. Bila lereng terdiri atas banyak lapisan maka perhitungan perlu ditinjau beberapa lingkaran kritis yang menyinggung batas-batas lapisan.

4.2.2.1.3.3. Metode Duncan & Buchignani

Analisis Duncan & Buchignani untuk lereng tak terbatas mencakup dua kondisi, yaitu:

- (1) Lereng dari material tak berkohesi dengan bidang longsoran kritis dangkal
- (2) Lereng dari tanah residual dengan lapisan tanah tipis terletak diatas lapisan tanah lebih kuat dan bidang longsornya melewati bidang datar sejajar lereng, lihat Gambar 18.

A. Langkah-langkah dalam penggunaan grafik stabilitas untuk analisa tegangan efektif

- Tentukan ratio tekanan air pori r_u menggunakan persamaan:

$$r_u = \frac{X}{T} \frac{\gamma w}{\gamma} \cos^2 \beta \quad \text{(untuk rembesan sejajar lereng)} \quad (4.27)$$

$$r_u = \frac{\gamma_w}{\gamma} \frac{1}{1 + \tan \beta \tan \theta} \quad (\text{untuk rembesan memotong lereng}) \quad (4.28)$$

dimana:

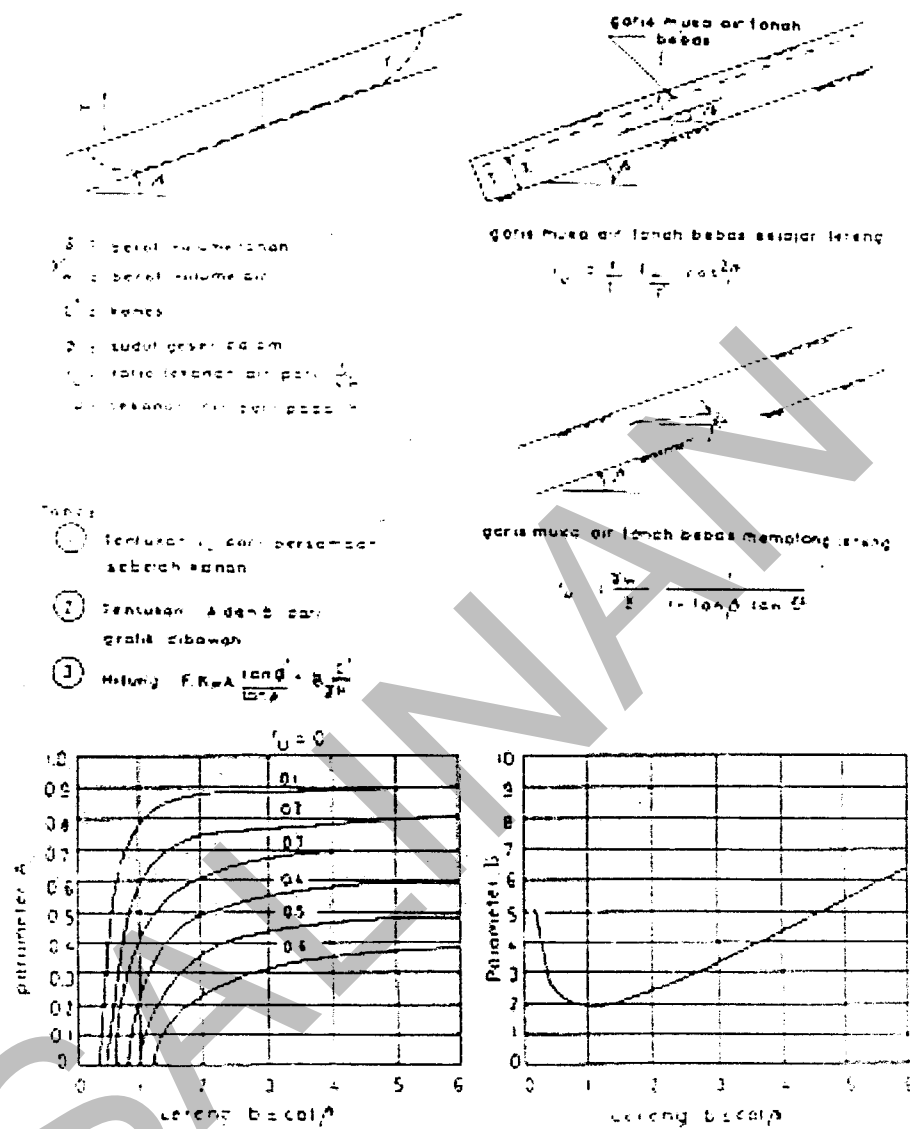
- x = Jarak dari bidang longsor ke garis rembesan diukur normal terhadap lereng (m)
- T = jarak dari bidang longsor ke permukaan lereng, diukur normal terhadap permukaan lereng
- γ_w = berat volume air (ton/m³)
- γ = berat volume total tanah (ton/m³)
- β = sudut kemiringan lereng
- θ = sudut garis muka air bebas dengan bidang horisontal

- Tekanan parameter A menggunakan grafik dalam Gambar 18 yang tergantung pada r_u dan $\cot \beta = b$.
- Tentukan parameter B menggunakan grafik dalam Gambar 18 yang tergantung pada $\cot \beta$
- Hitung faktor keamanan, FK menggunakan persamaan:

$$FK = A \frac{\tan \phi'}{\tan \beta} + B \frac{c'}{\gamma H} \quad (4.29)$$

dimana :

- ϕ' = sudut geser dalam menggunakan tegangan efektif (derajat)
- c' = kohesi dalam tegangan efektif (ton/m²)
- β = sudut kemiringan lereng
- H = kedalaman bidang longsor diukur vertical dari permukaan lereng



Gambar 18. Angka Kemantapan Untuk Lereng Tak Terhingga

B. Langkah penggunaan grafik stabilitas untuk analisa tegangan total

- Tentukan parameter B menggunakan grafik stabilitas untuk analisa tegangan total
- Hitung faktor keamanan FK menggunakan persamaan:

$$FK = \frac{\tan \phi}{\tan \beta} + B \frac{c}{\gamma H} \quad (4.30)$$

dimana :

ϕ = sudut geser dalam menggunakan tegangan total

c = kohesi dalam tegangan total.

4.2.2.1.3.4. Metode Hoek & Bray

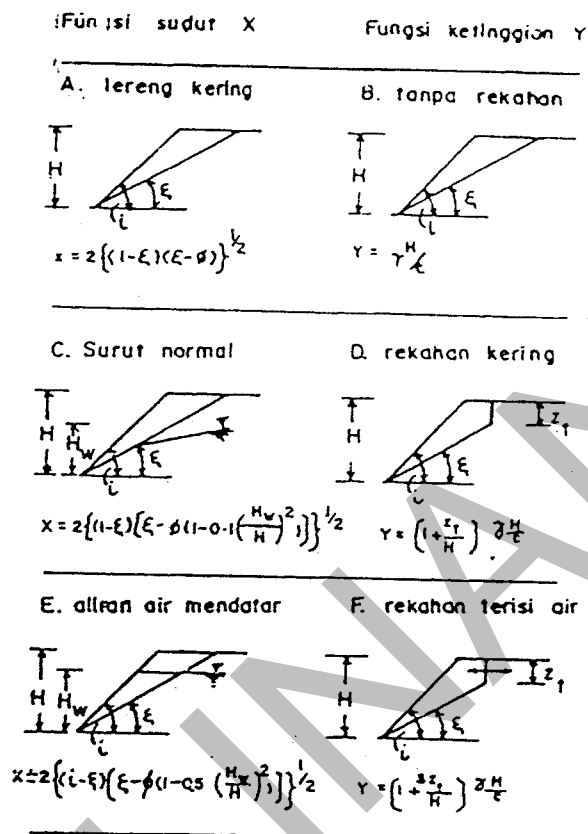
Hoek (1970) dan Hoek & Bray (1974) telah menyusun grafik untuk perencanaan lereng batu. Grafik ini dapat diterapkan pada lereng batu yang mempunyai bidang longsor planar dan lingkaran untuk kasus dengan atau tanpa rekahan dan kedudukan air tanah.

Parameter yang dipakai dalam analisis ini adalah fungsi sudut lereng dan fungsi ketinggian lereng.





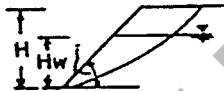

Untuk berbagai keadaan kedua parameter tersebut dapat diperoleh pada Gambar 19 dan 20. Apabila keadaan rekahan tidak dapat diamati dilapangan, dapat diperoleh melalui perhitungan menggunakan rumus:

$$Z_1 = \frac{2c}{\gamma} \left(\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right) \quad (4.31)$$

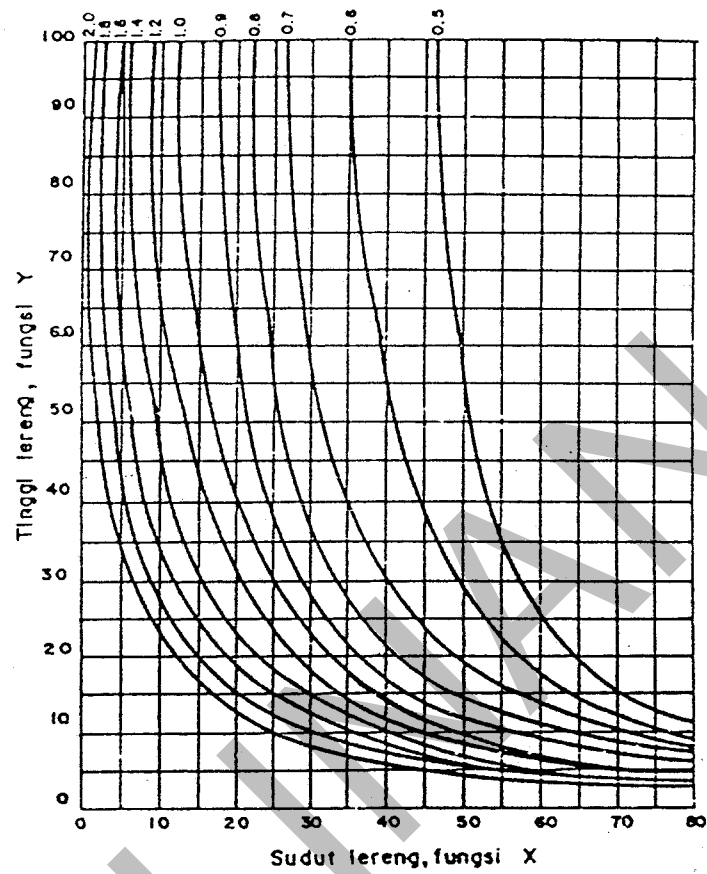
Setelah diperoleh kedua parameter, angka kemantapan lereng didapatkan dari Gambar 21 dan 22.



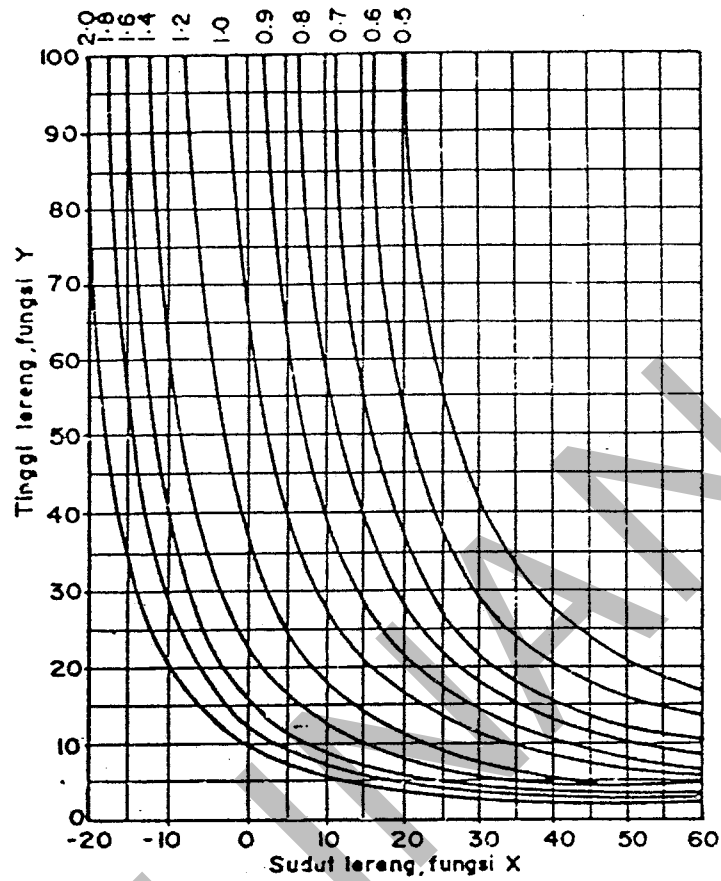
Gambar 19. Fungsi Untuk Grafik Perencanaan Lereng
Bidang Longsor Planar

Fungsi sudut X	Fungsi ketinggian Y
<p>A. lereng kering</p>  $x = 1 - 1.2\phi$	<p>B. tanpa rekahan</p>  $y = \frac{2H}{c}$
<p>C. Surut normal</p>  $x = 1 - \phi \left(1.2 - 0.3 \frac{H_w}{H} \right)$	<p>D. rekahan kering</p>  $y = \left(1 + \left(\frac{i - 25}{100} \right) \frac{z_t}{H} \right) \frac{2H}{c}$
<p>E. aliran air mendatar</p>  $x = 1 - \phi \left(1.2 - 0.5 \frac{H_w}{H} \right)$	<p>F. rekahan terisi air</p>  $y = \left(1 + \left(\frac{i - 10}{100} \right) \frac{z_t}{H} \right) \frac{2H}{c}$

Gambar 20. Fungsi Untuk Grafik Perencanaan Lereng
Bidang Longsoror Lingkaran



**Gambar 21. Grafik Perencanaan Lereng
Bidang Longsoran Planar**



Gambar 22. Grafik Perencanaan Lereng Bidang Longsoran Lingkaran

4.2.2.2. Analisis Tekanan Lateral Tanah

Stabilitas lereng terhadap tekanan lateral tanah dianalisis terhadap beberapa kondisi tekanan tanah yaitu tekanan tanah diam, tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif, pengaruh regangan lateral, serta pengaruh gesekan dinding dan adhesi. Beberapa teori yang menganalisis mengenai tekanan lateral tanah antara lain dikemukakan dalam teori Rankine dan teori Coulomb.

4.2.2.2.1. Tekanan Tanah Saat Diam, Aktif dan Pasif

Ditinjau suatu dinding penahan tanah dengan permukaan tanah mendatar pada Gambar 23. Mula-mula dinding dan tanah urug dibelakangnya pada kondisi diam, sehingga tanah pada kedudukan ini masih dalam kondisi elastis. Pada posisi ini tekanan tanah pada dinding akan berupa tekanan tanah saat diam (earth pressure at rest) dan tekanan tanah lateral (horizontal) pada dinding, pada kedalaman tertentu (z) dinyatakan oleh persamaan :

$$\sigma_h = K_o \sigma_v = K_o z \gamma \quad (4.32)$$

dengan :

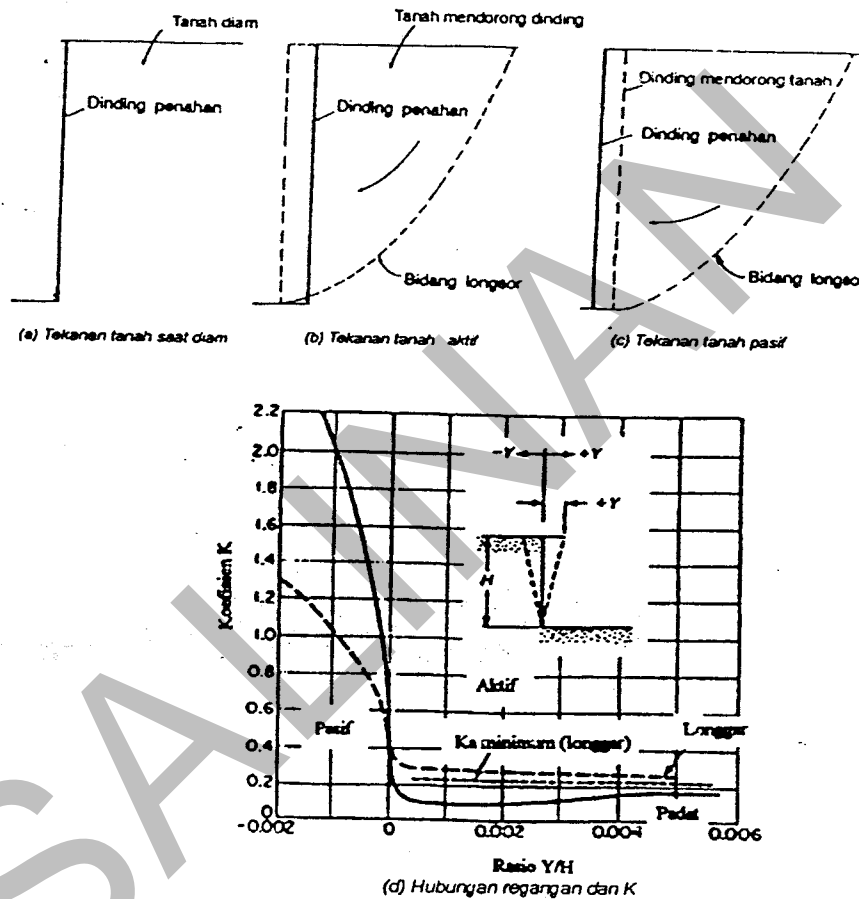
K_o = koefisien tekanan tanah saat diam

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

Kedudukan tegangan di dalam tanah yang dinyatakan oleh lingkaran Mohr saat tanah pada kondisi diam (disebut juga pada kondisi K_o) ini diwakili oleh lingkaran A. Perhatikan bahwa pada kedudukan K_o lingkaran A tidak menyinggung garis kegagalan OP (Gambar 24.a).

Jika kemudian dinding penahan tanah bergeser menjauhi tanah timbunannya (Gambar 23.b) dan jika gerakan ini diikuti oleh gerakan tanah akan berangsur-angsur berkurang yang diikuti dengan berkembangnya tahanan geser tanah secara penuh. Pada suatu saat, gerakan dinding selanjutnya mengakibatkan terjadinya keruntuhan geser tanah dan tekanan tanah pada dinding menjadi

konstan pada tekanan minimumnya. Tekanan tanah lateral minimum, yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah oleh akibat gerakan dinding menjauhi tanah di belakangnya disebut tekanan tanah aktif (*active earth pressure*). Kedudukan tegangan saat tanah pada kedudukan keseimbangan limit aktif terjadi diwakili oleh lingkaran *B* yang menyinggung garis kegagalan *OP* (Gambar 24.a).



Gambar 23. Tekanan tanah lateral

- (a). Tekanan tanah Lateral saat diam
- (b). Tekanan tanah aktif
- (c). Tekanan tanah pasif
- (d). Hubungan regangan dan K pada pasir (Terzaghi, 1948)

Jika tegangan vertical (σ_v) di titik tertentu di dalam tanah dinyatakan oleh $\sigma_v = \gamma z$, maka tekanan tanah lateral pada saat tanah runtuh adalah

$$\sigma_h = K_a \sigma_v = K_a \gamma z \quad (4.33)$$

Dari memperhatikan lingkaran Mohr pada Gambar 24.b, dapat ditentukan bahwa:

$$K_a = \frac{\sigma_{h \text{ (aktif)}}}{\sigma_v} = \frac{\sigma_3}{\sigma_1} = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (4.34)$$

Pada kondisi keseimbangan limit aktif ini tegangan utama minor $\sigma_3 = \sigma_h$ dan tegangan utama mayor $\sigma_1 = \sigma_v$

Sebaliknya, jika tegangan lateral yang terjadi pada kondisi tekan, yaitu bila tanah tertekan sebagai akibat dinding penahan mendorong tanah (Gambar 23.c), maka gaya yang dibutuhkan untuk menyebabkan kontraksi tanah secara lateral sangat lebih besar daripada besarnya tekanan tanah menekan ke dinding. Besarnya gaya ini bertambah dengan bertambahnya regangan dalam tanah seiring dengan Bergeraknya dinding, hingga sampai suatu tegangan tertentu, tanah mengalami keruntuhan geser akibat desakan dinding penahan, saat mana gaya lateral tanah mencapai nilai yang konstan yaitu pada nilai maksimumnya. Tekanan tanah lateral maksimum yang mengakibatkan keruntuhan geser tanah akibat gerakan dinding menekan tanah urug, disebut tekanan tanah pasif (*passive earth pressure*)

Kedudukan tegangan-tegangan saat tanah pada kedudukan limit pasif tercapai diwakili oleh lingkaran C yang menyinggung garis kegagalan OP (Gambar 24.a). Jika tegangan vertical (σ_v) titik tertentu di dalam tanah dinyatakan oleh $\sigma_v = \gamma z$, maka tekanan tanah lateral pada saat tanah pada kondisi runtuh :

$$\sigma_h = K_p \sigma_v = K_p \gamma z \quad (4.35)$$

Dari memperhatikan lingkaran Mohr pada Gambar 24.b, dapat ditentukan bahwa:

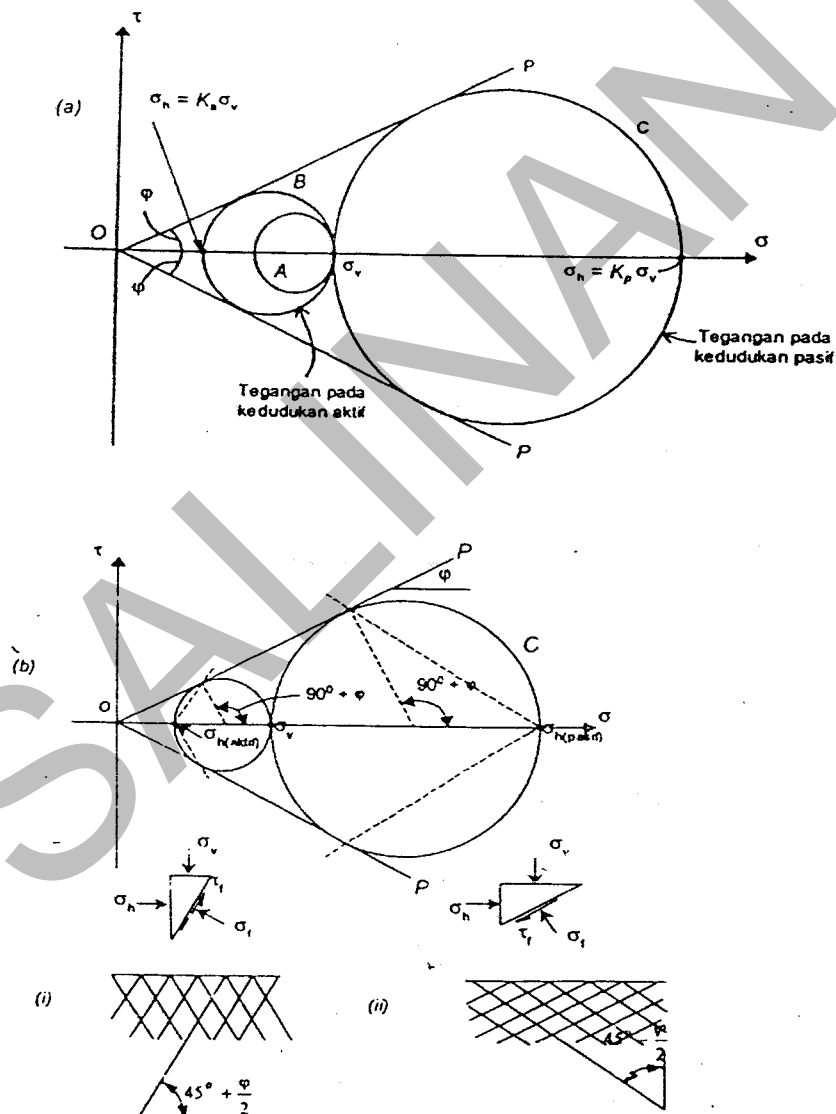
$$K_p = \frac{\sigma_{h \text{ (pasif)}}}{\sigma_v} = \frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (4.36)$$

Perhatikan bahwa pada kondisi pasif, tegangan utama minor $\sigma_3 = \sigma_v \text{ (pasif)}$ dan tegangan utama mayor $\sigma_1 = \sigma_h \text{ (pasif)}$.

Dari persamaan-persamaan (4.34) dan (4.36) untuk kondisi permukaan tanah horizontal seperti pada Gambar 23 dapat diperoleh hubungan :

$$K_p = \frac{1}{K_a} \quad (4.37)$$

Jadi untuk tekanan vertical tertentu, tekanan tanah lateral hanya akan terdapat diantara dua nilai batas $K_a \sigma_v$ dan $K_p \sigma_v$. Kedudukan tegangan pada batas-batas nilai tersebut disebut tegangan pada kedudukan Rankine (*Rankine state*). Kemiringan bidang-bidang kegagalan didalam tanah pada ke dua kedudukan batas tersebut diperlihatkan pada Gambar 24.b.



Gambar 24. Tekanan tanah lateral dan lingkaran Mohr yang mewakili kedudukan tegangan di dalam tanah
(a) Tegangan-tegangan pada kedudukan Rankine
(b) Orientasi garis-garis keruntuhan teori Rankine
Pada : (i) kedudukan aktif (ii) kedudukan pasif

4.2.2.2.2. Pengaruh Regangan Lateral

Seperti yang telah dipelajari, tekanan tanah lateral pada dinding bergantung pada regangan yang terjadi pada tanah atau gerakan dinding relatif terhadap tanah urug di belakangnya. Gambar 23.d memperlihatkan hubungan antara regangan lateral (K) pada tanah pasir hasil penelitian Terzaghi (1948). Dalam gambar tersebut, $K = \sigma_h / \gamma z$ (γ = berat volume tanah, z = kedalaman dan σ_h = tekanan tanah lateral pada kedalaman z). Terlihat bahwa regangan lateral (gerakan dinding penahan) yang dibutuhkan untuk mencapai kedudukan tekanan tanah aktif lebih kecil dibandingkan dengan gerakan dinding penahan yang dibutuhkan untuk mencapai kedudukan tekanan tanah pasif. Perhatikan pula bahwa koefisien tekanan tanah aktif (K_a) lebih besar untuk tanah pasir longgar daripada tanah pasir padat, sedang untuk koefisien tekanan tanah pasif (K_p) kebalikannya.

Hasil penelitian Lambe dan Whitman (1969) pada tanah pasir yang diuji pada alat triaxial menunjukkan bahwa tanah akan mencapai kedudukan aktif pada regangan kira-kira 0,5 %, sedang untuk kedudukan pasif kira-kira 2%.

Bila gerakan dinding penahan berupa translasi, nilai-nilai tipikal mulai bekerjanya tekanan tanah aktif ditunjukkan dalam Tabel 4.2 (Bowles, 1977).

Tabel 4.2. Macam tanah dan translasi saat tanah dalam kondisi aktif (Bowles, 1977)

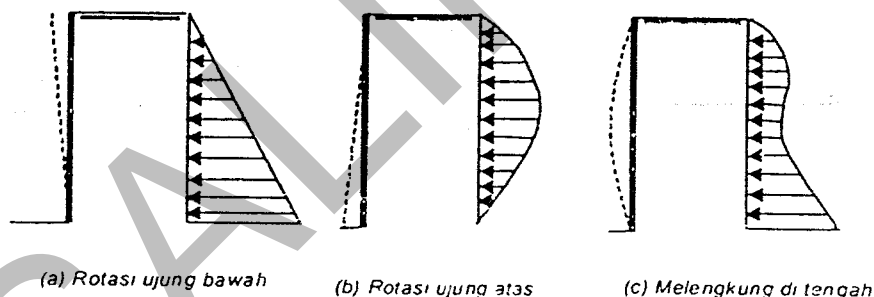
Macam Tanah	Translasi yang dibutuhkan (H= tinggi dinding penahan)
Tanah tak kohesif, padat	0,001 sampai 0,002 H
Tanah tak kohesif, tak padat	0,002 sampai 0,004 H
Tanah kohesif, kaku	0,01 sampai 0,02
Tanah kohesif, lunak	0,02 sampai 0,05 H

Diagram tekanan tanah aktif yang berbentuk segitiga hanya akan terjadi bila keruntuhan tanah diakibatkan oleh menggulingnya (rotasi terhadap kaki) dinding penahan sehingga regangan di dalam tanah sama atau lebih besar dari regangan minimumnya (Gambar 25.a) . Untuk struktur penahan tanah yang

melengkung akibat tekanan tanah atau bergerak menurut model yang lain, distribusi tekanan tanahnya akan berbeda, seperti diperlihatkan dalam Gambar 25.b dan 25.c.

Jika bagian atas struktur penahan tanah dicegah bergerak, dan dibagian bawahnya bebas, maka tekanan tanah lateral yang terjadi akan mendekati tekanan tanah saat diam pada bagian atasnya, dan berkurang sampai mendekati nol pada bagian bawahnya (Gambar 25.b). Dalam praktek, hal ini terjadi pada dinding penahan pada galian tanah yang terbuka.

Tipe gerakan dinding yang berupa lengkung, diperlihatkan dalam Gambar 25.c. Disini, dinding penahan tanah berupa turap fleksibel yang diangker pada ujung atas dan dipancang pada bagian bawahnya. Tekanan tanah lateral yang terjadi mengecil pada bagian tengah-tengah dinding akibat defleksi lateral dinding turap yang fleksibel.



Gambar 25. Distribusi tekanan tanah aktif pada dinding penahan menurut tipe gerakan dinding.

Nilai-nilai K_0 yang diperoleh dari pengamatan beberapa peneliti disimpulkan oleh Teng (1962) sebagai berikut :

K_0	=	0,35 – 0,6	untuk pasir dan kerikil
	=	0,45 – 0,75	untuk lempung dan lanau
	=	1	untuk lempung terkonsolidasi berlebihan (overconsolidated)

Punmia (1980) menyarankan K_0 untuk berbagai jenis tanah-tanah seperti ditunjukkan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Nilai-nilai K_0 untuk berbagai jenis tanah (Punmia, 1980)

Janis Tanah	K_0
Pasir tak padat	0,4
Pasir padat	0,6
Pasir dipadatkan per lapis	0,8
Lempung lunak	0,6
Lempung keras	0,5

Nilai-nilai kisaran koefisien tekanan tanah diam, aktif dan pasif untuk tanah kohesif dan tanah tak kohesif pada umumnya, ditunjukkan dalam Tabel 4.4 (Bowles, 1977).

Tabel 4.4. Nilai-nilai kisaran koefisien tekanan tanah lateral (Bowles 1977)

Koefisien K	Tanah granuler	Tanah kohesif
K_p	3 – 14	1 – 2
K_0	0,4 – 0,6	0,4 – 0,8
K_0	0,33 – 0,22	1 – 0,5

4.2.2.2.3. Pengaruh Gesekan Dinding dan Adhesi

Pada saat tanah di belakang dinding penahan tanah mencapai keruntuhan akibat gerakan dinding ke depan, maka di belakang dinding terbentuk baji tanah yang ikut bergerak ke depan, dan kemudian ke bawah. Jika dinding penahan dijaga agar tetap kaku guna mencegah gerakan baji tanah ke bawah, maka terlihat gerakan vertikal relatif antara dinding belakang dan tanahnya. Bila permukaan dinding penahan sangat kasar, dan regangan yang terjadi cukup besar, tegangan geser sepanjang dinding belakang (s) menjadi sebesar nilai tahanan geser tanah

ultimitnya, yaitu $s = c + \sigma \operatorname{tg} \phi$. Pada kondisi ini, karena permukaan dinding sangat kasar, gesekan yang terjadi adalah antara tanah dan tanah, dengan bidang geser yang terletak sedikit diluar permukaan dinding. Sebaliknya, jika dinding belakang dari dinding penahan halus (licin), maka tidak ada tahanan geser tanah yang bekerja di belakang dinding, sehingga tekanan tanah bekerja tegak lurus permukaan dinding belakang.

Bila tanah bergeser relatif terhadap dinding, tegangan geser (s_d) pada dinding belakang, dapat dianggap terdiri dari dua bagian, yaitu :

$$s_d = c_d + \sigma \operatorname{tg} \delta \quad (4.38)$$

dengan :

$s_d = \tau_d$ = tegangan geser yang terjadi pada dinding belakang

c_d = adhesi antara tanah dan dinding belakang

δ = sudut gesek antara tanah dan dinding

σ = komponen tegangan normal, yaitu tekanan tanah lateral yang arahnya tegak lurus permukaan dinding.

Dalam perancangan dinding penahan tanah, gesekan antara dinding belakang dan tanah, sebaiknya diperhitungkan sesuai dengan keadaan sebenarnya.

4.2.2.2.4. Teori Rankine

Teori Rankine (1857) dalam analisis tekanan tanah lateral dilakukan dengan asumsi-asumsi sebagai berikut :

- (1). Tanah dalam kedudukan keseimbangan plastis, yaitu sembarang elemen tanah dalam kondisi tepat akan runtuh.
- (2). Tanah urug tidak berkoheesi ($c = 0$).
- (3). Gesekan antara dinding dan tanah urug diabaikan atau permukaan dinding dianggap licin sempurna ($\delta = 0$).

4.2.2.2.4.1. Tekanan Tanah Lateral pada Tanah Tak Kohesif

(a). *Permukaan tanah urug horizontal*

Tanah tak kohesif atau tanah granuler adalah tanah-tanah yang tidak mempunyai kohesi ($c = 0$) seperti pasir, kerikil. Bila permukaan tanah urug horizontal (Gambar 26.a), tekanan tanah aktif (p_a) pada sembarang kedalaman z dari permukaan tanah urug atau puncak dinding penahan dinyatakan oleh persamaan :

$$P_a = K_a z \gamma \quad (4.39)$$

Dengan :

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

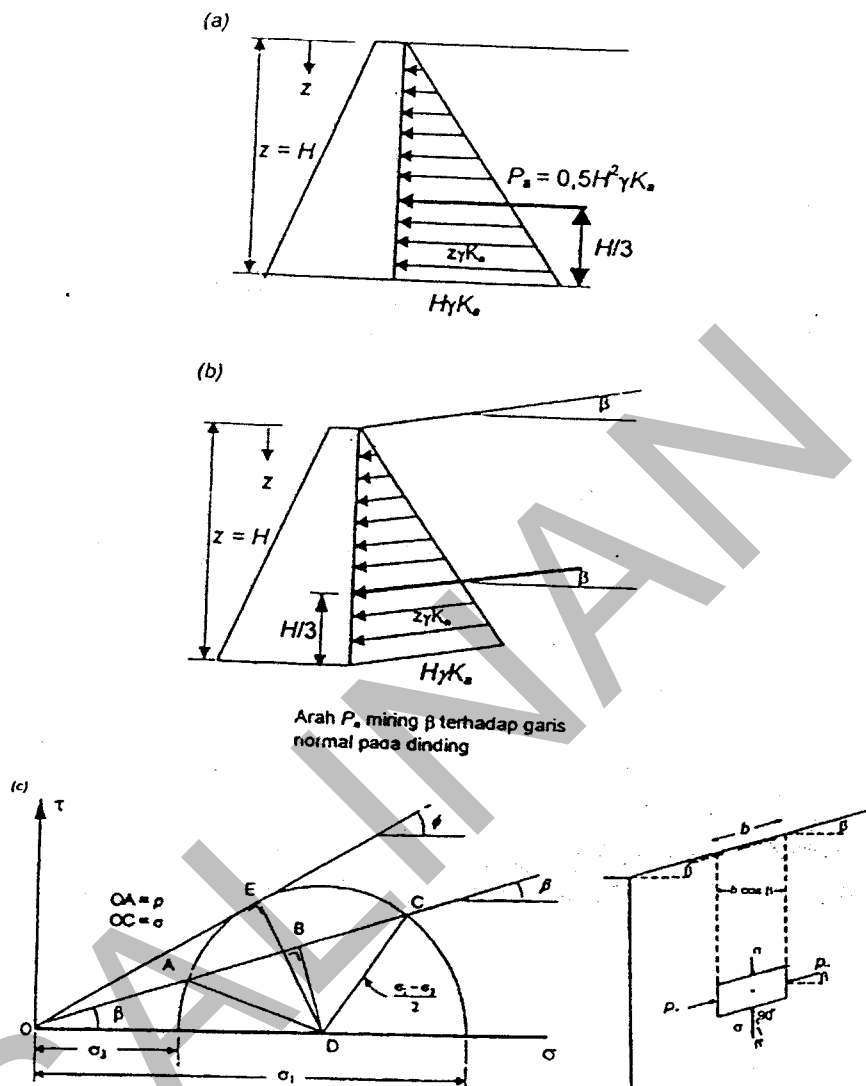
Tekanan tanah aktif total (P_a) untuk dinding penahan tanah setinggi H dinyatakan oleh persamaan :

$$P_a = 0,5 H^2 \gamma K_a \quad (4.40)$$

dengan titik tangkap gaya $H/3$ dari dasar dinding penahan.

(b). *Permukaan tanah urug miring*

Ditinjau untuk kasus tanah urug tidak berkohesi ($c = 0$) yang permukaannya miring di belakang dinding penahan tanah, dengan permukaan dinding belakang licin (Gambar 26.b). Tegangan lateral bekerja pada bidang vertical dari elemen tanah (bidang yang parallel dengan bagian permukaan dinding belakang) akan sejajar dengan permukaan tanah urug. Jadi pada bidang-bidang ini, kecuali bekerja tegangan normal juga tegangan geser. Dengan demikian, kedua bidang ini bukan lagi bidang-bidang utama seperti pada kasus permukaan tanah urug horizontal.



Gambar 26. Diagram tekanan tanah aktif Rankine

- (a) Diagram tekanan untuk permukaan tanah urug horizontal
- (b) Diagram tekanan untuk permukaan tanah urug miring
- (c) Lingkaran Mohr untuk permukaan tanah urug miring.

Tekanan tanah pada dinding dengan permukaan tanah urug miring dapat ditentukan dengan pertolongan lingkaran Mohr atau dengan memperhatikan keseimbangan tanah yang akan longsor. Berikut ini hanya akan diperlihatkan cara menentukan tekanan pada dinding dengan lingkaran Mohr.

Ditinjau suatu elemen tanah di belakang dinding penahan tanah dengan bagian dinding belakang vertical, licin dan permukaan tanah urug miring sebesar β . Lingkaran Mohr saat elemen tanah pada kedudukan aktif diperlihatkan dalam Gambar 26.c. Tegangan vertical (σ) ditunjukkan oleh jarak OC, sedang tegangan lateral (p) yang bekerja pada titik miring dinyatakan oleh jarak OA. Tegangan σ dan p merupakan tegangan-tegangan *conjugate* dengan arah σ vertical dan p sejajar dengan permukaan tanah miring. Tegangan-tegangan σ dan p ini merupakan resultan tegangan pada masing-masing bidang di elemen tanah yang ditinjau (keduanya bukan tegangan-tegangan utama). Bila σ_1 dan σ_3 berturut-turut adalah tegangan utama mayor dan tegangan utama minor pada elemen tanah, untuk tanah tak berkohesi dapat diperoleh :

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3} = \sin \varphi \quad (4.41)$$

Karena sudut yang dibentuk antara σ dan p adalah β (lihat Gambar 26.c sebelah kanan), maka garis dari titik O bersudut β terhadap absis akan memotong lingkaran Mohr pada titik-titik A dan C. Garis OA menyatakan resultan tegangan p dan garis OC menyatakan resultan tegangan σ . Gambar 26 c memperlihatkan $OA = p$ dan $OC = \sigma$, sedang σ_1 dan σ_3 merupakan titik-titik potong lingkaran Mohr dengan sumbu-x. Bila digambarkan DB tegak lurus AC, maka :

$$OB = OD \cos \beta = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \cos \beta$$

$$BD = OD \sin \beta = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \beta$$

$$AB = BC = \sqrt{(AD)^2 - (BD)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}\right)^2 \sin^2 \beta}$$

Karena $(\sigma_1 - \sigma_3) = (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \varphi$, dari Persamaan (4.41), dapat diperoleh :

$$AB = BC = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \beta} \quad (4.42)$$

Tegangan $\sigma = OB + BC$

$$= \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \cos \beta + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \beta} \quad (4.43)$$

Tegangan $p = OB - AB$

$$= \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \cos \beta - \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \beta} \quad (4.44)$$

Dengan membagi Persamaan (4.43) dengan (4.44), diperoleh :

$$\frac{p}{\sigma} = K = \frac{\cos \beta - \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \beta}}{\cos \beta + \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \beta}}$$

$$\text{atau } \frac{p}{\sigma} = K = \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}} \quad (4.45)$$

Rasio K adalah rasio conjugate atau rasio tekanan tanah lateral Rankine

Untuk kasus ini :

$$\sigma = \frac{\gamma z \cdot b \cos \beta}{b} = \gamma z \cos \beta$$

$$p = \text{tekanan tanah lateral} = p_a$$

Substitusi ke Persamaan (4.45), diperoleh :

$$p_a = \gamma z \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}} \quad (4.46a)$$

$$p_a = K_a \gamma z \quad (4.46b)$$

Dalam persamaan tersebut,

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}} \quad (4.46c)$$

dengan :

β = sudut kemiringan permukaan tanah urug terhadap horizontal

φ = sudut gesek dalam tanah

Tekanan tanah aktif total (P_a) untuk dinding penahan tabah setinggi H dinyatakan oleh persamaan :

$$P_a = 0,5 H^2 \gamma K_a \quad (4.47)$$

dengan arah garis kerja tekanan yang sejajar permukaan tanah urug dan bekerja pada ketinggian H/3 dari dasar dinding penahan.

Bila $\beta = 0$ (untuk permukaan tanah horizontal), Persamaan (4.46c) menjadi :

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$$

Persamaan ini sama dengan Persamaan (4.34).

Tekanan tanah pasif untuk permukaan tanah miring ditentukan dengan cara yang sama. Pada kedudukan pasif, tekanan tanah pasif (P_p) pada kedalaman z dari puncak dinding penahan dinyatakan oleh :

$$P_p = K_p z \gamma \quad (4.48a)$$

Tekanan tanah pasif total (P_p) untuk dinding penahan setinggi H, dinyatakan oleh persamaan :

$$P_p = 0,5 H^2 \gamma K_p \quad (4.48b)$$

dengan

$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}} \quad (4.48c)$$

Titik tangkap gaya tekanan tanah pasif terletak pada H/3 dari dasar dinding penahan dan arahnya sejajar dengan permukaan tanah urug.

Pada Persamaan (4.18) bila tanah urug horizontal ($\beta = 0$).

$$K_p \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)$$

Persamaan ini sama dengan Persamaan (4.35)

Tabel 4.5.a dan 4.5.b memberikan nilai-nilai tekanan tanah aktif dan pasif dengan berbagai variasi sudut gesek dalam (ϕ) dan sudut kemiringan permukaan tanah urug (β).

Tabel 4.5a Koefisien tekanan tanah aktif (K_a) teori Rankine

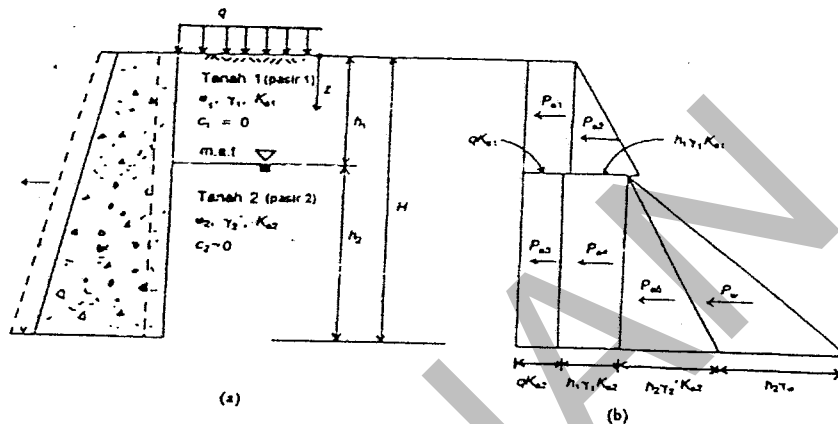
B (°)	Φ (°)								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0,3905	0,3610	0,3333	0,3073	0,2827	0,2596	0,2379	0,2174	0,1982
5	0,3959	0,3656	0,3372	0,3105	0,2855	0,2620	0,2399	0,2192	0,1997
10	0,4134	0,3802	0,3495	0,3210	0,2944	0,2696	0,2464	0,2247	0,2044
15	0,4480	0,4086	0,3729	0,3405	0,3108	0,2834	0,2581	0,2346	0,2129
20	0,5152	0,4605	0,4142	0,3739	0,3381	0,3060	0,2769	0,2504	0,2262
25	0,6999	0,5727	0,4936	0,4336	0,3847	0,3431	0,3070	0,2750	0,2465
30	-	-	0,8660	0,5741	0,4776	0,4105	0,3582	0,3151	0,2784
35	-	-	-	-	-	0,5971	0,4677	0,3906	0,3340
40	-	-	-	-	-	-	-	0,7660	0,4668

Tabel 4.5.b Koefisien tekanan tanah pasif (K_p) teori Rankine

B (°)	Φ (°)								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	2,5611	2,7698	3,0000	3,2546	3,5371	3,8518	4,2037	4,5989	5,0447
5	2,5070	2,7145	2,9431	3,1957	3,4757	3,7875	4,1360	4,5272	4,9684
10	2,3463	2,5507	2,7748	3,0216	3,2946	3,5980	3,9365	4,3161	4,7437
15	2,0826	2,2836	2,5017	2,7401	3,0024	3,2926	3,6154	3,9766	4,3827
20	1,7141	1,9176	2,1318	2,3618	2,6116	2,8857	3,1888	3,5262	3,9044
25	1,1736	1,4343	1,6641	1,8942	2,1352	2,3938	2,6758	2,9867	3,3328
30	-	-	0,8660	1,3064	1,5705	1,8269	2,0937	2,3802	2,6940
35	-	-	-	-	-	1,1239	1,4347	1,7177	2,0088
40	-	-	-	-	-	-	-	0,7660	1,2570

(c). Penggambaran diagram tekanan tanah lateral

Ditinjau dinding penahan tanah dengan tanah urug berupa pasir yang di atasnya terdapat beban terbagi rata q (Gambar 27.a). Muka air tanah terdapat pada kedalaman h_1 dari muka tanah. Di bawah h_1 terdapat tanah pasir 2



Gambar 27. Diagram tekanan tanah aktif Rankine

- Pada kedalaman $z = 0$:
Tekanan aktif efektif terhadap dinding $p_a = K_{a1} q$
- Tekanan kedalaman $z = h_1$, karena tanah tidak terendam air, tekanan vertical total sama dengan tekanan vertical efektif, atau:

$$\sigma_v = \sigma'_v = (q + \gamma_1 h_1)$$

Tekanan tanah aktif pada bagian dinding setinggi h_1 adalah:

$$P_a = P'_a = K_{a1} \sigma'_v = K_{a1}(q + \gamma_1 h_1)$$

- Pada kedalaman $z = h_1 + h_2 = H$, karena tanah setebal h_2 terendam air, maka pada bagian ini dipakai berat volume efektif (γ'_2):

$$\sigma'_v = (q + \gamma_1 h_1 + \gamma'_2 h_2)$$

Tekanan tanah aktif pada bagian dinding setinggi h_1 adalah:

$$P'_a = K_{a2}\sigma_v = K_{a2}(q + \gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2)$$

- Tekanan lateral akibat tekanan air setebal h_2 atau pada $z = H$:

$$u = \gamma_w h_2$$

Tekanan tanah aktif total pada dinding penahan dengan tinggi H , adalah sama dengan luas diagram yang ditunjukkan pada Gambar 27.b, yaitu :

$$P_a = P_{a1} + P_{a2} + P_{a3} + P_{a4} + P_{a5} + P_w$$

atau

$$P_a = qh_1 K_{a1} + \frac{1}{2} \gamma_1 h_1^2 K_{a1} + qh_2 K_{a2} + \gamma_1 h_1 h_2 K_{a2} + \frac{1}{2} \gamma_2 h_2^2 K_{a2} + \frac{1}{2} \gamma_w h_2^2$$

Perhatikan bahwa tekanan tanah lateral (tinggi = h_1) terhadap bagian dinding di bawahnya (yaitu bagian lapis 2) adalah sama dengan bila tekanan tanah setebal h_1 dianggap sebagai beban terbagi rata yang menekan pada bagian dinding bawahnya. Bila tanah lapisan 1 dianggap sebagai beban terbagi rata terhadap dinding di bagian lapisan 2 :

$$q' = h_1 \gamma_1$$

Tekanan tanah aktif akibat tanah setebal h_1 sebesar q' yang terletak diatas tanah urug dengan dinding setinggi h_2 adalah :

$$P_{a4} = q' K_{a2} h_2 = \gamma_1 h_1 h_2 K_{a2}$$

Penggambaran diagram tekanan tanah pasif menurut Rankine dapat digambarkan seperti pada penggambaran tekanan tanah aktif. Tekanan tanah pasif Rankine (efektif) pada sembarang kedalaman ke dinding setinggi H (Gambar 28.a) adalah :

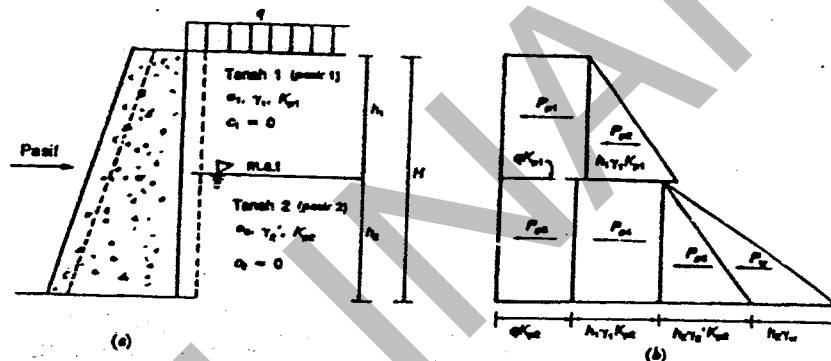
$$P'_p = K_p \sigma'_v$$

Dengan cara yang sama seperti penggambaran diagram tekanan tanah aktif dapat diperoleh diagram tekanan pasif yang ditunjukkan pada Gambar 28.b. Nilai tekanan tanah pasif total P_p adalah :

$$P_p = P_{p1} + P_{p2} + P_{p3} + P_{p4} + P_{p5} + P_w$$

atau

$$P_p = h_1 q K_{p1} + \frac{1}{2} \gamma_1 h_1^2 K_{p1} + h_2 q K_{p2} + \gamma_1 h_1 h_2 K_{p2} + \frac{1}{2} \gamma_2 h_2^2 K_{p2} + \frac{1}{2} \gamma_w h_2^2$$



Gambar 28. Diagram tekanan tanah pasif Rankine

4.2.2.2.4.2. Tekanan Tanah Lateral pada Tanah Kohesif

Bila tanah urug mempunyai kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ), maka pada kedudukan Rankine, tekanan tanah aktif (P_a) dinyatakan oleh persamaan :

$$P_a = \gamma z \tan^2(45^\circ - \phi/2) - 2c \tan(45^\circ - \phi/2) \quad (4.49)$$

Karena, $K_a = \tan^2 (45^\circ - \phi/2)$, maka

$$P_a = \gamma z K_a - 2c\sqrt{K_a} \quad (4.50)$$

Dalam persamaan tersebut, terlihat bahwa terdapat kemungkinan P_a negatif, yang berarti ada gaya tarik yang bekerja pada tanah. Pada bagian tanah yang menderita gaya tarik tersebut, tanah menjadi retak-retak. Retakan bila terisi oleh air hujan selain mengurangi kohesi juga mengakibatkan tambahan tekanan tanah lateral akibat tekanan hidrostatik.

Kedalaman kritis h_c yang menyatakan kedalaman tanah yang retak, terjadi saat $P_a = 0$. Dari Persamaan (4.50) dapat diperoleh :

$$h_c = \frac{2c}{\gamma\sqrt{K_a}} \quad (4.51)$$

Dari memperhatikan Persamaan (4.50), di permukaan tanah ($z = 0$) nilai P_a akan sama dengan:

$$P_a = -2c \tan^2 (45^\circ - \phi/2) = -2c \sqrt{K_a} \quad (4.52)$$

Bila tanah pada kedudukan pasif,

$$P_p = \gamma z K_p + 2c\sqrt{K_p} \quad (4.53a)$$

Di permukaan tanah,

$$P_p = 2c\sqrt{K_p} \quad (4.53b)$$

Besarnya gaya-gaya tekanan tanah aktif dan pasif pada dinding penahan tanah dengan tanah urug yang kohesif, dinyatakan oleh persamaan-persamaan sebagai berikut:

1. Tekanan tanah aktif total:

$$P_a = 0,5 \gamma H^2 K_a - 2cH\sqrt{K_a} \quad (4.54)$$

2. Tekanan tanah pasif total:

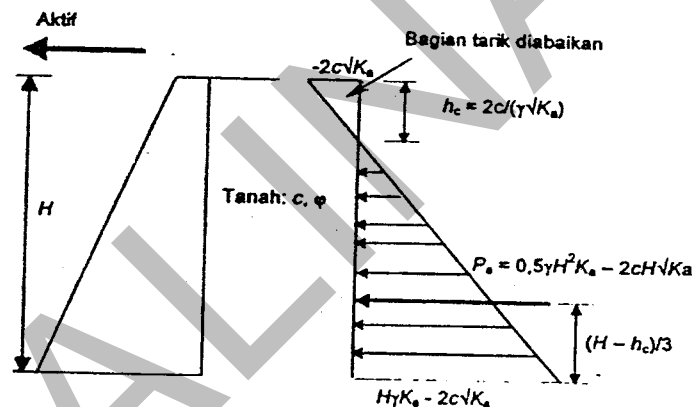
$$P_p = 0,5 \gamma H^2 K_p + 2cH\sqrt{K_p} \quad (4.55)$$

dengan :

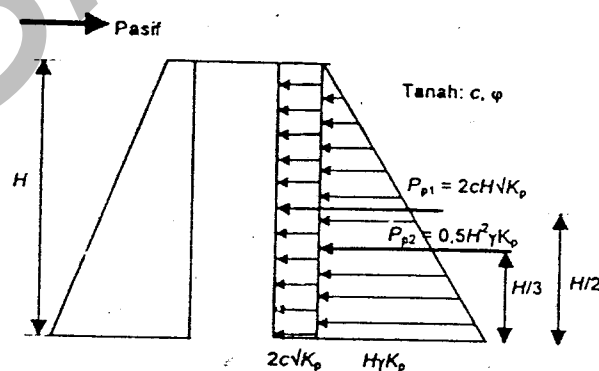
- P_a = tekanan tanah aktif total
- P_p = tekanan tanah pasif total
- H = tinggi dinding penahan tanah
- γ = berat volume tanah urug
- c = kohesi tanah urug

Diagram tekanan tanah aktif dan pasif untuk tanah kohesif ditunjukkan dalam Gambar 29.

Untuk permukaan tanah urug kohesif dan miring, maka pada hitungan K_a dan K_p berlaku Persamaan-persamaan (4.46c) dan (4.48c), dengan cara penggambaran diagram tekanan pada prinsipnya sama dengan tanah granuler dengan permukaan miring.



a) Diagram tekanan tanah aktif



b) Diagram tekanan tanah pasif

Gambar 29. Diagram tekanan aktif dan pasif pada tanah kohesif ($c > 0$ dan $\phi > 0$)

4.2.2.2.5. Teori Coulomb

Pada hitungan tekanan tanah lateral teori Coulomb (1776), pengaruh gesekan antara dinding dan tanah urug di belakangnya diperhitungkan. Sudut gesek antara dinding dan tanah (δ) bergantung pada kekasaran dinding dan regangan lateral pada waktu dinding bergerak.

Dalam menghitung tekanan tanah lateral teori Coulomb, terdapat beberapa anggapan-anggapan sebagai berikut:

- 1) Tanah adalah bahan yang isotropis dan homogen yang mempunyai sudut gesek dan kohesi.
- 2) Bidang longsor dan permukaan tanah urug adalah rata
- 3) Gaya gesek didistribusikan secara sama di sepanjang bidang longsor dan koefisien gesek $f = \tan \phi$
- 4) Tanah yang longsor berbentuk baji, dan merupakan satu kesatuan.
- 5) Terdapat gesekan antara dinding penahan dan tanah urug. Tanah yang longsor bergerak turun di sepanjang dinding belakang mengembangkan gesekan.
- 6) Keruntuhan dinding penahan tanah dianggap masalah dua dimensi dengan memperhatikan dinding penahan tanah yang panjangnya tak terhingga.

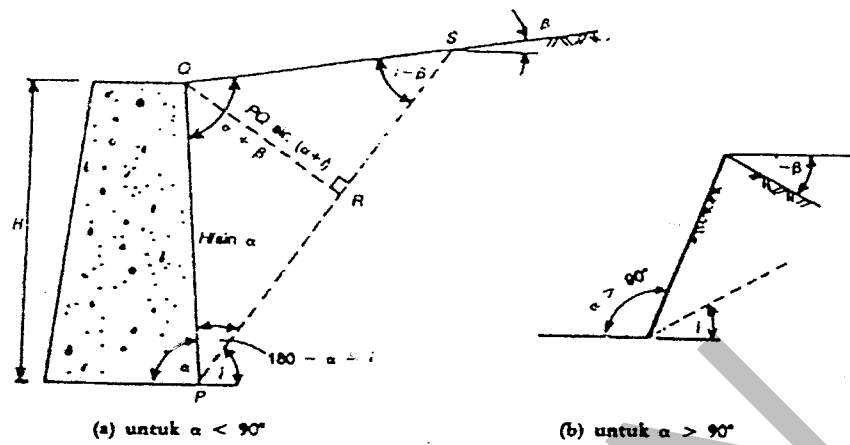
Ditinjau struktur dinding penahan tanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 30.

Luas baji tanah yang longsor $A = \frac{1}{2} \times QR \times PS$

$$PS = PQ \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(i - \beta)} \quad (4.56)$$

$$QR = PQ \sin(\alpha + i)$$

$$PQ = H / \sin \alpha$$



Gambar 30. Kelongsoran ditinjau dari teori Coulomb

Berat baji tanah persatuan panjang dinding penahan,

$$W = \gamma A (1) = \frac{\gamma H^2}{2 \sin^2 \alpha} \left(\sin(\alpha + i) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(i - \beta)} \right) \quad (4.57)$$

Tekanan aktif total P_a ditentukan dari poligon gaya pada Gambar 31b.

$$\frac{P_a}{\sin(i - \phi)} = \frac{W}{\sin(180^\circ - \alpha - i + \phi + \delta)}$$

atau

$$P_a = \frac{W \sin(i - \phi)}{\sin(180^\circ - \alpha - i + \phi + \delta)} \quad (4.58)$$

Dari persamaan (4.58), dapat dilihat bahwa nilai $P_a = f(i)$. Gabungan Persamaan (4.57) dan (4.58) dapat diperoleh :

$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2 \sin^2 \alpha} \left(\sin(\alpha + i) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(i - \beta)} \right) \frac{\sin(i - \varphi)}{\sin(180 - \alpha - i + \varphi + \delta)} \quad (4.59)$$

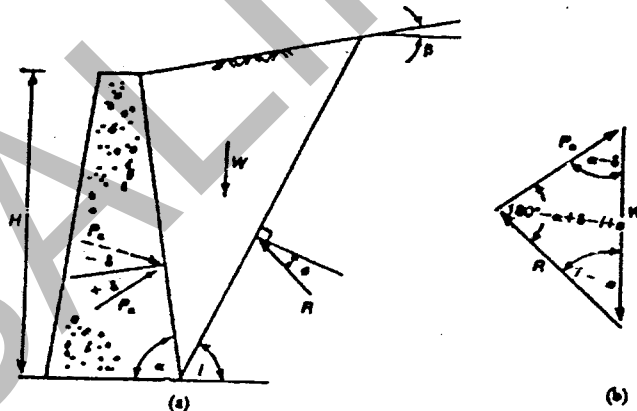
Derivatif dari Persamaan (4.59), $\frac{dP_a}{di} = 0$

Akan diperoleh nilai maksimum gaya P_a terhadap dinding, yaitu :

$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{\sin^2(\alpha + \varphi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right)^2} \quad (4.60)$$

Jika $\beta = \delta = 0$ dan $\alpha = 90^\circ$ (dinding vertical, licin dengan tanah urug horizontal, maka Persamaan (4.60) akan berbentuk :

$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{(1 - \sin \varphi)}{(1 + \sin \varphi)} = \frac{\gamma H^2}{2} \operatorname{tg}^2(45 - \varphi / 2) \quad (4.61)$$



Gambar 31. (a) Kondisi saat longsor (b) Segi tiga gaya

Persamaan (4.61) sama dengan persamaan tekanan tanah aktif cara Rankine. Dari Persamaan (4.29) dapat diperoleh bentuk persamaan umum :

$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} K_a \quad (4.62)$$

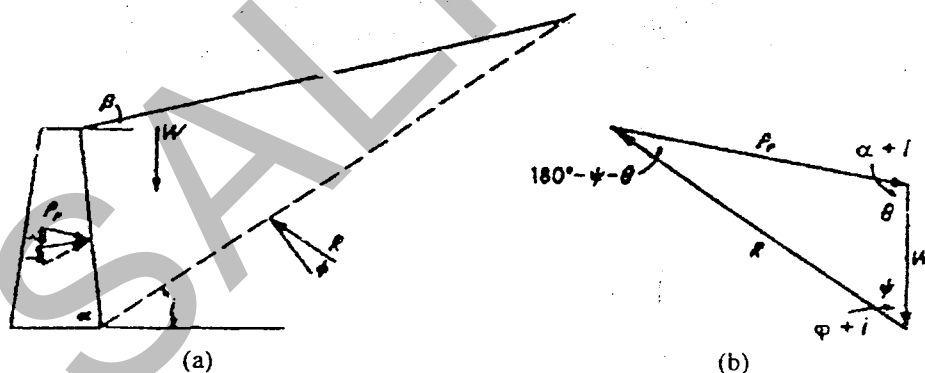
dengan:

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \varphi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right)^2} \quad (4.63)$$

Dengan cara yang sama, tekanan tanah pasif dapat pula ditentukan menurut Gambar 32.a,

$$W = \frac{\gamma H^2}{2} \sin(\alpha + i) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(i - \beta)} \quad (4.64)$$

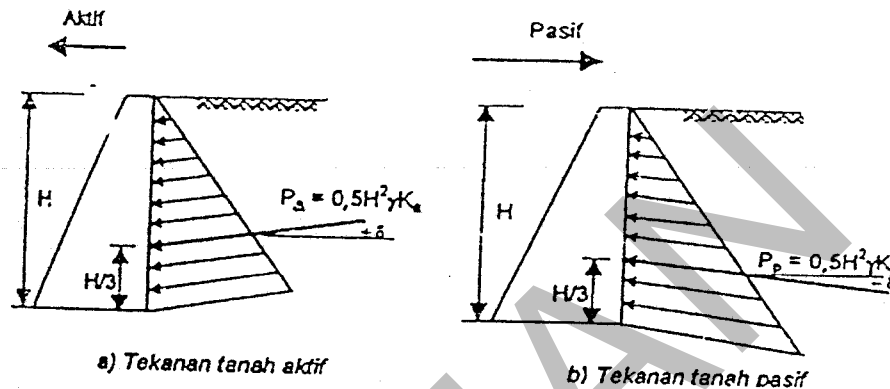
dan dari segitiga gaya Gambar 32.b,



Gambar 32. (a) Gaya-gaya yang bekerja pada kondisi tekanan pasif
(b) Poligon gaya untuk hitungan tekanan pasif

$$P_a = 0,5 H^2 \gamma K_a$$

dengan K_a ditunjukkan dalam Persamaan (4.63), H = tinggi dinding penahan tanah dan γ = berat volume tanah. Tekanan tanah aktif total (P_a) arahnya miring sebesar δ terhadap garis normal pada dinding (Gambar 33.a).



Gambar 33. Tekanan tanah lateral menurut teori Coulomb

- (a) Tekanan tanah aktif
(b) Tekanan tanah pasif

Secara sama, untuk dinding penahan tanah setinggi H , gaya tekanan tanah pasif total dinyatakan oleh persamaan:

$$P_p = 0,5 H^2 \gamma K_p$$

dengan K_p ditunjukkan dalam Persamaan (4.69). Arah gaya tekanan tanah pasif total miring sebesar $-\delta$ terhadap garis normal pada dinding (Gambar 33.b).

Nilai-nilai tekanan tanah aktif dan pasif teori Coulomb dengan berbagai variasi sudut gesek dalam (ϕ), sudut gesek antara tanah dan dinding (δ) dan sudut kemiringan permukaan tanah urug dapat dilihat pada Tabel 4.6.a dan 4.6.b.

$$P_p = W \frac{\sin(i + \varphi)}{\sin(180^\circ - i - \varphi - \delta - \alpha)} \quad (4.65)$$

Dengan mengambil nilai minimum dari $\frac{dP_p}{di} = 0$

Diperoleh,

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{\sin^2(\alpha - \varphi)}{\sin \alpha \sin(\alpha + \delta) \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right)^2} \quad (4.66)$$

Untuk dinding vertical sangat licin, dengan tanah urug horizontal ($\delta = \beta = 0$ dan $\alpha = 90^\circ$), Persamaan (4.66) menjadi,

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = \frac{\gamma H^2}{2} \tan^2(45 + \varphi/2) \quad (4.67)$$

Persamaan (4.36) dapat dituliskan sebagai :

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} K_p \quad (4.68)$$

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \varphi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta) \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right)^2} \quad (4.69)$$

dengan:

- α = sudut kemiringan dinding penahan tanah terhadap garis horizontal (derajat)
- δ = sudut gesek antara dinding dan tanah (derajat)
- β = sudut kemiringan permukaan tanah urug (derajat)
- φ = sudut gesek dalam tanah (derajat)

Untuk dinding penahan tanah seperti pada Gambar 33.a, gaya tekanan tanah aktif total pada dinding dengan tinggi H, dinyatakan oleh persamaan :

Tabel 4.6.a Koefisien tekanan tanah aktif (K_a) teori Coulomb

$\alpha = 90^\circ ; \beta = -10^\circ$									
δ ($^\circ$)	φ ($^\circ$)								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0,354	0,328	0,304	0,281	0,259	0,239	0,220	0,201	0,184
16	0,311	0,290	0,270	0,252	0,234	0,216	0,200	0,184	0,170
17	0,309	0,289	0,269	0,251	0,233	0,216	0,200	0,184	0,169
20	0,306	0,286	0,267	0,249	0,231	0,214	0,198	0,183	0,169
22	0,304	0,285	0,266	0,248	0,230	0,214	0,198	0,183	0,168
$\alpha = 90^\circ ; \beta = -5^\circ$									
δ ($^\circ$)	φ ($^\circ$)								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0,371	0,343	0,318	0,293	0,270	0,249	0,228	0,209	0,191
16	0,328	0,306	0,284	0,264	0,245	0,226	0,209	0,192	0,176
17	0,327	0,305	0,283	0,263	0,244	0,226	0,208	0,192	0,176
20	0,324	0,302	0,281	0,261	0,242	0,224	0,207	0,191	0,175
22	0,322	0,301	0,280	0,260	0,242	0,224	0,207	0,191	0,175
$\alpha = 90^\circ ; \beta = 0^\circ$									
δ ($^\circ$)	φ ($^\circ$)								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0,390	0,361	0,333	0,307	0,283	0,260	0,238	0,217	0,198
16	0,349	0,324	0,299	0,278	0,257	0,237	0,218	0,201	0,184
17	0,348	0,323	0,299	0,277	0,256	0,237	0,218	0,200	0,183
20	0,345	0,320	0,297	0,276	0,255	0,235	0,217	0,199	0,183
22	0,343	0,319	0,296	0,275	0,254	0,235	0,217	0,199	0,183
$\alpha = 90^\circ ; \beta = +5^\circ$									
δ ($^\circ$)	φ ($^\circ$)								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0,414	0,382	0,352	0,323	0,297	0,260	0,249	0,227	0,206
16	0,373	0,345	0,319	0,295	0,272	0,250	0,229	0,210	0,192
17	0,372	0,344	0,318	0,294	0,271	0,249	0,229	0,210	0,192
20	0,370	0,342	0,316	0,292	0,270	0,248	0,228	0,209	0,191
22	0,369	0,341	0,316	0,292	0,269	0,248	0,228	0,209	0,191
$\alpha = 90^\circ ; \beta = +10^\circ$									
δ ($^\circ$)	φ ($^\circ$)								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0,443	0,407	0,374	0,343	0,314	0,286	0,261	0,238	0,216
16	0,404	0,372	0,342	0,315	0,289	0,265	0,242	0,221	0,201
17	0,404	0,371	0,342	0,314	0,288	0,264	0,242	0,221	0,201
20	0,402	0,370	0,340	0,313	0,287	0,263	0,241	0,220	0,201
22	0,401	0,369	0,340	0,312	0,287	0,263	0,241	0,220	0,201

$\alpha = 90^\circ ; \beta = +15^\circ$									
δ ($^\circ$)	ϕ ($^\circ$)								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0,482	0,440	0,402	0,367	0,334	0,304	0,276	0,251	0,227
16	0,447	0,408	0,372	0,340	0,310	0,283	0,258	0,234	0,213
17	0,447	0,407	0,372	0,339	0,310	0,282	0,257	0,234	0,212
20	0,446	0,406	0,371	0,338	0,309	0,282	0,257	0,234	0,212
22	0,446	0,406	0,371	0,338	0,309	0,282	0,257	0,234	0,212

Tabel 4.6.b Koefisien tekanan tanah pasif (K_p) teori Coulomb

$A = 90^\circ ; \beta = -10^\circ$									
δ ($^\circ$)	ϕ ($^\circ$)								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	1,914	2,053	2,204	2,369	2,547	2,743	2,957	3,193	3,452
16	2,693	2,956	3,247	3,571	3,934	4,344	4,807	5,355	5,940
17	2,760	3,034	3,339	3,679	4,062	4,493	4,983	5,543	6,187
20	2,980	3,294	3,645	4,041	4,488	4,997	5,581	6,255	7,039
22	3,145	3,490	3,878	4,317	4,816	5,389	6,050	6,819	7,720
$\alpha = 90^\circ ; \beta = -5^\circ$									
δ ($^\circ$)	ϕ ($^\circ$)								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	2,223	2,392	2,577	2,781	3,004	3,250	3,523	3,826	4,163
16	3,367	3,709	4,094	4,529	5,024	5,591	6,243	7,000	7,883
17	3,469	3,828	4,234	4,694	5,218	5,820	6,516	7,326	8,277
20	3,806	4,226	4,704	5,250	5,879	6,609	7,462	8,468	9,665
22	4,064	4,532	5,067	5,684	6,399	7,236	8,222	9,397	10,809
$\alpha = 90^\circ ; \beta = 0^\circ$									
δ ($^\circ$)	ϕ ($^\circ$)								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	2,561	2,770	3,000	3,255	3,537	3,852	4,204	4,599	5,045
16	4,195	4,652	5,174	5,775	6,469	7,279	8,229	9,356	10,704
17	4,346	4,830	5,385	6,025	6,767	7,636	8,661	9,882	11,351
20	4,857	5,436	6,105	6,886	7,804	8,892	10,194	11,771	13,705
22	5,253	5,910	6,675	7,574	8,641	9,919	11,466	13,364	15,726
$\alpha = 90^\circ ; \beta = +5^\circ$									
δ ($^\circ$)	ϕ ($^\circ$)								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	2,943	3,203	3,492	3,815	4,177	4,585	5,046	5,572	6,173
16	5,250	5,878	6,609	7,464	8,474	9,678	11,128	12,894	15,076
17	5,475	6,146	6,929	7,850	8,942	10,251	11,836	13,781	16,201
20	6,249	7,074	8,049	9,212	10,613	12,321	14,433	17,083	20,468
22	6,864	7,820	8,960	10,334	12,011	14,083	16,685	20,011	24,352

$\alpha = 90^\circ ; \beta = +10^\circ$									
δ ($^\circ$)	Φ ($^\circ$)								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	3,385	3,712	4,080	4,496	4,968	5,507	6,125	6,480	7,673
16	6,652	7,545	8,605	9,876	11,417	13,309	15,665	18,647	22,497
17	6,992	7,956	9,105	10,492	12,183	14,274	16,899	20,254	24,633
20	8,186	9,414	10,903	12,733	15,014	17,903	21,636	26,569	33,270
22	9,164	10,625	12,421	14,659	17,497	21,164	26,012	32,601	41,863
$\alpha = 90^\circ ; \beta = +15^\circ$									
δ ($^\circ$)	Φ ($^\circ$)								
	26	28	30	32	34	36	38	40	42
0	3,913	4,331	4,807	5,352	5,980	6,710	7,563	8,570	9,768
16	8,611	9,336	11,555	13,557	16,073	19,291	23,494	29,123	36,894
17	9,139	10,590	12,373	14,595	17,413	21,054	25,687	32,409	41,608
20	11,049	12,986	15,422	18,541	22,617	28,080	35,629	46,458	62,759
22	12,676	15,067	18,130	22,136	27,506	34,930	45,584	61,626	87,354

4.2.2.2.5.1. Pengaruh Beban di atas Tanah Urug

(a) Beban Terbagi rata

Beban terbagi rata (q) di atas tanah urug dapat dianggap sebagai beban tanah setebal h_s dengan berat volume (γ) tertentu. Dengan demikian tinggi $h_s = q/\gamma$.

Tekanan tanah aktif pada kedalaman h_s dari tinggi tanah anggapan tersebut adalah :

$$P_a = h_s \gamma K_a = q K_a \quad (4.70)$$

Jadi akibat beban rata, terdapat tambahan gaya tekanan tanah aktif (P'_a) sebesar:

$$P'_a = q K_a H \quad (4.71)$$

dengan

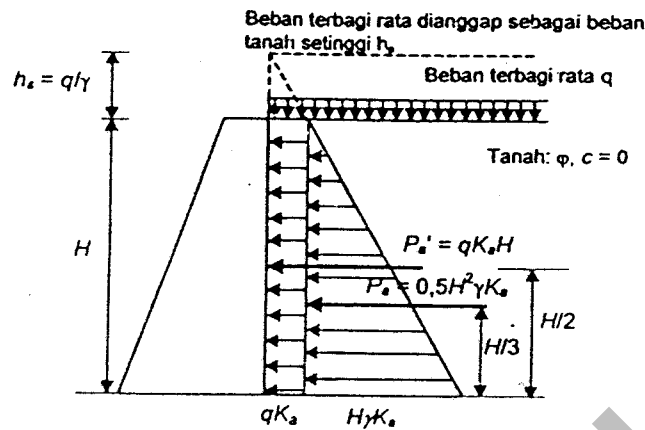
q = beban terbagi rata (kN/m^2)

H = tinggi dinding penahan (m)

K_a = koefisien tekanan tanah aktif

γ = berat volume tanah (kN/m^3)

Diagram tekanan tanah aktif, bila dinding penahan tanah di pengaruhi oleh beban terbagi rata di atas tanah urug ditunjukkan dalam Gambar 34.



Gambar 34. Diagram tekanan tanah aktif akibat beban terbagi rata q untuk teori Rankine

(b) Beban Titik

Tekanan tanah lateral akibat beban titik P yang bekerja di atas tanah urug, dapat dihitung dengan persamaan Boussinesq, yaitu dengan menganggap angka Poisson (μ) sama dengan 0,5 (Spangler, 1938). Untuk pengaruh beban titik pada Gambar 35.a, tekanan tanah lateral di kedalaman z pada dinding dinyatakan oleh persamaan :

$$\sigma_x = \frac{P}{2\pi} \frac{3x^2z}{(x^2 + z^2)^{5/2}} \quad (4.72a)$$

Substitusi $x = mH, z = nH$ dan $\sigma_x = \sigma_h$, diperoleh

$$\sigma_h = \frac{3P}{2\pi H^2} \frac{m^2 n}{(m^2 + n^2)^{5/2}} \quad (4.72b)$$

Dari penelitian Gerber (1929) dan Spangler (1938), persamaan tersebut mendekati kenyataan bila diubah menjadi,

$$\sigma_h = \frac{1,77P}{H^2} \frac{m^2 n^2}{(m^2 + n^2)^3} \text{ untuk } m > 0,4 \quad (4.73a)$$

$$\sigma_h = \frac{0,28P}{H^2} \frac{n^2}{(0,16+n^2)^3} \text{ untuk } m \leq 0,4 \quad (4.73b)$$

(c) *Beban Garis*

Dalam praktek, beban garis dapat berupa dinding beton, pagar, satuan, dan lain-lain. Tekanan tanah lateral akibat beban garis per satuan lebar (q) (Gambar 35b), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Boussinesq, sebagai berikut :

$$\sigma_h = \frac{2qm^2n}{\pi H(m^2+n^2)^2} \quad (4.74)$$

Dari pengamatan Terzaghi (1954), nilai-nilai yang diperoleh lebih mendekati kenyataan bila Persamaan (4.74), dimodifikasi menjadi:

$$\sigma_h = \frac{4q}{\pi H} \frac{m^2n}{(m^2+n^2)^2} \text{ untuk } m > 0,4 \quad (4.75a)$$

$$\sigma_h = \frac{q}{H} \frac{0,203n}{(0,16+n^2)^2} \text{ untuk } m \leq 0,4 \quad (4.75b)$$

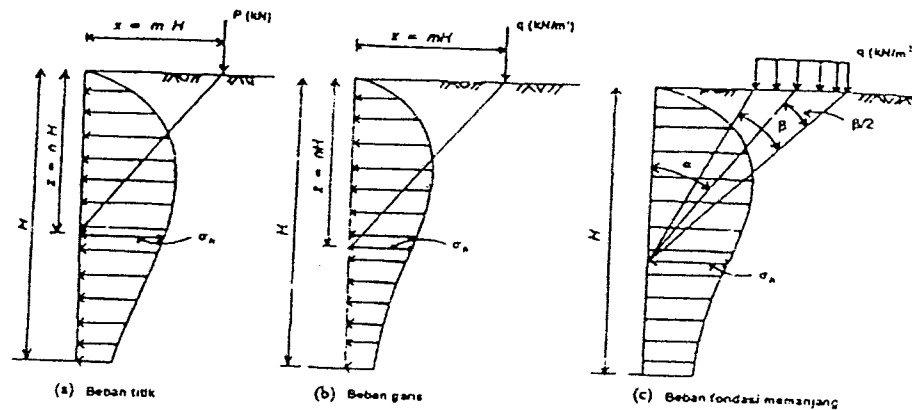
Diagram tekanan tanah lateral untuk pengaruh beban garis dapat dilihat pada Gambar 35.b.

(d) *Beban Terbagi Rata Memanjang*

Dalam praktek, beban terbagi rata memanjang (q) dapat berupa jalan raya, jalan kereta api, timbunan tanah dan lain-lain. Tekanan tanah lateral akibat beban tersebut dapat dihitung dengan persamaan Terzaghi (1943), sebagai berikut:

$$\sigma_h = \frac{2q}{\pi} (\beta - \sin \beta \cos 2\alpha) \quad (4.76)$$

dengan α dan β adalah sudut (dalam radian) yang ditunjukkan dalam Gambar 35.c. Dalam gambar tersebut ditunjukkan pula bentuk diagram tekanan tanah lateralnya.



Gambar 35. Tekanan tanah pada dinding akibat beban

- (a) Beban titik
- (b) Beban garis
- (c) Beban terbagi rata memanjang

4.2.3. Hitungan Tekanan Tanah Lateral Pada Dinding Penahan

Teori tekanan tanah lateral untuk menghitung tekanan tanah pada dinding penahan yang telah dipelajari adalah didasarkan pada anggapan-anggapan:

- (1) Dinding bergerak dengan cara menggeser atau mengguling pada regangan tertentu, sehingga tahanan geser tanah di belakang dinding dapat berkembang secara penuh.
- (2) Tekanan air pori dalam tanah urug dapat diabaikan
- (3) Konstanta tanah yang terdapat dalam persamaan tekanan tanah lateral mempunyai nilai yang pasti, dapat ditentukan, serta dapat dipercaya.

Penggunaan teori tekanan tanah hanya dapat dibenarkan jika ketiga persyaratan diatas terpenuhi. Syarat (1) hanya dapat dipenuhi jika dinding penahan tanah bersifat massif dan kaku dan yang dilandasi oleh lapisan batu. Untuk memenuhi syarat (2), pada tanah urug harus diberikan system drainase yang baik. Sedang untuk memenuhi syarat (3), tanah urug harus dipilih dengan baik dan diselidiki sebelum dinding penahan dirancang.

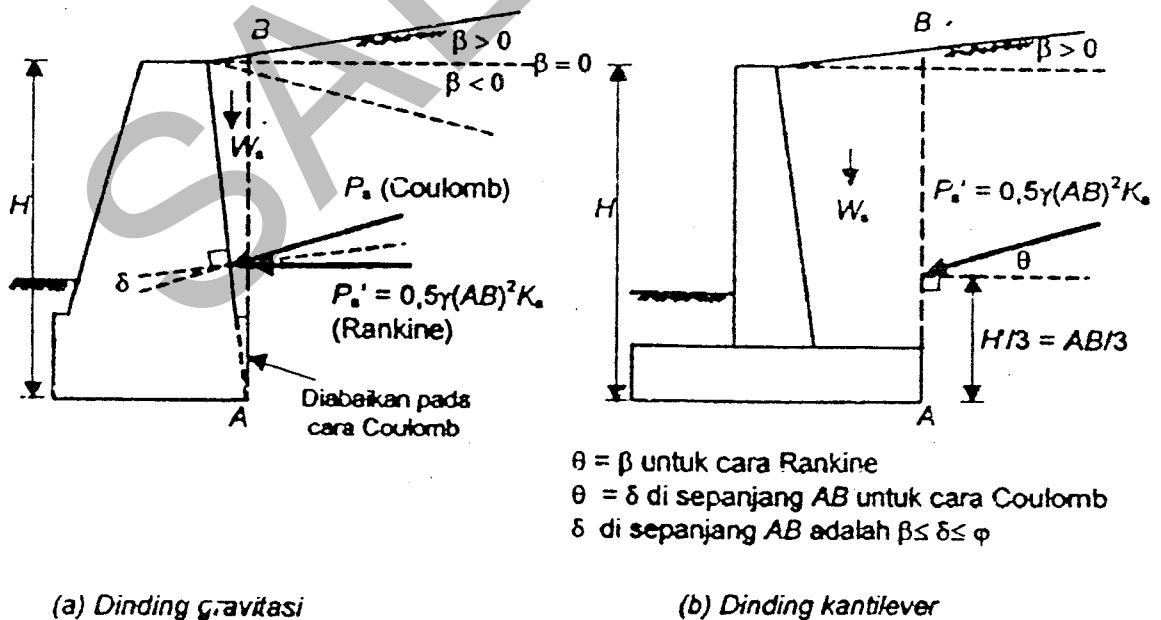
Jika dua syarat yang terakhir tidak dipenuhi, tekanan tanah pada dinding akan tidak sesuai dengan teori. Pada tanah urug yang tidak padat atau tidak diberikan system drainasi yang baik, kelakuan tekanan tanah akan berubah dari waktu ke waktu karena perubahan iklim. Nilai tekanan maksimum tanah urug yang

dipengaruhi oleh perubahan iklim tersebut, akan lebih besar dari tekanan tanah yang dihitung dari teori Rankine maupun Coulomb (Terzaghi dan Peck, 1948).

4.2.3.1. Aplikasi Teori Rankine dan Coulomb

Dengan berdasarkan sifat-sifat tanah, estimasi tekanan tanah terhadap dinding penahan tanah dapat dilakukan. Tekanan lateral terhadap dinding penahan tanah ini dapat dilakukan. Tekanan lateral terhadap dinding penahan tanah ini dapat dihitung dengan menggunakan teori Rankine atau Coulomb.

Bila cara Coulomb yang dipakai, tekanan tanah aktif total dihitung dengan menggunakan Persamaan (4.62). Gaya P_a membentuk sudut δ terhadap garis normal pada dinding. Bila cara Rankine digunakan, tekanan tanah aktif total dihitung dengan Persamaan (4.47), yaitu dengan gaya P_a bekerja tegak lurus pada bidang vertical yang melalui kaki bawah dinding penahan. Untuk ini, berat tanah W_s dapat dianggap satu kesatuan dengan struktur dinding penahan. Bila permukaan tanah urug miring, arah gaya tekanan tanah aktif sejajar dengan permukaan tanah urug tersebut (Gambar 36).



Gambar 36. Penggunaan teori tekanan tanah lateral pada perancangan dinding penahan tanah (Bowles, 1977)

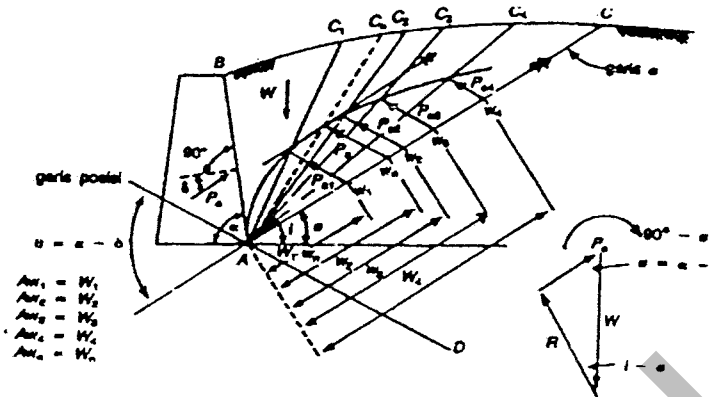
Pada perancangan, jika dinding harus dirancang sebelum sifat-sifat material tanah urug dipelajari, maka estimasi tekanan tanah dapat didasarkan pada material yang paling cocok yang mungkin akan digunakan, atau perancangan yang bersifat pilihan harus disiapkan. Terzaghi dan Peck (1948), menyarankan bahwa jika dinding penahan tanah lebih dari 20 ft (atau kira-kira 6 m), lebih ekonomis jika lebih dulu ditentukan sifat-sifat tanah urungnya, serta diberikan prosedur pelaksanaan yang baik agar tekanan tanah yang diharapkan terjadi, seperti pada teori.

4.2.3.1.1. Hitungan Tekanan Tanah Aktif dan Pasif Secara Grafis

Hitungan tekanan tanah secara grafis dapat dilakukan dengan cara yang disarankan oleh Culmann (1857). Cara ini berguna untuk bentuk permukaan tanah urug dan beban terbagi rata di atas tanah urug yang tidak beraturan. Pada cara ini gesekan antara dinding dan tanah di belakangnya diperhitungkan.

4.2.3.1.1.1. Tekanan Tanah Aktif

Analisis keseimbangan gaya-gaya yang bekerja pada baji tanah yang akan longsor dilakukan dengan memutar segitiga gaya searah putaran jarum jam sebesar $(90 - \phi)$ (Gambar 37). Pada kondisi ini vector yang menyatakan berat baji tanah yang akan longsor W , menjadi sejajar garis AC . Reaksi R akan sejajar garis longsor AC_n dan vector P_a akan sejajar AD . Jika berat baji-baji tanah yang akan longsor W_1, W_2, W_3, \dots dipasang dengan skala tertentu (dihitung dari titik A) sepanjang garis longsor alam AC , dan jika dari ujung akhir garis yang menyatakan berat baji ditarik garis sejajar AD , maka garis paling akhir $P_{a(n)}$ akan berimpit dengan AC . Jika titik-titik ujung dari garis $P_{a1}, P_{a2}, P_{a3}, \dots$ dihubungkan, maka akan terbentuk *kurva Culmann*. Garis $P_{a(n)}$ yang terpanjang dikalikan dengan skala gaya yang dipakai adalah tekanan tanah pasif total yang dihitung.



Gambar 37. Hitungan tekanan tanah aktif cara grafik Culmann

(a) Tanah Granuler ($c = 0$)

Prosedur hitungan besarnya tekanan tanah aktif, untuk tanah granuler adalah sebagai berikut (lihat Gambar 37) :

- 1) Gambarkan penampang dinding penahan tanah beserta tanah urugnya dengan skala tertentu.
- 2) Dari titik A di dasar dinding penahan, gambarkan garis AC yang membentuk sudut ϕ (sudut gesek dalam tanah urug) terhadap garis horizontal, kearah atas.
- 3) Daari titik A, gambarkan garis membentuk sudut θ terhadap garis AC. Ditemukan garis posisi AD. Sudut $\theta = \alpha - \delta$, dengan α = sudut kemiringan dinding penahan terhadap garis horizontal dan δ = sudut gesek antara dinding dan tanah.
- 4) Gambarkan beberapa kemungkinan bidang longsor, sehingga terbentuk baji-baji tanah $ABC_1, ABC_2, ABC_3, \dots$ Dan seterusnya.
- 5) Hitung berat tiap-tiap baji tersebut (W_1, W_2, W_3, \dots dan seterusnya)
- 6) Dengan skala gaya tertentu, letakkan berat W_1, W_2, W_3, \dots yang ditarik dari A, di sepanjang garis AC. Ditemukan titik-titik w_1, w_2, w_3, \dots dan seterusnya.
- 7) Dari titik-titik w_1, w_2, w_3, \dots tarik garis yang sejajar dengan garis AD, sehingga memotong garis-garis longsor anggapan (garis-garis AC_1, AC_2, AC_3, \dots)

- 8) Gambarkan kurva Culmann lewat titik-titik potong yang ditemukan dalam langkah (7).
- 9) Gambarkan sebuah garis yang menyinggung kurva Culmann, yang sejajar dengan garis AC. Ditemukan sebuah titik singgung.
- 10) Gambarkan sebuah garis lewat titik singgung kurva Culmann yang telah ditemukan dalam langkah (9) sejajar garis AD, sehingga memotong garis AC. Panjang garis ini (garis P_a) dikalikan dengan skala gaya yang dipakai adalah gaya tekanan tanah aktif total yang dihitung.

(b). Tanah Kohesif

Bila tanah mempunyai kohesi (c), teori Coulomb dapat pula dipakai untuk menghitung tekanan tanah aktif pada dinding dengan cara Culmann. Tahanan geser maksimum tanah urug diberikan oleh persamaan :

$$\tau_f = c + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (4.77)$$

dengan:

c = kohesi

φ = sudut gesek dalam tanah urug

Tahanan geser maksimum antara dinding dengan tanah urug diberikan oleh persamaan:

$$\tau_f = c_a + \sigma \operatorname{tg} \delta \quad (4.78)$$

dengan

c_a = adhesi antara tanah dengan dinding

δ = sudut gesek antara dinding dengan tanah urug.

Bidang longsor dianggap berkembang dariujung kaki sampai dasar retakan, dimana kedalaman retakan adalah $h_c = 2c(\gamma \sqrt{K_a})$ (Gambar 38).

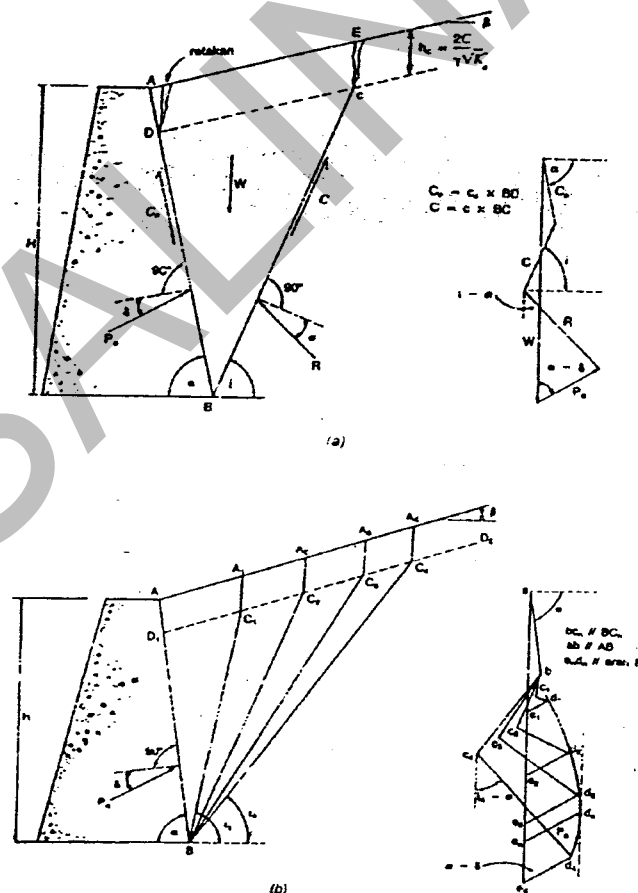
Gaya-gaya yang bekerja pada baji tanah saat longsor adalah (lihat Gambar 38a):

- 1) Berat baji tanah W = berat ADBCE (arah dan besar gaya telah diketahui);
- 2) Reaksi P_a bekerja membentuk sudut δ terhadap garis normal pada permukaan dinding (hanya arah yang diketahui);

- 3) Gaya akibat komponen tahanan geser dinding ($C_a = c_a \times BD$) (arah dan besar gaya telah diketahui);
- 4) Resultan gaya geser dan gaya normal (R) yang bekerja pada bidang longsor dan membentuk sudut ϕ ke bawah terhadap garis normal pada bidang longsor (hanya arah yang telah diketahui);
- 5) Gaya pada bidang longsor akibat komponen kuat geser ($C = c \times BD$) (arah dan gaya telah diketahui).

Karena arah dari ke lima gaya-gaya yang diketahui, sedang W , C_a , dan C dapat dihitung, maka poligon gaya dapat digambar dan P_a dapat ditentukan. Prosedur diatas harus diulang-ulang sampai diperoleh P_a yang maksimum (Gambar 38.b).

Jika retakan berisi air, maka akan terdapat tekanan hidrostatik pada retakan tersebut. Gaya tekanan hidrostatik ini dianggap sebagai gaya yang mendorong dinding.



Gambar 38. Hitungan cara grafik Culmann untuk tekanan tanah aktif pada tanah kohesif

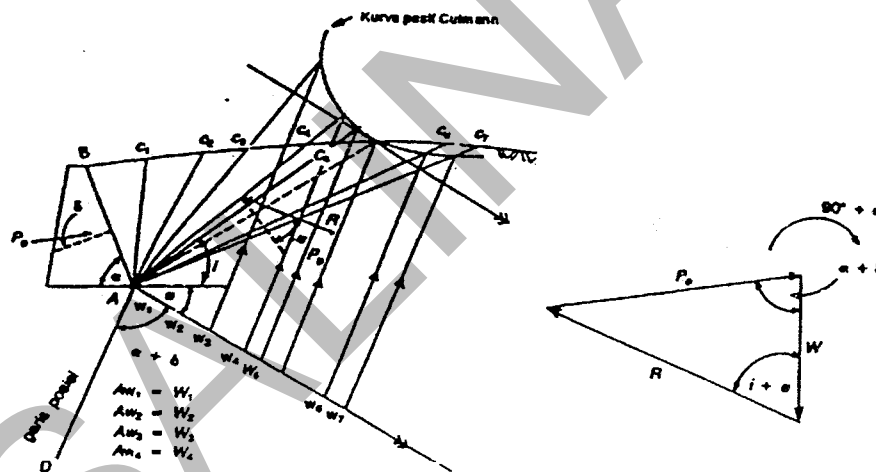
Prosedur untuk menentukan besar gaya tekanan tanah P_a sebagai berikut (Gambar 38.a) :

- 1) Gambarkan penampang dinding penahan tanah menurut skala tertentu.
- 2) Gambarkan garis D_1D_2 , yaitu garis yang menunjukkan tempat kedudukan kedalaman retakan maksimum.
- 3) Gambarkan beberapa kemungkinan bidang longsor ($AD_1BC_1A_1 = W_1$, $AD_1BC_2A_2 = W_2$dan seterusnya.
- 4) Hitunglah berat masing-masing baji tanah yang akan longsor, yaitu luasan-luasan pada butir (3) dikalikan berat volume tanahnya.
- 5) Dengan skala gaya tertentu, dibuat poligon gaya seperti pada Gambar 4.17b, dengan cara:
 - a) Gambarkan $W_1 = ae_1$, $W_2 = ae_2$dan seterusnya.
 - b) Gambarkan $C_a = c_a (BD_1) = ab$. Nilai C_a sama di seluruh baji tanah yang di coba, dan ab membentuk sudut α dengan garis horizontal.
 - c) Hitunglah gaya kohesi yang bekerja di sepanjang bidang longsor; $C_1 = c(BC_1) = bc_1$, $C_2 = c(BC_2) = bc_2$, yang membuat sudut i_1 , i_2 ,..... dengan garis horizontal.
 - d) gambarkan garis c_1d_1, c_2d_2 ,.....yang membuat sudut $(i_1 - \phi)$, $(i_2 - \phi)$...terhadap garis vertikal.
 - e) Gambarkan garis e_1d_1 , e_2d_2 ...yang membuat sudut $(\alpha - \delta)$ terhadap garis vertical (arah tekanan tanah aktif semuanya sama).
 - f) Dari titik-titik d_1 , d_2yang telah diketahui, gambarkan sebuah kurva yang melewati titik-titik ini.
 - g) Gambarkan sebuah garis singgung dari kurva yang digambar pada butir (f) yang sejajar ae_4 . Ditemukan titik d_a .
 - h) Gambarkan garis $e_a d_a$ sejajar dengan e_1a_1 , e_2a_2 dan seterusnya
 - i) Gaya tekanan tanah aktif maksimum P_a adalah panjang $e_a d_a$ dikalikan dengan skala gaya yang dipakai.

4.2.3.1.1.2. Tekanan Tanah Pasif

Hitungan tekanan tanah pasif cara Culmann, dilakukan dengan cara yang sama seperti hitungan tekanan tanah aktif. Hanya garis kemiringan lereng alam

digambarkan lewat titik A bersudut $-\phi$ (garis ϕ digambarkan di bawah garis horizontal lewat A). Berat-berat baji anggapan ($ABC_1, ABC_2, ABC_3, \dots$) digambarkan pada garis ϕ tersebut dengan skala tertentu (Gambar 4.18). Dari titik A digambarkan garis posisi AD yang membentuk sudut $(\alpha + \delta)$ terhadap garis $-\phi$. Dari titik-titik w_1, w_2, w_3, \dots gambarkan garis-garis P_{pn} yang sejajar garis posisi AD. Hal ini berarti bahwa segitiga gaya diputar sebesar $(90^\circ + \phi)$ searah dengan putaran jarum jam, dan diletakkan pada garis $-\phi$. Perpotongan antara garis-garis longsor anggapan (garis Can) dengan garis-garis yang ditarik dari titik-titik w_1, w_2, w_3, \dots tersebut, akan membentuk kurva Culmann untuk tekanan tanah pasif. Dari langkah ini terbentuk garis-garis $P_{p1}, P_{p2}, P_{p3}, \dots$. Panjang garis P_p yang minimum dari ordinat kurva Culmann dikalikan dengan skala gaya yang dipakai adalah tekanan tanah pasif total tanah ke dinding penahan.



Gambar 39. Hitungan cara grafik Culmann untuk tekanan tanah pasif

4.2.3.2. Pengaruh Tekanan Rembesan Pada Stabilitas Dinding Penahan

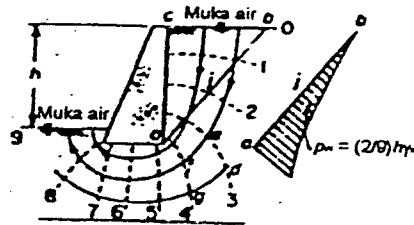
Pada waktu hujan deras, berat volume tanah di belakang dinding penahan tanah akan bertambah akibat naiknya kadar air tanah. Jika perlengkapan drainasi tidak diberikan, air akan merembes ke bawah melewati dasar pondasi dan kemudian naik sampai dipermukaan tanah di depan dinding. Rembesan air melewati tanah urug ini, berakibat :

- 1) Berat tanah urug bertambah. Akibatnya, tekanan tanah juga bertambah, karena berat volume tanah (γ) bertambah. Karena itu, jika tanah urug berupa lanau atau tanah berlempung, perancangan sebaiknya didasarkan pada kondisi jenuh air. Karena tanah-tanah ini cenderung menahan air pada jangka waktu yang lama.
- 2) Gaya angkat (uplift) akan timbul pada permukaan bidang runtuh
- 3) Gaya angkat timbul pada dasar pondasi dinding penahan
- 4) Pengurangan tekanan tanah pasif di depan dinding.

Tekanan rembesan pada bagian depan yang arahnya ke atas akan berakibat mengurangi berat volume efektif tanah. Bila tekanan rembesan sangat besar, tanah bagian depan dapat kehilangan beratnya, sehingga tanah dalam kondisi mengapung. Untuk mengurangi tekanan rembesan yang terlalu besar tersebut, struktur penahan tanah perlu dilengkapi dengan bangunan drainasi. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan material granuler sebagai bahan timbunan yang dilengkapi dengan bangunan drainasi.

Tekanan rembesan dalam masa tanah dapat ditentukan dengan menggunakan cara jarring arus (*flow-net*). Gambar 40, menunjukkan contoh penggambaran jarring arus pada struktur penahan tanah yang dilengkapi dengan bangunan drainasi. Garis penuh, adalah garis aliran dan garis patah-patah adalah garis ekuipotensial, di mana sepanjang garis ini tinggi energi tekanan adalah sama. Kedua garis tersebut, dibuat dengan cara coba-coba dengan prinsip bahwa keduanya berpotongan saling tegak lurus dan perpotongannya mendekati bentuk bujur sangkar.

Dari gambar jaring arus tersebut, kecuali gaya tekanan air total ke dinding penahan dapat dihitung, tekanan air ke atas (*uplift*) pada dasar pondasi dapat pula ditentukan, yaitu dengan memperhatikan perpotongan garis-garis ekuipotensial dengan dasar pondasi dinding.



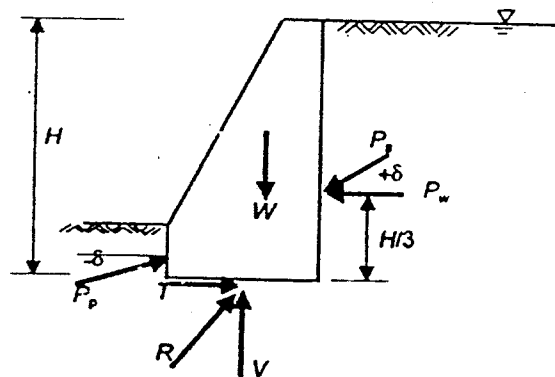
Gambar 40. Penggambaran jaring arus

4.2.4. Perhitungan Stabilitas Dinding Penahan

Gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan meliputi (Gambar 41) :

- 1) Berat sendiri dinding penahan (W)
- 2) Gaya tekanan tanah aktif total tanah urug (P_a)
- 3) Gaya tekanan tanah pasif total didepan dinding (P_p)
- 4) Tekanan air pori di dalam tanah (P_w)
- 5) Reaksi tanah dasar (R)

Jika dinding pada keadaan seimbang, jumlah vector gaya-gaya akan sama dengan nol.



Gambar 41. Gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah

Analisis stabilitas dinding penahan tanah ditinjau terhadap hal-hal sebagai berikut:

- 1) Faktor aman terhadap penggeseran dan penggulingan harus mencukupi
- 2) Tekanan yang terjadi pada tanah dasar pondasi harus tidak boleh melebihi kapasitas dukung tanah izin
- 3) Stabilitas lereng secara keseluruhan harus memenuhi syarat.

Selain itu, jika tanah dasar mudah mampat, penurunan tak seragam yang terjadi harus tidak boleh berlebihan.

4.2.4.1. Stabilitas terhadap Penggeseran

Gaya-gaya yang menggeser dinding penahan tanah akan ditahan oleh:

- 1) Gesekan antara tanah dengan dasar pondasi
- 2) Tekanan tanah pasif bila didepan dinding penahan terdapat tanah timbunan.

Faktor aman terhadap penggeseran (F_{gs}), didefinisikan sebagai:

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} \geq 1,5 \quad (4.79)$$

- Untuk tanah granuler ($c = 0$):

$$\begin{aligned} \sum R_h &= W f \\ &= W \operatorname{tg} \delta_h \quad ; \text{ dengan } \delta_h \leq \varphi \end{aligned}$$

- Untuk tanah kohesif ($\varphi = 0$):

$$\sum R_h = c_a B$$

- Untuk tanah $c - \varphi$ ($\varphi > 0$ dan $c > 0$):

$$\sum R_h = c_a B + W \operatorname{tg} \delta_h$$

dengan:

$\sum R_h$ = tahanan dinding penahan tanah terhadap penggeseran

W = berat total dinding penahan dan tanah diatas pelat pondasi

δ_h = sudut gesek antara tanah dan dasar pondasi, biasanya diambil

$$1/3 - (2/3) \phi$$

c_a = $a_d \times c$ = adhesi antara tanah dan dasar dinding

c = kohesi tanah dasar

a_d = faktor adhesi

B = lebar pondasi (m)

ΣP_h = jumlah gaya-gaya horisontal

f = $\text{tg } \delta_b$ = koefisien gesek antara tanah dasar dan dasar pondasi

Faktor aman terhadap penggeseran dasar pondasi (F_{gs}) minimum, diambil 1,5 Bowles (1997) menyarankan.

$F_{gs} \geq 1,5$ untuk tanah dasar granuler

$F_{gs} \geq 3$ untuk tanah dasar kohesif.

Dalam Tabel 4.7 ditunjukkan nilai-nilai f dari berbagai macam jenis tanah dasar.

Tabel 4.7. Koefisien gesek (f) antara dasar pondasi dan tanah dasar (AREA, 1958).

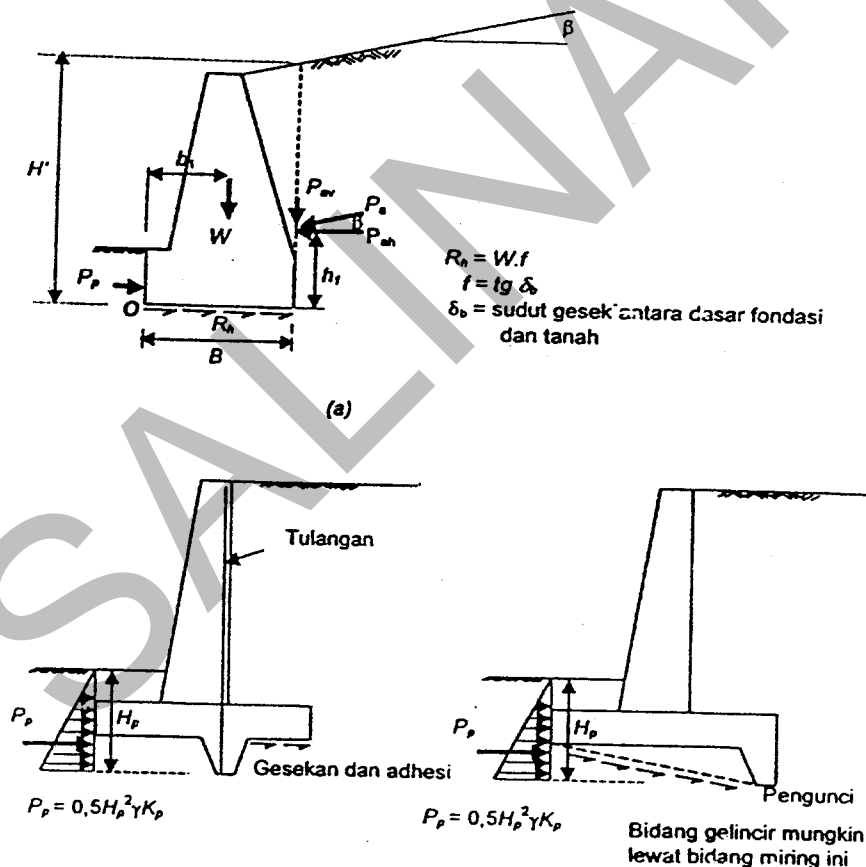
Jenis tanah dasar pondasi	$f = \text{tg } \delta$
Tanah granuler kasar tak mengandung lanau atau lempung	0,55
Tanah granuler kasar mengandung lanau	0,45
Tanah lanau tak berkohesi	0,35
Batu keras permukaan kasar	0,60

Jika dasar pondasi sangat kasar, seperti beton yang di cor langsung ke tanah, koefisien gesek $f = \text{tg } \delta_b = \text{tg } \phi$, dengan ϕ adalah sudut gesek dalam tanah dasar.

Perhatian perlu diberikan jika dinding penahan tanah terletak pada tanah lanau atau lempung. Segera sebelum pondasi dicor, dasar pondasi lebih baik digali sedalam 10 cm, setelah itu ditimbun dengan tanah pasir kasar atau pasir campur kerikil yang dipadatkan setebal 10 cm. Koefisien gesek antara pasir dan tanah dibawahnya (f) dapat diambil 0,35 (Terzaghi dan Peck, 1948). Tetapi, jika kuat geser tak terdrainasi (*undrained strength*) dari lapisan lunaknya lebih kecil dari tahanan geser dasar pondasi, penggeseran akan terjadi pada tanah lunak dibawah dasar pondasi tersebut. Untuk itu, nilai adhesi antara dasar pondasi dan

tanah bawahnya dianggap sama dengan nilai kohesi tanah (c), dan sudut gesek dalam (ϕ) dianggap sama dengan nol. Jika tanah berupa lempung kaku atau keras, tanah dasar harus dibuat kasar sebelum pengecoran. Hal ini untuk meyakinkan berkembangnya adhesi secara penuh. Dalam menggunakan nilai kohesi (c), pengurangan kohesi akibat penggalian, atau gangguan waktu pelaksanaan harus diperhitungkan.

Jika dinding penahan tanah harus didukung oleh pondasi tiang, semua beban harus dianggap didukung oleh tiang. Karena itu, tahanan gesek dan adhesi pada dasar pondasi harus tidak diperhitungkan.



**Gambar 41. (a) Stabilitas terhadap penggeseran dan penggulingan
(b) Memperbesar tahanan geser dengan pengunci**

Jika faktor aman terhadap penggeseran $F_{gs} = 1,5$ sulit dicapai, maka lebih baik dipakai pengunci, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 41.b. Penambahan pengunci ini akan menambah tahanan tanah pasif. Namun, keuntungan dari pemakaian pengunci ini biasanya kecil, kecuali jika dasar pondasi terletak di atas lapisan batu atau tanah keras. Dalam praktek, penggalian untuk penempatan pengunci yang tidak lebar (sempit) dan berdinding vertikal, seperti contoh pada Gambar 41.b, dapat merusak tanah disekitarnya. Untuk itu, jika tanah dasar lunak, atau tanah berupa material granuler murni, sisi pengunci sebaiknya dibuat miring 1V : 1,5 H.

4.2.4.2. Stabilitas terhadap Penggulingan

Tekanan tanah lateral yang diakibatkan oleh tanah urug di belakang dinding penahan, cenderung menggulingkan dinding dengan pusat rotasi pada ujung kaki dengan peiat pondasi. Momen penggulingan ini, dilawan oleh momen akibat berat sendiri dinding penahan dan momen akibat berat tanah diatas plat pondasi (Gambar 41.a).

Faktor aman akibat terhadap penggulingan (F_{gl}), didefinisikan sebagai :

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} \quad (4.80)$$

dengan

$$\sum M_w = Wb_1$$

$$\sum M_{gl} = \sum P_{ah}h_1 + \sum P_{av}B$$

$\sum M_w$ = momen yang melawan penggulingan (kN.m)

$\sum M_{gl}$ = momen yang mengakibatkan penggulingan (kN.m)

W = berat tanah diatas peiat pondasi + berat sendiri dinding penahan (kN)

B = lebar kaki dinding penahan

$\sum P_{ah}$ = jumlah gaya – gaya horisontal (kN)

$\sum P_{av}$ = jumlah gaya – gaya vertikal (kN)

Faktor aman terhadap penggulingan (F_{gl}) bergantung pada jenis tanah, yaitu:

$F_{gl} \geq 1,5$ untuk tanah dasar granuler

$F_{gl} \geq 2$ untuk tanah dasar kohesif

Tahanan tanah pasif, oleh tanah yang berada di depan kaki dinding depan sering diabaikan dalam hitungan stabilitas. Jika tahanan tanah pasif yang ditimbulkan oleh pengunci pada dasar pondasi diperhitungkan, maka nilainya harus direduksi untuk mengantisipasi pengaruh-pengaruh erosi, iklim dan retakan akibat tegangan-tegangan tarik tanah dasar yang kohesif.

4.2.4.3. Stabilitas terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah

Beberapa persamaan kapasitas dukung tanah telah digunakan untuk menghitung stabilitas dinding penahan tanah, seperti persamaan-persamaan kapasitas dukung Terzaghi (1943), Mayerhof (1951, 1963) dan Hansen (1961)

4.2.4.3.1. Persamaan Terzaghi

Kapasitas dukung ultimit (q_u) untuk pondasi memanjang dinyatakan oleh persamaan :

$$q_u = cN_c + D_f N_q + 0,5 B_y N_y$$

dengan

c = kchesi tanah (kN/m^2)

D_f = kedalaman fondasi (m)

Y = berat volume tanah (kN/m^3)

B = Lebar fondasi dinding penahan tanah (m)

$N_c N_q$ dan N_y = faktor-faktor kapasitas dukung Terzaghi

Penggunaan persamaan Terzaghi untuk menghitung kapasitas dukung tanah untuk struktur dinding penahan tanah tidak tepat, karena persamaan Terzaghi hanya berlaku untuk pondasi yang dibebani secara vertikal dan sentries, sedang resultan beban-beban pada dinding penahan tanah umumnya miring dan eksentris. Sehingga hitungan kapasitas dukung tanah dibawah dinding penahan

lebih tepat bila didasarkan pada kondisi beban miring dan eksentris, misalnya persamaan Vesic (1975) atau (1970).

4.2.4.3.2. Persamaan Hansen (1970) dan Vesic (1975)

Kapasitas dukung ultimit dihitung dengan menggunakan persamaan Hansen (1970) dan Vesic (1975) untuk beban miring dan eksentris :

$$q_u = d_c \cdot i_c \cdot c N_c + d_q \cdot i_q \cdot D f \gamma N_q + d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot 0,5 B \gamma N_\gamma \quad (4.81)$$

dengan

d_c, d_q, d_γ	=	faktor kedalaman
i_c, i_q, i_γ	=	faktor kemiringan beban
B	=	lebar dasar pondasi sebenarnya
e	=	eksentrisitas beban (m)
γ	=	berat volume tanah (kN/ m ³)
N_c, N_q, N_γ	=	faktor-faktor kapasitas dukung

Perhatikan bahwa Persamaan-persamaan (4.80) dan (4.81) berat volume tanah pada suku persamaan $D f \gamma N_q$ adalah berat volume untuk volume tanah diatas dasar pondasi dan berat volume tanah dibawah dasar pondasi.

Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung didefinisikan sebagai:

$$F = \frac{q_u}{q} \geq 3$$

dengan q = tekanan akibat beban struktur. Umumnya, faktor aman (F) terhadap keruntuhan tanah dasar minimum diambil sama dengan 3.

Tekanan struktur pada tanah dasar pondasi dapat dihitung dari persamaan-persamaan sebagai berikut:

- 1) Bila dipakai cara lebar efektif pondasi (asumsi Meyerhof):

$$q = \frac{V}{B'} \quad (4.82a)$$

dengan V = beban vertikal total dan $B' = B - 2e$.

- 2) Bila distribusi tekanan kontak antara tanah dasar pondasi dianggap linier (cara ini dulu dipakai bila dalam hitungan kapasitas dukung digunakan persamaan Terzaghi) :

$$q = \frac{V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \text{ bila } e \leq B/6$$

$$q_{\max} = \frac{2V}{3(B - 2e)} \text{ bila } e > B/6$$

Dalam perancangan, lebar pondasi dinding penahan (B) sebaiknya dibuat sedemikian hingga $e < (B/6)$. Hal ini dimaksudkan agar efisiensi maksimum dan perbedaan tekanan pondasi pada ujung-ujung kaki dinding tidak besar (untuk mengurangi resiko keruntuhan dinding akibat penggulingan).

Persamaan-persamaan (4.82b dan (4.82c) tersebut umumnya lebih banyak digunakan untuk perancangan struktur plat pondasi (yaitu untuk menentukan tebal plat dan penulangan betonnya). Jika pondasi dinding penahan tanah terletak pada tanah kuat dengan kedalaman yang dangkal, sedang di bawah tanah kuat ini terdapat tanah lunak, maka pengaruh lapisan tanah lunak ini harus diperhitungkan. Karena, adanya lapisan tanah yang berlapis ini dapat merupakan bidang runtuh potensial dan dapat mempengaruhi kapasitas dukung tanah.

Kecuali stabilitas pondasi stabilitas lereng global dimana dinding diletakkan harus dihitung. Untuk ini, teori stabilitas lereng harus digunakan. Sejumlah titik pusat lingkaran longsor harus dicoba, untuk menentukan faktor aman yang minimum.

Pengalaman menunjukkan bahwa keruntuhan dinding penahan tanah banyak disebabkan oleh perencanaan pondasi yang kurang sempurna. Karena itu, Terzaghi dan Peck 1948) menyarankan agar menyelidiki tanah di dasar pondasi sampai kedalaman yang sama dengan tinggi dinding dihitung dari dasar pondasi. Jika lapisan tanah keras terdapat dekat dengan permukaan, penyelidikan dapat dihentikan sampai kedalaman 60 cm, asalkan kondisi tanah dibawahnya, berdasarkan pengalaman, tidak ditemukan tanah lunak. Sebaliknya, jika lapisan

tanah lunak lebih tebal dari tinggi dinding penahan, penyelidikan tanah harus dilanjutkan sampai kedalaman tanah keras. Selain itu perlu diketahui juga kedalaman tanah yang masih dipengaruhi perubahan cuaca, erosi tanah dan lain-lainnya. Kedalaman yang masih dipengaruhi oleh hal-hal tersebut.

4.2.4.4. Stabilitas terhadap penurunan

Seperti halnya struktur-struktur yang lain, dinding penahan tanah juga akan mengalami penurunan. Untuk itu, prinsip-prinsip dasar untuk menghitung besarnya penurunan sama dengan cara menghitung penurunan pondasi.

Dinding penahan tanah, kecuali mengalami penurunan akibat beban, juga mengalami kemiringan akibat rotasi ujung kaki pondasi. Umumnya, dinding penahan tanah miring ke arah luar (ke arah menjauhi tanah urug), karena resultan gaya-gayanya jauh diantara tengah-tengah pondasi dan ujung luar pondasi. Kemiringan dinding penahan akibat momen penggulingan sulit ditentukan. Dalam perancangan, miring maksimum dibatasi sampai $0,01H$, dengan H adalah tinggi dinding penahan.

Adakalanya, dinding penahan miring ke arah dalam (turun lebih banyak pada bagian pondasi yang terletak di bawah tanah urug). Berat tanah urug dan pondasi dinding penahan menyebabkan penurunan yang terjadi lebih besar pada tanah pondasi yang berada dibawah tanah urug. Untuk itu, perlu diadakan pengambilan contoh tanah dan dilakukan uji konsolidasi sebelum pembangunan. Berdasarkan pada uji konsolidasi ini, besar kemiringan akibat penurunan dapat diprediksi. Jika miringnya dinding terlalu berlebihan, beberapa perbaikan perlu dilakukan, misalnya: bentuk struktur penahan dirubah, tanah dasar pondasi ditimbun dengan pasir dan batu untuk perbaikan tanah, atau digunakan pondasi tiang.

Jika dinding terletak pada tanah pondasi yang normal, resultan gaya-gaya vertical V sebaiknya terletak pada sepertiga lebar pondasi bagian tengah. Untuk tanah pondasi berupa lapisan batu, eksentrisitas resultan beban dapat diambil $e < (B/4)$. Untuk tanah pondasi yang sangat lunak, resultan beban vertical V harus

terletak didekat pusat pondasi, berhubung tekanan pondasi bertambah cepat bila eksentrisitas bertambah. Perlu diingat, jika resultan beban eksentris, ujung luar pondasi turun lebih besar daripada ujung dalamnya. Kemiringan struktur akibat penurunan tidak seragam tersebut akan semakin menambah besar eksentrisitas resultan beban. Fenomena ini berlangsung dengan sendirinya sampai dinding penahan mencapai keruntuhan.

Kadang-kadang, dinding penahan tanah dibangun memanjang sampai beberapa puluh meter. Pada kondisi ini, kondisi tanah dasar miringnya dinding sulit dihindarkan. Dalam hal demikian, sambungan-sambungan dibutuhkan untuk memisahkan bagian-bagiannya supaya penurunan pada bagian yang satu tidak berpengaruh pada bagian yang lain.

4.3. PENANGANAN LERENG

4.3.1. Karakteristik Penanganan

Penanggulangan longsoran dalam rangka penanganan lereng diartikan sebagai upaya yang bersifat antisipatif (pencegahan) dan tindakan korektif (penanggulangan). Tindakan pencegahan dimaksudkan untuk menghindari kemungkinan terjadinya longsoran pada daerah yang berpotensi longsor, sedangkan tindakan korektif dapat berupa penanggulangan darurat (sifatnya sementara dan sederhana) dan penanggulangan permanen.

Pemilihan karakteristik penanganan lereng karena longsoran tergantung dari beberapa faktor, yaitu sebagai berikut :

- Identifikasi penyebab (penggerusan pada kaki lereng, penimbunan pada kepala longsoran, pemotongan pada kaki lereng dan sebagainya).
- Dengan pertimbangan faktor teknik (luas daerah longsoran, jenis tanah dan sebagainya)
- Kemungkinan pelaksanaan (biaya, teknik pelaksanaan, kemampuan pelaksana dan sebagainya)
- Dengan pertimbangan faktor ekonomi (material setempat dan sebagainya).

4.3.1.1. Pencegahan

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

Pencegahan ini dapat dilakukan dengan tindakan-tindakan antara lain :

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

Untuk lereng atau tebing tanah yang berpotensi longsor, pemotongan dapat pula digunakan sebagai pencegahan. Longsor tebing batuan dapat dicegah dengan cara penyemprotan, pengangkeran batu, melapis dengan pasangan tipis, tumpuan beton, baut batuan, pengikat beton, jala kawat dan dinding penahan batu.

4.3.1.2. Penanggulangan Darurat

Penanggulangan darurat adalah tindakan penanggulangan yang sifatnya sementara dan umumnya dilakukan sebelum penanggulangan permanen dilaksanakan.

Penanggulangan darurat dapat dilakukan dengan cara sederhana antara lain :

- Mencegah masuknya air permukaan ke dalam daerah longsor dengan membuat saluran terbuka.
- Mengeringkan kolam-kolam yang ada di bagian atas daerah longsor.
- Mengalirkan genangan air dan mata air yang tertimbun maupun yang terbuka.
- Menutup rekahan dengan tanah liat.
- Membuat pasangan bronjong pada kaki longsor.
- Memasang cerucuk pada daerah longsor.
- Penimbunan kembali bagian yang rusak akibat longsor.
- Pelebaran ke arah tebing
- Membuang runtuh dari tebing ke bagian kaki lereng.
- Membuat bangunan penahan dari karung diisi tanah.
- Pemotongan bagian kepala longsor.

4.3.1.3. Penanggulangan Permanen

Penanggulangan permanen merupakan penanganan lereng yang bersifat permanen, yang secara normatif banyak digunakan untuk keperluan perencanaan serta penanganan pada kasus longsor pada lereng eksisting. Penanggulangan permanen untuk penanganan lereng bersifat kompleks sehingga memerlukan waktu untuk penyelidikan, analisis dan perencanaan yang matang.

Penanggulangan permanen untuk penanganan lereng umumnya merupakan penanganan yang bersifat struktural yaitu penanganan dengan menambah gaya-gaya yang menahan gerakan longsor.

4.3.2. Metode Penanganan

Metode penanggulangan longsor ditinjau dari mekanisme penanganannya dibedakan dalam 3 (tiga) kategori, yaitu :

1. Mengurangi gaya-gaya yang menimbulkan gerakan dengan metoda :
 - a. Mengendalikan air permukaan
 - b. Mengubah geometri lereng
2. Menambah gaya-gaya yang menahan gerakan dengan metoda ;
 - a. Mengendalikan air rembesan
 - b. Penambatan
 - c. Timbunan pada kaki lereng (beban kontra)
3. Jika ke dua metoda di atas tidak dapat mengatasi longsor yang terjadi maka dilakukan penanggulangan dengan tindakan lain (stabilisasi, relokasi, bangunan silang dan penggunaan bahan ringan).

4.3.2.1. Mengurangi Gaya Gaya Penyebab Longsor

Metode penanganan lereng melalui mekanisme pengurangan gaya-gaya yang menimbulkan gerakan longsor terdiri dari 2 (dua) cara yaitu :

- a. Mengendalikan air permukaan
- b. Mengubah geometri lereng

4.3.2.1.1. Mengendalikan Air Permukaan

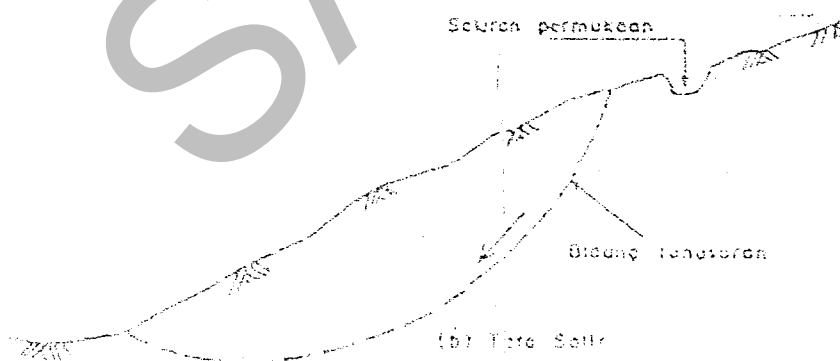
Mengendalikan air permukaan merupakan langkah awal dalam setiap rencana penanggulangan longsor untuk mengurangi berat massa tanah yang bergerak dan menambah kekuatan material pembentuk lereng. Dua hal yang harus diperhatikan adalah air permukaan yang akan mengalir pada permukaan lereng dan air permukaan yang akan meresap / masuk ke dalam tanah. Setiap upaya harus dilakukan untuk mencegah air permukaan yang menuju daerah longsor, sedangkan mata air, rembesan dan genangan di daerah longsor di alirkan ke luar melalui lereng. Penanganan lereng dengan cara mengendalikan air permukaan (drainase permukaan) dapat dilakukan dengan cara menanam tumbuhan, tata salir, menutup rekahan dan perbaikan permukaan lereng.

4.3.2.1.1.1. 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 dapat juga disemprot aspal.

4.3.2.1.1.2. Tata Salir

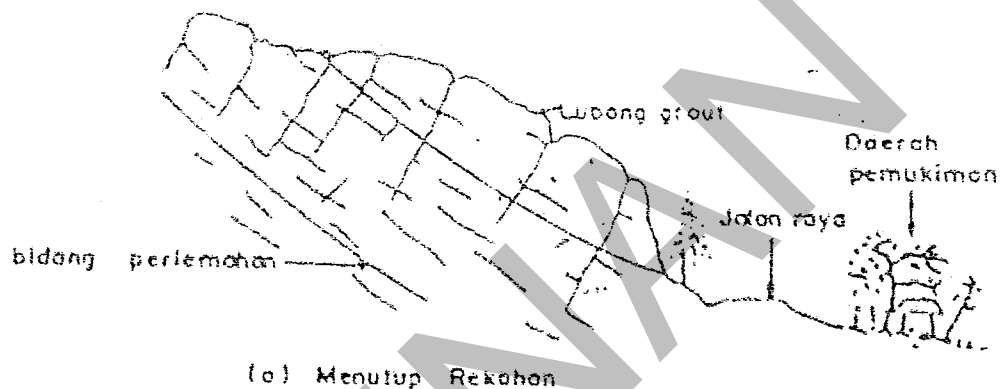
Tata salir / saluran permukaan sebaiknya dibuat pada bagian luar longsoran dan mengelilingi longsoran sehingga dapat mencegah aliran limpasan yang datang dari lokasi yang lebih tinggi. Untuk saluran terbuka yang dipasang pada daerah longsoran harus diberi kemiringan sedemikian rupa sehingga dapat mengalirkan air secara cepat agar air tidak meresap ke dalam daerah longsoran. 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. Ilustrasi penanganan lereng melalui metode pengendalian air permukaan dengan cara tata salir seperti yang terlihat pada gambar 42. berikut.



Gambar 42. Penanggulangan longsoran Dengan Tata Salir

4.3.2.1.1.3. Menutup Rekahan

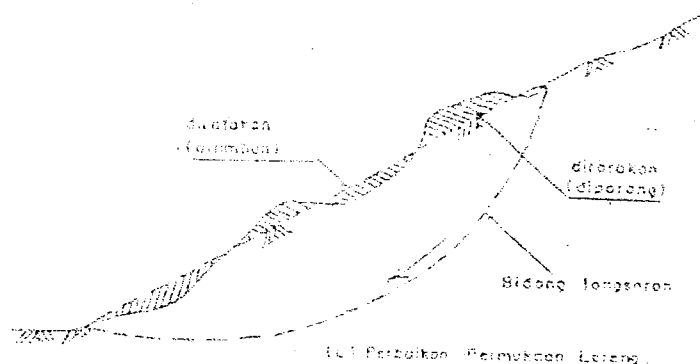
Penutupan rekahan dapat memperbaiki kondisi pengaliran air permukaan pada lereng. Rekahan dapat ditutup dengan tanah lempung, aspal atau semen yang disesuaikan dengan jenis tanahnya. Penutupan rekahan akan mencegah masuknya air permukaan, sehingga tidak akan menimbulkan naiknya tekanan hidrostatik atau lembeknya massa tanah yang bergerak. Ilustrasi penanganan lereng melalui metode pengendalian air permukaan dengan cara menutup rekahan seperti yang terlihat pada gambar 43. berikut.



Gambar 43. Penanggulangan longsor Dengan Tata Salir

4.3.2.1.1.4. Perbaikan Permukaan Lereng

Perbaikan permukaan lereng dapat dilakukan dengan meratakan permukaannya (adanya tonjolan, cekungan) sehingga dapat mempercepat aliran limpasan dan memperkecil rembesan air. Ilustrasi penanganan lereng melalui metode pengendalian air permukaan dengan cara menutup rekahan seperti yang terlihat pada gambar 44.



Gambar 44. Penanganan Lereng Dengan Perbaikan Permukaan Lereng

Metoda pengendalian air permukaan dapat digunakan baik secara terpisah maupun bersama-sama. Metoda ini dapat pula dikombinasikan dengan metoda penanggulangan lainnya.

4.3.2.1.2. Mengubah Geometri Lereng

Penanganan lereng melalui metode pengurangan gaya gaya penyebab longsoran dengan cara mengubah geometri lereng dapat dilakukan dengan pemotongan dan penimbunan dengan mempertimbangkan mekanisme gerakan longsoran yang terjadi. Perubahan geometri lereng dengan pemotongan dapat berupa pemotongan kepala longsoran, pelandaian tebing, penanggaan, pemotongan habis, pengupasan tebing dan pengupasan lereng, dengan tujuan untuk mengurangi tegangan dan menambah tahanan geser.

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

Pemilihan metoda penimbunan harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

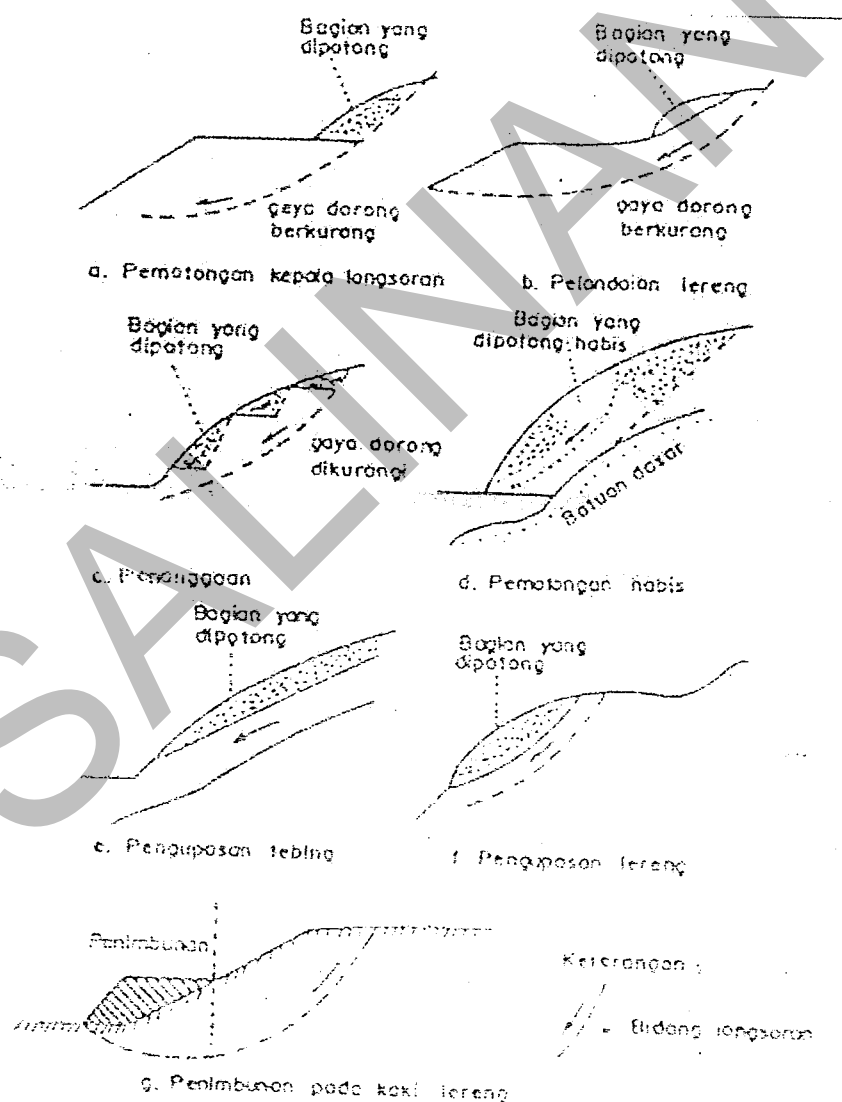
- Tidak mengganggu kemantapan lereng dibawahnya
- Tidak mengganggu drainasi permukaan (pembentukan cekungan / tangga).
- Letaknya diantara bidang netral dan ujung kaki longsoran.

Di samping itu letak bangunan di sekitar daerah longsoran merupakan faktor-faktor yang menentukan dalam penanggulangan ini. Hal-hal yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut :

- (1). Potongan di kepala longsoran umumnya tidak dilakukan bila terdapat bangunan di dekatnya.
- (2). Pelandaian dapat diterapkan bila bangunan terletak pada kaki longsoran.

- (3). Pemotongan seluruhnya hanya dapat diterapkan bila bangunan terletak pada ujung kaki longsor
- (4). Penanggaan umumnya dapat diterapkan bila letak bangunan baik di dekat kepala, di tengah maupun pada kaki longsor.
- (5). Penimbunan tidak dapat diterapkan bila terdapat bangunan pada kaki longsor.

Ilustrasi ilustrasi cara cara penanganan lereng dengan metode mengubah geometri lereng dapat dilihat pada gambar 45 berikut.



Gambar 45. Penanggulangan Longsor Dengan Cara Mengubah Geometri Lereng

4.3.2.2. Menambah gaya-gaya yang menahan gerakan

Metode penanganan lereng dengan menambah gaya-gaya yang menahan gerakan longsor dilakukan dengan mekanisme sebagai berikut :

- a. Mengendalikan air rembesan
- b. Penambatan
- c. Timbunan pada kaki lereng (beban kontra)

4.3.2.2.1. Mengendalikan air rembesan (Drainase bawah permukaan)

Usaha mengeringkan atau menurunkan muka air tanah dalam lereng dengan mengendalikan air rembesan biasanya cukup sulit dan memerlukan penyelidikan yang cermat. 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.

4.3.2.2.1.1. Sumur Dalam

Sumur dalam telah banyak digunakan untuk menanggulangi longsor yang bidang longsornya dalam. Cara ini dinilai mahal karena 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 longsor yang mempunyai material lulus air.

4.3.2.2.1.2. Penyalir Tegak (Saluran Tegak)

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

4.3.2.2.1.3. 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 yang bidang longsorannya 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.

4.3.2.2.1.4. Pelantar

Pelantar sangat efektif untuk menurunkan muka air di daerah longsor 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.

4.3.2.2.1.5. Sumur Pelega

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

4.3.2.2.1.6. Penyalir Parit Pencegat (Saluran Pemotong)

Penyalir parit pencegat dibuat untuk memotong aliran air tanah yang masuk ke daerah longsor. Parit ini digali di bagian atas mahkota sampai kelapisan 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.

4.3.2.2.1.7. Penyalir Liput

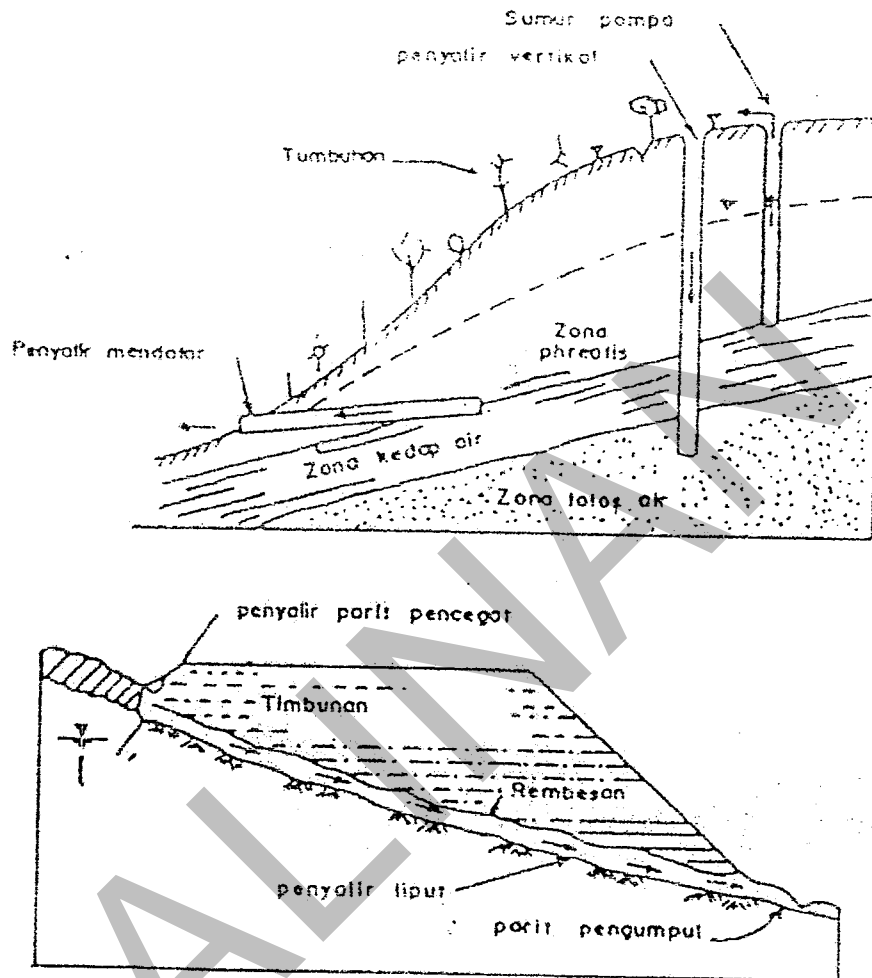
Penyalir liput dipasang diantara lereng alam dan timbunan yang sebaiknya dilakukan pengupasan pada lereng alam sampai mencapai tanah keras. Sebelum penyalir liput dipasang, material berbutir dari penyalir ini dihamparkan menutupi seluruh lereng alam yang akan ditimbun. Air yang mengalir melalui penyalir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

4.3.2.2.1.8. Elektro Osmosis

Elektro osmosis merupakan salah satu cara penanggulangan longsor 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 dengan baik.

Metoda ini dilakukan dengan menempatkan dua elektroda sampai pada kedalaman lapisan jenuh air yang akan dikeringkan, dan kemudian arus listrik searah dialirkan. Arus listrik terimbas menyebabkan air pori mengalir dari anoda ke katoda. Elektroda diatur agar tekanan air menjauhi lereng yang berfungsi mengurangi kadar air dan tekanan air pori sehingga meningkatkan kemantapan lereng.

Ilustrasi penanggulangan longsor dalam penanganan lereng dengan metode pengendalian air rembesan dapat dilihat pada Gambar 46 berikut.



Gambar 46. Penanggulangan Longsoran Dengan Mekanisme Pengendalian Air Rembesan

4.3.2.2.2. Penambatan

Penanganan lereng dalam rangka penanggulangan longsoran dapat dilakukan melalui mekanisme penambatan, yaitu menahan dan atau menambat massa tanah dan atau batuan yang berpotensi longsor dengan suatu bahan atau struktur konstruksi.

Ditinjau dari jenis material yang menjadi obyek sasaran penambatan, penambatan dibedakan dalam 2 (dua) kategori yaitu penambatan tanah dan penambatan batuan.

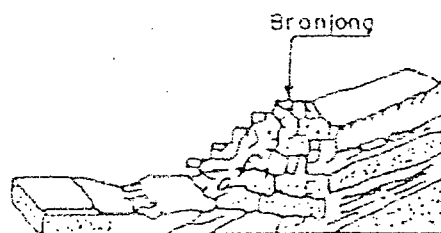
4.3.2.2.2.1. Penambatan Tanah

Penambatan untuk menanggulangi longsoran tanah dapat dilakukan dengan menggunakan bangunan penambat antara lain bronjong, tembok penahan, sumuran, tiang, teknik penguatan tanah dan dinding penopang isian batu.

(a). Bronjong

Bronjong merupakan bangunan penambat tanah yang mempunyai struktur bangunannya berupa anyaman kawat yang diisi batu belah. Struktur bangunan berbentuk persegi dan disusun secara bertangga yang umumnya berukuran $2 \times 1 \times 0,5 \text{ m}^3$. Bangunan bronjong adalah struktur yang tidak kaku sehingga dapat menahan gerak baik vertikal maupun horizontal dan bila runtuh masih bisa dimanfaatkan lagi. Di samping itu bronjong mempunyai sifat lulus air, sehingga tidak akan menyebabkan terbenyungnya air permukaan.

Konstruksi bronjong seperti yang terlihat pada gambar 47, umumnya dipasang pada kaki lereng yang disamping berfungsi sebagai penahan longsoran, juga berfungsi untuk mencegah penggerusan. Keberhasilan penggunaan bronjong sangat tergantung dari kemampuan bangunan ini untuk menahan geseran pada tanah di bawah alasnya. Oleh karena itu bronjong harus diletakkan pada lapisan yang mantap di bawah bidang longsoran.

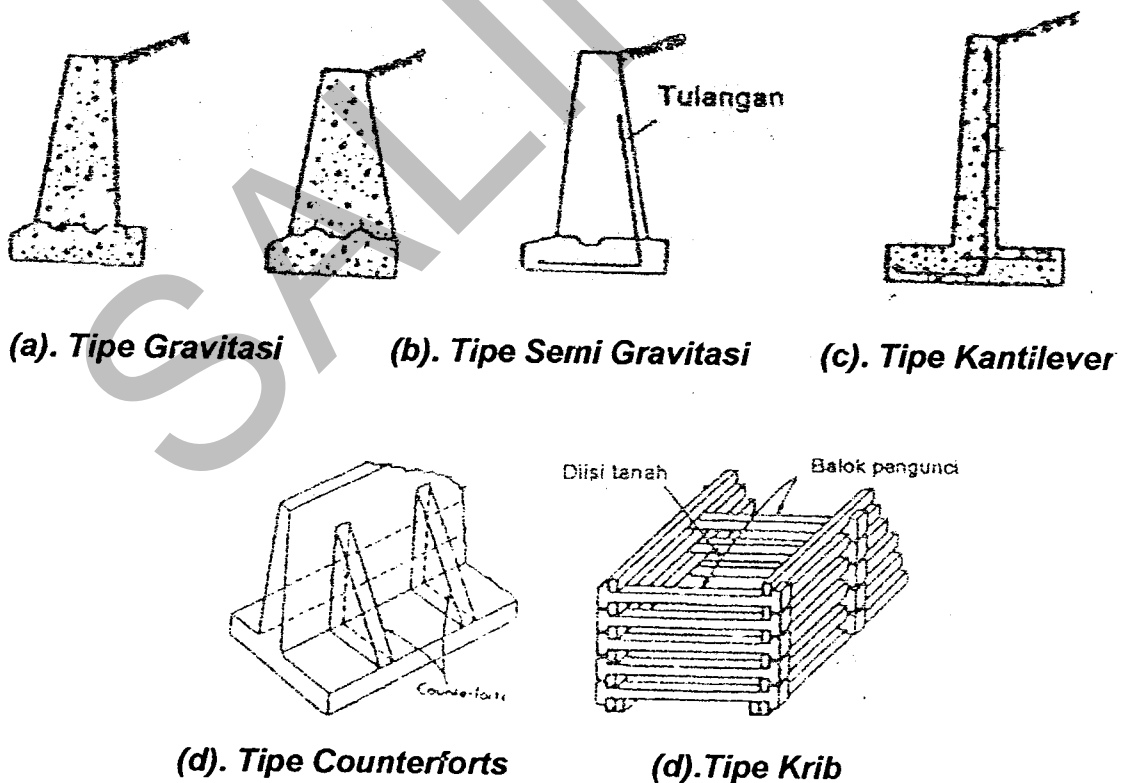


Gambar 47. Penambatan Tanah Dengan Bronjong

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

(b). Tembok Penahan (Retaining Wall)

Konstruksi tembok penahan seperti yang terlihat pada gambar 48, merupakan bangunan penambat tanah dari pasangan batu, beton atau beton bertulang. Tipe tipe tembok penahan terdiri dari tipe gravitasi, semi gravitasi, cantilever, counterfort dan tipe krib. Sama halnya dengan bronjong, keberhasilan tembok penahan 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 runtuhnya.

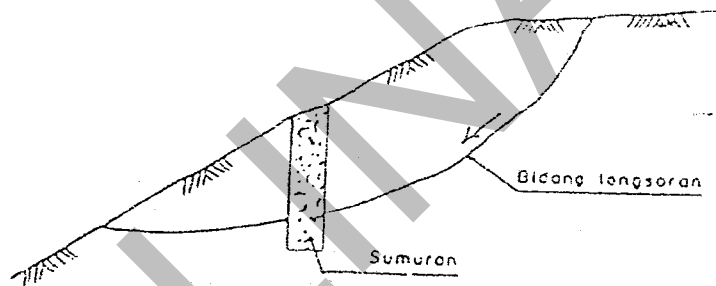


Gambar 48. Tipe tipe Konstruksi Dengan Tembok Penahan

Tembok penahan harus diberi fasilitas drainase seperti lubang penetes dan pipa salir yang diberi bahan filter supaya tidak tersumbat, sehingga tidak menimbulkan tekanan hidrostatik yang besar.

(c). Sumuran

Sumuran (0,1 - 2 m) dapat digunakan untuk menahan gerakan tanah dari tipe longsoran yang relatif tidak aktif, sumuran ini terdiri dari cincin-cincin beton pracetak dan dimasukkan pada sumuran yang digali sampai mencapai kedalaman di bawah bidang longsorannya. Cincin ini kemudian diisi dengan beton tumbuk, beton *cyclop* atau material berbutir tergantung dari kuat geser yang dikehendaki.



Gambar 49. Penambatan Tanah Dengan Sumuran

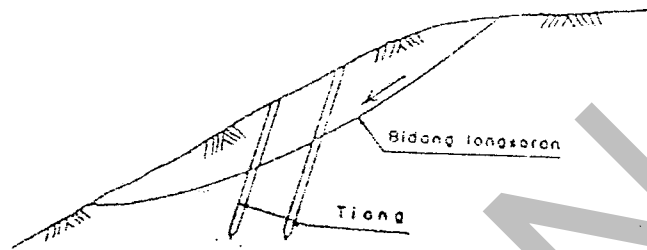
Pelaksanaan cara penanggulangan ini sebaiknya dilakukan dalam musim kemarau pada waktu tidak terjadi gerakan. Cara ini cocok untuk longsoran dalam, karena dapat dibuat sampai kedalaman 15 meter.

(d). Tiang

Tiang dapat digunakan baik untuk pencegahan maupun penanggulangan longsoran. Cara ini cocok untuk longsoran 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 gerakan tipe aliran, karena sifat tanahnya sangat lembek yang dapat

lolos melalui sela tiang. Penanggulangan longsor dapat menggunakan tiang pancang, tiang bor, turap baja.

Konstruksi sheet pile dan turap merupakan contoh aplikasi dari kategori penanganan lereng dengan tiang.



Gambar 50. Penambatan Tanah Dengan Tiang

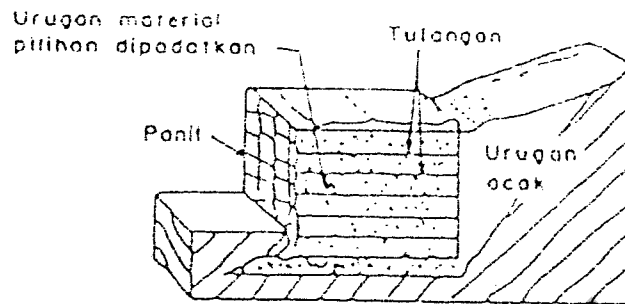
Untuk lapisan keras disarankan menggunakan tiang baja terbuka pada ujungnya atau tiang bor, walaupun demikian tiang bor mempunyai keterbatasan yang hanya dapat diterapkan pada longsor yang relatif diam. Tiang pipa baja dapat pula diisi beton atau komposit beton dengan baja profil untuk memperbesar modulus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

Turap baja tidak efektif untuk menahan massa longsor yang besar, karena mempunyai modulus perlawanan yang kecil. Walaupun demikian turap baja dapat diperbesar modulus perlawanannya dengan dipasang ganda.

(e). Teknik Penguatan Tanah

Tanah bertulang mempunyai fungsi untuk menambah tahanan geser yang prinsipnya hampir serupa dengan dinding penopang isian batu atau bronjong. Konstruksi ini terdiri dari timbunan tanah berbutir yang diberi tulangan berupa pelat-pelat baja strip dan panel untuk menahan material berbutir. Bangunan ini

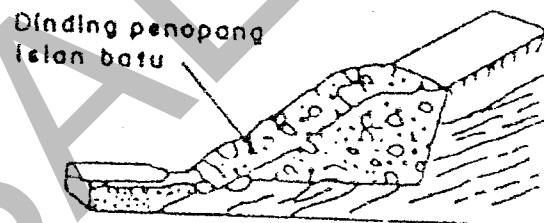
umumnya ditempatkan pada bagian ujung kaki lereng, dan dipasang pada dasar yang kuat di bawah bidang longsoran.



Gambar 51. Penambatan Tanah Dengan Teknik Penguatan Tanah

(f). Dinding Penopang Isian Batu

Cara penanggulangan ini adalah dengan penimbunan pada bagian kaki longsoran dengan material berbutir kasar yang dipadatkan dan yang berfungsi menambah tanah geser. Penanggulangan ini dapat digunakan untuk longsoran rotasi dan translasi.



Gambar 52. Penambatan Tanah Dengan Dinding Penopang Isian Batu

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

- Tidak mengganggu kemantapan lereng di bawahnya.
- Alas isian batu diletakkan di bawah bidang longsoran sedalam 1,5 - 3,0 meter.

(g). Tanah Bertulang

Struktur tanah bertulang (*reinforcement earth*) terdiri atas tanah dan tulangan. Seperti halnya beton bertulang (*reinforcement concrete*), pemasangan tulangan yang mempunyai kuat tarik tinggi ke dalam tanah menciptakan material komposit yang dapat mendukung beban lebih besar. Kerjasama antara tanah dan tulangan dalam mendukung beban akan terjadi bila terdapat gesekan antara keduanya. Dengan gesekan ini, tanah mentransfer gaya-gaya yang bekerja padanya ke tulangan-tulangan. Konsep perkuatan tanah atau tanah bertulang (*reinforced earth*) pertama kali diperkenalkan oleh Vidal pada tahun 1969. Hingga saat ini, system penulangan tanah banyak digunakan untuk pembangunan banyak tipe-tipe konstruksi, seperti : dinding penahan tanah, pangkal jembatan, timbunan badan jalan, penahan galian dan perbaikan stabilitas lereng alam.

System penulangan tanah untuk dinding penahan mempunyai tiga komponen utama yaitu :

- (1) Tulangan-tulangan atau perkuatan
- (2) Tanah urug atau tanah asli lapangan
- (3) Elemen-elemen permukaan (*facing elemen*) yang merupakan elemen elemen penutup dinding bagian depan

Bahan tulangan dapat dibuat dari metal atau aensintetik (geotekstil, geogrid, dan lain-lainnya). Tanah urug umumnya tanah granular walaupun saat ini telah digunakan juga tanah kohesif. Elemen-elemen penutup dinding depan berupa panel-panel beton, tulangan yang ditekuk, bronjong batu, elemen-elemen segmental dan lain-lain.

Keuntungan yang dapat diperoleh pada penggunaan struktur yang menggunakan system tanah bertulang antara lain :

- (1) Merupakan struktur yang fleksibel
- (2) Tidak mempunyai resiko besar bila terjadi deformasi struktur
- (3) Mudah dalam pelaksanaan pembangunannya.
- (4) Merupakan struktur yang tahan terhadap gempa bumi

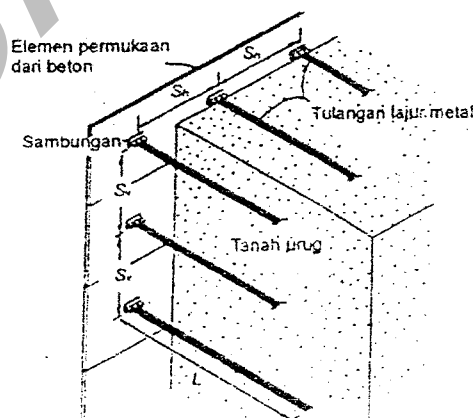
- (5) Sering biaya pembangunan lebih ekonomis dibanding dengan struktur konvensional.
- (6) Tipe elemen-elemen penutup dinding depan dapat dibuat dalam bentuk yang bermacam-macam, sehingga memungkinkan untuk menciptakan bentuk permukaan dinding yang indah.

Berdasarkan sistem dan struktur material yang dipakai struktur tanah bertulang dibedakan dalam jenis-jenis sebagai berikut :

- (1) Tulangan lajur (*strip reinforcement*)
- (2) Tulangan Grid (*grid reinforcement*)
- (3) Tulangan lembaran (*Sheet reinforcement*)
- (4) Tulangan batang (*Rod reinforcement*) dengan angker

- Sistem Tulangan lajur (*strip reinforcement*)

Pada sistem tulangan lajur (*strip reinforcement*), suatu material komposit yang terbentuk diperoleh dengan menempatkan lajur-lajur tulangan metal pada posisi horizontal diantara lapisan-lapisan tabak urug yang dipadatkan. Permukaan tulangan metal kadang-kadang dibuat kasar untuk menambah tahanan gesek. Elemen-elemen penutup dinding depan yang diikatkan dengan tulangan umumnya dibuat dari beton pracetak atau metal.



Gambar 4.24. Dinding tanah bertulang dengan tulangan lajur.

Gambar 53. Struktur Tanah Bertulang Sistem Tulangan Lajur

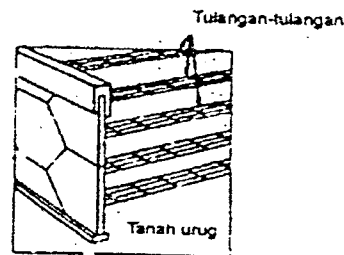
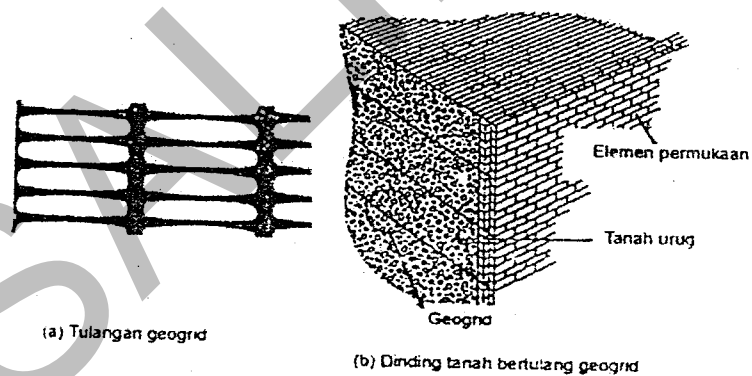
- Sistem Tulangan Grid (*grid reinforcement*)

Sistem tulangan grid (*grid reinforcement*) terdiri dari rakit batang-batang metal atau polimer yang terdiri atas lembaran yang berlubang-lubang dalam bentuk empat persegi panjang yang diletakkan posisi horizontal.

Grid mentransfer tegangan ke tanah melalui :

- (1) Tahanan tanah pasif yang timbul pada batang-batang transversalnya
- (2) Gesekan antara tanah dan permukaan tulangan

Tulangan-tulangan grid yang dibuat dari bahan polimer tahan terhadap ausnya tulangan oleh pengaruh air tanah dan tanah jelek. Tulangan tipe *tensar geogrid* merupakan tulangan grid polimer yang berkekuatan tinggi. Dinding *VSL retained earth* menggunakan tulangan-tulangan baja grid untuk struktur penahan tanah. Pada struktur tanah bertulang dengan grid, penutup dinding depan dapat dibuat dengan cara membengkokkan tulangan-tulangan atau dengan mengikatkan tulangan-tulangan ke bronjong-bronjong atau panel-panel beton.

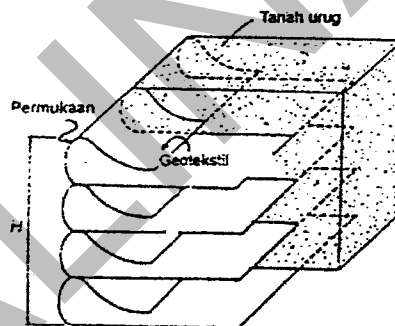


Gambar 54. Tipe tipe Struktur Tanah Bertulang Sistem Tulangan Grid

- Sistem Tulangan Lembaran (*sheet reinforcement*)

Tulangan-tulangan yang berbentuk lembaran umumnya berupa bahan geotekstil atau tulangan yang terdiri dari lembaran-lembaran geotekstil diletakkan diantara lapisan-lapisan tanah urug yang keduanya membentuk material komposit. Pada system penulangan ini, transfer tegangan antara tanah dan lembaran-lembaran geotekstil terutama dari gesekan antara kedua material tersebut.

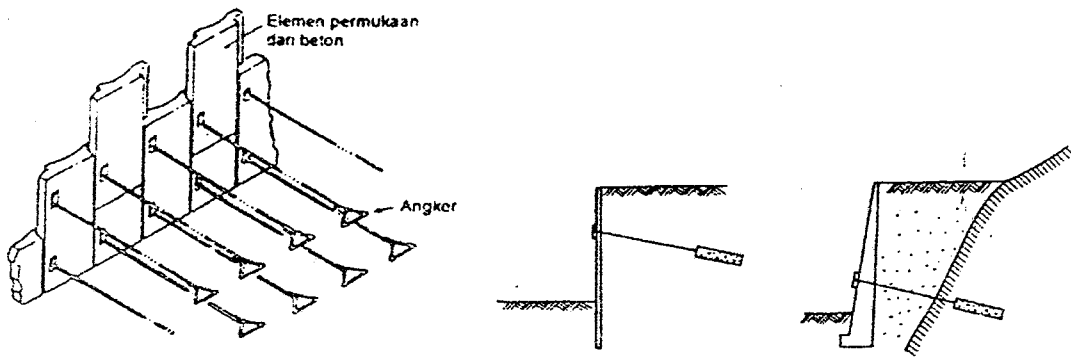
Umumnya, geotekstil yang digunakan untuk penulangan tanah dibuat dari *polyester* atau serat-serat *polypropylene*. Bila ditinjau dari serat-serat pembentuk bahannya, geotekstil terdiri dari dua tipe, yaitu anyam (*woven*) dan nir anyam (*non woven*). Material tanah urug umumnya dipilih tanah granuler diantara pasir kelanauan sampai kerikil. Penutup dinding depan dapat dibuat dengan melipat geotekstil atau berupa blok-blok beton.



Gambar 55. Struktur Tanah Bertulangan Geotekstil

- Sistem Tulangan Batang (Rod reinforcement) dengan Angker

Pada system tulangan angker, tulangan-tulangan dari baja dibengkok pada ujungnya membentuk angker. Transfer tegangan dari tanah ke tulangan, terutama, melalui tahanan tanah pasif dan angker. Namun demikian, terdapat pula pengaruh tahanan gesek sepanjang batang silindernya. Elemen-elemen penutup dinding bagian depan biasanya dibuat dari beton atau turap baja / kayu yang diikatkan pada tulangan-tulangan.



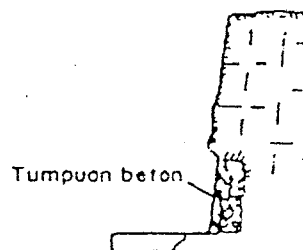
Gambar 56. Struktur Tanah Bertulang Dengan Angker

4.3.2.2.2. Penambatan Batuan

Penambatan untuk menanggulangi gerakan batuan dapat dilakukan dengan menggunakan bangunan penambat, antara lain tumpuan beton, baut batuan, pengikat beton, jangkar kabel (pengangkeran), jala kawat, tembok penahan batu, beton semprot dan dinding tipis.

(a). Tumpuan Beton

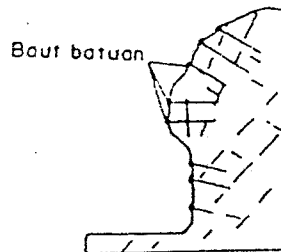
Batuan yang menggantung akibat tererosi atau pelapukan dapat ditanggulangi dengan dua cara, yaitu meruntuhkan batuan yang menggantung atau menyangga dengan tumpuan beton. Apabila penanggulangan dengan meruntuhkan batuan yang menggantung dapat membahayakan daerah pemukiman atau lalu lintas, maka untuk menghindari bahaya runtuh dilakukan penanggulangan dengan tumpuan beton.



Gambar 57. Penambatan Batuan Dengan Tumpuan Beton

(b). Baut Batuan

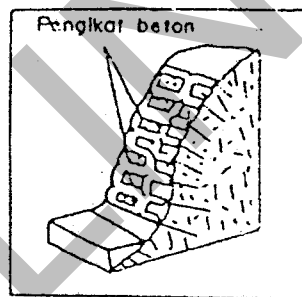
Baut batuan dipasang untuk memperkuat massa batu yang terbentuk oleh adanya diskontinuitas antara lain : kekar, retakan, agar lereng menjadi mantap.



Gambar 58. Penambatan Batuan Dengan Baut Batuan

(c). Pengikat Beton

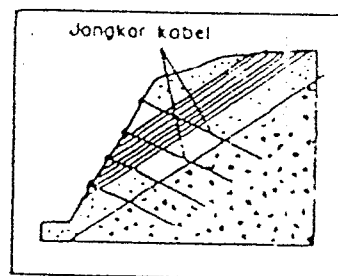
Pengikat beton ditempuh untuk mengurangi jumlah baut batuan.



Gambar 59. Penambatan Batuan Dengan Pengikat Beton

(d). Jangkar Kabel

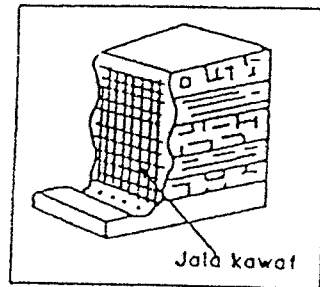
Penambatan dengan jangkar kabel dilakukan apabila massa batuan yang bergerak mempunyai ukuran yang besar.



Gambar 60. Penambatan Batuan Dengan Jangkar Kabel

(e). Jala Kawat

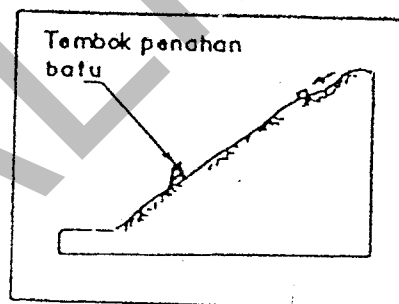
Jala kawat dipasang pada lereng untuk menjaga agar runtuhannya batu dapat ditahan pada satu tempat.



Gambar 61. Penambatan Batuan Dengan Jala Kawat

(f). Tembok Penahan Batu

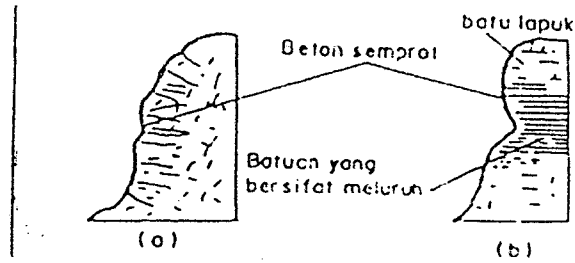
Tembok penahan batu dipasang pada bagian kaki lereng untuk menahan fragmen batuan yang runtuh dari atas, agar tidak menimbulkan bahaya.



Gambar 62. Penambatan Batuan Dengan Tembok Penahan Batu

(g). Beton Semprot

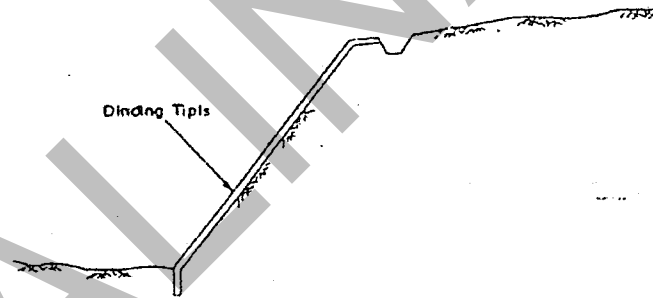
Beton semprot digunakan untuk memperkuat permukaan batu yang berkekar (lihat Gambar 61.a) dan batuan lapuk atau batu yang bersifat meluruh (lihat Gambar 61.b)



Gambar 63. Penambatan Batuan Dengan Beton Semprot

(h). Dinding Tipis

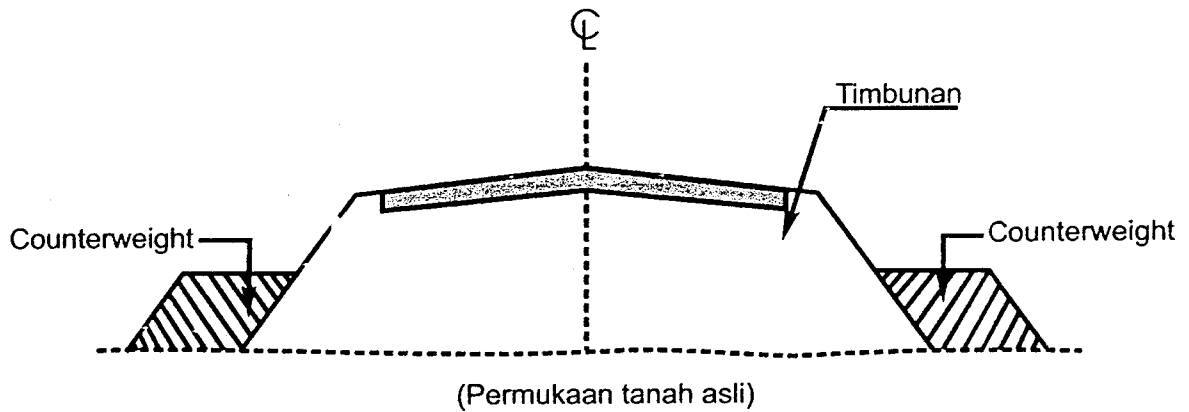
Beberapa jenis batuan seperti serpih atau batu lempung sangat mudah lapuk bila tersingkap. Untuk melindungi batuan tersebut dapat dipasang dinding tipis dari bata, batu atau beton pada permukaan batuan.



Gambar 64. Penambatan Batuan Dengan Dinding Tipis

4.3.2.2.3. Beban Kontra (Counter weight)

Penanggulangan longsoran dalam konteks penanganan lereng dengan memberikan bebar kontra pada kaki lereng dimaksudkan sebagai upaya untuk memberikan beban penyeimbang / beban kontra pada kaki lereng yang berada pada bidang longsoran, terhadap massa tanah yang berpotensi meyebabkan kelongsoran.



Gambar 65. Penambahan Beban Kontra

4.3.2.3. Tindakan Lain

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

4.3.2.3.1. 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. Khusus yang menyangkut Jalan Raya maka penggunaan bahan ringan di bawah badan jalan perlu diperhatikan, bila bidang longsor sampai perkerasan jalan.

4.3.2.3.2. 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 longsor dan juga berfungsi sebagai drainase bila digunakan material berbutir.

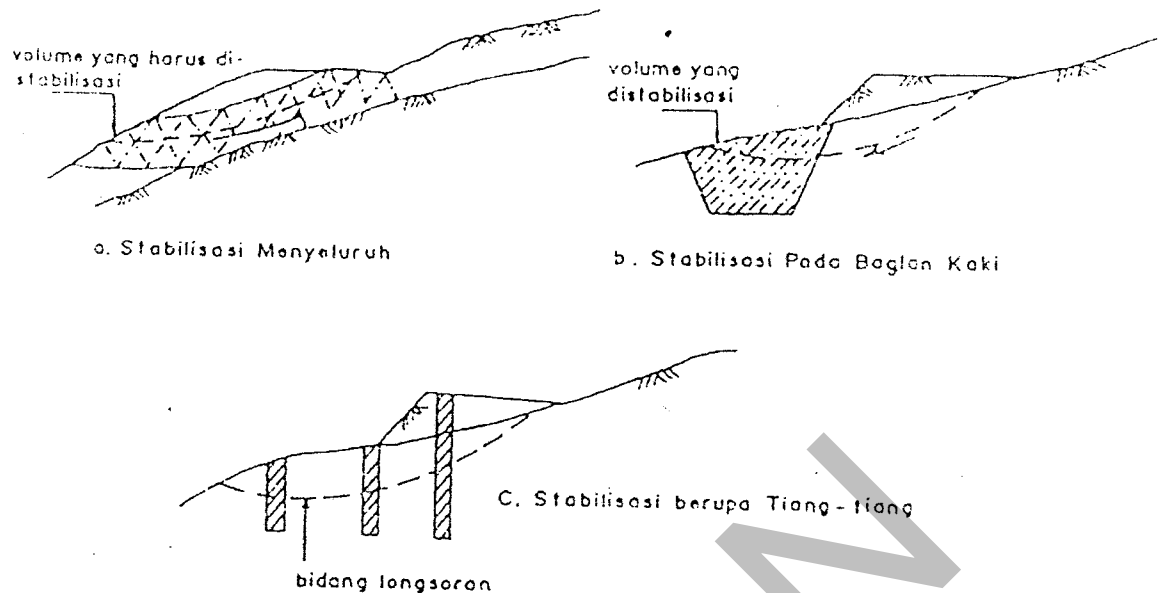
Dalam pemilihan cara ini harus diperhatikan hal-hal sebagai berikut

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

4.3.2.3.3. Stabilisasi

Stabilisasi dimaksudkan untuk meningkatkan kuat geser dari material longsor. Material yang distabilisasi dapat dilakukan secara menyeluruh (Gambar 64.a), pada bagian kaki (Gambar 64.b) atau berupa tiang-tiang (Gambar 64.c).

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



Gambar 65. Penanganan Lereng Dengan Stabilisasi

Penggunaan stabilisasi harus mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

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

4.3.2.3.4. Bangunan Silang

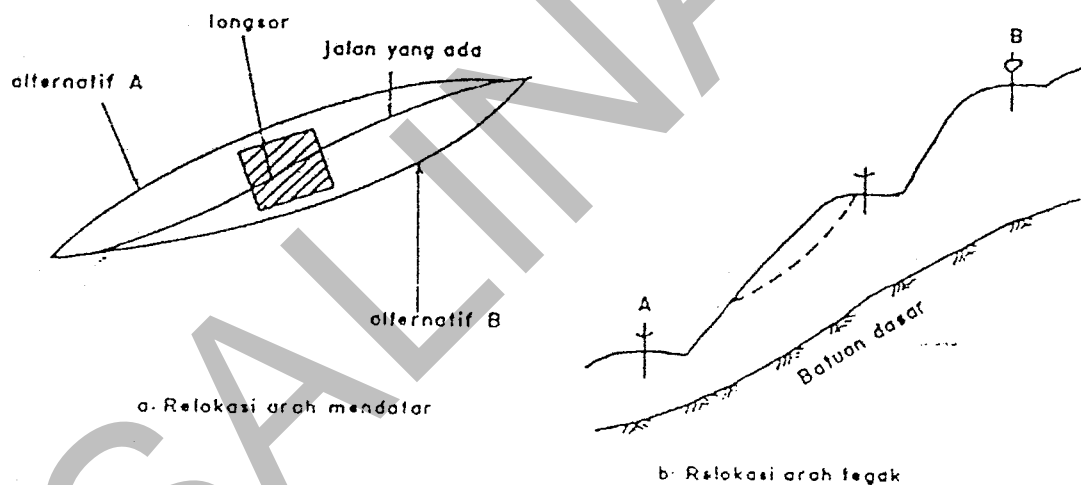
Bangunan silang seperti jembatan atau talang dapat dibuat melintasi lokasi yang longsor, bila merupakan satu-satunya penanggulangan yang paling tepat. Tetapi cara penanggulangan ini jarang dilakukan, karena memerlukan biaya yang cukup tinggi.

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

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

4.3.2.3.5. Relokasi

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



Gambar 68. Relokasi

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

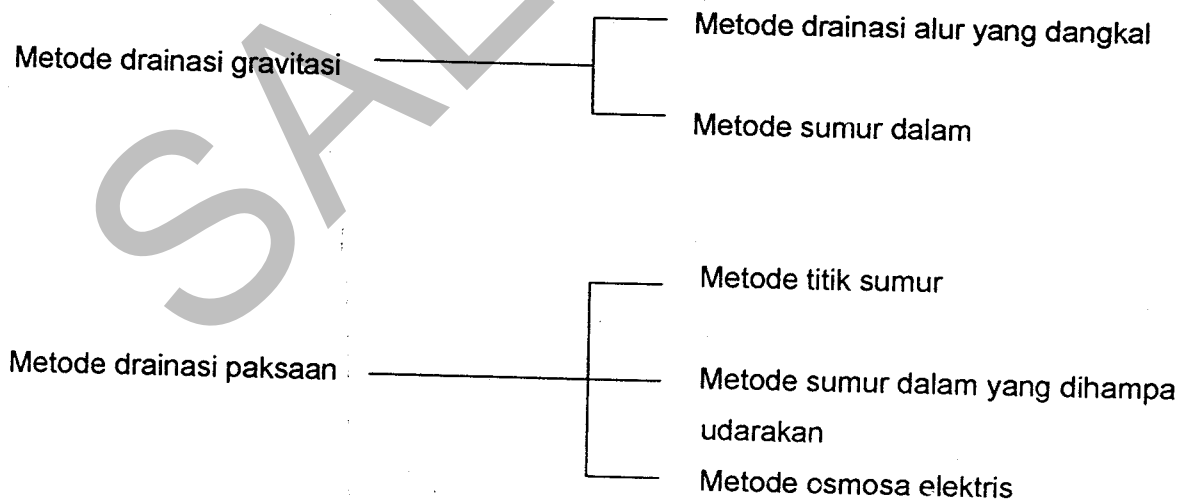
- Lokasi yang disarankan tidak akan menimbulkan problema baru dari sudut ketinggian, drainase dan sebagainya.
- Lokasi di atas atau di bawah lokasi yang direncanakan akan cukup mantap, atau tidak akan menimbulkan masalah ketidak mantapan baru.
- Bila cara penanggulangan lainnya sudah tidak mungkin secara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

4.4. METODE DRAINASE LERENG

4.4.1. Metode Drainase

Dari berbagai macam metode drainasi harus dipilih suatu metode yang paling tepat dengan mempertimbangkan tekstur tanah pondasi, stratifikasinya, ciri-ciri pada lokasi galian, bentuk dan kedalaman galian dan rencana pekerjaan galian. Penggolongan cara drainasi secara prinsip terdiri dari bermacam-macam cara, suatu cara dimana air dihimpun dalam sebuah alur yang dangkal atau sumur, dengan memanfaatkan aliran alamiah dari air tanah akibat gravitasi kemudian dipompa keluar, dan suatu cara dimana air tanah dikeluarkan secara paksa dengan menggunakan energi bukan gravitasi, misalnya penghisapan dengan alat hampa udara seperti yang dipakai dalam metode titik sumur (*point well method*) atau suatu metode sumur dalam yang hampa (*vacuum deep well method*) atau dengan menggunakan tenaga listrik seperti terlihat pada metode osmosa elektrik.

Metode drainasi secara umum digolongkan sebagai berikut :

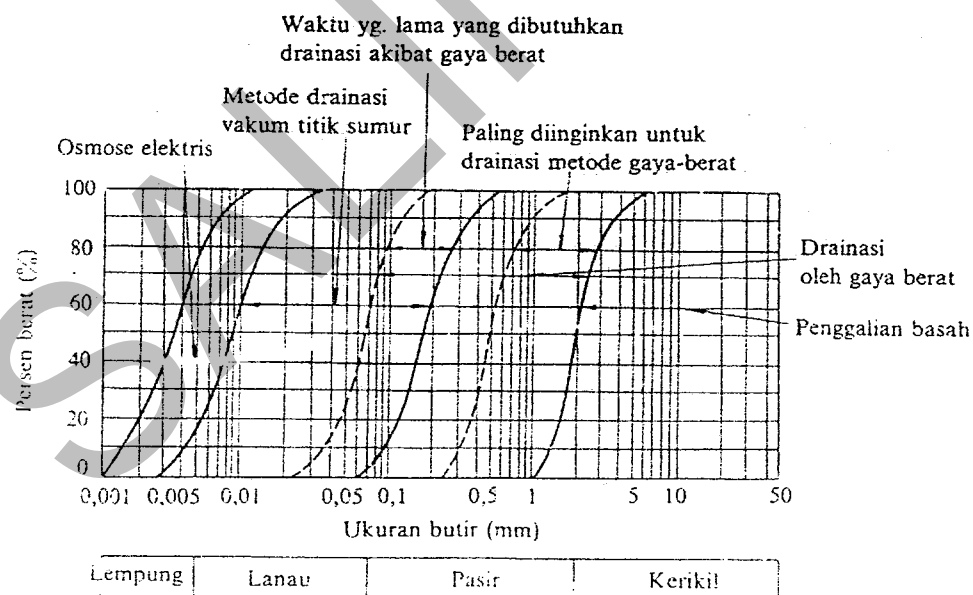


4.4.2. Pemilihan Metode Drainase

Drainasi dengan memanfaatkan sifat aliran alamiah akibat gravitasi seperti pada metode drainasi alur dangkal atau metode sumur dalam hanya cocok untuk

lapisan yang terdiri dari kerikil atau pasir kasar yang mempunyai koefisien permeabilitas yang tinggi. Bila partikel tanah yang mengisi lapisan tersebut berupa partikel halus dengan koefisien permeabilitas yang kecil, air akan sulit mengalir hanya karena pengaruh gravitasi. Karena itu air tanah dihimpun secara paksa dengan menggunakan metode penghampaan udara atau dengan memberi suatu tenaga listrik. Metode titik sumur, metode sumur dalam yang dihampa udarakan dan metode osmose elektrik didasarkan atas prinsip tersebut. Cara drainasi pasir dan metode sumbu kertas karton (*cardboard wicks*) seperti metode imbalan ukuran (*counter measures*) untuk lapisan yang lunak dapat juga disebut sebagai salah satu jenis metode drainasi paksaan karena cara diatas ini juga didasarkan pada prinsip yang sama, yaitu air pada tanah pondasi dikeringkan secara paksa dengan menempatkan beban pada tanah pondasi.

Dalam memilih metode drainasi berdasarkan tekstur tanahnya, yang terbaik adalah mengamati permeabilitasnya.



Gambar 69. Lengkung gradasi tanah dan daerah pemakaian metode drainasi

Secara umum dapat dikatakan, bahwa metode drainasi gravitasi cocok untuk lapisan dengan koefisien permeabilitasnya yang lebih besar dari 10^{-2} cm/det, sedang metode titik sumur dengan cara sumur dalam yang dihampa udarakan

dari metode-metode drainasi paksaan dapat diterapkan pada tanah dengan koefisien permeabilitas sekitar 10^{-2} - 10^{-5} cm/det. Berhubung adanya hubungan empiris antara koefisien permeabilitas tanah dengan pembagian ukuran butirnya, maka perkiraan kasar tentang harga koefisien permeabilitas mungkin dilakukan bila tersedia diagram lengkung pembagian butir tanah. Sebagai gambaran, hubungan pembagian ukuran butiran tanah dengan jangkauan penggunaan cara drainasi diperlihatkan dalam Gambar 69.

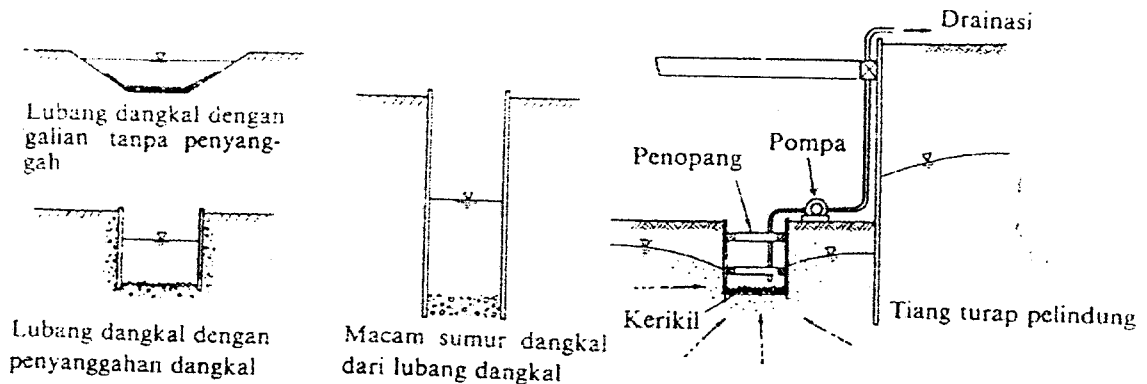
Jangkauan penggunaan metode drainasi yang dihampa udarakan juga diperlihatkan, sedang bagian dimana cara titik sumur lebih efektif adalah disebelah kanan pusat bagian jangkauan penggunaan seperti terlihat dalam grafik.

Bila pekerjaan telah dilaksanakan, metode tersebut dipilih dengan pertimbangan menyeluruh, tidak hanya berdasarkan data penyelidikan tanah saja, tapi juga terhadap pekerjaan-pekerjaan serta pengaruhnya terhadap lingkungan disekitarnya. Beberapa cara dikombinasikan dengan metode yang lain atau metode yang disempurnakan sebagian, kadang-kadang dipakai pula keadaan tertentu.

Melihat kenyataan bahwa bila lapisan berpasir yang rembes air itu tipis, mungkin lebih sesuai untuk memakai metode drainasi dengan aliran rembesan yang terpotong oleh suatu dinding halang atau suatu pemeriksaan pengisian dari metode lain juga tidak boleh dilewatkan.

4.4.2.1. Metode Drainase Dengan Alur Dangkal

Suatu metode drainasi dengan alur dangkal merupakan metode yang paling sederhana dari metode drainasi untuk pekerjaan-pekerjaan galian. Air yang masuk kedalam lubang galian ditampung dalam bak penampung yang digali cukup dalam dibawah dan disebut alur yang dangkal, dengan alat gali yang dipersiapkan disekitar dasar galian dan dari sini kemudian dikeringkan dengan pompa (Gambar 4.2). Alur dangkal tersebut bisa berbentuk bujur sangkar dengan sisi kira-kira 1 meter.



Gambar 70. Contoh metode drainasi lubang dangkal

Alur yang dangkal ini paling sering dibuat pada penggalian tanpa penahan atau turap kayu, tetapi pada beberapa kasus tertentu kadang-kadang ditanam juga pipa beton atau pipa besi. Bila rangkap turap kayu dibuat serta dipasang suatu penyekat maka diisi kerikil sepanjang sisi dan dasarnya. Fungsi kerikil ini sebagai penyaring yang mencegah masuknya butiran tanah halus kedalam alur yang dangkal tersebut. Sebagai pompa pengering keluar dapat dipakai berbagai jenis pompa yang paling sering dipakai adalah pompa air sederhana.

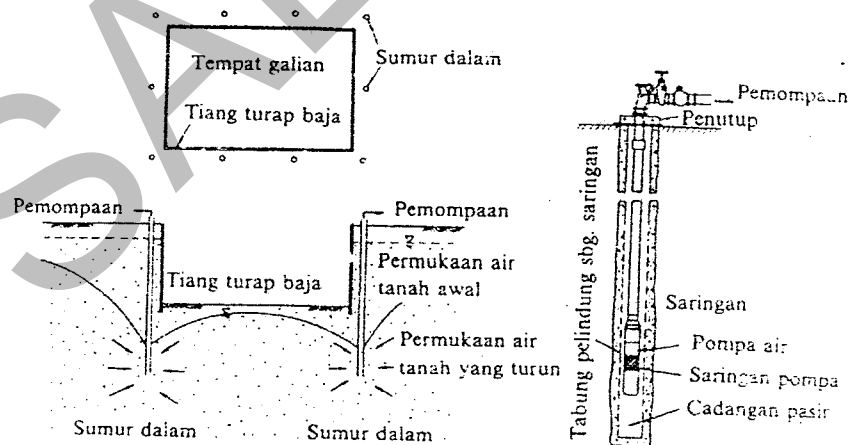
Dengan metode ini peralatannya sederhana dan pelaksanaan mudah, tetapi mungkin terjadi keruntuhan pada permukaan lereng tanah disekitarnya, karena beda tinggi tekanan air tanah menjadi besar, bila kecepatan penggalian cukup tinggi. Disamping itu bila lubang galian disekat dengan turap, sedemikian rupa hingga hanya memungkinkan aliran rembesan hanya melalui dasar galian, maka mungkin timbul *piping* atau *heaving* tergantung pada keadaan-keadaan lapangan, dan bagian bawah turap bisa terkikis sehingga menimbulkan cekungan dibelakang turap tersebut. Kondisi yang demikian bisa menjadikan kecelakaan yang besar, oleh karena itu perlu adanya perhatian khusus. Metode ini berguna bila tanahnya betul-betul aman terhadap air rembesan dan hanya ada sedikit air yang keluar.

4.4.2.2. Metode Drainase Sumuran Dalam

Metode drainasi sumuran dalam sangat efektif untuk menurunkan muka air tanah pada lapisan kerikil dengan rembesan yang tinggi. Biasanya sejumlah sumuran

dalam dengan diameter 40 – 60 cm dibuat di sekitar lubang galian dan dari situ air tanah dipompa keluar (Gambar 4.3). Berhubung untuk membuat satu lubang sumuran pada metode ini cukup memakan waktu maka tidak dibuat lubang dalam jumlah yang banyak. Sehubungan dengan itu bila metode ini dipakai pada tanah pondasi di mana berhasil memompa cukup banyak air dari satu lubang saja sehingga menurunkan muka air tanah dari suatu daerah yang cukup luas, ini berarti metode tersebut sangat efektif. Lapisan rembes air pada tanah pondasi harus cukup tebal dengan koefisien rembesan lebih besar 10^{-2} cm/det.

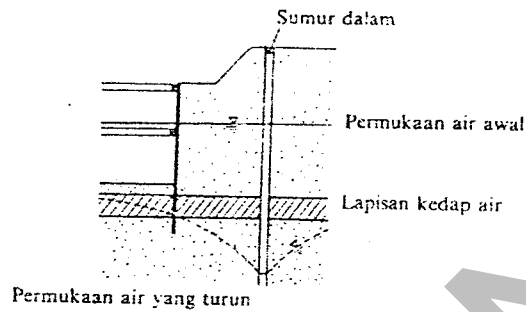
Karena cara sumuran dalam ini dilaksanakan pada tanah pondasi dengan koefisien rembesan yang tinggi, maka dengan menghentikan pemompaan di tengah-tengah pekerjaan membuat pemulihan permukaan air tanah secara langsung seperti yang disebabkan karena rintangan dalam pekerjaan. Dalam memompa air tanah, tinggi tekanan pompa maksimum adalah 6 meter jika metode kerja pemompaan yaitu dengan pompa hisap yang dipasang pada permukaan tanah pondasi, sedangkan dengan metode sumuran dalam cara pengeringan air yaitu dengan mendorong air tersebut dari dasar lubang ke atas dengan perantaraan pompa di bawah air, oleh karena itu, karakteristik metode sumuran dalam hal ini adalah tekanan pompa yang tak terbatas.



Gambar 71. Contoh metode sumuran dalam

Pada sebuah kasus terlihat bahwa walaupun daerah di dekat dasar galian terdiri dari lapisan kedap air, tetapi di bawah lapisan kedap air ini terdapat lapisan rembesan air dari air tanah artesis. Bila pada tempat semacam ini dilaksanakan

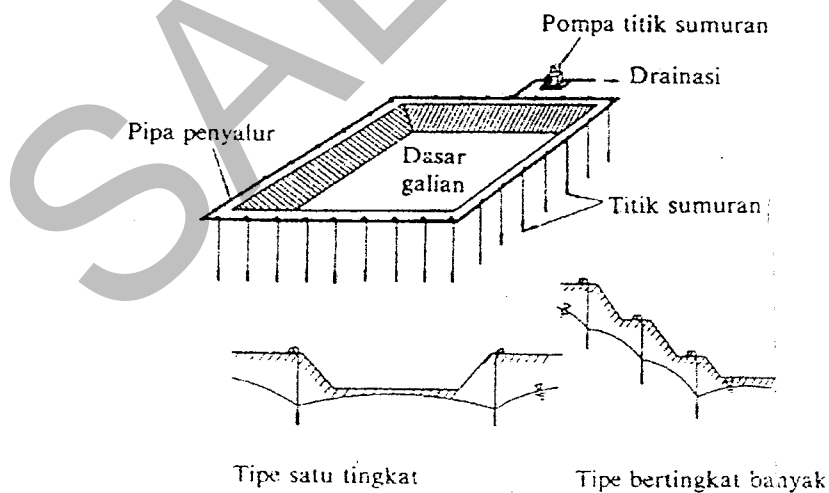
penggalian maka tekanan ke atas dari air tanah artesis ini melampaui tekanan tanah pada lapisan kedap tersebut mengakibatkan *heaving*. Pada satu saat pencaran air akan memancar dari bagian yang tipis pada lapisan kedap air tersebut. Timbulnya gejala ini sangat membahayakan sehingga perlu diusahakan penurunan tekanan air artesis tersebut seperti diperlihatkan pada Gambar 70.



Gambar 72. Sumuran dalam untuk pengurangan tekanan

4.4.2.3. Metode Titik Sumur

Metode titik sumur adalah suatu metode dengan membuat sejumlah sumur kecil atau titik sumur, yang dibuat pada kedua sisi atau di sekitar lubang galian dan air tanah yang mengalir ke lubang galian tersebut diputus dan dipaksa turun sampai bawah muka air tanah dengan jalan pemompaan yang terus menerus.



Gambar 73. Metode titik sumur

Dengan metode ini turunnya muka air tanah praktis tidak lebih dari 6 meter, yaitu dengan menggunakan drainasi vakum. Bila dalamnya galian besar sedangkan

diperlukan penurunan muka air tanah, maka dapat dicoba metode titik sumur dengan dua tahap.

Metode titik sumur ini berbeda dengan metode drainasi gravitasi dan dapat diterapkan secara luas, maksudnya jangkauan penerapannya mulai dari lapisan pasir dengan koefisien rembesan yang tinggi, hingga jenis tanah pondasi dengan nilai koefisien rembesan yang tidak terlalu baik berkisar antara $10^{-4} - 10^{-5}$ cm/det. Satu hal yang lebih penting adalah karena metode titik sumur ini bukanlah metode drainasi yang memompa air dalam jumlah besar, maka kemungkinan kecil terjadinya pengaruh buruk terhadap lingkungan sekitarnya. Disamping itu metode ini mempunyai keuntungan yaitu kadar air tanah dekat titik sumur berkurang banyak akibat drainasi vakum sehingga kekuatan tanah bertambah.

4.4.2.4. Metode Sumuran Dalam Dengan Vakum

Berhubung dalam metode sumuran dalam memakai prinsip aliran alami dengan gravitasi sebagai metode drainasinya, maka dibutuhkan waktu untuk mencapai penurunan muka air tanah, karena untuk jenis tanah dimana koefisien rembesannya kecil seperti pasir halus, maka volume air yang mengalir ke dalam sumur tersebut menjadi kecil dan selanjutnya jarak sumur umumnya lebar, oleh karena itu metode ini bertujuan meningkatkan volume pemompaan dengan cara memberi tekanan negatif pada sumur. Tekanan negatif diperoleh dengan cara menutup rapat-rapat kepala pipa pelindung pada sumur dan dihubungkan ke pompa vakum. Kenaikan volume pemompaan akibat tekanan negatif bervariasi terhadap tekanan negatif, koefisien rembesan tanah pondasi yang bersangkutan dan bangunan sumurnya sendiri, tetapi umumnya berkisar antara 30 – 50 %.

Metode ini dapat dipakai untuk jenis tanah dengan koefisien rembesan sekitar 10^{-3} cm/det, atau lebih sedangkan jangkauan penggunaannya lebih luas dari pada metode sumur dalam.

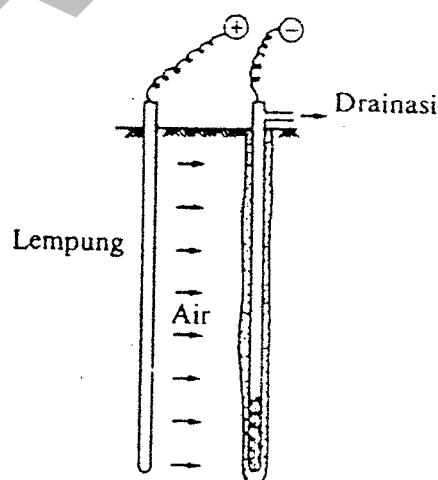
Pompa yang digunakan untuk memompa air dari dalam sumur setelah ujung pipa pelindung dihubungkan ke pompa vakum, biasanya dipergunakan pompa air biasa.

4.4.2.5. Metode Osmose - Elektris

Bila tanah pondasi adalah kohesif atau tanah berlanau, akan mempunyai koefisien rembesan yang rendah, maka drainasinya kadang-kadang sulit, walaupun dengan membuat vakum seperti metode-metode titik sumur. Dari berbagai contoh bangunan dilaporkan bahwa penggunaan metode osmose elektrik pada tanah pondasi yang demikian adalah efektif.

Osmose-elektris adalah suatu perwujudan dimana kadar air tanah bergerak dari elektroda positif pada saat tanah berbutir halus misalnya lempung yang jenuh diberi arus listrik secara langsung. Metode demikian ini disebut metode osmose listrik. Dengan kata lain, seperti terlihat pada Gambar 74 sumur merupakan elektroda negatif, lalu air terkumpul dipompa keluar dengan alat pompa.

Karena air di dekat elektroda positif bergerak ke elektroda negatif, kadar air berkurang dan kekuatan tanah bertambah, berarti memperbaiki stabilitas permukaan irisan tanah disekitar lubang galian. Metode ini bukan metode yang paling baik untuk menurunkan muka air tanah seperti metode yang bertujuan menyempurnakan lapisan tanah yang lunak dengan menaikkan kekuatan geser tanah pondasi tersebut.



Gambar 74. Prinsip osmosa elektronis

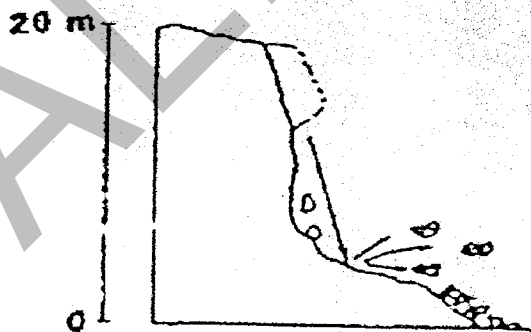
4.5. KARAKTERISTIK MASALAH KESTABILAN LERENG

Karakteristik masalah kestabilan lereng diklasifikasikan berdasarkan kriteria kriteria jenis gerakan, jenis material longsor, kecepatan gerakan, geometri, penyebab kelongsoran dan kondisi aktivitasnya. Pengetahuan tentang karakteristik masalah kestabilan lereng sangat penting untuk bahan masukan dan penentuan penanggulangan longsor dalam rangka penanganan lereng.

Masalah kestabilan lereng diklasifikasikan menjadi : Runtuhan (Falls), Pengelupasan (Topples), Aliran Tanah (Earth flow) dan Longsor (Slide).

4.5.1. Runtuhan (Falls)

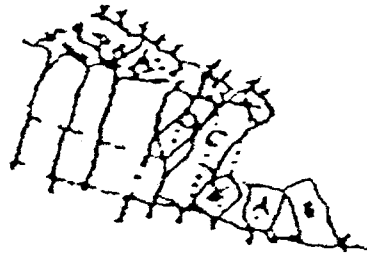
Gerakan massa jatuh melalui udara. Umumnya massa yang jatuh ini terlepas dari lereng yang curam dan tidak ditahan oleh suatu geseran dengan material yang berbatasan. Pada jenis runtuhan batuan umumnya terjadi dengan cepat dan ada kemungkinan tidak didahului dengan gerakan awal.



Gambar 75. Gerakan tanah Akibat Runtuhan

4.5.2. Pengelupasan (Topples)

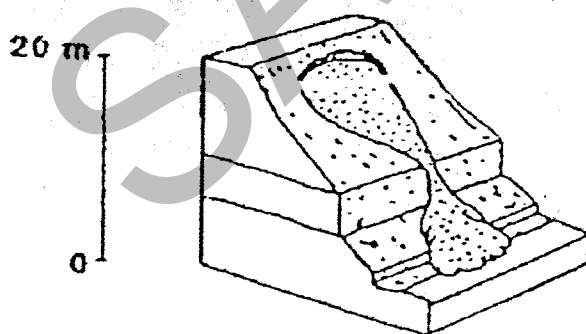
Gerakan ini berupa rotasi keluar dari suatu unit massa yang berputar terhadap suatu titik akibat gaya gravitasi atau gaya-gaya lain seperti adanya air dalam rekahan. Penjelasan terinci diberikan oleh de Freitas dan Watters (1973).



Gambar 76. Gerakan Tanah Akibat Pengelupasan

4.5.3. Aliran Tanah (Earth Flow)

Jenis gerakan tanah ini tidak dapat dimasukkan ke dalam kategori di atas karena merupakan fenomena yang berbeda. Pada umumnya jenis gerakan tanah ini terjadi pada kondisi tanah yang amat sensitif atau sebagai akibat dari gaya gempa. Bidang gelincir terjadi karena gangguan mendadak dan gerakan tanah yang terjadi umumnya bersifat cepat tetapi dapat juga lambat, misalnya pada rayapan / creep.

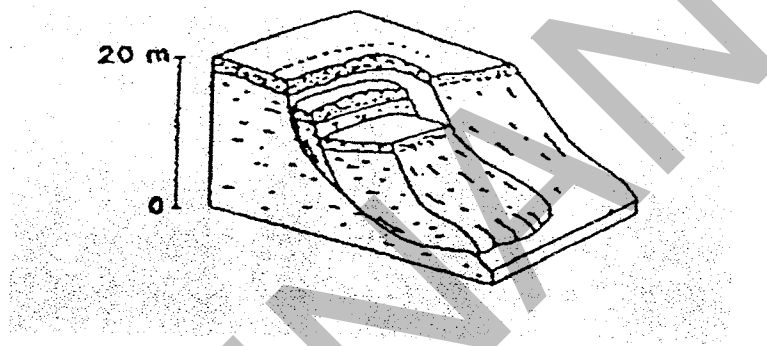


Note: 1 m = 3.3 ft

Gambar 77. Gerakan Tanah Akibat Aliran Tanah

4.5.4. Longsoran (Slides)

Dalam longsoran yang sebenarnya, gerakan ini terdiri dari peregangan secara geser dan peralihan sepanjang suatu bidang atau beberapa bidang gelincir yang dapat nampak secara visual. Gerakan ini dapat bersifat progresif yang berarti bahwa keruntuhan geser tidak terjadi seketika pada seluruh bidang gelincir, melainkan merambat dari suatu titik. Massa yang bergerak menggelincir di atas lapisan batuan / tanah asli dan terjadi pemisahan (separasi) dari kedudukan semula. Sifat gerakan biasanya lambat hingga amat lambat.

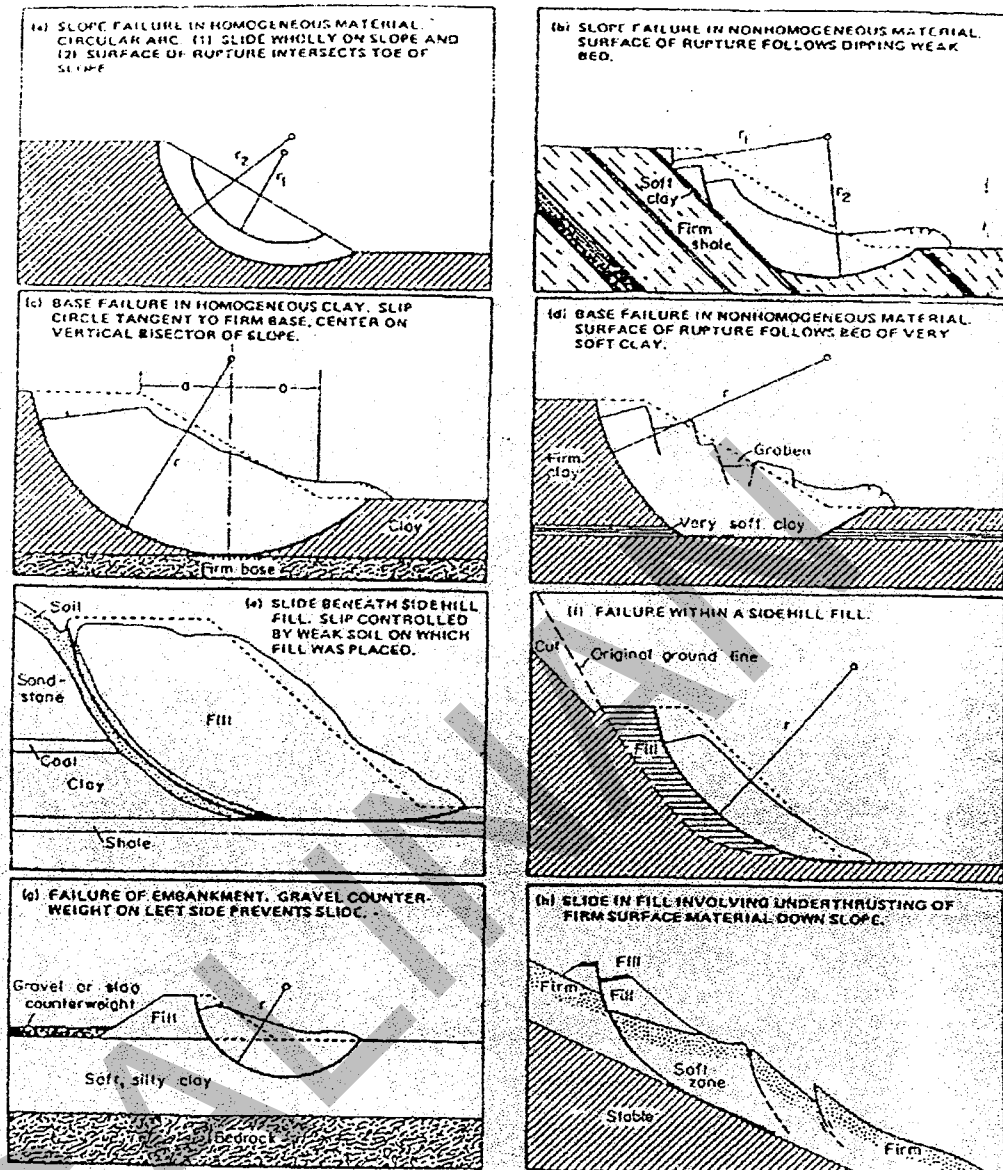


Gambar 78. Gerakan Tanah Akibat Longsoran

Berdasarkan bentuk bidang gelincirnya gerakan tanah akibat longsoran dapat dibagi menjadi 2 (dua) kategori yaitu longsoran rotasi dan longsoran translasi.

4.5.4.1. Longsoran Rotasi

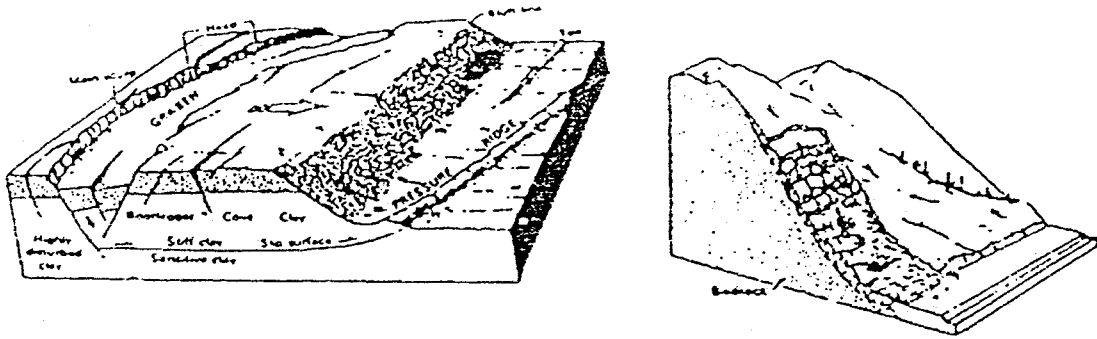
Longsoran rotasi adalah yang paling sering dijumpai oleh para rekayasawan sipil. Longsoran jenis rotasi ini dapat terjadi pada batuan maupun pada tanah. Pada kondisi tanah homogen, longsoran rotasi ini dapat berupa busur lingkaran, tetapi dalam kenyataan sering dipengaruhi oleh adanya diskontinuitas oleh adanya sesar, lapisan lembek dan lain-lain. Analisis kestabilan lereng yang mengasumsi bidang longsoran berupa busur lingkaran dapat menyimpang bilamana tidak memperhatikan hal ini. Gambar 79 memberikan ilustrasi beberapa jenis longsoran rotasi.



Gambar 79. Jenis Jenis Longsoran Rotasi (Varnes, 1958)

4.5.4.2. Longsoran Translasi

Dalam longsoran translasi, suatu massa bergerak sepanjang bidang gelincir berbentuk bidang rata. Perbedaan terhadap longsoran rotasi dan translasi merupakan kunci penting dalam penanggulangannya. Gerakan dan longsoran translasi umumnya dikendalikan oleh permukaan yang lembek. Longsoran translasi ini dapat bersifat menerus dan luas dan dapat pula dalam blok



Gambar 80. Ilustrasi Skematik Longsoran Translasi (TRB, 1978)

5. PENYELIDIKAN DAN PENGUJIAN

5.1. TAHAP PENGUMPULAN DATA

Data data yang dikumpulkan pada tahap ini merupakan data data pendukung yang berbentuk data sekunder sebagai bahan masukan bagi penyelidikan lebih lanjut. Data data sekunder tersebut antara lain : Peta topografi, peta geologi, profil geoteknik, foto udara, tata guna lahan dan data curah hujan.

5.1.1. Peta Topografi

Peta topografi dapat memberikan gambaran mengenai kemiringan lereng, relief, kerapatan sungai, pola aliran, ketinggian dan bentuk morfologi. Dari peta topografi ini dapat ditafsirkan juga mengenai tingkat erosi suatu daerah. Pembagian sudut lereng suatu daerah dapat dibuat dengan selang sudut 0–5 %, 6-15 %, 16-30 %, 31-70 % dan lebih dari 70 %. Longsoran umumnya terjadi pada sudut lereng 15-70 %, karena tempat tersebut sering ditempati batuan lempung, dan bahan rombakan yang mudah longsor.

Relief-relief kecil seperti tebing jalan raya, jalan kereta api, tebing penggalian batu, tebing saluran perlu dicatat karena dapat mengundang terjadinya longsor. Relief-relief tersebut mungkin tidak tampak dalam peta topografi skala kecil. Gabungan antara kerapatan sungai dan kemiringan lereng akan memberikan data yang lebih baik. Umumnya daerah yang berkerapatan sungai tinggi mempunyai kecenderungan longsor lebih besar.

Peta topografi dapat diperoleh di Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi dengan skala yang tersedia 1 : 25.000; 1 : 50.000; dan 1 : 100.000 serta 1 : 200.000, atau Jawatan Topografi Angkatan Darat. Untuk keperluan penyelidikan yang lebih terinci dan perencanaan perlu dilakukan pengukuran, dengan skala antara 1 : 200 sampai 1 : 2000. Dalam pengukuran ini dilengkapi pula dengan pembuatan penampang melalui tempat-tempat yang diperlukan.

5.1.2. Peta Geologi

Peta geologi yang tersedia dari daerah yang terlanda gerakan tanah dapat memberikan keterangan keadaan geologi. Keterangan yang perlu dicatat dalam studi persiapan meliputi sebaran batuan baik vertikal maupun lateral, struktur geologi dan sejarah geologi.

Peta ini dapat diperoleh dari instansi (Direktorat geologi) dengan skala 1 : 250 000. Peta ini memberikan informasi kondisi geologi daerah tertentu (sekitar lokasi) walaupun secara kasar. Dari peta geologi ini dapat diketahui informasi batuan, proses pembentukannya, umur geologi suatu lapisan, struktur geologi dan lainnya.

5.1.3. Profil Geoteknik

Profil geoteknik digunakan sebagai referensi dan data sekunder untuk mengetahui kondisi umum karakteristik tanah dan atau batuan di sekitar kawasan dimana lereng berada.

5.1.4. Foto Udara

Apabila tersedia photo udara area lokasi dan sekitarnya, akan sangat membantu dalam memperkirakan formasi bantuan dasar dan kelembabannya dengan mengamati jenis-jenis vegetasi, penyebaran serta kesuburannya. Dengan photo udara ini dapat pula diperkirakan lokasi rawan gerakan tanah dan patahan serta lipatan.

5.1.5. Tata Guna Tanah

Peta tata guna tanah digunakan sebagai referensi dan data sekunder untuk mengetahui kondisi umum peruntukan lahan di sekitar kawasan dimana lereng berada. Peta tata guna tanah yang digunakan dapat berupa peta tata guna eksisting maupun peta tata guna tanah rencana yang tertuang di dalam Rencana

Tata Ruang Wilayah (RTRW), sebagai bahan masukan dan pertimbangan dalam perencanaan lereng dari aspek tata ruang dan lingkungan.

5.1.6. Data Curah Hujan

Dalam penanganan lereng, data curah hujan digunakan sebagai referensi dan data sekunder untuk mengetahui kondisi intensitas dan curah hujan di kawasan dimana lereng tersebut berada. Data curah hujan digunakan sebagai dasar acuan untuk perhitungan hidrologi, yang selanjutnya menjadi bahan masukan dan pertimbangan dalam penanganan lereng ditinjau dari aspek hidrologi.

Data curah hujan dapat diperoleh dari kantor BMG (Badan Meteorologi dan Geofisika). Apabila data tidak tersedia, maka dapat juga digunakan peta hujan sebagai pendekatan. Data curah hujan juga dapat diperoleh dari Dinas Pertanian di daerah-daerah.

5.2. TAHAP PENYELIDIKAN PENDAHULUAN

Penyelidikan pendahuluan dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran umum daerah longsor. Gambaran tersebut mencakup luas daerah yang terlibat, jenis longsor, kedalaman bidang longsor, penyebab longsor dan bila mungkin keaktifannya. Perlu juga dipelajari bila ada metoda penanggulangan yang telah dilakukan disekitar lokasi, apakah berhasil atau tidak, hal ini penting sebagai bahan pertimbangan untuk menentukan langkah penanggulangannya.

Bila konstruksi penanggulangan berhasil dan akan digunakan sebagai model, maka tidak diperlukan penyelidikan terinci lagi. Bila penanggulangan tersebut tidak berhasil, perlu dilakukan penyelidikan terinci, apakah ada faktor-faktor yang belum diperhitungkan dalam perencanaannya.

Daam tahap penyelidikan pendahuluan dapat dilakukan pekerjaan yang meliputi pemetaan topografi, pemetaan geologi teknik, pendugaan geofisika, penggalian sumur dan parit uji; dan pengamatan visual (ciri, jenis, penyebab longsor).

5.2.1. Pemetaan Topografi

Pemetaan topografi diperlukan sebagai peta dasar untuk penyelidikan selanjutnya. Oleh karena itu peta topografi harus dapat memberikan gambaran keadaan lapangan di daerah longsor dengan baik. Di samping itu peta topografi tersebut dipakai pula dalam pekerjaan desain. Sebagai kelengkapan dalam pemetaan topografi ini dilakukan pula pengukuran penampang profil di tempat-tempat yang dipandang perlu.

5.2.2. Pemetaan Geologi Tanah

Pemetaan geologi teknik dimaksudkan untuk mengetahui jenis dan sebaran batuan dan struktur geologi, juga mencakup proses geologi yang berkaitan dengan longsor, dan prakiraan tata air tanah di daerah penyelidikan.

5.2.3. Pendugaan Geofisika

Pendugaan geofisika didasarkan pada prinsip pengukuran sifat fisika tanah/batuan. Pekerjaan ini dilakukan dengan metoda seismik dan geolistrik. Dari kedua cara tersebut dapat diperoleh data bawah permukaan, seperti susunan lapisan tanah/batuan, kondisi air tanah dan dugaan kedalaman bidang longsor. Metoda ini digunakan untuk longsor yang mencakup daerah yang luas, dengan keuntungan biaya relatif murah dan hasilnya bisa segera diperoleh. Untuk ketepatan hasil pendugaan dilakukan juga pembuatan sumur uji.

5.2.4. Sumur Uji (Test Pit)

Sumur dan parit uji dilakukan untuk mengetahui keadaan bawah permukaan, terutama tanah, dengan jalan membuat galian baik secara manual maupun masinal. Dari penggalian sumur dan parit uji ini dilakukan pengambilan contoh tanah dan batuan untuk pengujian di laboratorium dan dapat pula dilakukan pengujian lapangan.

5.2.5. Pengamatan Visual

Pengamatan visual (ciri, jenis, dan penyebab longsor) dilakukan untuk memperoleh gambaran umum. Berdasarkan gambaran umum tersebut diharapkan dapat diambil putusan untuk tahap pekerjaan berikutnya. Untuk kasus-kasus tertentu dengan dasar gambaran umum dapat dibuat perencanaan untuk penanggulangan longsor, juga merupakan titik tolak untuk menentukan tahap pekerjaan berikutnya, yaitu penyelidikan terinci.

5.3. TAHAP PENYELIDIKAN TERINCI

5.3.1. Penyelidikan Lapangan

Penyelidikan lapangan dimaksudkan untuk mengetahui kondisi tanah secara umum berdasarkan pengalaman empiris maupun untuk mengambil sampel tanah guna penyelidikan lebih lanjut di laboratorium.

Pengujian di lapangan dilakukan untuk mendapatkan sifat teknis tanah/batuan pada keadaan aslinya. Pengujian ini dilakukan karena pengujian di laboratorium terhadap contoh yang diambil tidak dapat mewakili keadaan sebenarnya di lapangan. Pengujian di lapangan mencakup uji geser baling, uji penetrasi standar (SPT), sondir, kelulusan air, pressure meter, geser langsung, dan membuat penampang tanah/batuan.

Uji lapangan memiliki keuntungan karena praktis, cepat dan murah. Di samping dengan uji lapangan bisa diperoleh profil tanah secara kontinu. Namun demikian pada uji lapangan, parameter tanah diperoleh berdasarkan suatu korelasi empiric yang membutuhkan verifikasi dari uji laboratorium, disamping itu uji lapangan pada umumnya berlaku untuk kondisi tidak terdrainase.

Salah satu keuntungan lain dengan uji lapangan bahwa lokasi bidang gelincir pada lereng yang telah mengalami longsor dapat dideteksi karena pada lokasi tersebut kuat geser tanah mendekati nol.

Jenis penyelidikan di lapangan mencakup pengujian sebagai berikut :

- Pengeboran dan pengambilan sampel.
- Standard Penetration Test (SPT)
- Uji Sondir (Cone Penetration Test/CPT)
- Vane Shear Test (VST) dan Borehole Shear Test (BST)
- Survey Refraksi
- Geolistrik
- Dan lain-lain

Jumlah pengujian perlu direncanakan seksama untuk memperoleh gambaran mengenai mekanisme longsor. Contoh tanah tak terganggu ditentukan pada kedalaman tertentu agar representatif kondisi lapangan dan kedalamannya harus lebih dari perkiraan bidang gelincir dan bilamana mungkin mencapai tanah keras atau batuan.

5.3.2. Pengujian Laboratorium

Peranan uji laboratorium adalah untuk mendapatkan parameter tanah yang lebih teliti dan dapat disesuaikan dengan kondisi dalam pemodelan (analisis jangka pendek atau jangka panjang). Peranan uji laboratorium dapat juga untuk verifikasi korelasi yang digunakan dalam hal diperlukan suatu profil kontinu dari uji lapangan. Pengujian di laboratorium dilakukan dengan tujuan untuk identifikasi dan mengetahui sifat teknisnya.

Jenis pengujian di laboratorium yang diperlukan untuk penyelidikan tanah antara lain :

- Indeks Properties Tanah
- Uji Triaxial UU, CU, CD
- Uji kuat tekan bebas (Unconfined Compression Test)
- Uji geser langsung
- Uji Konsolidasi

Macam pengujian laboratorium dan aplikasinya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 5.1. Macam Pengujian Laboratorium Dan Aplikasinya

MACAM PENGUJIAN	TANAH		BATUAN		APLIKASI
	Berkoheesi	Tak Berkoheesi			
1. Berat Isi	o	o	o	SIFAT - SIFAT FISIK	• Perhitungan Tekanan
2. Kadar Air	o	o	o		• Klasifikasi dan Konsistensi
3. Batas-batas Atterberg	o	-	-		• Klasifikasi dan Korelasi Sifat-sifat Tanah
4. Batas Susut	o	-	-		• Potensi Pengembangan
5. Kepadatan Relatif	-	o	-		• Pemadatan
6. Analisa Butir	o	o	-		• Klasifikasi, Taksiran Ke-lulusan, Disain Filler DII
7. Mineralogi	o	-	o		• Identifikasi
8. Kelekangan	-	-	o		• Identifikasi
1. Geser Langsung	o	o	o	SIFAT - SIFAT TEKNIK	• Analisis Kemantapan Lereng
2. Triaksial	o	o	o		• Analisis Kemantapan Lereng
3. Kuat Tekan Bebas	o	-	o		• Analisis Kemantapan Lereng
4. Kelulusan Air	o	o	-		• Analisis Drainase, Penentuan Lapisan Pembawa air
5. Pemadatan	o	o	-		• Kontrol Pemadatan, Analisis Kemantapan Lereng.

Keterangan : o = Perlu Uji - = Tidak Perlu Uji

5.4. INSTRUMENTASI DAN PENGUJIAN

5.4.1. Tujuan Instrumentasi

Manfaat dari instrumentasi ini adalah untuk identifikasi gerakan tanah dan longsoran, untuk memantau pergerakan dari lereng yang sudah diperbaiki, dan untuk tindakan pengamanan suatu daerah yang berpotensi longsor. Instrumentasi dapat memberikan informasi yang amat penting bagi studi longsoran.

Situasi yang menghendaki instrumentasi dapat disebutkan diantaranya :

1. Untuk menentukan kedalaman dan bentuk dari bidang gelincir.
2. Untuk menentukan gerakan lateral dan vertikal dari massa yang bergerak.
3. Untuk menentukan kecepatan gerakan tanah.
4. Untuk memonitor lereng yang kritis.
5. Untuk memonitor muka air tanah.
6. Untuk memberikan peringatan akan bahaya kritis dari longsoran.
7. Untuk memonitor dan mengevaluasi efektivitas dari tindakan remedial.

5.4.2. Perencanaan Instrumentasi

Agar instrumentasi dapat berguna, suatu perencanaan awal diperlukan. Langkah-langkah untuk merencanakan instrumentasi sebagai berikut :

- Menentukan pola dan jenis gerakan tanah
- Menentukan atau memperkirakan bidang gelincir
- Memperkirakan elevasi muka air tanah dan tekanan air pori eksese
- Menentukan jenis alat yang diperlukan
- Memilih jenis instrumen yang paling sesuai
- Menentukan jumlah, lokasi dan kedalam instrumen
- Merencanakan teknik pencatatan

Pada awalnya, proses perencanaan memerlukan pengembangan ide dari sebab-sebab longsoran atau batas yang mungkin dari kedalaman dan batas-batas

pergerakan dari bidang gelincir. Pengenalan kondisi lapangan, mempelajari geologi lokal, peninjauan catatan hujan, dan observasi dari topografi, khususnya perubahan-perubahan topografi yang terbelakang dapat memberikan kunci jawaban.

Pemasangan instrumentasi pada lokasi yang salah atau tidak dukup dalam hingga di bawah bidang longsor atau tidak sesuai dengan tujuannya adalah pembuangan waktu dan biaya. Kehilangan waktu dapat merugikan karena bila longsor telah kritis, tindakan korektif mungkin terlambat.

5.4.3. Jenis Pengukuran yang Dibutuhkan

Pengukuran yang diperlukan pada studi longsor meliputi :

- daerah pergerakan tanah
- besar dan arah pergerakan
- kecepatan pergerakan
- distribusi dari pergerakan
- tekanan air pori

bila kedalaman bidang gelincir sudah diketahui oleh observasi visual, pengukuran di permukaan mungkin sudah mencukupi untuk mendapatkan informasi kecepatan pergerakan massa tanah. Pengukuran pergerakan vertikal dan horizontal dari lereng yang longsor harus diperoleh. Kedalaman gawir, lebarnya retakan dan longsor di kaki lereng harus diperhatikan. Arah pergerakan tanah sering dapat disimpulkan dari pola retakan. Tekanan air pori di sekitar daerah bidang gelincir harus diukur untuk memungkinkan analisis dengan tegangan efektif.

5.4.4. Pemilihan dan Penentuan Jenis Instrumentasi

Pemilihan dan penentuan jenis instrumentasi yang dipilih harus disesuaikan kebutuhannya. Pemasangan instrumen di daerah gerakan tanah dimaksudkan untuk memantau alihan di permukaan / di bawah permukaan, beban dan

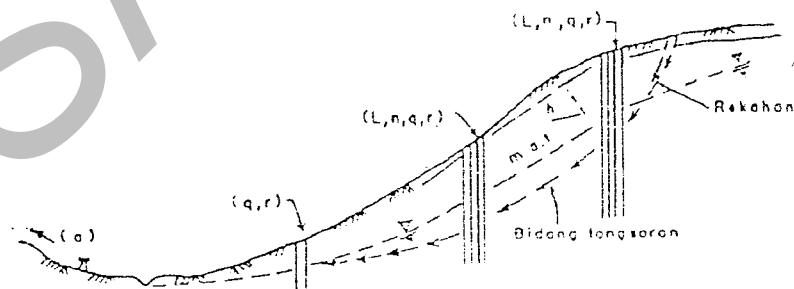
tekanan. Jenis instrumen yang umum dipasang di daerah gerakan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Instrumentasi Di Daerah Gerakan Tanah

TUJUAN PENGAMATAN	INSTRUMEN	MATERIAL	
		Tanah	Batu
Gerakan Di Permukaan	1. Patok Geser 2. Strainmeter	o o	o o
Gerakan Di Bawah Permukaan	1. Inklinometer 2. Deflektometer 3. Shear Strip Indicator 4. Acoustical Emission	o - o o	o o o o
Beban Dan Tekanan	1. Pisometer 2. Strainmeter	o -	o o

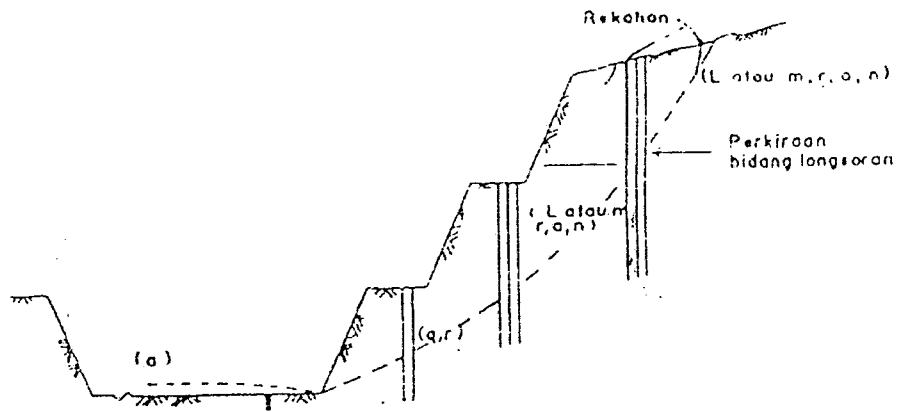
Keterangan : o = Diperlukan
- = Tidak Diperlukan

Penentuan jenis instrumen yang akan dipasang tentunya harus disesuaikan dengan tujuan pengamatan. Gambar 81 dan Gambar 82. memperlihatkan jenis instrumen dan tempat pemasangannya di daerah gerakan tanah dan lereng galian. Dengan memasang instrumen dapat diketahui gerakan yang mungkin terjadi dan berguna untuk sistem peringatan dini.



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

Gambar 81. Skema Pemasangan Instrumen Di Daerah Gerakan tanah



Keterangan :

- L : Inklinometer
- m : Deflektometer
- n : Shear strip indicator
- q : Acoustical emission
- r : Pisometer
- a : Patok geser

Gambar 82. Skema Pemasangan Instrumen Di Daerah Galian

6. PERENCANAAN LERENG

6.1. DASAR PERENCANAAN

Dasar perencanaan lereng merupakan bagian yang tak terpisahkan dari perencanaan teknis jalan dan jembatan. Perencanaan lereng didasarkan pada hasil analisis stabilitas terhadap potensi keruntuhan yang mungkin terjadi, baik keruntuhan akibat tekanan lateral tanah maupun keruntuhan akibat kelongsoran pada bidang longsornya.

6.1.1. Aspek Yang Harus Dipertimbangkan

Aspek aspek yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan lereng mencakup kondisi - kondisi sebagai berikut : geometrik jalan, topografi, geologi, geoteknik, hidrologi dan drainase, lingkungan dan ketersediaan bahan.

6.1.1.1. *Kondisi Geometrik Jalan*

Kondisi geometrik jalan, baik menyangkut alinyemen vertikal maupun alinyemen horisontal, sangat dipengaruhi oleh spesifikasi teknis dari klasifikasi jalan yang direncanakan serta kondisi topografinya, sehingga kondisi geometri jalan berpengaruh terhadap perencanaan lereng jalan, khususnya menyangkut dimensi dan bentuk lereng jalan. Aspek geometrik jalan yang berpengaruh dalam kaitannya dengan perencanaan lereng antara lain aspek jarak pandang dan aspek kebebasan samping.

Pada kondisi geometrik jalan yang lurus penentuan dimensi dan bentuk lereng jalan relatif lebih bebas dan leluasa, karena pada bentuk geometri jalan yang lurus ini jarak pandang dan kebebasan samping relatif kurang mempengaruhi dalam penentuan dimensi dan bentuk lereng jalan. Sedang pada kondisi geometrik jalan yang berbelok penentuan dimensi dan bentuk lereng jalan sangat dipengaruhi oleh jarak pandang dan kebebasan samping.

6.1.1.2. Kondisi Topografi

Kondisi topografi merupakan salah satu aspek yang sangat penting dalam perencanaan lereng khususnya dalam menentukan posisi, bentuk dan dimensi lereng, mengingat bentuk topografi sangat berpengaruh dalam perencanaan geometrik jalan.

Pada kondisi topografi datar, perencanaan lereng yang banyak dijumpai umumnya adalah perencanaan lereng berupa lereng timbunan tanah untuk embankment, mengingat pada kondisi topografi datar sangat jarang terjadi adanya galian tanah untuk meletakkan elevasi permukaan jalan rencana dalam konteks perencanaan alinyemen vertikal.

Sedang pada kondisi topografi bukit dan gunung perencanaan lereng dapat berupa perencanaan lereng daerah galian maupun perencanaan lereng daerah timbunan untuk embankment, karena hasil perencanaan geometrik pada kondisi topografi bukit dan gunung bisa sangat bervariasi karena tuntutan spesifikasi teknis dari klasifikasi jalan yang direncanakan.

6.1.1.3. Kondisi Geologi

Kondisi geologi merupakan salah satu aspek yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan lereng jalan sebagai salah satu bagian yang tidak terpisahkan dari perencanaan teknis jalan. Kondisi geologi secara umum menginformasikan mengenai kondisi makro geologi regional atau wilayah, dan menjadi salah satu bahan masukan dan pertimbangan dalam perencanaan teknis jalan secara keseluruhan.

Aspek aspek kondisi makro geologi regional atau wilayah yang menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan lereng antara lain :

(a). Fabric

Discontinuitas dalam material geologi mulai dari rentang mikroskopis hingga sebesar joint dan bidang rekahan. Adanya bidang lemah ini memberikan andil yang besar pada kestabilan lereng.

(b) Struktur Geologi

Posisi joint dan sesar perlu dipelajari sebagai bidang yang berpotensi menyebabkan longsor

(c) Air Tanah

Geologi mempengaruhi aliran air tanah, arah, tekanan dan gradiennya dalam suatu lereng. Adanya air mempengaruhi kekuatan material dengan memberikan perubahan kimiawi dan larutan, gaya-gaya kapiler, peningkatan tekanan air pori yang berdampak langsung terhadap kuat geser dan mekanisme pelembehan pada tanah lempung teguh yang memiliki rekahan.

(d) Kegempaan

Beberapa longsor terjadi karena peristiwa gempa. Gaya gempa meningkatkan besarnya tegangan geser dan pada tanah pasir memberikan pengaruh pada peningkatan tekanan air pori. Likuifaksi dari lensa pasir dan lanau dapat menjadi penyebab longsor secara progresif.

(e) Tegangan Awal Dalam Tanah

Geologi suatu daerah memberikan pengaruh kepada besarnya tegangan awal di lapangan sebagai akibat berat sendiri material, aktivitas tektonik, erosi dan proses geologi yang lain

(f) Pelapukan

Menurut Blith dan Freitas (1974), perubahan kimiawi akibat pelapukan dapat terjadi dalam waktu singkat (hanya beberapa hari saja). Kecepatan dari proses ini tergantung pada jenis material, iklim, karakteristik aliran, dan lain-lain.

(g) Aktivitas longsor yang terdahulu

Geologi lokal suatu daerah amat berguna untuk mengerti aktivitas longsor dahulu dan pada saat sekarang ini. Pencirian dari suatu daerah dimana pernah terjadi longsor dahulu merupakan pertimbangan yang penting dalam studi mengenai longsor.

6.1.1.4. Kondisi Geoteknik

Kondisi geoteknik pada kawasan yang menjadi obyek perencanaan merupakan data masukan dan bahan pertimbangan yang sangat penting dalam perencanaan teknik jalan khususnya dalam perencanaan lereng jalan. Kondisi geoteknik merupakan elemen penting dalam proses perencanaan lereng jalan, khususnya dalam rangka analisis stabilitas yang sangat dipengaruhi oleh kebenaran dan validitas data masukan dari aspek geoteknik.

Aspek aspek kondisi geoteknik yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan lereng jalan mencakup :

- karakteristik tanah
- kuat geser tanah
- berat isi tanah
- permeabilitas tanah
- tekanan air pori.

6.1.1.5. Kondisi Hidrologi dan Drainase

Kondisi hidrologi dan drainase pada kawasan yang menjadi obyek perencanaan merupakan data masukan dan bahan pertimbangan yang sangat penting dalam perencanaan teknik jalan khususnya dalam perencanaan lereng jalan, mengingat kondisi hidrologi dan drainase mempunyai kontribusi yang cukup penting dalam menentukan bentuk struktur penanganan lereng jalan.

Aspek hidrologi yang menjadi masukan dan bahan pertimbangan dalam perencanaan lereng mencakup :

- curah hujan
- intensitas hujan
- kawasan tangkapan hujan (catchment area) yang mempengaruhi tapak rencana lereng jalan
- daerah aliran sungai (DAS) yang mempengaruhi tapak rencana lereng jalan

Sedang aspek drainase mencakup :

- permeabilitas tanah
- karakteristik kondisi sistem drainase permukaan eksisting.

6.1.1.6. Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan makro dan mikro pada kawasan yang menjadi obyek perencanaan merupakan data masukan dan bahan pertimbangan yang cukup berpengaruh dalam perencanaan lereng jalan, khususnya dalam menentukan posisi, dimensi dan bentuk struktur lereng jalan.

Kondisi lingkungan makro harus dipertimbangkan mengingat aspek lingkungan makro mempunyai pengaruh yang cukup kuat terhadap keberadaan dan stabilitas lereng jalan.

Kondisi lingkungan makro yang dimaksud antara lain :

- kondisi eksisting tata guna lahan kawasan
- karakteristik dari kawasan yang ditinjau apakah termasuk kawasan urban (perkotaan) atau kawasan rural (pedesaan).

Sedang kondisi lingkungan mikro intensitas pertimbangannya harus lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi lingkungan makro, karena pada kondisi lingkungan mikro aspek permasalahan menjadi lebih rinci dan terfokus, sehingga upaya untuk mengakomodasikan kondisi lingkungan mikro dalam perencanaan lereng jalan juga lebih rinci dan terfokus.

Kondisi lingkungan mikro yang dimaksud antara lain :

- kondisi eksisting peruntukan lahan di sekitar rencana tapak lereng
- keberadaan kawasan sensitif di sekitar rencana tapak lereng
- keberadaan bangunan di sekitar rencana tapak lereng
- aksesibilitas kawasan di sekitar rencana tapak lereng
- Ketersediaan lahan
- Estetika kawasan

- Gangguan selama pelaksanaan fisik konstruksi
- Keselamatan pada saat konstruksi dan pasca konstruksi

6.1.1.7. Ketersediaan Bahan

Ketersediaan bahan atau material menjadi salah satu bahan masukan dan pertimbangan dalam perencanaan lereng, khususnya dalam menentukan jenis atau bentuk konstruksi lereng serta akan mempengaruhi tingkat ekonomis dari perencanaan lereng. Pemilihan jenis atau bentuk konstruksi lereng tanpa memperhitungkan ketersediaan bahan atau material, tidak akan menghasilkan penanganan lereng yang optimal dan tidak akan menghasilkan perencanaan lereng yang ekonomis.

Selain ketersediaan bahan, ketersediaan alat alat pendukung untuk konstruksi penanganan lereng juga harus menjadi bahan pertimbangan guna menghasilkan penanganan lereng jalan yang optimal dan ekonomis.

6.1.2. Parameter Perencanaan Lereng

Sebagian parameter perencanaan lereng secara eksplisit sudah diuraikan pada sub bab 4 yang mendeskripsikan tentang stabilitas lereng khususnya pada point 4.2.1.3. yang membahas tentang parameter tanah dan batuan. Secara umum parameter parameter teknis yang diperlukan untuk perencanaan lereng mencakup : bidang longsor, parameter tanah dan batuan, faktor gempa dan faktor keamanan, yang secara lebih rinci dijelaskan dalam deskripsi deskripsi berikut.

6.1.2.1. Bidang Longsor

Bentuk dan kedalaman bidang longsor sangat penting dalam analisis kemantapan lereng untuk menentukan dimensi dan stabilitas penanggulangan yang dipilih. Bidang longsor juga penting dalam menentukan letak dan kedalaman struktur penanggulangan.

6.1.2.2. Parameter Tanah / Batuan

6.1.2.2.1. Lereng Alam

Pada lereng alam parameter parameter teknis yang harus diketahui antara lain :

- Kemiringan lereng
- Jenis lapisan tanah
- Kuat geser
- Aliran air bawah
- Kecepatan pelapukan

Sedang aspek-aspek lain yang perlu dipelajari adalah kondisi geologi, topografi lokasi dan gangguan terhadap lereng alam seperti beban lalu lintas, karena semua aspek tersebut berpengaruh terhadap kestabilan lereng alam.

6.1.2.2.2. Lereng Buatan

Lereng buatan dibedakan dalam kategori lereng akibat timbunan dan lereng akibat galian.

6.1.2.2.2.1. Lereng Pada Timbunan

a) Timbunan Tanah Tak Berkohesi Di Atas Lapis Tanah Kokoh

Parameter parameter teknis yang mempengaruhi kestabilan dari lereng timbunan tanah tak berkohesi tergantung kepada :

- Sudut geser dalam dari bahan timbunan
- Kemiringan lereng
- Tekanan air pori

Mekanisme keruntuhannya biasanya merupakan gelincir dangkal yang dapat dianalisa dengan cara sederhana.

Nilai sudut geser dalam (ϕ') untuk analisis kestabilan dapat ditentukan dengan uji triaxial terdrainase (CD-test) atau uji geser langsung atau dengan korelasi dengan *gradasi material*, *kepadatan relatif* dan bentuk partikel berdasarkan data penyelidikan tanah. Tekanan air pori akibat rembesan melalui timbunan akan menurunkan kestabilan lereng tetapi tekanan air hidrostatik dengan level yang sama di dalam dan luar timbunan tidak mempunyai pengaruh.

Lereng dari pasir halus, pasir kelanauan dan lanau dapat mengalami erosi akibat aliran di permukaan. Lereng yang jenuh dapat mengalami likuifaksi dan longsor aliran (flow-slides) akibat gempa. Untuk menghindari bahaya ini, kepadatan relatif tanah timbunan harus mencapai di atas 75%.

b) Timbunan Tanah Kohesif Di Atas Lapisan Kokoh

Parameter parameter teknis yang mempengaruhi kestabilan lereng dari timbunan tanah kohesif seperti lempung, pasir kelepungan dan danau kelepungan tergantung kepada :

- Kuat geser tanah timbunan (c dan ϕ atau c' dan ϕ')
- Berat isi tanah timbunan
- Tinggi tanah timbunan
- Kemiringan lereng
- Tekanan air pori

Mekanisme keruntuhan biasanya berupa gelincir lingkaran yang menyinggung lapisan kokoh tersebut. Analisis kestabilan dilakukan dengan :

1. Analisis Kestabilan Jangka Pendek

Analisis ini berlaku saat pelaksanaan penimbunan (end of constrution) dengan menggunakan cara tegangan total (total stress analysis). Parameter tanah ditentukan dari uji triaxial UU pada contoh tanah yang dikompaksi pada kadar air dan kepadatan yang sama dengan di lapangan.

Tekanan air pori tidak diperhitungkan secara eksplisit dalam analisis ini; pengaruh dari tekanan air pori dalam uji UU tersebut telah tercermin pada parameter c dan ϕ . Tekanan air pori dalam tanah kohesif yang dikompaksi pada kondisi tak terdrainase ini, terutama tergantung kepada kepadatan tanah, kadar air dan tegangan yang bekerja. Apabila contoh tanah di laboratorium dikompaksi pada kepadatan dan kadar air yang sama dengan di laboratorium dan dibebani secara tak terdrainase, maka tekanan air pori yang timbul pada contoh tersebut akan mencerminkan tekanan air pori di lapangan pada lokasi dimana tegangan total tersebut sama. Penggunaan parameter kuat geser pada tegangan total oleh karenanya telah memperhitungkan pengaruh tekanan air pori pada jangka pendek (Duncan et al., 1987).

2. Kondisi Jangka Panjang

Kondisi ini dapat dianalisa dengan menggunakan cara tegangan efektif dengan kuat geser yang ditentukan dari uji terdrainase pada triaxial dan geser langsung atau pada uji CU dengan pengukuran tekanan air pori pada contoh tanah yang di kompaksi dengan kondisi lapangan dan pada tegangan efektif mendekati kondisi lapangan. Kuat geser yang digunakan adalah c' dan ϕ' .

Tekanan air pori ditentukan oleh kondisi rembesan yang dapat ditentukan berdasarkan jaringan aliran (flow-net).

3. Kondisi Rapid Drawdown

Kondisi ini dianalisis dengan cara tegangan total dimana kuat geser diperoleh dari uji CU pada contoh tanah yang di kompaksi dengan kadar air dan kepadatan di lapangan.

c) Timbunan Yang Dilaksanakan Di Atas Tanah Lembek

Parameter parameter teknis yang mempengaruhi kestabilan lereng timbunan yang dilaksanakan di atas tanah lembek tergantung kepada :

- Kuat geser tanah timbunan
- Berat isi tanah timbunan
- Tinggi timbunan
- Kemiringan lereng
- Kuat geser tanah dasar dan
- Tekanan air pori

Mekanisme keruntuhan berupa longsoran dalam (deep slide) dan biasanya bagian terbesar dari bidang gelincir tersebut berada pada tanah dasar yang lembek.

Kestabilan lereng untuk timbunan di atas lapisan tanah lembek pada umumnya paling kritis pada jangka pendek karena terjadinya peningkatan tekanan air pori. Setelah beberapa saat tanah dasar berkonsolidasi di bawah beban timbunan dan memperoleh peningkatan kuat geser.

Kestabilan Jangka Pendek

Tanah dasar dari lempung lembek mengalami drainase amat lambat sehingga kecil kemungkinannya terjadi disipasi tekanan air pori pada saat konstruksi berlangsung. Untuk kondisi seperti ini, kuat geser tanah lempung harus diambil dalam kondisi tegangan totalnya berdasarkan uji CU pada tanah asli (tak terganggu). Dalam keadaan ini maka kuat geser tanah lempung dapat dinyatakan :

$$S_u = C_u$$

$$\phi_u = 0$$

Dimana S_u adalah kuat geser tak terdrainase yang tidak tergantung pada tegangan normal. Kuat geser ini dapat diperoleh dari uji triaxial UU atau CU, uji tekan bebas (Unconfined Compression test) atau berdasarkan hasil uji geser baling di lapangan.

Timbunan di atas tanah dasar lempung ini dapat longsor secara progresif akibat perbedaan dalam karakteristik tegangan-tegangan dari tanah timbunan dan tanah dasar. Baik kuat geser tanah timbunan maupun tanah dasar harus direduksi untuk memperhitungkan akibat keruntuhan progresif tersebut dengan faktor R_E dan R_F . dengan reduksi tersebut kita lebih yakin bahwa baik tanah timbunan maupun tanah dasar tidak akan mengalami tegangan berlebih (over-stress) yang dapat mengakibatkan dimulainya keruntuhan progresif itu (Duncan et al., 1987).

Bila suatu embankment dari tanah kohesif dilaksanakan lebih tinggi dari suatu ketinggian kritis, H_t , akan ada kecenderungan badan embankment ini mengalami retakan. Embankment yang dibuat lebih tinggi dari H_t harus memperhitungkan terjadinya retakan setinggi H_{cr} .

$$H_c = 4 c / \gamma \tan (45^\circ + \phi / 2)$$

Pada analisis kestabilan lereng, maka bagian vertikal sedalam H_c tidak diperhitungkan kekuatan gesernya karena retakan tersebut dapat terjadi dimana saja.

6.1.2.2.2. Lereng Pada Galian

Kestabilan dari lereng galian tergantung kepada :

- Kuat geser tanah pada bagian galian
- Berat isi tanah
- Tinggi lereng
- Kemiringan lereng
- Tekanan air pori

Mekanisme keruntuhan berupa longsor dalam (deep sliding) pada tanah lempung homogen dan longsor permukaan (surface sliding) pada tanah pasir. Pada konsisi tanah berlapis, bidang gelincir dapat terjadi dalam atau di permukaan tergantung dari kondisi lapisan terlemah dan distribusi kuat geser dari lapisan tanah.

6.1.2.3. Faktor Gempa

Paramater faktor gempa ditentukan berdasarkan letak dan posisi tapak kawasan yang menjadi obyek perencanaan lereng dengan berpedoman pada peta zona seismik yang dikeluarkan dan telah digunakan di lingkungan Departemen Pekerjaan Umum.

6.1.2.4. Faktor Keamanan (FK)

Paramater faktor keamanan merupakan parameter penting dalam perencanaan dan penanganan lereng yang besarnya sangat tergantung dari tingkat ketelitian perhitungan. Penentuan besarnya faktor keamanan dapat merujuk pada tabel 4.1. yang tertuang dalam Bab 4. Prinsip Dasar Lereng Jalan.

6.2. ANALISA KESTABILAN LERENG

6.2.1. Penentuan Bidang Longsor

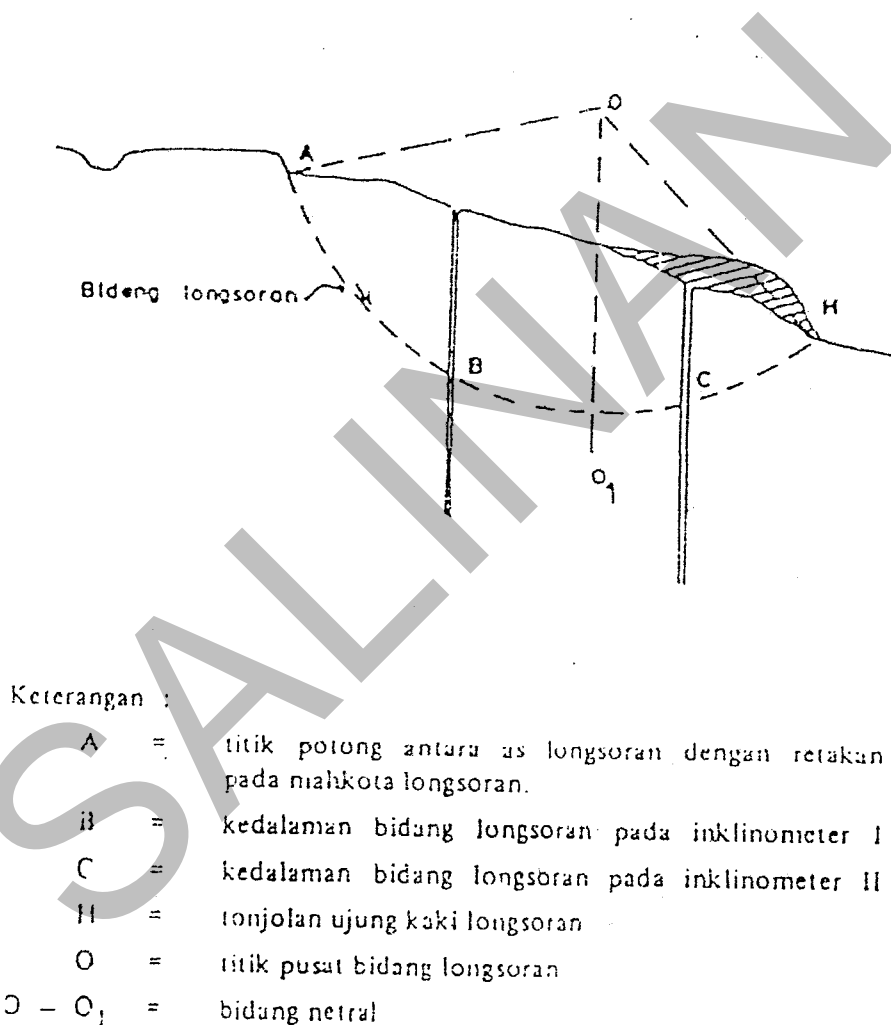
Untuk menentukan bentuk bidang longsor pada penampang sepanjang as longsor, diperlukan minimal tiga titik yang menunjukkan letak atau kedalamannya. Salah satu dari ketiga titik tersebut biasanya diambil titik potong antara as longsor dengan retakan yang ada pada mahkota longsor. Dua titik lainnya didapat dari hasil pengamatan inklinometer atau pipa PVC / unting-unting.

Untuk membantu penentuan bidang longsor tersebut diatas, perlu dievaluasi juga hal-hal sebagai berikut :

- Data penampang geologi teknik lengkap, antara lain letak lapisan tanah yang terlemah.
- Data pengujian laboratorium, misalnya hubungan antara kadar air dan batas-batas Atterberg.
- Data penyelidikan terinci lainnya, misalnya uji penetrasi standar.
- Gejala-gejala lainnya yang ada di lapangan, misalnya adanya tonjoian, mata air, patahan, vegetasi, rembesan dan sebagainya.

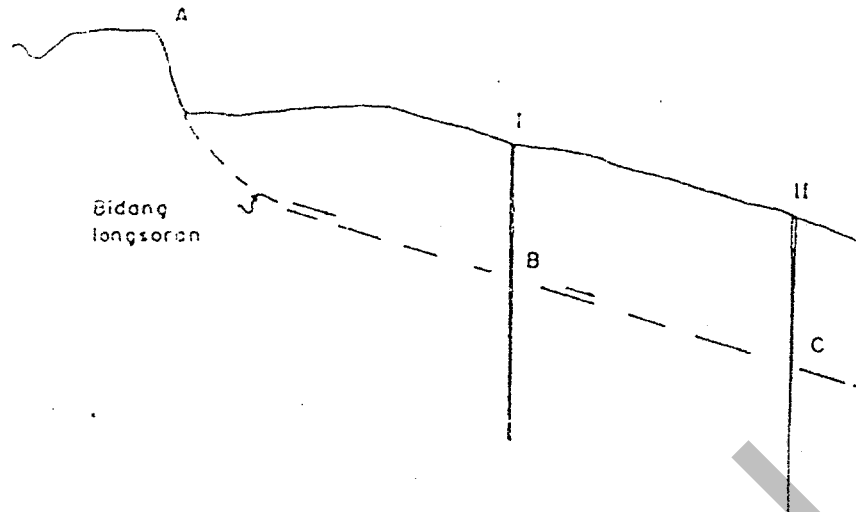
Letak / kedalaman bidang longsoran diambil pada kedalaman di mana pipa PVC patah (tertahannya unting-unting tersebut) atau kedalaman pembacaan dengan perpindahan maksimum pada pembacaan dengan inklinometer.

Setelah letak / kedalaman bidang longsoran dari titik-titik penyelidikan diperoleh, maka selanjutnya dapat digambarkan bentuk bidang longsoran dan titik pusat serta sumbu putar bidang longsoran (khusus untuk longsoran rotasi), sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 83.



Gambar 83. Penentuan Bidang Longsor Pada Longsoran Rotasi

Untuk longsoran translasi prinsipnya sama dengan longsoran rotasi, sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 84.



Keterangan :

- A = titik potong antara as longsor dengan retakan pada mahkota longsor
- B = kedalaman bidang longsor pada Inklinometer I
- C = kedalaman bidang longsor pada Inklinometer II

Gambar 6.5. Penentuan Bidang Longsor Pada Longsor Translasi

6.2.2. Penentuan Kondisi Geohidrologi

6.2.2.1. Air Permukaan

Air permukaan merupakan faktor penyumbang terhadap air tanah yang akan mengakibatkan berkurangnya kuat geser tanah terutama bila tertandung pada daerah longsor. Pola aliran permukaan dapat dianalisis dari peta topografi dan atau foto udara. Air permukaan sangat tergantung dari volume air permukaan dan daerah pengaliran.

6.2.2.1.1. Volume Air Permukaan

Volume air permukaan dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut :

- intensitas curah hujan

- keadaan topografi
- keadaan vegetasi
- permeabilitas tanah permukaan
- mata air

Volume air permukaan didapat dari besarnya limpasan (*run off*), sedangkan besarnya limpasan yang terjadi merupakan selisih dari besarnya curah hujan dengan peresapan air ke dalam tanah.

6.2.2.1.2. Daerah Pengaliran

Daerah pengaliran dapat diketahui dengan menentukan pola aliran air permukaan dari peta topografi atau foto udara. Penentuan batas daerah pengaliran yang mempengaruhi daerah longsor, dapat dilakukan dengan memplotkan pola aliran air permukaan pada peta tersebut diatas. Secara garis besar daerah pengaliran dapat dibagi dalam dua bagian, yaitu daerah pengaliran di luar daerah longsor dan daerah pengaliran di dalam daerah longsor. Pengukuran luas daerah pengaliran dapat dilakukan antara lain dengan bantuan planimeter.

Dari volume air permukaan dan luas daerah pengaliran dapat dihitung debit air permukaan untuk perencanaan penanggulangan longsor dengan drainase permukaan.

6.2.2.2. Air Tanah

Kondisi air tanah yang mempengaruhi kemantapan lereng dapat dievaluasi dari hasil pengamatan sumur uji, lubang bor dan pisometer dengan cara sebagai berikut :

- Mempelajari penampang geologi teknik untuk menentukan letak muka air tanah, lapisan-lapisan pembawa air dan lapisan kedap air. Muka air tanah bebas dari masing-masing titik pemboran dihubungkan untuk mendapatkan permukaan air tanah bebas.

- Pada penampang geologi teknik juga dicantumkan letak kedalaman pisometer serta tinggi tekanan air pori. Bila tekanan air pori sesuai dengan muka air tanah bebas, maka kondisi air tanah tersebut merupakan air tanah bebas. Bila tekanan air pori tidak sesuai dengan muka air tanah bebas maka kondisi ini merupakan air tanah artesis.
- Jika hanya ada air tanah bebas, maka longsor yang terjadi dipengaruhi oleh air permukaan yang merembes masuk ke dalam tanah menjadi air tanah bebas.
- Jika air tanah sementara, air tanah bebas dan air artesis yang mempengaruhi kemantapan lereng, maka longsor yang terjadi dipengaruhi oleh air permukaan dan air artesis.
- Jika hanya ada air artesis yang mempengaruhi kemantapan, berarti longsor yang terjadi hanya dipengaruhi oleh air artesis.

Dengan mengetahui kondisi air tanah pada daerah longsor, maka pembagian kondisi geohidrologi dapat diklasifikasikan menjadi 3 bagian, yaitu sebagai berikut :

- a. Klasifikasi I adalah longsor yang dipengaruhi oleh air permukaan yang merembes menjadi air tanah.
- b. Klasifikasi II adalah longsor yang dipengaruhi oleh kombinasi antara air tanah bebas, air tanah sementara dan air tanah artesis.
- c. Klasifikasi III adalah longsor yang hanya dipengaruhi oleh air tanah artesis

Dengan mengetahui klasifikasi geohidrologi suatu daerah longsor, maka penanggulangan dengan menggunakan metoda drainase baik permukaan maupun bawah permukaan akan lebih terarah.

6.2.3. Penentuan Penampang Geoteknik

Penampang geoteknik adalah suatu penampang yang menunjukkan urutan lapisan tanah / batuan sepanjang penampang yang dikehendaki dari muka tanah sampai batas kedalaman penyelidikan, berdasarkan jenis, sifat fisik dan teknik lapisan tanah / batuan.

Penampang ini dihasilkan dari korelasi lapisan yang didapat dari beberapa penyelidikan pemboran mesin atau pemboran tangan. Gambaran dan bentuk lapisan tanah hasil korelasi dari titik-titik pemboran, sangat ditentukan oleh kondisi geologi setempat, jarak titik penyelidikan, metoda penyelidikan, cara dan kecermatan pelaksanaan penyelidikan.

Penampang geoteknik dibuat pada penampang sepanjang as longsor atau penampang lain yang dikehendaki dengan menggunakan peta geoteknik, peta topografi dan profil bor. Dalam mengkorelasikan hasil penyelidikan terinci diperlukan latar belakang geologi daerah longsor.

Penampang geoteknik daerah longsor dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut :

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

6.2.4. Perhitungan Stabilitas Lereng

Perhitungan stabilitas lereng pada hakekatnya merupakan analisa stabilitas terhadap longsor yang sudah diuraikan pada sub bab 4.2.2. Metode analisis. Aplikasi metode analisis stabilitas lereng yang tepat dalam perhitungan stabilitas lereng, akan sangat menentukan tingkat keberhasilan dan optimalisasi penanganan lereng. Pendekatan untuk kesesuaian aplikasi dari setiap metode analisis dapat merujuk pada tabel 6.1. berikut

Tabel 6.1. Kesesuaian Aplikasi Metode Analisis Stabilitas Lereng

No	ANALISIS	CARA	BIDANG LONGSOR-AN *)	TANAH **)	BATU **)	KETERBATASAN
1.	Berdasarkan pengamatan visual	Membandingkan kestabilan lereng yang ada	L,P,B	o	o	1. Kurang teliti 2. Tergantung pengalaman seseorang 3. Disarankan untuk dipakai bila tidak ada resiko
2.	Menggunakan Komputasi	FELLENIOUS BISHOP JANBU	L L, P, B L, P, B	o o o	- o o	Fellenius kurang teliti, hanya dapat menghitung faktor keamanan tetapi tidak dapat menghitung deformasi
3	Menggunakan Grafik	COUSINS JANBU DUNCAN HOEK & BRAY	L L P P, B	o o o -	- o o o	1. Material homogen 2. Umumnya struktur sederhana

Keterangan : *) L = Lingkaran
P = Planar
B = Baji
**) o = Digunakan
- = Tidak Digunakan

6.3. PEMILIHAN DRAINASE LERENG

Pemilihan drainase lereng dalam konteks penanganan lereng secara umum dapat merujuk pada sub bab 4.4. Metode Drainase Lereng yang menguraikan tentang metode drainase dan pemilihan metode drainase.

6.4. PERTIMBANGAN ASPEK LINGKUNGAN

Aspek aspek lingkungan yang harus dipertimbangkan dalam penanganan lereng mencakup : kondisi eksisting peruntukan lahan di sekitar rencana tapak lereng, karakteristik kawasan, keberadaan kawasan kawasan sensitif di sekitar rencana

tapak lereng, keberadaan bangunan di sekitar rencana tapak lereng, aksesibilitas kawasan di sekitar rencana tapak lereng, ketersediaan lahan, estetika kawasan, gangguan selama pelaksanaan fisik konstruksi, dan keselamatan pada saat konstruksi dan pasca konstruksi.

6.4.1. Peruntukan lahan di sekitar rencana tapak lereng

Kondisi eksisting peruntukan lahan di sekitar tapak lereng harus dipertimbangkan dalam penanganan lereng jalan, karena peruntukan lahan dalam batas batas tertentu akan mempengaruhi bentuk dan jenis konstruksi lereng jalan. Sebagai contoh, penanganan lereng pada kondisi peruntukan lahan di sekitar tapak lereng adalah perkebunan akan sangat berbeda perlakuannya dengan penanganan lereng pada kondisi peruntukan lahan berupa kawasan perumahan atau kawasan pendidikan.

6.4.2. Karakteristik Kawasan

Karakteristik kawasan menjadi aspek yang perlu dipertimbangkan dalam penanganan lereng jalan, karena dalam batas batas tertentu akan berpengaruh terhadap perlakuan penanganan lereng jalan yang harus mempertimbangkan dan mengakomodasikan karakteristik kawasan di sekitar tapak lereng jalan.

Karakteristik kawasan dikategorikan dalam 2 (dua) kategori yaitu kawasan urban (perkotaan) dan kawasan rural (perdesaan). Penanganan lereng pada kedua kawasan tersebut akan sangat berbeda perlakuannya. Pada kawasan urban, dalam batas batas tertentu penanganan lereng akan lebih kompleks permasalahannya dibandingkan dengan penanganan lereng di kawasan rural.

6.4.3. Kawasan sensitif di sekitar rencana tapak lereng

Keberadaan kawasan sensitif seperti kawasan pendidikan, rumah sakit dan cagar budaya di sekitar tapak rencana lereng perlu dipertimbangkan dalam penanganan lereng jalan, karena dalam batas batas tertentu akan berpengaruh terhadap perlakuan penanganan lereng di kawasan tersebut. Penanganan lereng

pada kawasan sensitif akan memerlukan pertimbangan dan perlakuan yang lebih daripada penanganan lereng pada kawasan lainnya.

6.4.4. Keberadaan bangunan di sekitar rencana tapak lereng

Keberadaan bangunan menjadi aspek yang sangat penting untuk dipertimbangkan dalam penanganan lereng jalan karena sangat berpengaruh dalam penentuan bentuk dan jenis konstruksi lereng jalan.

Pada kondisi dimana di sekitar tapak lereng terdapat banyak bangunan dengan jarak yang relatif dekat tapak lereng, penggunaan pondasi tiang dengan sistem pancang untuk penanganan lereng jalan harus dihindari, karena dalam batas batas tertentu dapat menimbulkan dampak berupa getaran yang dapat mengakibatkan kerusakan atau keretakan bangunan di sekitarnya.

6.4.5. Aksesibilitas kawasan

Aksesibilitas kawasan menjadi aspek yang harus dipertimbangkan dan diakomodasikan dalam penanganan dan perencanaan lereng jalan terutama pada kawasan permukiman dan kawasan pendidikan. Bentuk pengakomodasian aspek aksesibilitas kawasan pada penanganan lereng jalan antara lain berupa penyediaan prasarana akses pada tapak lereng, baik berupa jalan akses untuk kendaraan maupun konstruksi tangga pejalan kaki, yang menghubungkan kawasan tersebut dengan area lainnya.

6.4.6. Ketersediaan lahan

Ketersediaan lahan menjadi salah satu aspek yang harus dipertimbangkan dalam penanganan dan perencanaan lereng jalan, karena aspek ketersediaan lahan sangat berpengaruh terhadap penentuan bentuk dan dimensi konstruksi lereng jalan. Sebagai contoh, pada kawasan dengan lebar Daerah Milik Jalan yang terbatas perencanaan lereng jalan dengan bentuk lereng yang landai dinilai kurang tepat, namun perencanaan lereng ini akan menjadi akomodatif apabila diterapkan pada kawasan dengan lebar Daerah Milik Jalan yang cukup.

6.4.7. Estetika Kawasan

Penanganan lereng jalan harus mempertimbangkan estetika kawasan, dalam arti keberadaan lereng jalan tidak boleh merusak estetika kawasan yang sudah ada, namun keberadaan lereng jalan harus lebih memperkuat dan memperkaya estetika kawasan yang sudah ada. Contoh penanganan lereng jalan yang mampu mengakomodasikan estetika kawasan antara lain penanganan lereng jalan yang dilengkapi dengan sentuhan landscaping di sekitar tapak lereng jalan.

6.4.8. Pelaksanaan fisik konstruksi

Metode pelaksanaan fisik konstruksi merupakan salah satu aspek lingkungan yang perlu dipertimbangkan dalam penanganan lereng jalan. Metode pelaksanaan fisik konstruksi akan menentukan jenis gangguan yang terjadi terhadap masyarakat selama pelaksanaan konstruksi, sehingga pemilihan metode pelaksanaan yang tepat akan meminimalisasi atau mengurangi timbulnya dampak terhadap masyarakat di sekitarnya.

6.4.9. Keselamatan

Aspek keselamatan harus menjadi pertimbangan utama dalam penanganan dan perencanaan lereng jalan, karena keberadaan konstruksi lereng jalan harus mampu menjamin keselamatan baik bagi pengguna jalan maupun masyarakat yang berada di sekitar tapak lereng jalan. Sebagai contoh, pada penanganan lereng akibat timbunan dengan dimensi tinggi yang besar harus dilengkapi dengan pengaman berupa guard rail di sepanjang timbunan tersebut.

6.5. KRITERIA PEMILIHAN PENANGANAN LERENG

Metode penanganan lereng dan kesesuaian aplikasi dari metode tersebut sudah diuraikan pada butir 4.3.2. Metode Penanganan, sedang untuk rujukan arahan pemilihan metode yang dipakai dapat digunakan tabel 6.2. berikut.

6.6. SPESIFIKASI TEKNIS DAN GAMBAR RENCANA

6.6.1. Spesifikasi Teknis

Dalam konteks pekerjaan jalan dan jembatan, spesifikasi teknis lereng jalan pada umumnya merupakan bagian yang tidak terpisahkan dan menjadi salah satu bagian item pekerjaan dari spesifikasi teknis jalan atau spesifikasi teknik jembatan, yang dituangkan dalam buku 3 Spesifikasi Teknis. Pada kondisi dimana spesifikasi teknis item pekerjaan konstruksi lereng jalan berlainan, berbeda atau tidak terakomodir dalam buku 3 Spesifikasi Teknis, spesifikasi teknis lereng jalan dapat diakomodasikan dalam buku spesifikasi khusus.

Dalam hal pekerjaan lereng jalan merupakan satu paket kontrak tersendiri, spesifikasi teknis lereng jalan tetap merujuk pada buku 3 Spesifikasi Teknis dengan catatan semua item pekerjaan terakomodasikan dalam buku 3 tersebut, tetapi apabila terdapat item pekerjaan yang tidak terakomodir dalam buku 3 spesifikasi teknis item pekerjaan tersebut dapat diakomodir dalam spesifikasi khusus.

Berdasarkan bagian bagian konstruksi dan struktur lereng jalan, spesifikasi teknis lereng jalan umumnya terdiri dari item item pekerjaan antara lain : Pasangan batu dengan mortar (seksi 2.2.), Drainase porous (seksi 2.4.), Galian (seksi 3.1.), Timbunan (seksi 3.2.), Beton (seksi 7.1.), Pasangan Batu (seksi 7.9.), Pengembalian kondisi selokan, saluran air galian timbunan dan penghijauan (seksi 8.3.) dan Perlengkapan jalan dan pengatur lalu lintas (seksi 8.4.). Spesifikasi teknis lereng jalan diluar item item pekerjaan atau tidak terakomodasikan dalam seksi seksi di atas dapat diakomodasikan di dalam buku spesifikasi khusus.

6.6.1.1. *Pasangan Batu Dengan Mortar (Seksi 2.2.)*

Dalam penanganan lereng jalan, item pekerjaan pasangan batu dengan mortar dipakai dan digunakan apabila pekerjaan lereng jalan dilengkapi dengan saluran drainase yang menggunakan konstruksi pasangan batu dengan mortar.

Bahan dan komponen untuk item pekerjaan pasangan batu dengan mortar pada pekerjaan lereng jalan harus merujuk pada Seksi 2.2. Pekerjaan pasangan batu dengan mortar, khususnya butir 2.3.2. yang berisi persyaratan bahan untuk pekerjaan pasangan batu dengan mortar.

Volume item pekerjaan pasangan batu dengan mortar pada pekerjaan lereng jalan dihitung dengan berpedoman pada volume pada gambar rencana dan realisasi volume pekerjaan di lapangan, yang pembayarannya didasarkan pada satuan pengukuran m³ dan harga satuan pekerjaan pasangan batu dengan mortar.

6.6.1.2. Drainase Porous (Seksi 2.4.)

Pekerjaan drainase porous pada pekerjaan lereng jalan diakomodasikan pada seksi 2.4. dipakai dan digunakan apabila pekerjaan lereng jalan dilengkapi dengan bahan drainase porous, khususnya untuk penimbunan kembali (back fill) atau penyaring (filter).

Bahan dan komponen untuk item pekerjaan drainase porous pada pekerjaan lereng jalan harus merujuk pada Seksi 2.4. Drainase porous, khususnya butir 2.4.2. yang berisi persyaratan bahan untuk pekerjaan drainase porous.

Volume item pekerjaan drainase porous pada pekerjaan lereng jalan dihitung dengan berpedoman pada volume pada gambar rencana dan realisasi volume pekerjaan di lapangan, yang pembayarannya didasarkan pada satuan pengukuran m³ dan harga satuan pekerjaan drainase porous.

6.6.1.3. Galian (Seksi 3.1.)

Pekerjaan galian pada pekerjaan lereng jalan diakomodasikan pada seksi 3.1. dipakai dan digunakan apabila pekerjaan lereng jalan berada pada daerah galian.

Berdasarkan ketentuan spesifikasi jalan, pekerjaan galian dikategorikan dalam 4 (empat) jenis galian yaitu : galian biasa, galian batu, galian struktur dan galian perkerasan beraspal.

Volume item pekerjaan galian pada pekerjaan lereng jalan dihitung dengan berpedoman pada volume pada gambar rencana dan realisasi volume pekerjaan di lapangan dan jenis galian yang dilaksanakan, yang pembayarannya didasarkan pada satuan pengukuran m³ dan harga satuan pekerjaan jenis galian yang dilaksanakan.

6.6.1.4. Timbunan (Seksi 3.2.)

Pekerjaan timbunan pada pekerjaan lereng jalan diakomodasikan pada seksi 3.2, dipakai dan digunakan apabila pekerjaan lereng jalan berada pada daerah timbunan.

Berdasarkan ketentuan spesifikasi jalan, pekerjaan timbunan dikategorikan dalam 2 (dua) jenis timbunan yaitu : timbunan biasa (common embankment) dan timbunan pilihan (selected material)

Bahan dan komponen untuk item pekerjaan timbunan pada pekerjaan lereng harus mengikuti persyaratan timbunan untuk embankment jalan, yaitu harus merujuk pada Seksi 3.2. Timbunan, khususnya butir 3.2.2. yang berisi persyaratan bahan untuk pekerjaan timbunan

Volume item pekerjaan timbunan pada pekerjaan lereng jalan dihitung dengan berpedoman pada volume pada gambar rencana dan realisasi volume pekerjaan di lapangan serta jenis pekerjaan timbunan yang dilaksanakan, yang pembayarannya didasarkan pada satuan pengukuran m³ dan harga satuan pekerjaan jenis timbunan yang dilaksanakan.

6.6.1.5. Beton (Seksi 7.1.)

Pekerjaan beton pada pekerjaan lereng jalan diakomodasikan pada seksi 7.1, dipakai dan digunakan apabila dalam pekerjaan lereng jalan menggunakan struktur konstruksi beton tak bertulang maupun beton bertulang, dengan spesifikasi beton seperti yang dipersyaratkan dalam gambar rencana.

Bahan dan komponen untuk item pekerjaan beton pada pekerjaan lereng jalan harus merujuk pada Seksi 7.1. Beton, khususnya butir 7.1.2. yang berisi persyaratan bahan untuk pekerjaan beton. Dalam hal penggunaan beton yang tidak tercantum dalam seksi 7.1. maka harus diatur khusus pada buku spesifikasi khusus.

Volume item pekerjaan beton pada pekerjaan lereng jalan dihitung dengan berpedoman pada volume pada gambar rencana, realisasi volume pekerjaan di lapangan serta spesifikasi mutu beton yang dilaksanakan, yang pembayarannya didasarkan pada satuan pengukuran m³ dan harga satuan pekerjaan beton sesuai dengan spesifikasi mutu yang tercantum pada gambar rencana.

6.6.1.6. Pasangan Batu (Seksi 7.9.)

Pekerjaan pasangan batu pada pekerjaan lereng jalan diakomodasikan pada seksi 7.9, dipakai dan digunakan apabila dalam pekerjaan lereng jalan menggunakan struktur konstruksi pasangan batu, dengan spesifikasi mutu pasangan batu seperti yang dipersyaratkan dalam gambar rencana.

Bahan dan komponen untuk item pekerjaan pasangan batu pada pekerjaan lereng jalan harus merujuk pada Seksi 7.9. Pasangan batu, khususnya butir 7.9.2. yang berisi persyaratan bahan untuk pekerjaan pasangan batu.

Volume item pekerjaan pasangan batu pada pekerjaan lereng jalan dihitung dengan berpedoman pada volume pada gambar rencana, realisasi volume pekerjaan di lapangan serta spesifikasi mutu pasangan batu yang dilaksanakan, yang pembayarannya didasarkan pada satuan pengukuran m³ dan harga satuan pekerjaan pasangan batu sesuai dengan spesifikasi mutu yang tercantum pada gambar rencana.

6.6.1.7. Pengembalian kondisi selokan, saluran air galian timbunan dan penghijauan (seksi 8.3.)

Pekerjaan pengembalian kondisi selokan, saluran air galian timbunan dan penghijauan pada pekerjaan lereng jalan diakomodasikan pada seksi 8.3, dipakai

dan digunakan apabila dalam pekerjaan lereng jalan terdapat pekerjaan stabilisasi dengan tanaman sebagai bagian dari perlindungan lereng (slope protection)

Bahan dan komponen untuk item pekerjaan stabilisasi dengan tanaman pada pekerjaan lereng jalan harus merujuk pada Seksi 8.3, khususnya butir 8.3.2. yang berisi persyaratan bahan untuk pekerjaan stabilisasi dengan tanaman.

Volume item pekerjaan stabilisasi dengan tanaman pada pekerjaan lereng jalan dihitung dengan berpedoman pada volume pada gambar rencana, realisasi volume pekerjaan di lapangan serta spesifikasi tanaman yang dilaksanakan, yang pembayarannya didasarkan pada satuan pengukuran m² dan harga satuan pekerjaan stabilisasi dengan tanaman sesuai dengan spesifikasi tanaman yang tercantum pada gambar rencana.

6.6.1.8. Perlengkapan jalan dan pengatur lalu lintas (seksi 8.4.)

Pekerjaan perlengkapan jalan dan pengatur lalu lintas pada pekerjaan lereng jalan diakomodasikan pada seksi 8.4, dipakai dan digunakan apabila dalam pekerjaan lereng jalan terdapat pekerjaan rel pengaman (guard rail) untuk keselamatan pengguna jalan maupun masyarakat di sekitarnya.

Bahan dan komponen untuk item pekerjaan rel pengaman (guard rail) pada pekerjaan lereng jalan harus merujuk pada Seksi 8.4, khususnya butir 8.4.2. point 9) yang berisi persyaratan bahan untuk pekerjaan rel pengaman (guard rail).

Volume item pekerjaan rel pengaman (guard rail) pada pekerjaan lereng jalan dihitung dengan berpedoman pada volume pada gambar rencana, realisasi volume pekerjaan di lapangan serta spesifikasi mutu rel pengaman (guard rail) yang dilaksanakan, yang pembayarannya didasarkan pada satuan pengukuran m¹ dan harga satuan pekerjaan rel pengaman (guard rail) sesuai dengan spesifikasi mutu rel pengaman (guard rail) yang tercantum pada gambar rencana.

6.6.2. Gambar Rencana

Dalam konteks kontrak pekerjaan proyek jalan, gambar rencana penanganan lereng jalan merupakan salah satu bagian yang tidak terpisahkan dari gambar rencana kontrak proyek jalan, sedang untuk kontrak pekerjaan khusus lereng jalan gambar rencana berupa gambar plan dan detail dari konstruksi lereng jalan. Gambar rencana penanganan konstruksi lereng jalan untuk kedua tipe kontrak harus diakomodasikan di dalam buku 4 Gambar Rencana.

Gambar rencana penanganan konstruksi lereng harus mengakomodasikan gambar gambar antara lain : Posisi Sta, Tipikal Konstruksi, tampak memanjang, potongan melintang dan gambar gambar detail konstruksi.

6.6.2.1. *Posisi STA*

Posisi stasioning konstruksi lereng yang ditangani harus dicantumkan sebagai pedoman dan petunjuk bagi pelaksana dan pengawas pekerjaan dalam menentukan posisi obyek pekerjaan di lapangan. Apabila terdapat banyak titik pekerjaan konstruksi lereng, maka harus dibuatkan daftar stasioning dimana penanganan konstruksi lereng diperlukan.

6.6.2.2. *Tipikal Konstruksi*

Gambar gambar tipikal konstruksi lereng jalan dapat dicantumkan dalam gambar rencana sebagai representasi jenis konstruksi lereng yang akan ditangani, dilengkapi dengan posisi masing masing stasioningnya. Gambar tipikal Konstruksi tidak harus menggunakan skala dan harus mencantumkan keterangan tanpa skala.

6.6.2.3. *Tampak Memanjang*

Gambar tampak memanjang, lengkap dengan dimensi panjang lereng yang ditangani harus diakomodasikan dalam gambar rencana untuk memberikan gambaran kepada pelaksana dan pengawas mengenai bentuk dan dimensi

memanjang dari konstruksi lereng yang ditangani. Gambar tampak memanjang harus dilengkapi dengan keterangan spesifikasi bahan yang digunakan, misalnya beton atau pasangan batu, sebagai pedoman dan acuan bagi pelaksana dan pengawas mengenai spesifikasi bahan yang dipakai. Skala yang dipakai untuk gambar tampak memanjang adalah 1 : 1000.

6.6.2.4. Potongan Melintang

Gambar potongan melintang, lengkap dengan dimensi lebar dan tinggi dari lereng yang ditangani harus diakomodasikan dalam gambar rencana untuk memberikan gambaran kepada pelaksana dan pengawas mengenai bentuk melintang, dimensi lebar dan dimensi tinggi dari konstruksi lereng yang ditangani.

Gambar potongan melintang harus dilengkapi dengan keterangan spesifikasi bahan yang digunakan, misalnya beton atau pasangan batu, sebagai pedoman dan acuan bagi pelaksana dan pengawas mengenai spesifikasi bahan yang dipakai, dan keterangan ini harus sama dan konsisten dengan keterangan yang ada pada gambar tampak memanjang. Skala untuk gambar potongan melintang adalah 1 : 1000.

6.6.2.4. Detail Konstruksi

Gambar detail konstruksi harus diakomodasikan dalam gambar rencana untuk memberikan gambaran secara rinci kepada pelaksana dan pengawas mengenai bentuk detail konstruksi, detail spesifikasi bahan, detail dimensi dan keterangan keterangan lain yang tidak terakomodasikan dalam gambar tampak memanjang dan potongan melintang. Semua keterangan yang ada di dalam gambar detail konstruksi ini harus sama dan konsisten dengan keterangan yang ada pada gambar tampak memanjang dan potongan melintang. Skala untuk gambar detail konstruksi adalah 1 : 100