



MANUAL

No : 02-2/BM/2005

Penanganan lereng jalan

BUKU 2

MANUAL PERENCANAAN



DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

TERKENDALI

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
1. RUANG LINGKUP	1
2. ACUAN NORMATIF	1
3. ISTILAH DAN DEFINISI	2
4. IKHTISAR PENANGANAN	4
4.1. KARAKTERISTIK PENANGANAN	4
4.1.1. Pencegahan	4
4.1.2. Penanggulangan Darurat	4
4.1.3. Penanggulangan Permanen	4
4.2. METODE PENANGANAN	5
4.2.1. Mengurangi Gaya-Gaya Penyebab Longsor	5
4.2.1.1. Mengendalikan Air Permukaan	5
4.2.1.2. Mengubah Geometri Lereng	6
4.2.2. Mengubah Gaya-Gaya Penahan	7
4.2.2.1. Mengendalikan Air Rembesan (Drainase Bawah Permukaan)	8
4.2.2.2. Penambatan	9
4.2.2.2.1. Penambatan Tanah	9
4.2.2.2.2. Penambatan Batuan	12
4.2.2.3. Beban Kontra (Counter Weight)	13
4.2.3. Tindakan Lain	14

4.2.3.1. Penggunaan Bahan Ringan	14
4.2.3.2. Penggantian Material	14
4.2.3.3. Stabilisasi	14
4.2.3.4. Relokasi	15
5. PROSEDUR PENYELIDIKAN TANAH	16
5.1. PERSIAPAN	16
5.2. PENYELIDIKAN PENDAHULUAN	16
5.3. PENYELIDIKAN TERINCI	18
5.3.1. Penyelidikan Lapangan	18
5.3.2. Pengujian Laboratorium	19
6. PROSEDUR PERENCANAAN	22
6.1. UMUM	22
6.2. DASAR PERENCANAAN	22
6.3. ASPEK YANG HARUS DIPERTIMBANGKAN	23
6.4. KEBUTUHAN DATA PERENCANAAN (ENGINEERING PROPERTIES)	25
6.5. PEMILIHAN PENANGANAN LERENG	27
7. PROSEDUR PERHITUNGAN STABILITAS DINDING PENAHAN	29
7.1. TAHAP 1 : PERHITUNGAN DAN PENGECEKAN STABILITAS LERENG TERHADAP TINGGI KRITIS DAN POTENSI LERENG	29
7.2. TAHAP 2 : PERHITUNGAN DAN PENGECEKAN STABILITAS DINDING PENAHAN	30
8. PROSEDUR PERHITUNGAN STABILITAS TURAP	33
8.1. PROSEDUR PERANCANGAN DINDING TURAP YANG DIPANCANG PADA TANAH GRANULER DENGAN UJUNG BEBAS	33

8.2.	PROSEDUR PERANCANGAN DINDING TURAP YANG DIPANCANG PADA TANAH KOHESIF DENGAN UJUNG BEBAS.....	35
8.3.	PROSEDUR PERANCANGAN DINDING TURAP YANG DIPANCANG PADA TANAH GRANULER DENGAN UJUNG TETAP.....	37
9.	PERUMUSAN HASIL PERENCANAAN	39
9.1.	UMUM.....	39
9.2.	LAPORAN PENYELIDIKAN TANAH.....	39
9.3.	LAPORAN NOTA DESAIN.....	39
9.4.	SPESIFIKASI UMUM	40
9.5.	GAMBAR RENCANA	40
9.6.	KUANTITAS DAN BIAYA	41
9.7.	SPESIFIKASI KHUSUS	41

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Arahan Instrumentasi Untuk Gerakan Tanah	17
Tabel 2.	Jenis Pengujian Laboratorium dan Aplikasinya	20
Tabel 3.	Arahan Pemilihan Penanganan Lereng	42

SALINAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Penanggulangan Longsoran Dengan Tata Salir	5
Gambar 2	Penanggulangan Longsoran Dengan Menutup Rekahan	6
Gambar 3	Penanganan Lereng Dengan Perbaikan Permukaan Lereng	6
Gambar 4	Penanggulangan Longsoran Dengan Cara Mengubah Geometri Lereng	7
Gambar 5	Penanggulangan Longsoran Dengan Mekanisme Pengendalian Air Rembesan	8
Gambar 6	Penambatan Tanah Dengan Bronjong	9
Gambar 7	Tipe-tipe Konstruksi Dinding Penahan Untuk Penambatan Tanah	9
Gambar 8	Penambatan Tanah Dengan Sumuran	10
Gambar 9	Penambatan Tanah Dengan Sumuran	10
Gambar 10	Penambatan Tanah Dengan Teknik Penguatan Tanah	10
Gambar 11	Penambatan Tanah Dengan Dinding Penopang Isian Batu	11
Gambar 12a	Struktur Tanah Bertulang Sistem Tulangan Lajur	11
Gambar 12b	Struktur Tanah Bertulang Sistem Tulangan Grid	11
Gambar 12c	Struktur Tanah Bertulang Dengan Geotekstiel	12
Gambar 12d	Struktur Tanah Bertulang Dengan Angker	12
Gambar 12	Tipe-Tipe Struktur Tanah Bertulang Untuk Penambatan Tanah	12
Gambar 13	Tipe-Tipe Konstruksi Untuk Penambatan Batuan	13
Gambar 14	Penambahan Beban Kontra	13
Gambar 15	Penanganan Lereng Dengan Stabilisasi	15
Gambar 16	Relokasi	15

Gambar 17	Bagan Alir Prosedur Umum Perhitungan Stabilitas Lereng	32
Gambar 18	Prosedur Perancangan Dinding Turap Di Angker Pada Tanah Granuler Dengan Metode Ujung Bebas	34
Gambar 19	Prosedur Perancangan Dinding Turap Di Angker Pada Tanah Kohesif Dengan Metode Ujung Bebas	36
Gambar 20	Prosedur Perancangan Dinding Turap Di Angker Pada Tanah Granuler Dengan Metode Ujung Tetap	38

MANUAL PERENCANAAN LERENG JALAN

1. RUANG LINGKUP

Manual perencanaan lereng jalan ini digunakan sebagai bahan rujukan dan petunjuk operasional untuk perencanaan lereng jalan pada skala lokal / setempat. Manual ini tidak mengakomodasikan perencanaan lereng pada skala regional / wilayah, serta tidak dapat digunakan untuk perencanaan lereng jalan akibat longsor dan landslide regional tersebut.

Manual ini dimaksudkan untuk memperbaiki dan meningkatkan pemahaman tentang perencanaan dalam rangka penanganan lereng jalan, sebagai upaya untuk memperbaiki dan meningkatkan perencanaan teknis lereng jalan, dengan tujuan untuk menghasilkan kualitas perencanaan lereng jalan yang baku dan standar.

Buku ini diharapkan bermanfaat, mudah dioperasionalkan dan aplikatif serta sesuai dengan perkembangan teknologi penanganan lereng jalan, sehingga pekerjaan perencanaan lereng jalan yang dihasilkan bersifat baku dan memenuhi standar kualitas yang dipersyaratkan.

2. ACUAN NORMATIF

Standar rujukan yang dipakai sebagai acuan dalam manual ini adalah : SNI (Standar Nasional Indonesia), AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), ASTM (American Society for Testing and Materials), dan standar rujukan lainnya, mencakup :

SNI (Standar Nasional Indonesia)

SNI 03-3422-1994 (AASHTO T88-90)	: Metode Pengujian Analisis Ukuran Butir Tanah Dengan Alat Hidrometer
SNI 03-1967-1990 (AASHTO (T89-90)	: Metode Pengujian Batas Cair Dengan Alat Casagrande

SNI 03-1966-1990 (AASHTO T90-87)	: Metode Pengujian Batas Plastis
SNI 03-1742-1989 (AASHTO T99-90)	: Metode Pengujian Kepadatan Ringan Untuk Tanah
SNI 03-1742-1989 (AASHTO T99-90)	: Metode Pengujian Kepadatan Berat Untuk Tanah
SNI 03-1744-1989 (AASHTO T193-81)	: Metode Pengujian CBR Laboratorium
AASHTO T145-43	: Classification of Soils and Soil Agregate Mixtures for Highway Construction Purpose
AASHTO T258-78	: Determining Expansive Soils and Remedial Actions

ASTM (American Society for Testing and Materials)

ASTM D - 2664 - 86	: Triaxial Shear Test Method
ASTM D 1586 - 84	: Method for Penetration Test and Split-Barrel sampling of Soils
ASTM D 1587 - 94	: Standart Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Soils
ASTM D - 2573 - 94	: Test Method for Field Vane Shear Test in Cohesive Soil
ASTM D - 2488 - 93	: Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedur)

Standar Rujukan Lain :

PBI 1971	: Peraturan Beton Bertulang Indonesia NI-2.
Spesifikasi	
Spesifikasi Khusus	

3. ISTILAH DAN DEFINISI

3.1.

Dinding penahan

Dinding penahan adalah salah satu jenis konstruksi penahan longsoran dengan menggunakan teknik penambatan

3.2.

Karakteristik tanah

Karakteristik tanah adalah pendeskripsian secara umum sifat fisik dan sifat kimia tanah.

3.3.

Lereng alam

Lereng alam adalah lereng atau tebing yang terbentuk karena proses dan fenomena geologi.

3.4

Lereng buatan

Lereng buatan adalah lereng yang terbentuk karena adanya pemotongan lereng alam atau penimbunan tanah pada perencanaan jalan.

3.5.

Longsoran Setempat

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

3.6.

Penanganan lereng

Penanganan lereng adalah salah satu dari berbagai rangkaian kegiatan yang berkaitan dengan upaya pencegahan dan atau penanganan longsoran pada lereng jalan.

3.7.

Potensi Longsor

Potensi longsor adalah suatu kondisi lereng yang mengindikasikan kemungkinan terjadinya longsor pada bidang gelincirnya, yang direpresentasikan dengan suatu angka keamanan minimal.

3.8.

Standar Rujukan

Standar rujukan adalah norma, standar, pedoman atau manual yang dipakai sebagai rujukan resmi.

4. IKHTISAR PENANGANAN

4.1. KARAKTERISTIK PENANGANAN

Penanggulangan longsor dalam rangka penanganan lereng diartikan sebagai upaya antisipatif (pencegahan) atau tindakan korektif (penanggulangan). Berdasarkan karakteristiknya penanganan lereng dibedakan menjadi 3 (tiga) yaitu :

- 1) Pencegahan.
- 2) Penanggulangan darurat
- 3) Penanggulangan permanen.

4.1.1. 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.

4.1.2. Penanggulangan Darurat

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

4.1.3. 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 longsoran.

4.2. METODE PENANGANAN

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

- 1) Mengurangi gaya-gaya yang menimbulkan gerakan
- 2) Menambah gaya-gaya yang menahan gerakan
- 3) Tindakan lain

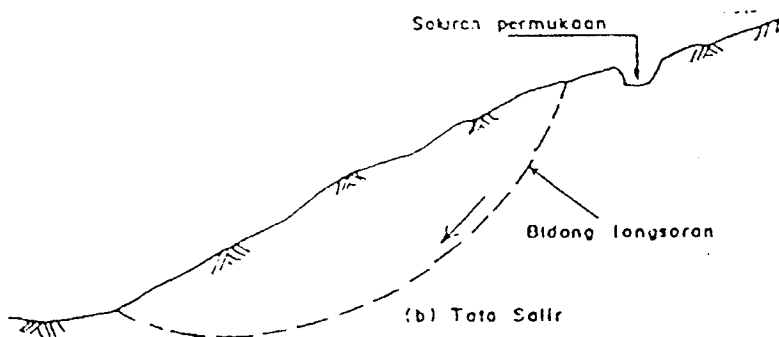
4.2.1. Mengurangi Gaya Gaya Penyebab Longsoran

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

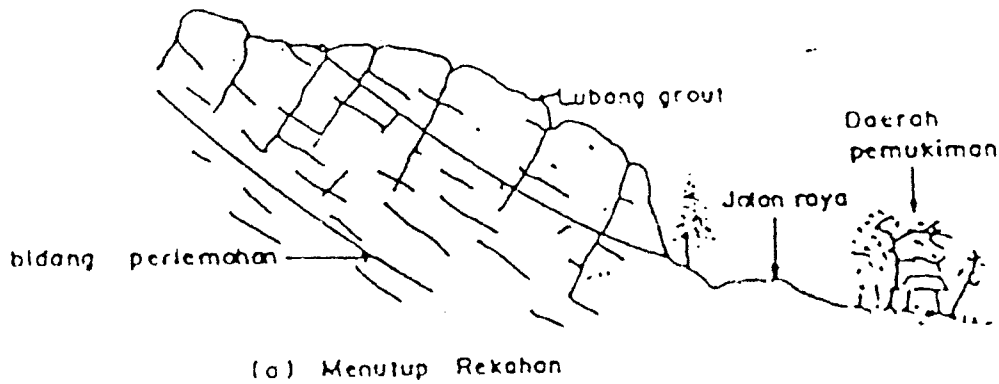
- a. Mengendalikan air permukaan
- b. Mengubah geometri lereng

4.2.1.1. Mengendalikan Air Permukaan

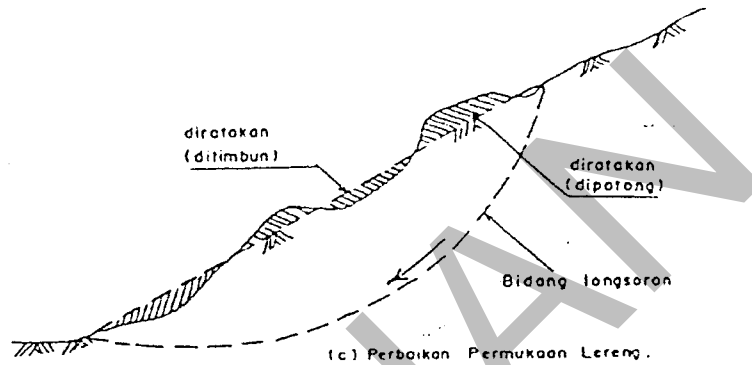
Penanganan lereng dengan cara mengendalikan air permukaan (drainase permukaan) dapat dilakukan dengan cara menanam tumbuhan, tata salir, menutup rekahan dan perbaikan permukaan lereng. Ilustrasi penanganan lereng dengan cara mengendalikan air permukaan (drainase permukaan) dapat dilihat pada gambar gambar berikut.



Gambar 1. Penanggulangan longsoran Dengan Tata Salir



Gambar 2. Penanggulangan Longsoran Dengan Menutup Rekahan



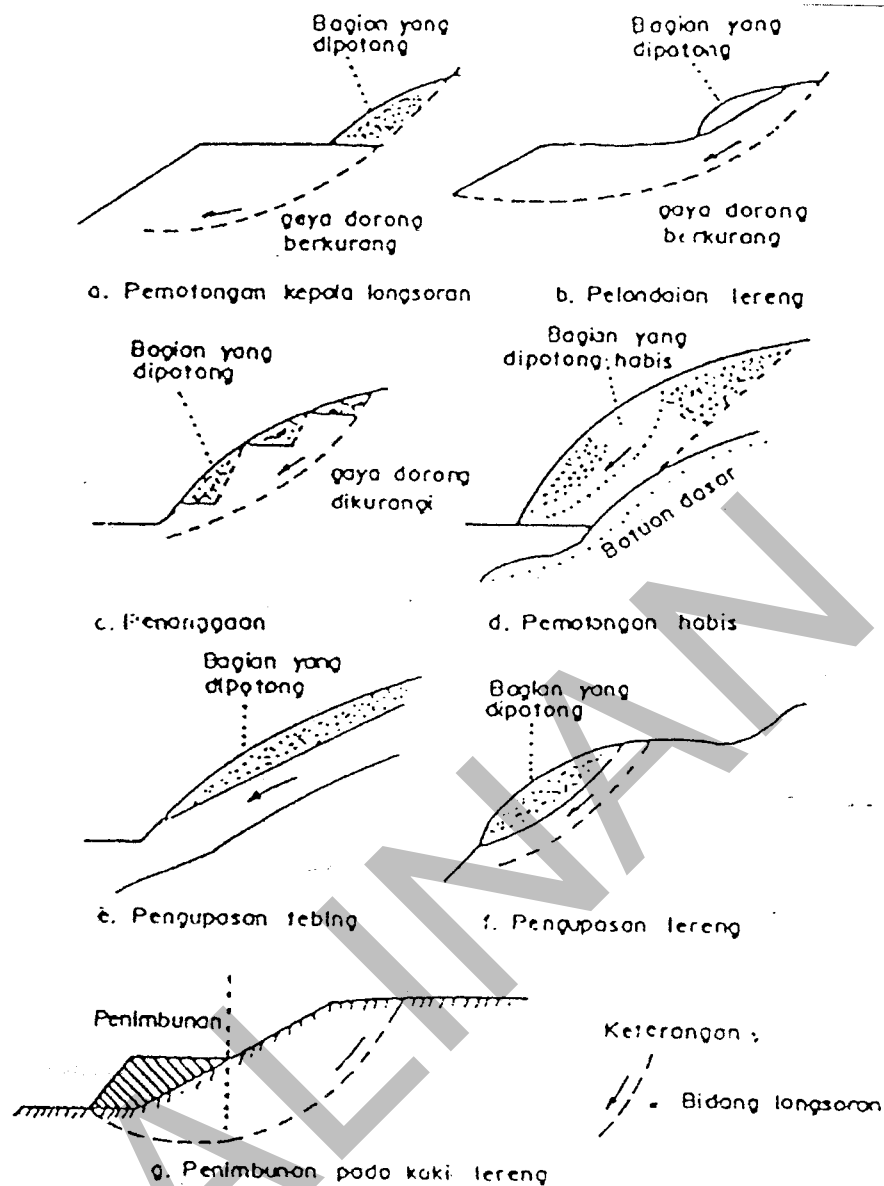
Gambar 3. Penanganan Lereng Dengan Perbaikan Permukaan Lereng

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

4.2.1.2. 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, dengan tujuan untuk mengurangi tegangan dan menambah tahanan geser.

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



Gambar 4. Penanggulangan Longsor Dengan Cara Mengubah Geometri Lereng

4.2.2. Menambah Gaya Gaya Penahan

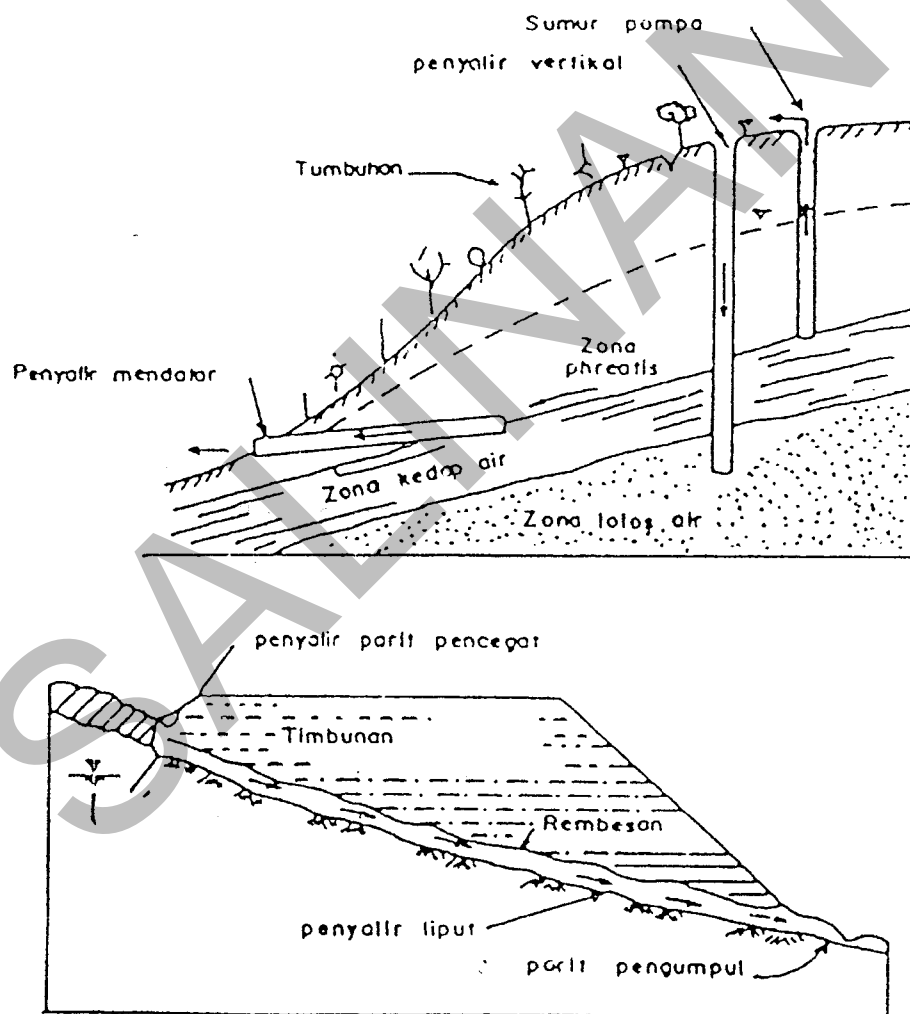
Metode penanganan lereng dengan menambah gaya-gaya yang menahan gerakan longsor dilakukan dengan mekanisme sebagai berikut :

- Mengendalikan air rembesan
- Penambatan
- Timbunan pada kaki lereng (beban kontra)

4.2.2.1. Mengendaiikan air rembesan (Drainase bawah permukaan)

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.

Ilustrasi penanggulangan longsoran dalam penanganan lereng jalan dengan mengendalikan air rembesan dapat dilihat pada gambar berikut.



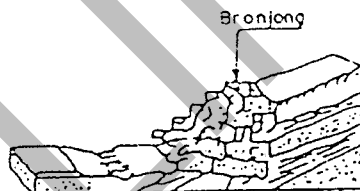
Gambar 5. Penanggulangan Longsoran Dengan Mekanisme Pengendalian Air Rembesan

4.2.2.2. Penambatan

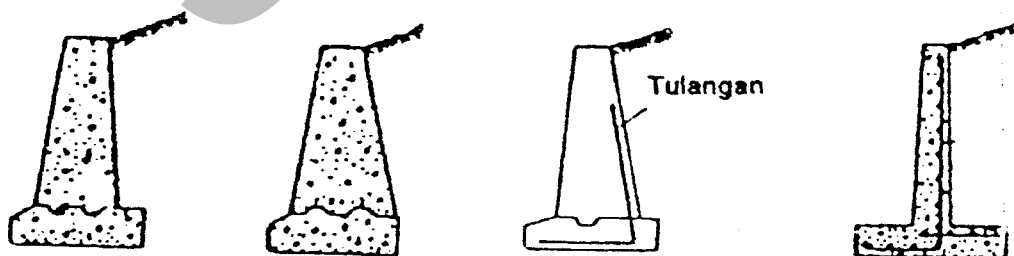
Penanganan lereng dalam rangka penanggulangan longsoran dapat dilakukan melalui mekanisme penambatan, yaitu menahan dan atau menambat massa tanah dan atau batuan yang berpotensi longsor dengan suatu bahan atau struktur konstruksi. Ditinjau dari jenis material yang menjadi obyek sasaran penambatan, penambatan dibedakan dalam 2 (dua) kategori yaitu penambatan tanah dan penambatan batuan.

4.2.2.2.1. 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. Ilustrasi penanganan lereng tanah dengan metode penambatan dapat dilihat pada gambar gambar berikut.



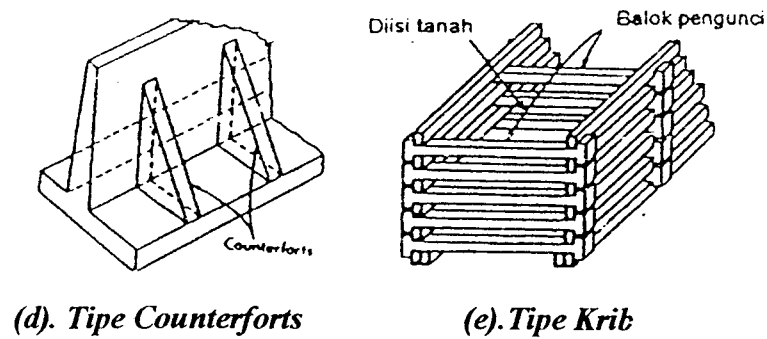
Gambar 6. Penambatan Tanah Dengan Bronjong



(a). Tipe Gravitasi

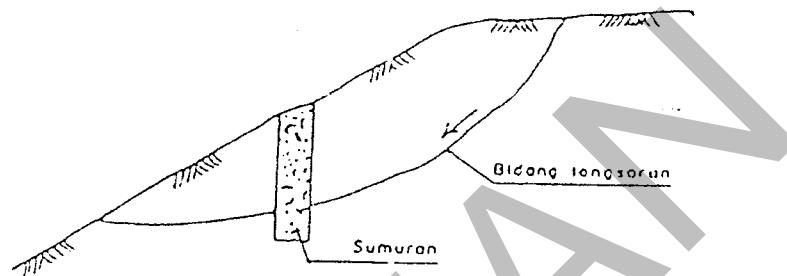
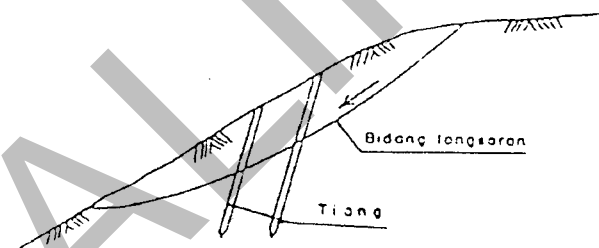
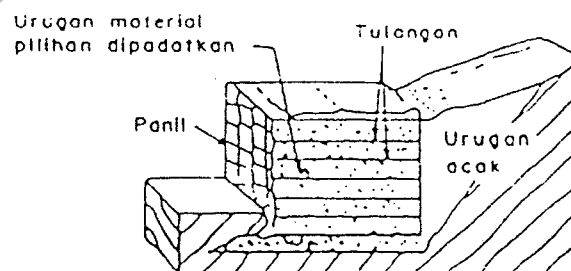
(b). Tipe Semi Gravitasi

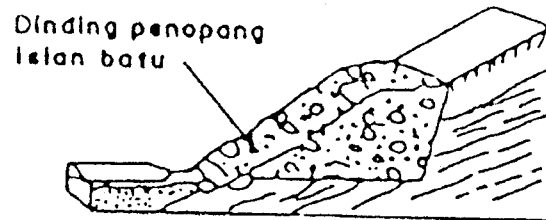
(c). Tipe Kartilever



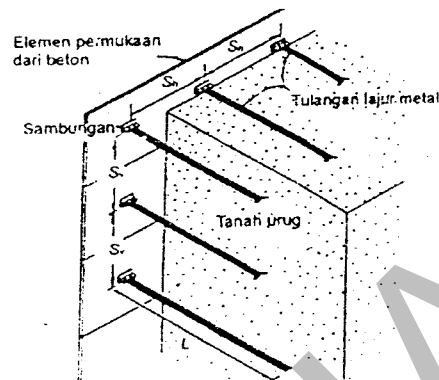
(d). Tipe Counterforts

(e). Tipe Krib

Gambar 7. Tipe Tipe Konstruksi Dinding Penahan Untuk Penambatan Tanah**Gambar 8. Penambatan Tanah Dengan Sumuran****Gambar 9. Penambatan Tanah Dengan Tiang****Gambar 10. Penambatan Tanah Dengan Teknik Penguatan Tanah**

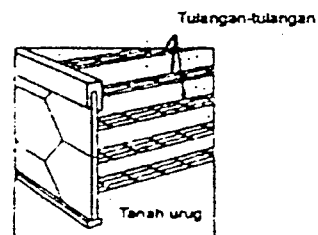
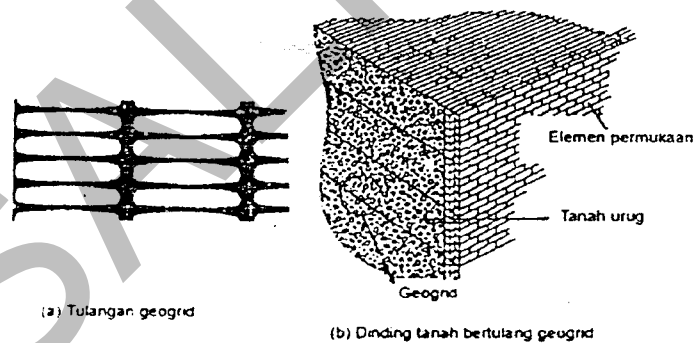


Gambar 11. Penambatan Tanah Dengan Dinding Penopang Isian Batu



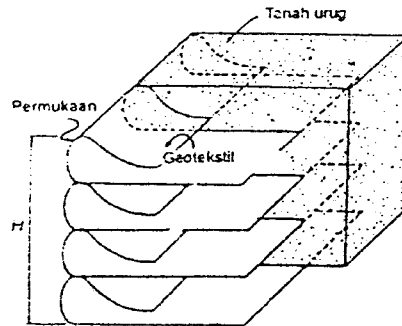
Gambar 4.24. Dinding tanah bertulang dengan tulangan lajur.

(a). Struktur Tanah Bertulang Sistem Tulangan Lajur

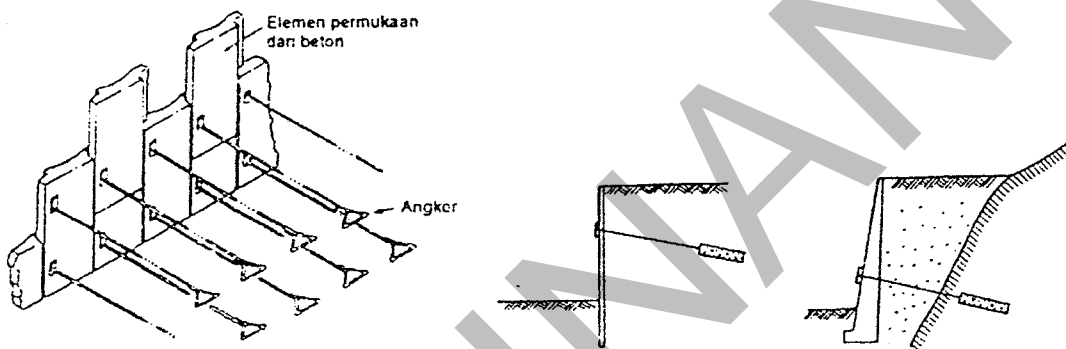


(c) Dinding VSL reinforced earth

(b). Struktur Tanah Bertulang Sistem Tulangan Grid



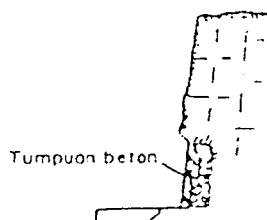
(c). Struktur Tanah Bertulang Dengan Geotekstiel



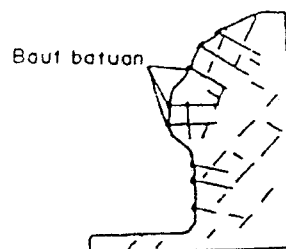
(d). Struktur Tanah Bertulang Dengan Angker

Gambar 12. Tipe Tipe Struktur Tanah Bertulang Untuk Penambatan Tanah**4.2.2.2.2. Penambatan Batuan**

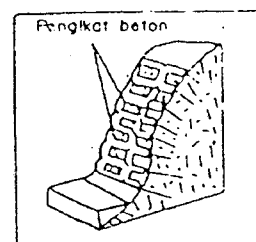
Penambatan untuk menanggulangi gerakan batuan dapat dilakukan dengan menggunakan bangunan penambat, antara lain tumpuan beton, baut batuan, pengikat beton, jangkar kabel (pengangkeran), jala kawat, tembok penahan batu, beton semprot dan dinding tipis. Ilustrasi penanganan lereng batuan dengan metode penambatan dapat dilihat pada gambar gambar berikut.



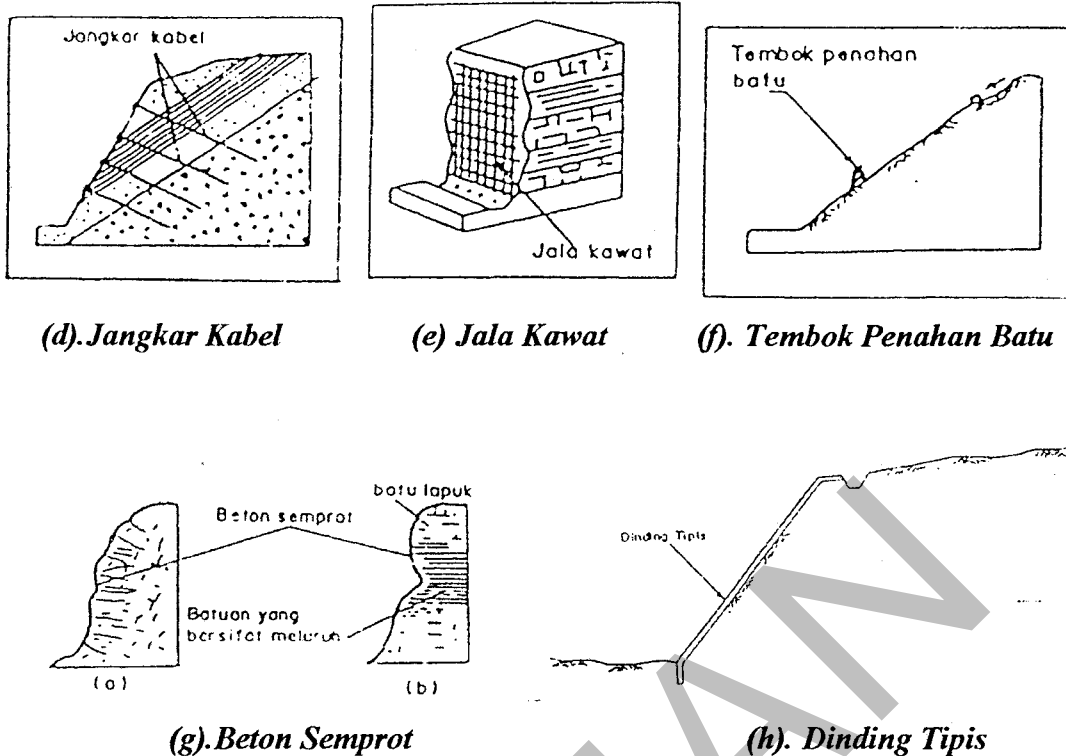
(a). Tumpuan Beton



(b) Baut Batuan



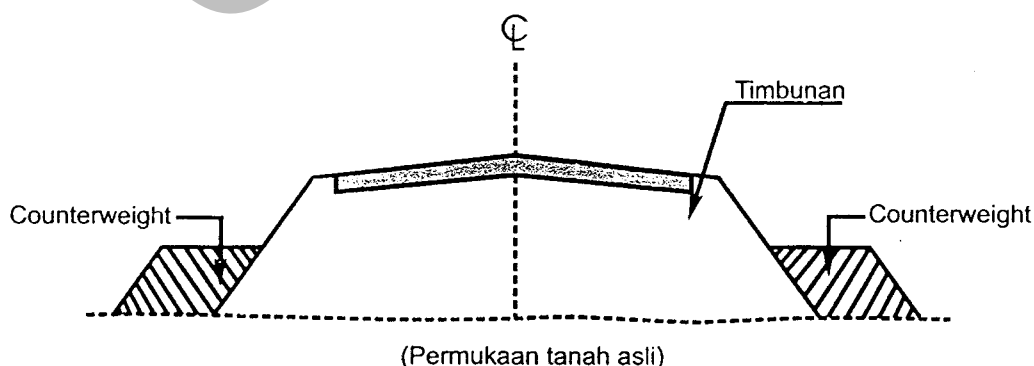
(c). Pengikat Beton



Gambar 13. Tipe tipe Konstruksi Untuk Penambatan Batuan

4.2.2.3. Beban Kontra (Counter weight)

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



Gambar 14. Penambahan Beban Kontra

4.2.3. 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.

4.2.3.1. Penggunaan Bahan Ringan

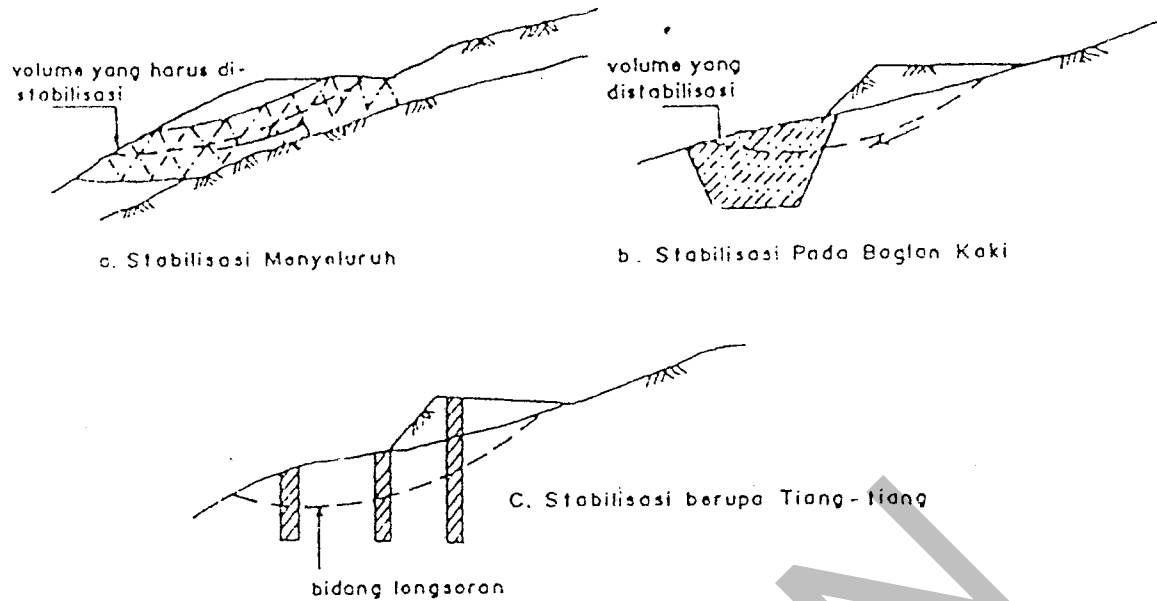
Penanggulangan dengan cara ini adalah mengganti material longsor dengan bahan yang lebih ringan dan berfungsi untuk mengurangi gaya dorong. Cara ini hanya digunakan pada longsor jenis rotasi yang relatif kecil. Bahan ringan yang umumnya digunakan antara lain : batu apung, abu sekam, polisterin, serbuk gergaji, alwa, armco dan drum kosong.

4.2.3.2. 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 dengan tujuan menambah tahanan di sepanjang bidang longsor. Metode ini dapat digunakan untuk longsor tipe rotasi tunggal yang relatif kecil.

4.2.3.3. Stabilisasi

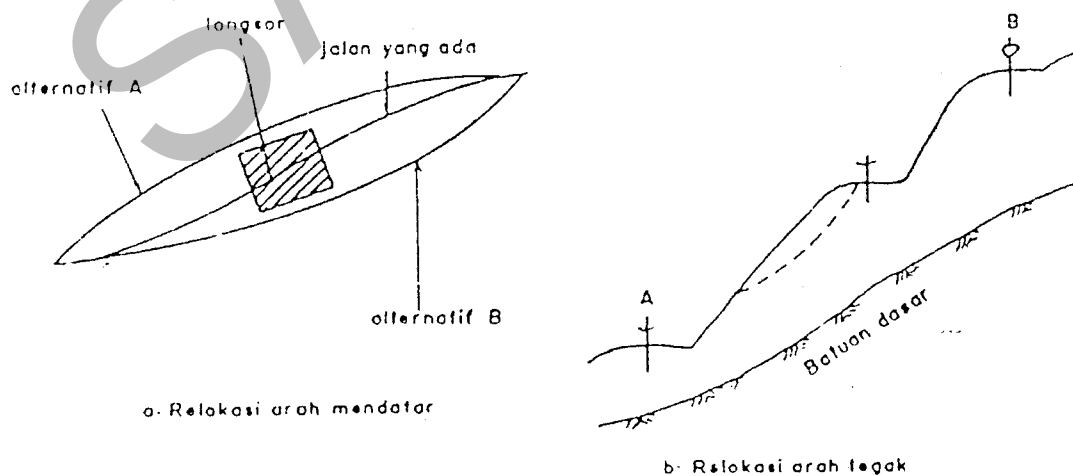
Stabilisasi dimaksudkan untuk meningkatkan kuat geser dari material longsor. Material yang distabilisasi dapat dilakukan secara menyeluruh, pada bagian kaki atau berupa tiang-tiang. Stabilisasi dapat dilakukan dengan cara *grouting* atau injeksi melalui retakan, celah-celah dan lubang-lubang batuan. Stabilisasi dapat menggunakan bahan antara lain, kapur dan semen yang efektif pada material berbutir kasar.



Gambar 15. Penanganan Lereng Dengan Stabilisasi

4.2.3.4. Relokasi

Cara ini dilakukan dengan memindahkan lokasi 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.



Gambar 16. Relokasi

5. PROSEDUR PENYELIDIKAN TANAH

5.1. PERSIAPAN

Pelaksanaan penyelidikan tanah dimulai dengan mempersiapkan data data pendukung yang dibutuhkan untuk keperluan proses penyelidikan tanah secara keseluruhan.

Data data yang disiapkan pada tahap persiapan adalah data data yang merepresentasikan kondisi kawasan obyek lokasi penyelidikan mencakup :

- Peta topografi
- Peta geologi
- Foto udara
- Peta tata guna lahan
- Peta kerentanan tanah
- Peta kegempaan
- Data curah hujan
- Laporan terdahulu yang terkait dan relevan dengan obyek lokasi penyelidikan

Data data tersebut dimaksudkan sebagai bahan masukan untuk mengetahui gambaran umum kondisi eksisting di sekitar kawasan obyek lokasi penyelidikan tanah, dan dapat juga difungsikan sebagai data pembanding pada penyelidikan terinci.

5.2. PENYELIDIKAN PENDAHULUAN

Penyelidikan pendahuluan dalam rangka penyelidikan tanah dilakukan melalui pengamatan visual dan investigasi lapangan, dengan tujuan untuk mengkonfirmasi kondisi lapangan dengan data data pendukung yang ada, serta menentukan jenis, lokasi dan jumlah sampel penyelidikan terinci yang akan dilaksanakan.

Dalam tahap penyelidikan pendahuluan kegiatan kegiatan yang dilakukan antara lain :

- Pemetaan topografi
- Pemetaan geologi teknik
- Pendugaan geofisika
- Penggalan sumur dan parit uji
- Pengamatan visual (ciri, jenis, penyebab longsor).

Arahan kebutuhan instrumen penyelidikan tanah untuk penyelidikan pendahuluan dan relevansi penggunaannya terhadap jenis material yang menjadi obyek penyelidikan dapat mengacu pada tabel 1 berikut :

Tabel 1. Arahan Instrumentasi Untuk Gerakan Tanah

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

Keterangan : o = Diperlukan
- = Tidak Diperlukan

Data data yang dihasilkan dari kegiatan penyelidikan pendahuluan antara lain berupa :

- Sketsa dan detail lokasi
- Karakteristik geologi teknik
- Karakteristik umum tanah
- Sampel kondisi terganggu (disturb sample)
- Rencana penyelidikan terinci (jenis, lokasi, jumlah sampel dan instrumentasi)
- Potensi longsor (penyebab, arah, kedalaman, intensitas keaktifan)
- Penanganan lereng di sekitarnya.

Dara data hasil investigasi dari kegiatan penyelidikan pendahuluan, dapat dijadikan sebagai bahan masukan dan pertimbangan dalam menentukan arahan penanganan lereng dalam proses perencanaan.

5.3. PENYELIDIKAN TERINCI

Penyelidikan terinci terhadap kondisi, sifat fisik dan sifat teknis tanah dimaksudkan untuk mendapatkan rincian data kuantitatif dari lapangan dan laboratorium, sebagai bahan masukan dan parameter perencanaan (engineering properties) lereng jalan.

5.3.1. Penyelidikan Lapangan

a) Jenis Penyelidikan

Jenis penyelidikan lapangan yang diperlukan dalam rangka penyelidikan tanah terinci antara lain :

- 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

b) Standar Rujukan

Standar rujukan untuk pelaksanaan penyelidikan tanah di lapangan, mencakup metode, prosedur dan instrumentasi, antara lain :

ASTM D 1586 - 84	: Method for Penetration Test and Split-Barrel sampling of Soils
ASTM D 1587 - 94	: Standart Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Soils
ASTM D - 2573 - 94	: Test Method for Field Vane Shear Test in Cohesive Soil
ASTM D - 2488 - 93	: Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedur)

c) Data Hasil Penyelidikan

Data yang diharapkan dari hasil penyelidikan tanah rinci di lapangan antara lain :

- Sampel tanah tidak terganggu (undisturb Sample)
- Kondisi fisik lapisan tanah
- Karakteristik tanah
- Tegangan geser
- Data Dukung tanah (N - Value)

5.3.2. Pengujian Laboratorium**a) Jenis Pengujian**

Jenis pengujian laboratorium yang diperlukan dalam rangka penyelidikan tanah terinci antara lain :

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

Arahan jenis pengujian laboratorium yang dibutuhkan dalam penyelidikan tanah pada suatu jenis tanah tertentu serta kesesuaian aplikasi terhadap kebutuhan data dapat mengacu pada tabel 2 berikut :

Tabel 2. Jenis 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 Dll
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

b) Standar Rujukan

Standar rujukan untuk pelaksanaan pengujian tanah di laboratorium, mencakup metode, prosedur dan instrumentasi pengujian laboratorium, antara lain :

SNI 03-3422-1994 : Metode Pengujian Analisis Ukuran Butir Tanah Dengan
(AASHTO T88-90) Alat Hidrometer

SNI 03-1967-1990 (AASHTO T89-90)	: Metode Pengujian Batas Cair Dengan Alat Casagrande
SNI 03-1966-1990 (AASHTO T90-87)	: Metode Pengujian Batas Plastis
SNI 03-1742-1989 (AASHTO T99-90)	: Metode Pengujian Kepadatan Ringan Untuk Tanah
SNI 03-1742-1989 (AASHTO T99-90)	: Metode Pengujian Kepadatan Berat Untuk Tanah
SNI 03-1744-1989 (AASHTO T193-81)	: Metode Pengujian CBR Laboratorium
AASHTO T145-43	: Classification of Soils and Soil Aggregate Mixtures for Highway Construction Purpose
AASHTO T258-78	: Determining Expansive Soils and Remedial Actions
ASTM D - 2664 - 86	: Triaxial Shear Test Method

c) Data Hasil Pengujian

Data hasil pengujian tanah di laboratorium berupa data tanah (soil properties) dan data perencanaan (engineering properties) antara lain :

- Tegangan Geser
- Sifat fisik dan teknis tanah
- Kadar air
- Permeabilitas
- Batas Cair, Batas Plastis dan Index Plastisitas
- CBR laboratorium
- Specific Gravity
- Berat jenis tanah

6. PROSEDUR PERENCANAAN

6.1. UMUM

Dalam konteks penanganan lereng jalan, prosedur perencanaan berlaku untuk lereng alam maupun lereng buatan, serta untuk keperluan perencanaan dalam rangka penanganan kasus lereng eksisting dan perencanaan lereng baru.

6.2. DASAR PERENCANAAN

Perencanaan lereng merupakan upaya untuk mencapai stabilitas lereng yang umumnya ditinjau terhadap parameter parameter stabilitas penanganan lereng yaitu potensi longsor, tinggi kritis dan stabilitas konstruksi dinding penahan

1). Potensi Longsor

Stabilitas kemiringan lereng ditentukan berdasarkan batasan angka keamanan minimal yang menjamin kestabilan terhadap potensi longsor pada bidang gelincimnya.

Batasan angka keamanan (SF), sebagai indikator stabilitas kemiringan lereng terhadap potensi longsor pada bidang gelincimnya, adalah sebagai berikut :

- SF > 1.50 untuk pembebanan tetap
- SF > 1.30 untuk pembebanan sementara

2). Tinggi Kritis

Tinggi lereng rencana < tinggi lereng kritis (H_{α}), dengan tinggi lereng kritis adalah

$$: H_{\alpha} = \frac{4c}{\gamma} \left[\frac{\sin \beta \cdot \cos \phi}{1 - \cos(\beta - \phi)} \right]$$

dimana :

H_{α} = tinggi lereng kritis

c = kohesi tanah

γ = berat volume tanah

β = kemiringan lereng terhadap bidang horizontal

ϕ = sudut geser dalam tanah

3). Stabilitas Konstruksi Dinding Penahan

Konstruksi dinding penahan tanah harus memenuhi semua persyaratan stabilitas sebagai berikut :

- (1). *Stabil terhadap gulingan*
- (2). *Stabil terhadap geseran*
- (3). *Daya dukung tanah pondasi mampu menahan tegangan akibat semua.*
- (4). *Stabil terhadap potensi longsor*

6.3. ASPEK YANG HARUS DIPERTIMBANGKAN

Aspek aspek yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan lereng jalan mencakup aspek aspek sebagai berikut :

1). Kondisi Geometrik Jalan

Aspek kondisi geometrik jalan yang harus dipertimbangkan mencakup :

- Jarak pandang
- Kebebasan samping

2). Kondisi Topografi

Aspek kondisi topografi yang harus dipertimbangkan terutama menyangkut klasifikasi medan yang dikategorikan menjadi :

- Datar
- Bukit
- Gunung

3). Kondisi Geologi

Aspek kondisi geologi yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan lereng jalan terutama menyangkut kondisi makro geologi dan mikro geologi mencakup antara lain :

- Diskontinuitas material geologi
- Struktur geologi wilayah (patahan, sesar, lipatan dll)
- Air Tanah
- Potensi kegempaan
- Tegangan Awal Dalam Tanah
- Pelapukan
- Aktivitas longsoran yang terdahulu

4). Kondisi Geoteknik

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

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

5). Kondisi Hidrologi dan Drainase

Aspek kondisi hidrologi yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan lereng jalan mencakup antara lain :

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

Aspek kondisi drainase yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan lereng jalan mencakup antara lain :

- permeabilitas tanah
- karakteristik kondisi sistem drainase permukaan eksisting.

6). Kondisi Lingkungan

Aspek kondisi lingkungan yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan lereng jalan mencakup antara lain :

- Peruntukan lahan (karakteristik peruntukan)
- Karakteristik kawasan (urban atau rural)
- Kawasan sensitif (cagar/situs budaya, tempat ibadah, suaka margasatwa)
- Keberadaan bangunan
- Aksesibilitas kawasan
- Ketersediaan lahan
- Estetika kawasan
- Pelaksanaan fisik konstruksi
- Keselamatan

7). Ketersediaan Bahan

Aspek ketersediaan bahan harus dipertimbangkan dalam perencanaan lereng sebagai upaya untuk mempermudah dan memperlancar pelaksanaan konstruksi dalam tahap implementasi.

6.4. KEBUTUHAN DATA PERENCANAAN (ENGINEERING PROPERTIES)

Data data yang dibutuhkan untuk keperluan perencanaan lereng jalan mencakup data pembebanan, data data tanah (soil properties) dan data pendukung lainnya.

1). Data Pembebanan

Beban yang harus diperhitungkan dalam perencanaan lereng jalan mencakup beban sebagai berikut :

(1). *Beban di permukaan tanah*

Beban di permukaan tanah yang harus diperhitungkan dalam perencanaan lereng jalan dibedakan dalam 2 (dua) kategori yaitu :

- beban merata (beban akibat lalu lintas sebesar 1 ton/m²)
- beban terpusat.

(2) *Beban akibat tekanan tanah*

Beban akibat tekanan tanah yang harus diperhitungkan dalam perencanaan lereng jalan berupa tekanan lateral tanah pada dinding penahan yang besarnya tergantung dari :

- jenis tanah
- ketinggian lereng.

(3) *Beban akibat berat sendiri*

Beban akibat berat sendiri yang harus diperhitungkan dalam perencanaan lereng jalan terdiri dari :

- berat sendiri konstruksi dinding penahan
- berat tanah pada bagian atas tumit pelat lantai (jika ada).

(4) *Beban akibat tekanan air*

Beban akibat tekanan air yang harus diperhitungkan dalam perencanaan lereng jalan terdiri dari 2 (dua) jenis yaitu :

- tekanan air horisontal yang bekerja pada seluruh permukaan vertikal dinding penahan
- tekanan air vertikal berupa gaya angkat (up lift)

Beban akibat tekanan air tidak diperhitungkan apabila elevasi permukaan air tanah berada di bawah elevasi dasar permukaan dinding penahan.

2). Data Tanah (Soil Properties)

Data tanah yang dibutuhkan untuk perencanaan lereng jalan antara lain :

- (1). kohesi tanah
- (2). berat volume tanah
- (3). sudut geser dalam tanah
- (4). Batas plastis (*plastic limit*)
- (5). Batas cair (*liquid limit*)
- (6). Index plastisitas (*plasticity index*)
- (7). Tegangan geser tanah
- (8). Permeabilitas
- (9). Porositas
- (10). Kadar Air
- (11). Daya dukung tanah dan atau CBR

3). Data pendukung lainnya

Data pendukung lain yang dibutuhkan untuk perencanaan lereng antara lain :

- (1). Elevasi permukaan air tanah
- (2). Data topografi lokasi perencanaan
- (3). Data geologi kawasan
- (4). Data curah hujan
- (5). Data peruntukan lahan setempat

6.5. PEMILIHAN PENANGANAN LERENG

Pemilihan penanganan lereng jalan dalam proses perencanaan memerlukan analisis komprehensif terhadap semua aspek dan parameter perencanaan yang ada, guna menghasilkan perencanaan penanganan lereng jalan yang optimal dan dapat diaplikasikan di lapangan.

Pendekatan untuk pemilihan penanganan lereng jalan, baik menyangkut metode penanganan maupun jenis konstruksi lereng jalan dapat mengacu pada Tabel 3. berikut.

TIPE-TIPE PENANGGULANGAN

[illegible]

7. PROSEDUR PERHITUNGAN STABILITAS DINDING PENAHAN

Secara umum prosedur perhitungan dan pengecekan stabilitas dinding penahan harus dilakukan melalui 2 (dua) tahapan prosedur pengecekan, yaitu tahap 1 : perhitungan dan pengecekan stabilitas lereng terhadap tinggi kritis dan potensi longsor, dan prosedur tahap 2 : Perhitungan dan pengecekan stabilitas dinding penahan lereng terhadap guling, geser dan daya dukung tanah.

7.1. TAHAP 1 : PERHITUNGAN DAN PENGECEKAN STABILITAS LERENG TERHADAP TINGGI KRITIS DAN POTENSI LONGSOR.

Prosedur perhitungan tahap 1 merupakan pengecekan stabilitas lereng terhadap tinggi kritis dan potensi longsoran, untuk mengetahui tinggi kritis dan angka keamanan terhadap potensi longsor dari dimensi lereng yang direncanakan.

Langkah langkah pengecekan tinggi kritis dan potensi longsoran :

- Hitung dan check tinggi kritis dengan rumus : $H_{cr} = \frac{4c}{\gamma} \left[\frac{\sin \beta \cdot \cos \phi}{1 - \cos(\beta - \phi)} \right]$
- Hitung dan check angka keamanan stabilitas lereng terhadap potensi longsor dengan menggunakan salah satu metode seperti yang diuraikan pada butir 4.2.2.1. Analisis longsoran (landslide) Buku 1 : Petunjuk Umum dari Manual Penanganan Lereng Jalan.

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mendapatkan angka keamanan stabilitas lereng terhadap potensi longsor antara lain :

- 1) Metode analisis dengan komputansi (Fellenius, Bishop dan Janbu)
- 2) Metode analisis dengan grafis (Cousins, Janbu, Duncan&Buchignani dan Hoek & Bray)

Dimensi lereng yang direncanakan dikategorikan stabil, jika dari hasil perhitungan didapatkan hasil :

- tinggi kritis > tinggi rencana
- angka keamanan terhadap potensi longsor ≥ 1.30

Kondisi ini mengindikasikan, bahwa dimensi lereng yang direncanakan cukup stabil dan tidak memerlukan konstruksi penahan longsor seperti dinding penahan atau teknik penambatan lainnya, sehingga perhitungan tahap 2 tidak diperlukan..

Sebaliknya, dimensi lereng yang direncanakan dikategorikan tidak stabil, jika dari hasil perhitungan didapatkan hasil :

- tinggi kritis < tinggi rencana
- angka keamanan terhadap potensi longsor ≤ 1.30

Kondisi tidak stabil pada lereng tersebut dapat ditangani dengan konstruksi dinding penahan, yang peninjauan stabilitasnya dilakukan melalui perhitungan tahap 2 : perhitungan dan pengecekan stabilitas dinding penahan terhadap guling, geser dan daya dukung tanah.

7.2. TAHAP 2 : PERHITUNGAN DAN PENGECEKAN STABILITAS DINDING PENAHAN

Prosedur perhitungan dan pengecekan stabilitas terhadap konstruksi dinding penahan dilakukan melalui langkah-langkah sebagai berikut :

1. Memperkirakan ukuran / dimensi yang diperlukan dari dinding penahan tanah.
2. Hitung besarnya tekanan tanah, gunakan cara Coulomb atau cara Rankine.
3. Hitung dan check stabilitas gulingnya (*overturning stability*), dengan rumus rumus Rankine pada butir 4.2.2.2.4. Teori Rankine, atau rumus rumus Coulomb pada butir 4.2.2.2.5. Teori Coulomb, seperti yang tercantum dalam Buku 1 : Petunjuk Umum pada Manual Penanganan Lereng Jalan.

Konstruksi dinding penahan dikategorikan stabil terhadap gulingan apabila memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\frac{\Sigma \text{ Momen penahan}}{\Sigma \text{ Momen guling}} \geq FK$$

Dimana nilai FK adalah :

FK = 1.50 untuk tanah dasar granular

FK = 2.00 untuk tanah dasar kohesif

4. Hitung dan check stabilitas gesernya (*sliding stability*), secara komputasi (Fellinius, Bishop Janbu) yang diuraikan pada butir 4.2.2.1.2 Analisis Dengan Komputasi, atau secara grafis (Cousins, Janbu, Duncan & Buchignani, Hoek & Bray) yang diuraikan pada butir 4.2.2.1.3 Analisis Dengan Menggunakan Grafis, seperti yang tercantum dalam Buku 1 : Petunjuk Umum pada Manual Penanganan Lereng Jalan.

Konstruksi dinding penahan dikategorikan stabil terhadap geseran apabila memenuhi persyaratan sebagai berikut :

$$\frac{\sum W \times \text{koef. Geser}}{\sum \text{Gaya Horizontal Geser}} \geq FK$$

5. Hitung dan check tegangan yang terjadi pada tanah dengan menggunakan salah satu rumus dari Terzaghi, Mayerhoff atau Hansen pada butir 4.2.4.3. Stabilitas Terhadap daya dukung, seperti yang tercantum pada Buku 1 : Petunjuk Umum pada Manual Penanganan Lereng Jalan.

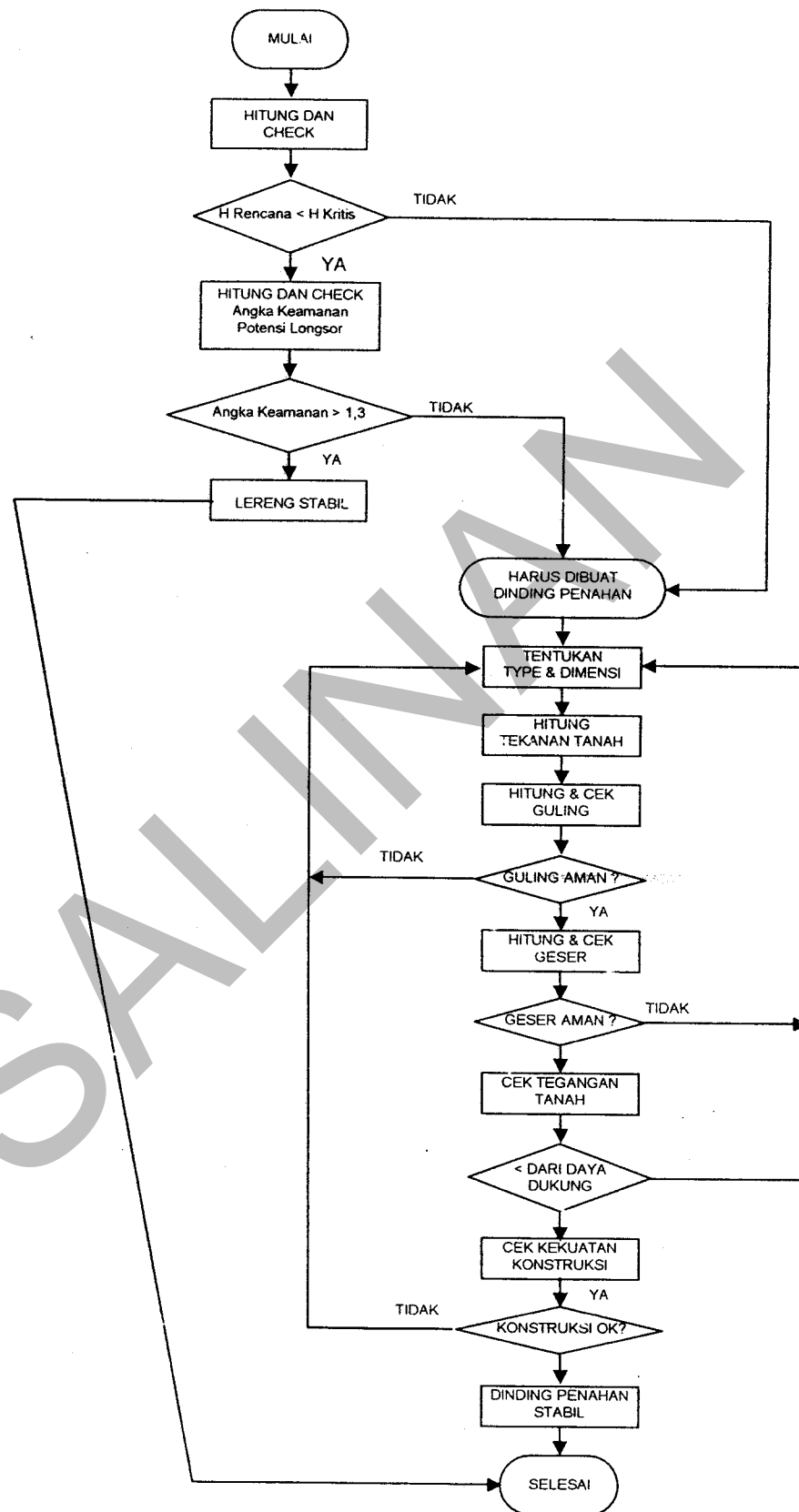
Konstruksi dinding penahan dikategorikan stabil daya dukung tanahnya apabila memenuhi persyaratan sebagai berikut :

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

6. Hitung dan check kekuatan struktur konstruksi terhadap momen dan gaya lintang, gunakan PBI (Peraturan Beton Bertulang Indonesia) NI-21971 sebagai rujukan

Skema yang menunjukkan langkah langkah perhitungan stabilitas lereng dapat dilihat pada gambar 17 berikut.

GAMBAR 17 BAGAN ALIR PROSEDUR UMUM PERHITUNGAN STABILITAS LERENG



8. PROSEDUR PERHITUNGAN STABILITAS TURAP

Secara umum prosedur perhitungan dan pengecekan stabilitas konstruksi turap analog dengan prosedur perhitungan dinding penahan, yaitu harus dilakukan melalui 2 (dua) tahapan prosedur pengecekan, yaitu tahap 1 : perhitungan dan pengecekan stabilitas lereng terhadap tinggi kritis dan potensi longsor, dan prosedur tahap 2 : Perhitungan dan pengecekan stabilitas konstruksi turap

Prosedur pengecekan tahap 1, yaitu Prosedur perhitungan stabilitas lereng terhadap tinggi kritis dan potensi longsor merujuk pada butir 7.1. pada manual ini, apabila angka keamanan < 1.30 lereng harus diperkuat dengan konstruksi turap, dan gunakan prosedur tahap 2 Perhitungan dan pengecekan stabilitas konstruksi turap.

8.1. PROSEDUR PERANCANGAN DINDING TURAP YANG DIPANCANG PADA TANAH GRANULER DENGAN UJUNG BEBAS

1. Hitung dan gambarkan diagram tekanan tanah aktif dan pasif berdasarkan K_a dan K_p .
2. Hitung tekanan akibat tekanan overburden pada kedalaman turap H ,
 $q' = \sum \gamma_i H_i$ (gunakan γ' bila tanah terendam air).
3. Tentukan letak titik bertekanan nol dengan persamaan :

$$y = \frac{q' K_{a2}}{\gamma_2 (K_{p2} - K_{a2})}$$

4. Ambil momen terhadap angker :
 $L P_a - \frac{1}{2} D_1^2 \gamma_2 (K_{p2} - K_{a2}) (H_w + b + y + \frac{2}{3} D_1) = 0$
 Dari persamaan ini akan diperoleh D_1 .
5. Hitung gaya pada angker :
 $T = P_a - \frac{1}{2} D_1^2 \gamma_2 (K_{p2} - K_{a2})$
6. Tentukan besarnya momen maksimum dan dinding turap, yaitu pada titik dengan gaya lintang nol.
7. Pilihlah dimensi turap berdasarkan momen maksimum tersebut.
8. Untuk keamanan, kalikan kedalaman turap (D), dengan factor 1,2 – 1,4 atau dengan membagi koefisien tekanan tanah pasif dengan faktor 1,5 sampai 2 pada langkah (3) dan (4).

atau dapat pula faktor aman dihitung dengan:

$$F = \frac{q_u(B')}{V} = \frac{798,4(3,32)}{454,2} = 5,84 \quad (\text{sama})$$

(b) Hitungan gaya lintang dan gaya momen

Momen yang bekerja pada dinding vertical:

$$\begin{aligned} M_y &= 0,5 \gamma_{b1} y^2 K_{a1} (y/3) + 0,5 q y^2 K_{a1} \\ &= 0,5 \times 19 \times y^3 \times (0,271/3) + 0,5 \times 10 \times y^2 \times 0,271 \\ &= 0,86y^3 + 1,36y^2 \end{aligned} \quad (a)$$

Gaya lintang:

$$\begin{aligned} S_y &= 0,5 \gamma_{b1} y^2 K_{a1} + q y K_{a1} \\ &= (0,5 \times 19 \times y^2 \times 0,271) + (10y) 0,271 \\ &= 2,57y^2 + 2,71y \end{aligned} \quad (b)$$

Momen (M_y) dan gaya lintang (S_y) dihitung dengan substitusi nilai-nilai y ke dalam Persamaan (a) dan Persamaan (b). Nilai-nilainya dihitung dalam Tabel C4.1c.

Tabel C4.1c

Potongan	Y (m)	S_y (kN.m)	M_y (kN.m)
I – I	$1/3 \times 6,2 = 2,07$	16,62	13,43
II – II	$2/3 \times 6,2 = 4,14$	55,27	84,33
III – III	$= 6,20$	115,59	257,24

Tekanan pada dasar pondasi dihitung dengan menganggap bahwa distribusi tekanan pondasi ketanah dasar berbentuk trapesium, maka:

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

Dengan $V = \sum W = 454,2 \text{ kN/m}$ dan $B = 4 \text{ m}$:

$$q_{\text{mak}} = \frac{454,2}{4} \left(1 + \frac{6 \times 0,34}{4}\right) = 171,46 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{min}} = \frac{454,2}{4} \left(1 - \frac{6 \times 0,34}{4}\right) = 55,64 \text{ kN/m}^2$$

Gaya momen akibat tekanan tanah pada dasar pondasi yang arahnya ke atas dengan menganggap distribusi tekanan tanah berbentuk trapezium:

$$x = 2,2 \text{ m} \rightarrow q_2 = 55,64 = 92,2/40 \ 9171,46 - 55,640 \\ = 119,34 \text{ kN/m}^2$$

$$x = 3 \text{ m} \rightarrow q_3 = 55,64 + \left(\frac{3}{4}\right) (171,46 - 55,64) \\ = 142,51 \text{ kN/m}^2$$

Potongan IV – IV:

$$\begin{aligned} S_y &= \\ &+(171,46 - 142,51) \times 0,5 \times 1 &= 14,48 \text{ (reaksi tanah)} \\ &+142,51 \times 1 &= 142,51 \text{ (reaksi tanah)} \\ &-1 \times 0,8 \times 25 &= -20,00 \text{ (berat pelat)} \\ S_y &= 136,99 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \\ &+0,5 \times 1 \times 142,51 &= 71,26 \text{ (reaksi tanah)} \\ &+2/3 \times (171,46 - 142,51) \times 0,5 \times 1 &= 9,65 \text{ (reaksi tanah)} \\ &-(0,8 \times 1 \times 25) \times 0,5 &= -10,0 \text{ (berat pelat)} \\ M_y &= 70,91 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Potongan V – V:

$$\begin{aligned} S_y &= \\ &-(119,34 - 55,64) \times 0,5 \times 2,2 &= -70,07 \text{ (reaksi tanah)} \\ &-55,64 \times 2,2 &= -122,41 \text{ (reaksi tanah)} \\ &+2,2 \times 0,8 \times 25 &= 44,00 \text{ (berat pelat)} \\ &+10 \times 2,2 &= 22,00 \text{ (berat q)} \\ S_y &= 132,68 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \\
 &-(55,64 \times 2,2^2/2) &= -134,65 \text{ (reaksi tanah)} \\
 &-(119,34 - 55,64) \times 0,5 \times 2,2^2/3 &= -51,38 \text{ (reaksi tanah)} \\
 &+(2,2 \times 0,8 \times 25) \times 1,1 &= 48,40 \text{ (berat pelat)} \\
 &+(2,2 \times 6,2 \times 19) \times 1,1 &= 285,08 \text{ (berat tanah)} \\
 &+(2,2 \times 10) \times 1,1 &= 24,20 \text{ (beban q)} \\
 \hline
 M_y &= 171,65 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

Hasil hitungan S_y dan M_y pada pelat pondasi disimpulkan dalam Tabel berikut

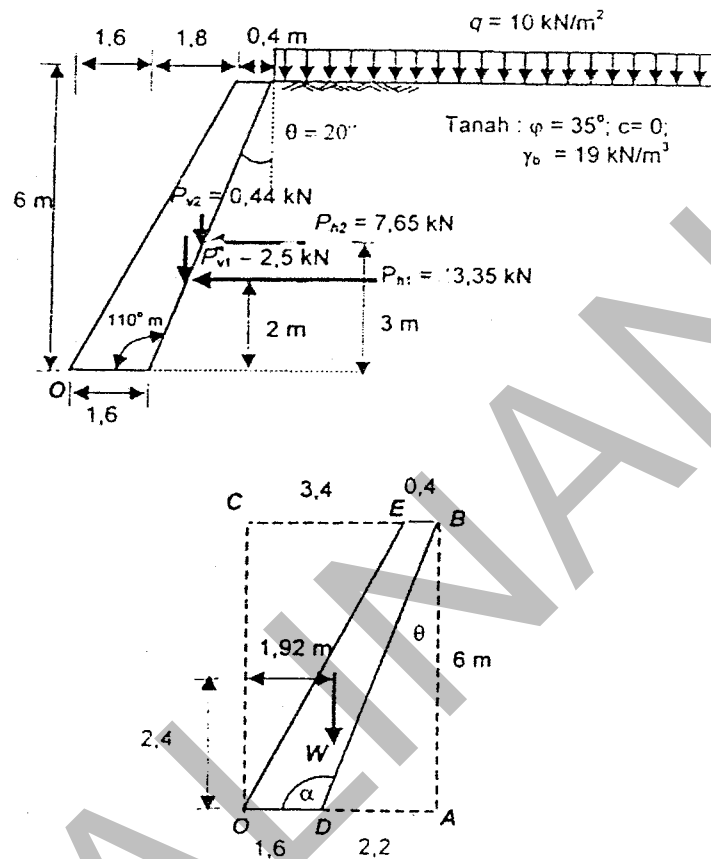
Potongan	S_y (kN)	M_y (kN.m)
IV – IV	136,99	70,91
V – V	132,68	171,65

Contoh Perhitungan : Konstruksi Dinding Penahan Miring (Kasus 3)

Penampang dinding penahan tanah diperlihatkan pada Gambar di bawah

Data tanah urug: $c = 0$, $\phi = 35^\circ$; $\gamma_b = 19 \text{ kN/m}^3$

Selidiki kestabilan dinding penahan tersebut.

**Penyelesaian:**

Hitungan berat dinding dan momen terhadap O, diperlihatkan dalam Tabel

Luasan	Berat W (kN/m)	X (m)	Momen ke O (kN.m)
OABC	$3,8 \times 6 \times 25 = 570$	1,9	1083
DAB	$-2,2 \times 6/2 \times 25 = -165$	3,07	-506,6
OCE	$-3,4 \times 6/2 \times 25 = -255$	1,13	-288,2
	150		288,2

Jarak titik tangkap gaya $x = 288,2/150 = 1,92 \text{ m}$ dari O

Koefisien tekanan tanah aktif cara Coulomb:

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

$$\theta = \arctan(6/2,2) = 20^\circ$$

$$\alpha = 180^\circ - (90^\circ - 20^\circ) = 110^\circ$$

$$\delta = (2/3)\varphi = (2/3) \times 35^\circ = 23,3^\circ$$

$$\beta = 0^\circ$$

$$K_a = \frac{\sin^2(110 + 35)}{\sin^2 110 \sin(110 - 23,3) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(35 + 23,3) \sin(35 - 0)}{\sin(110 - 23,3) \sin(110 + 0)}} \right)^2}$$

$$= 0,127$$

Gaya-gaya yang bekerja pada dinding dinding kantilever diperlihatkan pada Gambar 4.19 dan 4.20.

Tabel C4.2b.

No	P_a (kN)	P_{ah} (kN)	P_{av} (kN)	X (m)	y (m)
1	$0,5 \times 6^2 \times 19 \times 0,127 = 43,43$	43,35	2,50	2,33	2
2	$10 \times 6 \times 0,127 = 7,67$	7,65	0,44	2,70	3
	51,10	51,00	2,94		

Dalam Tabel C4.2b, P_{av} dan P_{ah} dihitung dengan persamaan:

$$P_{ah} = P_a \cos(\delta - \theta) = P_a \cos 3,3^\circ$$

$$P_{av} = P_a \sin(\delta - \theta) = P_a \sin 3,3^\circ$$

(1) Stabilitas terhadap penggulingan

$$F_{gl} = \frac{\sum W_x + \sum P_{av} x}{\sum P_{ah} y}$$

$$F_{gl} = \frac{288,2 + 2,50 \times 2,33 + 0,44 \times 2,7}{43,35 \times 2 + 7,65 \times 3} = \frac{295,21}{109,65} = 2,69 > 1,5 \quad (\text{OK})$$

(2) Stabilitas terhadap penggeseran

Tanah dasar $\phi = 35^\circ$. Bila dasar pondasi dianggap sangat kasar, maka $\delta_b = \phi = 35^\circ$.

$$F_{gs} = \frac{(\sum W + \sum P_{av}) \operatorname{tg} \delta_b}{\sum P_{ah}} = \frac{(150 + 2,50 + 0,44) \operatorname{tg} 35^\circ}{43,35 + 7,65} = 2,1 > 1,5 \quad (\text{OK})$$

(3) Stabilitas terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah

$$\begin{aligned} \sum M &= \sum W_x + \sum P_{av}x - \sum P_{ah}y \\ x &= \frac{\sum M}{\sum W + \sum P_{av}} = \frac{295,21 - 109,65}{152,94} = 1,21 \text{ m dari O} \\ e &= |(1,6/2) - 1,21| = 0,41 \text{ m} > B/6 = 1,6/6 = 0,27 \end{aligned}$$

Tekanan pada dasar dinding (untuk $e > B/6$):

$$\begin{aligned} q_{\text{mak}} &= \frac{2V}{3(B - 2e)} = \frac{2 \times 152,94}{3(1,6 - 2 \times 0,41)} \\ &= 130,70 \text{ kN/m}^2 < q_a = 300 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Bila dihitung berdasarkan lebar efektif pondasi ($B' = B - 2e = 1,6 - 2 \times 0,41 = 0,78$ m), maka:

$$\begin{aligned} q_{\text{mak}} &= \frac{\sum W + \sum P_{av}}{B'} = \frac{150 + 2,5 + 0,44}{0,78} \\ &= 196,08 \text{ kN/m}^2 < q_a = 300 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

Dari hasil hitungan-hitungan diatas, dinding penahan tanah memenuhi syarat kestabilan.

Penyelesaian:

Tekanan tanah lateral pada dinding dihitung menurut cara Rankine:

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2) = \tan^2(45^\circ - 30/2) = 0,33$$

$$P_{a1} = 0,5 H^2 \gamma_b K_a = 0,5 \times 5^2 \times 19 \times 0,33 = 78,38 \text{ kN}$$

$$P_{a2} = qHK_a = 10 \times 5 \times 0,33 = 16,67 \text{ kN}$$

$$\text{Momen } P_{a1} \text{ dan } P_{a2} \text{ terhadap titik O} = 5/3 \times 78,38 + 5/2 \times 16,67 = 172,308 \text{ kN.m}$$

Hitungan gaya-gaya vertikal dan momen terhadap titik O (ujung kaki depan) diperlihatkan dalam Tabel berikut

$$\text{Momen akibat } Q_h = 4 \times 10 = 40 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma M = 888,97 - 40 - 172,308 = 676,66 \text{ kN.m}$$

$$\Sigma V = 398,98 \text{ kN}$$

$$x = \frac{676,66}{398,98} = 1,70 \text{ m}$$

$$e = 4/2 - 1,70 = 0,30 \text{ m} < 4/6 = 0,67 \text{ m}$$

(1) Stabilitas terhadap penggulingan

$$F_{gl} = \frac{888,97}{40 + 172,308} = 4,2 > 1,5 \quad (\text{OK})$$

Hitungan gaya vertikal dan momen ke O per meter

No	Gaya vertikal (kN/m)		Jarak dari O (m)	Momen ke O (kN.m)
1	$0,4 \times 1,3 \times 25$	= 13	1,7	22,1
2	$0,5 \times 0,4 \times 0,3 \times 25$	= 1,5	1,63	2,45
3	$0,5 \times 3,2 \times 25$	= 40	1,25	50,00
4	$0,8 \times 4,0 \times 25$	= 80	2,0	160,00
5	$0,5 \times 0,4 \times 0,3 \times 19$	= 1,14	1,77	2,02
6	$2,6 \times 0,40 \times 19$	= 19,76	1,70	33,59
7	$2,1 \times 4,2 \times 19$	= 167,58	2,95	494,36
Q_v		50	1,25	62,50
q	$10 \times 2,1$	= 21	2,95	61,95
		398,98		888,97

2) Stabilitas terhadap penggeseran

Karena dasar dinding penahan diketahui dsangat kasar $\delta_b = \varphi = 40^\circ$

$$F_{gs} = \frac{398,98 \operatorname{tg} 40^\circ}{78,38 + 16,67 + 10} = 3,20 > 1,5 \quad (\text{OK})$$

(3) Stabilitas terhadap keruntuhan kapasitas dukung

Bila dipakai distribusi trapezium, tekanan pondasi ke tanah dasar:

$$q_{\text{mak}} = \frac{398,98}{4} \left(1 + \frac{6 \times 0,30}{4} \right) \\ = 144,63 \text{ kN/m}^2 < q_a = 200 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{OK})$$

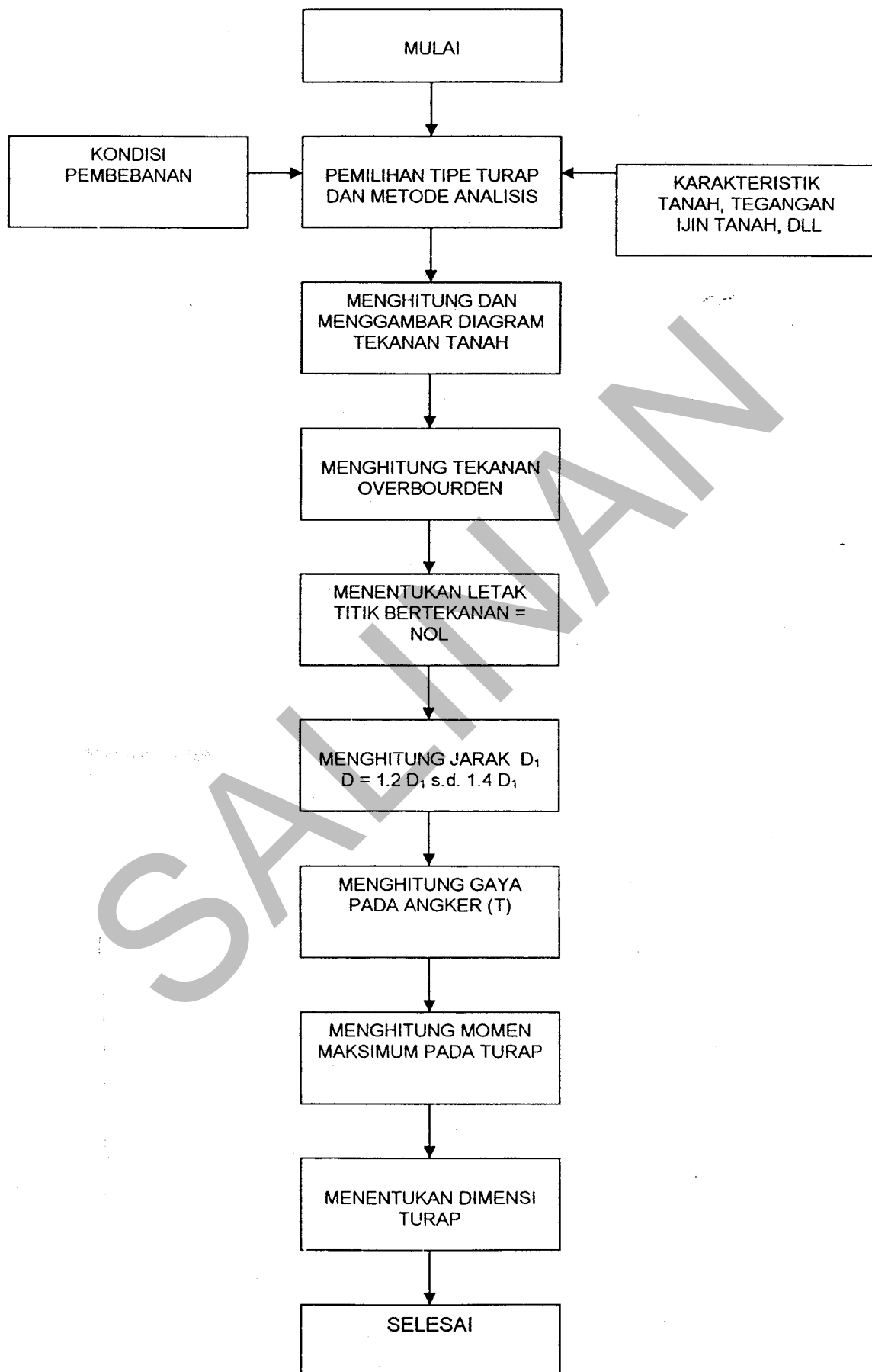
$$q_{\text{min}} = \frac{398,98}{4} \left(1 - \frac{6 \times 0,30}{4} \right) = 54,86 \text{ kN/m}^2 > 0 \quad (\text{OK})$$

Bila dipakai distribusi Meyerhof:

$$q_{\text{mak}} = \frac{V}{B - 2e} = \frac{398,98}{4 - (2 \times 0,3)} = 117,3 \text{ kN/m}^2 < q_a = 200 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{OK})$$

Dari hasil-hasil hitungan, pangkal jembatan memenuhi syarat stabilitas.

Gambar 18. Prosedur Perancangan dinding turap diangker pada tanah granuler dengan metode ujung bebas

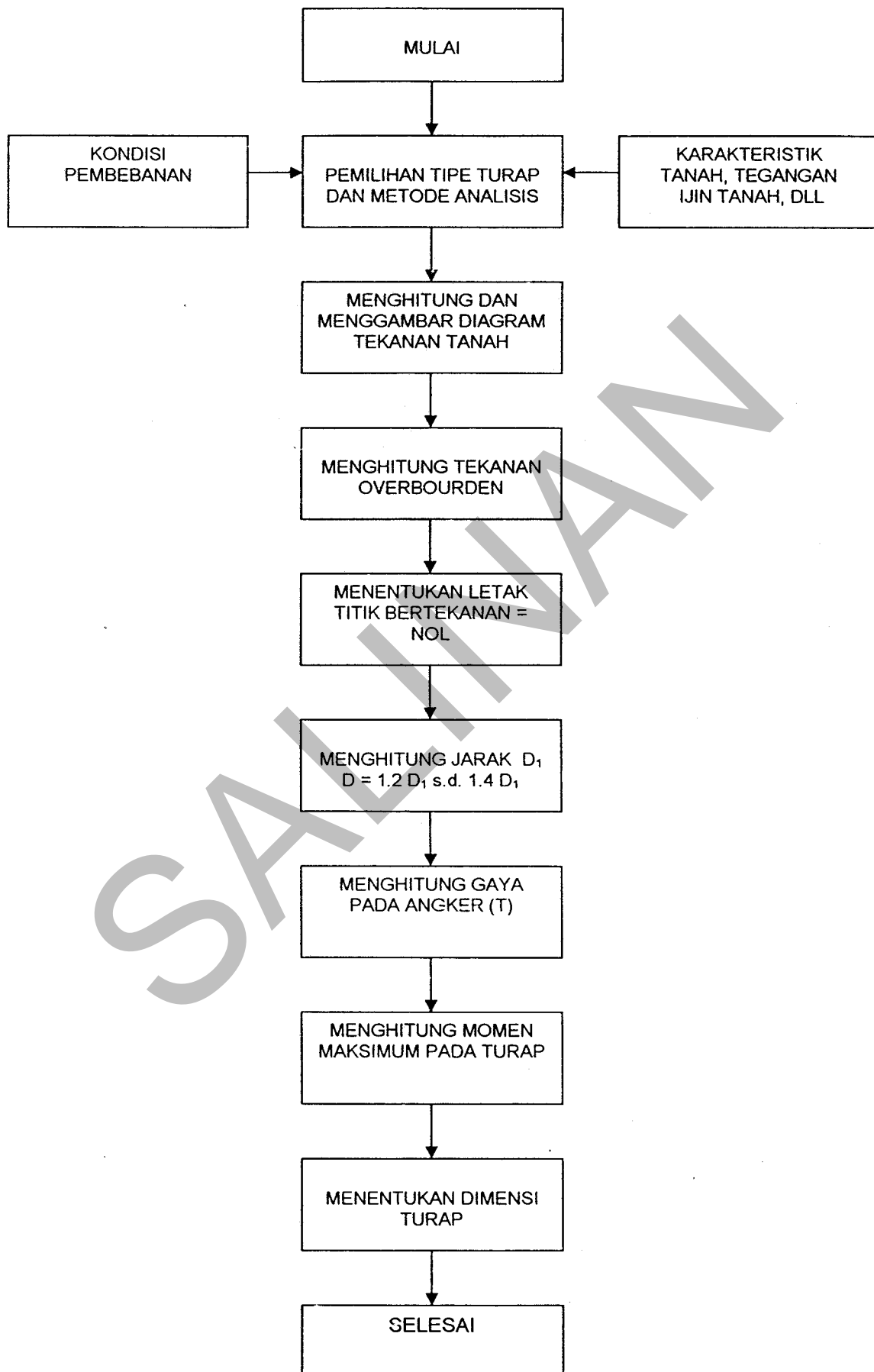


8.2. PROSEDUR PERANCANGAN DINDING TURAP YANG DIPANCANG PADA TANAH KOHESIF DENGAN UJUNG BEBAS

1. Gambarkan diagram tekanan tanah aktif dan pasif.
2. Hitung tekanan tanah akibat tekanan overburden dan beban terbagi rata pada elevasi yang sama dengan dasar galian ($q' = \sum \gamma_i H_i$). Gunakan γ' bila tanah terendam air.
3. Dengan menggunakan kuat geser undrained (c_u), ambilah momen terhadap angker :
$$L P_a - D(4c - q')(H_w + b + \frac{1}{2} D) = 0$$

Dari persamaan ini diperoleh D.
4. Hitung gaya pada angker: $T = P_a - (4c - q')D$
5. Tentukan besar momen maksimum pada turap, yaitu pada titik dengan gaya lintang sama dengan nol.
6. Pilihlah dimensi turap berdasarkan momen maksimum yang diperoleh tersebut.
7. Untuk keamanan, kalikan kedalaman turap (D) dengan faktor 1,2 sampai 1,4 atau gunakan nilai c sebesar 50 - 70%-nya dalam langkah 3 dan 4.

Gambar 19. Prosedur Perancangan dinding turap diangker pada tanah kohesif dengan metode ujung bebas



8.3. PROSEDUR PERANCANGAN DINDING TURAP YANG DIPANCANG PADA TANAH GRANULER DENGAN UJUNG TETAP

1. Tentukan besarnya tekanan tanah aktif dan pasif (p_a dan p_p).
2. Tentukan kedalaman titik O, dengan persamaan :

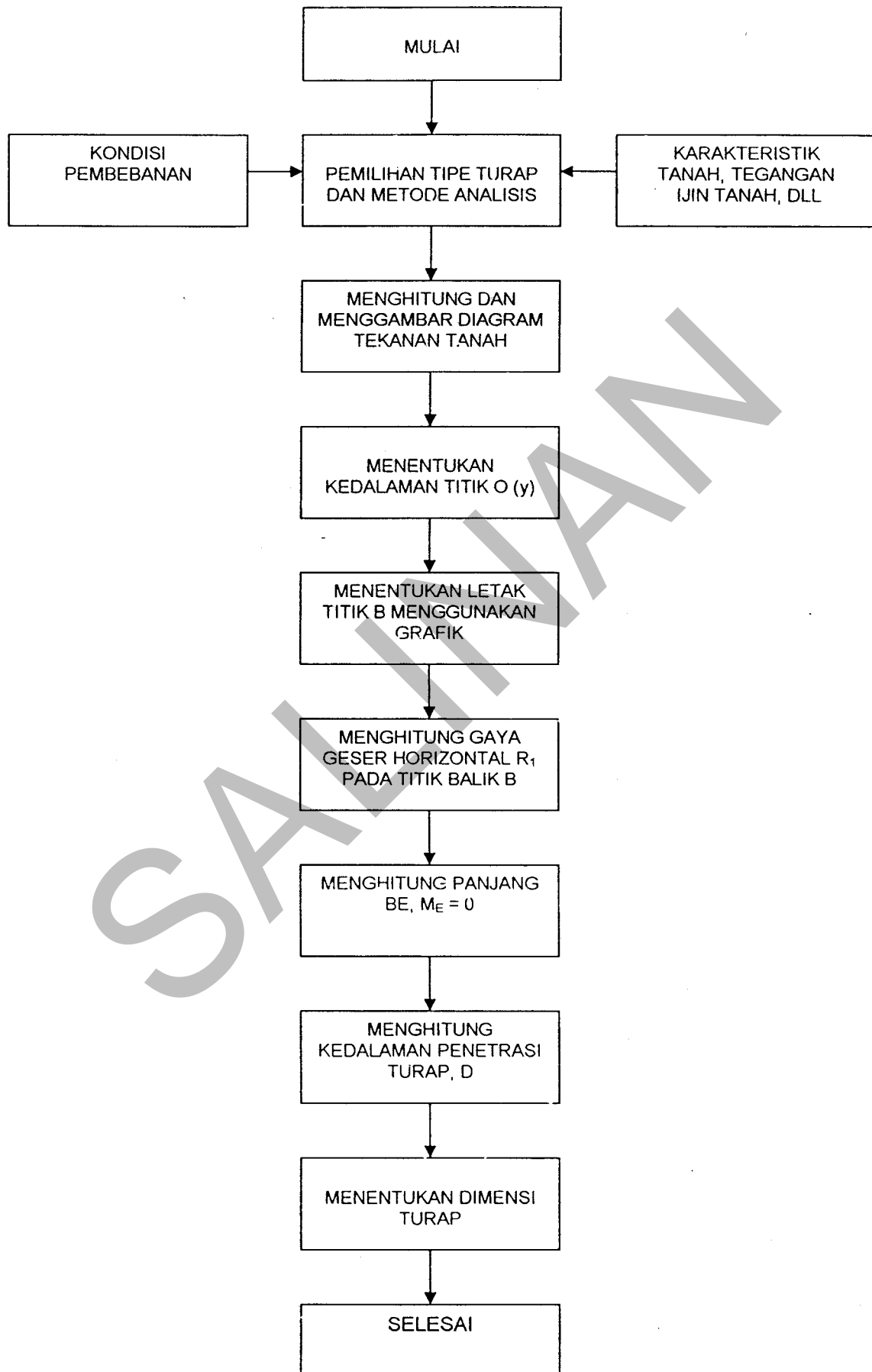
$$y = \frac{q'K_{a2}}{\gamma_2(K_{p2} - K_{a2})}$$

3. Tentukan letak titik B
4. Tentukan gaya geser horisontal R_1 pada titik balik B. R_1 adalah reaksi horisontal pada titik B dengan menganggap turap sebagai balok sederhana yang ditumpu pada titik B dan angker.
5. Dengan menganggap bagian BE pada turap sebagai balok sederhana (*simple beam*) , hitung panjang BE dengan cara mengambil momen terhadap E sama dengan nol.
6. Kedalaman penetrasi turap D sama dengan jumlah panjang bagian BE ditambah x. Untuk keamanan, kalikan D dengan faktor 1,2 – 1,4.

Metode ujung tetap ini hanya cocok untuk turap yang secara keseluruhan terletak di dalam tanah granular. Pada umumnya titik balik B dan titik dengan tekanan nol (0) ditempatkan di dekat permukaan dan x dapat diambil sama dengan y. Karena itu, kedalaman penetrasi turap (D) dapat dinyatakan oleh persamaan :

$$7. D = y + \sqrt{\frac{6R_1}{\gamma_2 (K_{p2} - K_{a2})}}$$

Gambar 20. Prosedur Perancangan dinding turap diangker pada tanah granuler dengan metode ujung tetap.



9. PERUMUSAN HASIL PERENCANAAN

9.1. UMUM

Seluruh proses perencanaan hasilnya dirumuskan dalam bentuk laporan dan dokumen sebagai data pendukung untuk tahap pelaksanaan konstruksi. Perumusan hasil perencanaan lereng mencakup laporan dan dokumen sebagai berikut : Laporan penyelidikan tanah, laporan nota desain, persyaratan umum, gambar rencana, kuantitas dan biaya serta persyaratan khusus (bila ada)

9.2. LAPORAN PENYELIDIKAN TANAH

Laporan penyelidikan tanah merupakan data pendukung untuk proses perencanaan yang memuat semua proses yang terkait dengan penyelidikan tanah untuk keperluan perencanaan lereng jalan yang mencakup antara lain :

- Jenis penyelidikan tanah dan teknik sampling
- Metode pelaksanaan
- Hasil penyelidikan tanah dari lapangan
- Jenis pengujian laboratorium
- Hasil pengujian laboratorium
- Rekomendasi akhir untuk proses perencanaan

9.3. LAPORAN NOTA DESAIN

Laporan nota desain merupakan salah satu perumusan hasil perencanaan yang memuat proses dan hasil perhitungan yang selanjutnya dijabarkan di dalam gambar rencana.

Isi laporan nota desain mencakup antara lain :

- Dasar perencanaan
- Kriteria perencanaan
- Data pendukung perencanaan

- Volume item pekerjaan
- Catatan lain

9.6. KUANTITAS DAN BIAYA

Kuantitas dan biaya merupakan salah satu perumusan hasil perencanaan yang memuat rincian dan estimasi perhitungan kuantitas dan biaya berdasarkan gambar rencana konstruksi.

Kerangka isi dokumen kuantitas dan biaya mencakup antara lain :

- Harga Satuan Bahan dan Upah
- Analisa Harga Satuan untuk setiap item pekerjaan yang digunakan
- Perhitungan volume setiap pekerjaan
- Perkiraan biaya (Engineer Estimate)

9.7. SPESIFIKASI KHUSUS

Spesifikasi khusus merupakan salah satu perumusan hasil perencanaan yang memuat rincian persyaratan teknis pelaksanaan konstruksi yang belum terakomodasikan di dalam spesifikasi umum. Spesifikasi khusus selanjutnya dijadikan sebagai salah satu bagian dari dokumen kontrak.

Kerangka isi dokumen spesifikasi khusus pada umumnya sama dengan spesifikasi umum mencakup persyaratan teknis antara lain :

- Persyaratan Bahan
- Persyaratan Jaminan Mutu (Quality Assurance)
- Persyaratan Pengujian Mutu dan Standar Rujukannya
- Persyaratan Pelaksanaan
- Cara pembayaran dan item pembayaran

Contoh persyaratan teknis pekerjaan untuk konstruksi lereng jalan yang belum diakomodasikan di dalam spesifikasi umum dan dapat diakomodasikan di dalam dokumen spesifikasi khusus adalah pekerjaan tanah bertulang dengan menggunakan geotekstiel dan geomembran.

LAMPIRAN

CONTOH PERHITUNGAN

Contoh Perhitungan Dinding Penahan (Kasus – 1)

Diketahui dinding penahan tanah dengan tinggi 5 m seperti yang terlihat pada Gambar di bawah. Tanah dibelakang dinding mempunyai $\phi = 30^\circ$, $c = 0 \text{ kN/m}^2$, angka pori $e = 0,53$ dan berat jenis $G_s = 2,7$. Jika tanah pondasi dianggap kedap air, hitung tekanan tanah aktif pada dinding dengan cara Coulomb bila:

- Elevasi muka air sama di depan dan dibelakang dinding sama
- Elevasi muka air sama di kedua tempat tersebut, namun telah turun sebesar 2.m dari puncak dinding.
- Pada bagian depan dinding tidak dipengaruhi air, dan air dibelakang dinding setinggi permukaan tanah timbunan.

Berat volume tanah:

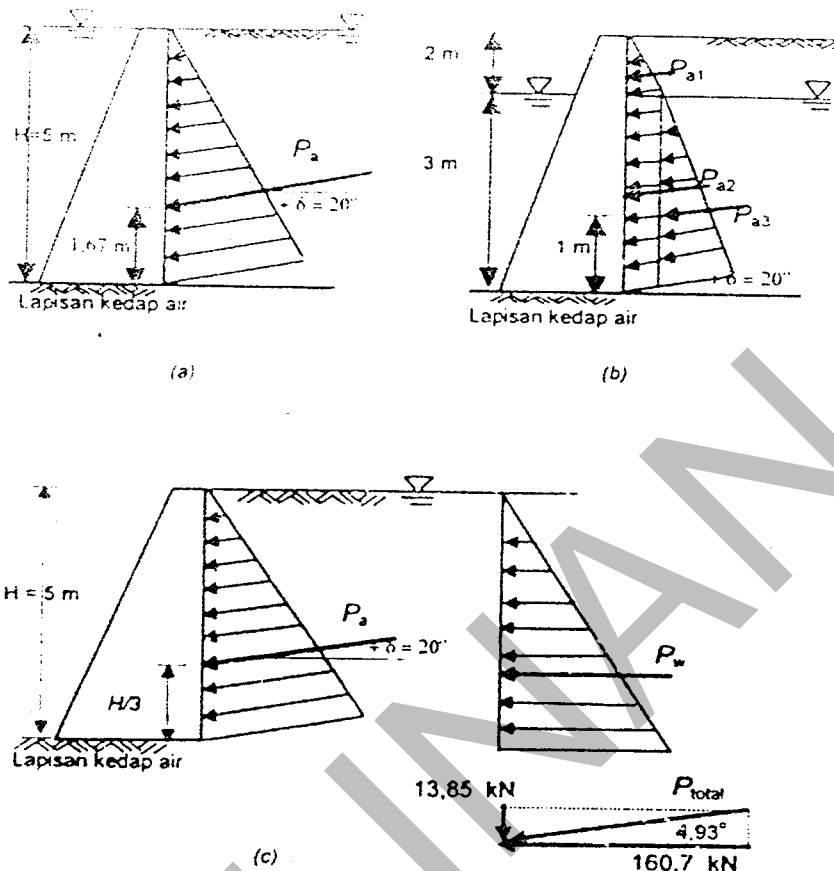
$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} = \frac{2,7 \times 9,81}{(1+0,53)} = 17,3 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{(G_s + e) \gamma_w}{1+e} = \frac{(2,7 + 0,53) 9,81}{(1+0,53)} = 20,71 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = 20,71 - 9,81 = 10,9 \text{ kN/m}^3$$

Koefisien tekanant tanah aktif cara Coulomb, untuk $\phi = 30^\circ$, $\beta = 0^\circ$, $\delta = (2/3) \phi = (2/3) \times 30^\circ = 20^\circ$, adalah:

$$\begin{aligned}
 K_a &= \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right)^2} \\
 &= \frac{\sin^2(90^\circ + 30^\circ)}{\sin^2 90^\circ \sin(90^\circ - 20^\circ) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(30^\circ + 20^\circ) \sin(30^\circ - 0^\circ)}{\sin(90^\circ - 20^\circ) \sin(90^\circ + 0^\circ)}} \right)^2} \\
 &= 0,297
 \end{aligned}$$



a). Kondisi (1) / (Gambar a)

Tekanan air dimuka dan belakang dinding sama, jadi saling meniadakan. Gaya tekanan tanah aktif total permeter:

$$P_a = 0,5 H^2 \gamma K_a = 0,5 \times 5^2 \times 10,9 \times 0,297 = 40,50 \text{ kN}$$

Gaya P_a bersudut 20° terhadap horisontal dengan titik tangkap gaya pada $(1/3) \times 5 = 1,67 \text{ m}$

b) Kondisi (2) / (Gambar b)

Dianggap tanah diatas muka air,pada kondisi kering. Tekanan tanah aktif total permeter:

$$P_{a1} = 0,5h_1^2\gamma_d K_a = 0,5 \times 2^2 \times 17,3 \times 0,297 = 10,28 \text{ kN}$$

$$P_{a2} = h_1\gamma_d K_a h_2 = 2 \times 17,3 \times 0,297 \times 3 = 30,83 \text{ kN}$$

$$P_{a3} = 0,5h_2^2\gamma K_a = 0,5 \times 3^2 \times 10,9 \times 0,297 = 14,57 \text{ kN}$$

Tekanan tanah aktif total pada dinding permeter:

$$P_a = 10,28 + 30,83 + 14,57 = 55,68 \text{ kN}$$

Dengan arah gaya miring sebesar 20° terhadap horisontal.

Diagram tekanan tanahnya dapat dilihat pada Gambar C4.1b.

c) Kondisi (3) / (Gambar c)

Tekanan tanah pada dinding permeter:

$$P_a = 0,5 H^2\gamma K_a = 0,5 \times 5^2 \times 10,9 \times 0,297 = 40,50 \text{ kN}$$

Tekanan air pada dinding arahnya tegak lurus dinding (per meter):

$$P_w = 0,5 H^2\gamma_w = 0,5 \times 5^2 \times 9,81 = 122,63 \text{ kN}$$

$$P_{ah}(\text{horisontal}) = 122,63 + 40,50 \times \cos 20^\circ = 160,70 \text{ kN}$$

$$P_{av}(\text{vertikal}) = 40,50 \times \sin 20^\circ = 13,85 \text{ kN}$$

P total (miring) = $\sqrt{(160,7^2 + 13,85^2)} = 161,29 \text{ kN}$, dengan sudut kemiringan = $\arctg (13,85/160,7) = 4,93^\circ$ terhadap horisontal.

Perlu diperhatikan bahwa pada contoh soal ini, dasar dinding dianggap melekat pada lapisan kedap air, sehingga pada dasar dinding tidak ada tekanan air keatas.

SALINAN

Contoh Perhitungan : Konstruksi Dinding Penahan Kantilever (Kasus 2)

Diketahui dinding penahan tanah kantilever seperti ditunjukkan pada Gambar di bawah.

Data tanah:

Tanah urug : $c_1 = 0 \text{ kN/m}$, $\phi_1 = 35^\circ$, $\gamma_{b1} = 19 \text{ kN/m}^3$

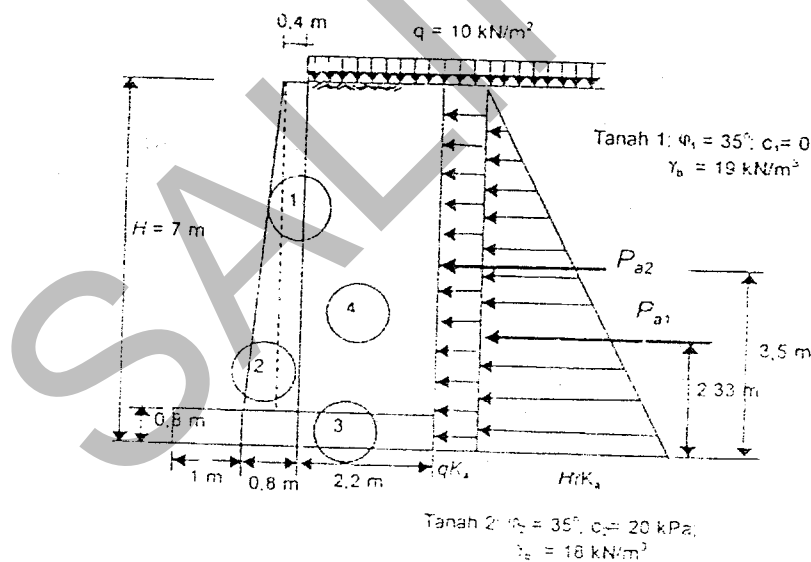
Tanah pondasi : $c_2 = 20 \text{ kN/m}^2$, $\phi_2 = 35^\circ$, $\gamma_{b2} = 18 \text{ kN/m}^3$

Berat volume beton = 25 kN/m^3

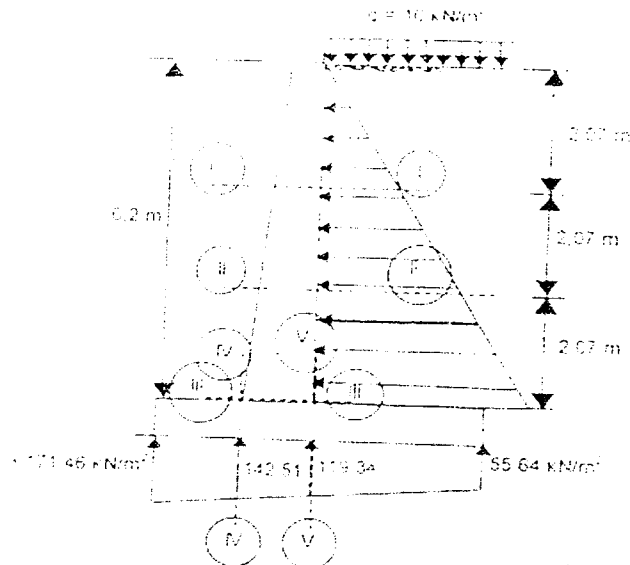
Beban terbagi rata diatas timbunan $q = 10 \text{ kN/m}^2$.

Bila hitungan didasarkan pada teori Rankine,

- selidiki stabilitas dinding penahan
- hitung momen-momen serta gaya-gaya lintang pada potongan-potongan yang diperlihatkan pada Gambar di bawah.



(a)



Penyelesaian:

(a) Hitungan stabilitas dinding penahan tanah

Hitungan gaya vertical dan gaya momen terhadap kaki depan (titik O) diperlihatkan pada Tabel berikut

No	Berat W (kN)	Jarak dari O (m)	Momen ke O (kN)
1	$0,4 \times 6,2 \times 25 = 62$	1,60	99,2
1	$0,4 \times 6,2 \times 0,5 \times 25 = 31$	1,27	39,4
3	$0,8 \times 4 \times 25 = 80$	2,00	160,0
4	$2,2 \times 6,2 \times 19 = 259,2$	2,90	751,7
q	$(4 - 1,8) \times 10 = 22$	2,90	63,8
	$\Sigma W = 454,2$		$\Sigma M_r = 1114,1$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - 35/2) = 0,271$$

$$\Sigma P_{ah} = 0,5 H^2 \gamma_b K_a + q H K_a$$

Tekanan tanah aktif total dan momen terhadap O, dihitung dalam Tabel berikut

Tekanan tanah aktif total P_a (kN)	Jarak dari O (m)	Momen ke O (kN.m)
$0,5 \times 7^2 \times 19 \times 0,271 = 126,2$	2,33	294,35
$10 \times 7 \times 0,271 = 18,92$	3,5	66,40
$\Sigma P_a = 145,12$		$\Sigma M = 360,75$

(1) Stabilitas terhadap penggeseran

Tahanan geser pada dinding sepanjang $B = 4$ m, dihitung dengan menganggap dasar dinding sangat kasar, sehingga sudut gesek $\delta_b = \phi$ dan adhesi $c_d = c_2$:

$$R_h = c_d B + \sum W \operatorname{tg} \delta_b = (20 \times 4) + (454,2 \times \operatorname{tg} 35^\circ) \\ = 398,0 \text{ kN/m}$$

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} = \frac{390,0}{145,12} = 2,74 > 1,5 \quad (\text{OK})$$

(2) Stabilitas terhadap penggeseran

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} = \frac{1114,1}{360,75} = 3,16 > 1,5 \quad (\text{OK})$$

(3) Stabilitas terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah

Dalam hal ini akan digunakan persamaan Hansen. Pada hitungan dianggap pondasi terletak dipermukaan.

$$x_c = \frac{\sum M_w - \sum M_{gl}}{\sum W} = \frac{1114,1 - 360,75}{454,2} = 1,65 \text{ m}$$

$$e = B/2 - x_e = 4/2 - 1,65 = 0,34 \text{ m} < B/6 = 4/6 = 0,67 \text{ m}$$

$$\text{Lebar efektif: } B' = B - 2e = 4 - (2 \times 0,34) = 3,32 \text{ m}$$

$$A' = B' \times 1 = 3,32 \times 1 = 3,32 \text{ m}^2$$

Gaya horisontal: $H = 145,12$ kN dan gaya vertikal: $V = 454,2$ kN

Faktor kemiringan beban:

$$\begin{aligned}
 i_q &= \left[1 - \frac{0,5H}{V + A c_d \operatorname{ctg} \varphi} \right]^5 \geq 0 \\
 &= \left[1 - \frac{0,5(145,12)}{454,2 + 3,32 \times 20 \times \operatorname{ctg} 35^\circ} \right]^5 = 0,49 \\
 i_c &= i_q - (1 - i_q) / N_c \operatorname{tg} \varphi \\
 &= 0,49 - (1 - 0,49) / (46,12 \operatorname{tg} 35^\circ) = 0,47
 \end{aligned}$$

Catatan; $N_c \operatorname{tg} \varphi = N_q - 1$

$$\begin{aligned}
 i_\gamma &= \left[1 - \frac{0,7H}{V + A c_d \operatorname{ctg} \varphi} \right]^5 \\
 &= \left[1 - \frac{0,7(145,12)}{454,2 + 3,32 \times 20 \times \operatorname{ctg} 35^\circ} \right]^5 = 0,36
 \end{aligned}$$

Untuk $\varphi_2 = 35^\circ$, dari Tabel, $N_q = 33,3$; $N_c = 46,12$; $N_\gamma = 33,92$

Kapasitas dukung ultimit untuk pondasi dipermukaan menurut Hansen ($D_f = 0$, faktor kedalaman $d_c = d_q = d_\gamma = 1$, faktor bentuk $s_c = s_q = s_\gamma = 1$):

$$\begin{aligned}
 q_u &= i_c c_2 N_c + i_\gamma 0,5 B' \gamma_{b2} N_\gamma \\
 &= (0,47 \times 20 \times 46,12) + (0,36 \times 0,5 \times 3,32 \times 18 \times 33,92) \\
 &= 798,4 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Bila dihitung dengan berdasarkan lebar pondasi efektif (lebar pondasi efektif), yaitu tekanan pondasi ke tanah dasar terbagi rata secara sama, maka:

$$q' = \frac{V}{B} = \frac{454,2}{3,32} = 136,81 \text{ kN/m}^2$$

Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung:

$$F = \frac{q_u}{q'} = \frac{798,4}{136,81} = 5,84 > 3 \quad (\text{OK})$$