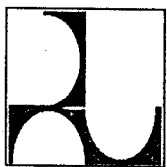


PEDOMAN

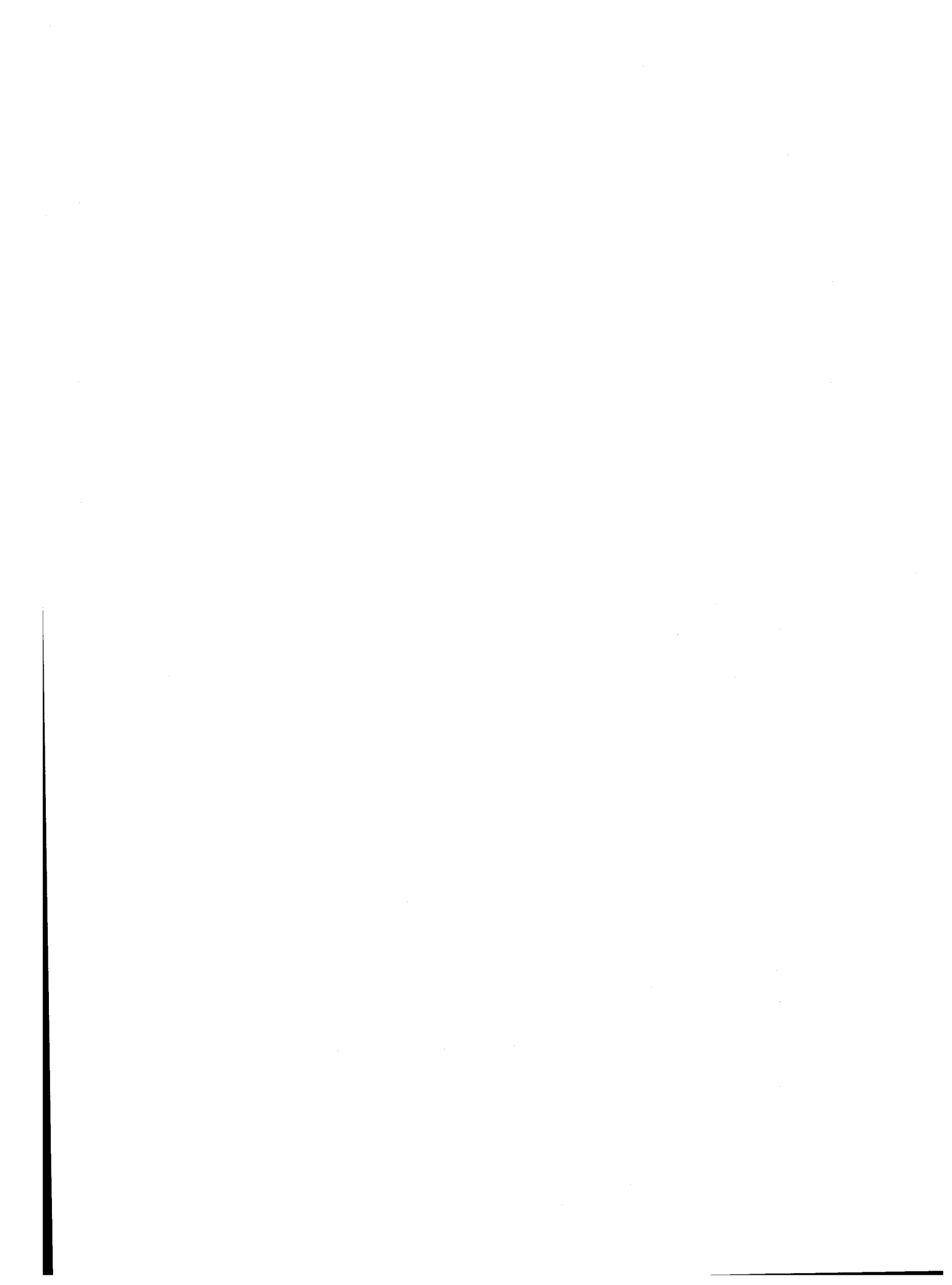
Pd T-06-2004-B

Konstruksi dan Bangunan

**Perencanaan konstruksi timbunan jalan
di atas gambut dengan metode prapembebanan**



DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH



Daftar Isi

Daftar isi	i-ii
Daftar gambar	iii
Daftar tabel	iii
Prakata	iv
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	2
3.1 gambut	2
3.2 gambut berserat atau <i>fibrous</i>	2
3.3 gambut amorf atau <i>amorphous</i>	2
3.4 prapembebanan (<i>preloading</i>)	2
3.5 penurunan primer	2
3.6 penurunan sekunder	2
3.7 beban tambahan (<i>surcharge</i>)	3
3.8 rasio beban tambahan	3
3.9 pemantauan (<i>monitoring</i>)	3
3.10 indeks kompresi	3
3.11 indeks rekompresi	3
3.12 tegangan <i>overburden</i>	3
3.13 tegangan prakonsolidasi	3
3.14 koefisien kompresi sekunder	3
4 Prinsip-prinsip	3
5 Analisis	4
5.1 Analisis stabilitas	4
5.1.1 Kuat geser untuk analisis stabilitas	4
5.1.1.1 Analisis tegangan total (TSA)	4
5.1.1.2 Analisis tegangan efektif (ESA)	6
5.1.1.3 Kenaikan kuat geser	6
5.1.2 Metode kesetimbangan batas	7
5.1.3 Metode elemen hingga (<i>finite element method, FEM</i>)	7
5.1.4 Faktor keamanan	9
5.2 Analisis penurunan	9
5.2.1 Metode konvensional	9
5.2.1.1 Penurunan awal	9
5.2.1.2 Penurunan konsolidasi primer	10
5.2.1.3 Kompresi sekunder	12
5.2.1.4 Metode Den Haan	13
5.2.1.5 Laju penurunan konsolidasi	13

5.2.2	Metode numerik	14
5.2.2.1	Metode beda hingga (FDM)	14
5.2.2.2	Metode elemen hingga (FEM)	14
6	Desain	15
6.1	Pemberian beban tambahan untuk memperkecil penurunan konsolidasi primer	16
6.2	Pemberian beban tambahan untuk memperkecil penurunan sekunder selama masa layan	17
6.3	Parameter-parameter desain	20
6.4	Pertimbangan-pertimbangan desain	20
7	Monitoring	20
7.1	Pendahuluan	20
7.2	Instrumentasi	21
7.3	Interpretasi hasil-hasil monitoring	23
8	Contoh perhitungan	23
	Lampiran A Sifat-sifat Umum Gambut (informatif)	25
A.1	Pendahuluan	25
A.2	Klasifikasi geoteknik gambut	25
A.3	Perilaku rekayasa	25
A.4	Lokasi gambut di Indonesia	26
	Lampiran B Contoh Perhitungan (informatif)	29
B.1	Perhitungan penurunan dan stabilitas pada tahap 1	29
B.2	Perhitungan penurunan dan stabilitas pada tahap 2	31
B.3	Komentar	35
	Lampiran C Daftar nama dan lembaga (informatif)	37
	Bibliografi	38

Daftar gambar

Gambar 1	Interpretasi data uji triaksial UU	5
Gambar 2	Bidang keruntuhan timbunan di atas tanah lunak: (a) lingkaran dan (b) translasi (komposit)	7
Gambar 3	Koefisien-koefisien f_1 dan f_2	10
Gambar 4	Grafik faktor pengaruh akibat beban timbunan	11
Gambar 5	Nilai-nilai indeks kompresi dan kadar air alami	12
Gambar 6	Contoh jaring (<i>mesh</i>) timbunan suatu analisis FEM	15
Gambar 7	Pemberian beban tambahan untuk meminimalkan penurunan primer selama masa layan	16
Gambar 8	Diagram untuk memperkirakan beban tambahan yang diperlukan untuk meminimalkan penurunan primer selama masa layan	17
Gambar 9	Pengurangan laju kompresi sekunder akibat pemberian beban tambahan	18
Gambar 10	Kompensasi konsolidasi sekunder dengan pemberian beban tambahan sementara	19
Gambar 11	Lokasi minimum penempatan instrumen untuk timbunan	22
Gambar 12	Perkiraan penurunan akhir berdasarkan metoda Asaoka (1978)	24
Gambar A.1	Sebaran gambut dan lempung lunak di Indonesia	27
Gambar B.1	Geometri timbunan dan stratifikasi tanah	28
Gambar B.2	Geometri timbunan dan stratifikasi tanah tahap 2	32
Gambar B.3	Geometri timbunan pada masa layan	36

Daftar tabel

Tabel 1	Kuat geser, tekanan air pori dan berat isi yang relevan untuk analisis stabilitas pada berbagai kondisi	6
Tabel 2	Parameter-parameter geoteknik yang diperlukan serta uji-uji yang berkaitan dengannya	21
Tabel A.1	Tipe tanah berdasarkan kadar organik	25
Tabel A.2	Klasifikasi gambut berdasarkan skala von Post (Karlsson dan Hansbo, 1981)	25
Tabel B.1	Parameter-parameter geoteknik	29

Prakata

Pedoman Konstruksi Jalan di Atas Gambut dengan Metode Prapembebanan dipersiapkan oleh Panitia Teknik Standarisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan, melalui Gugus Kerja Bidang Geoteknik Jalan pada Sub Panitia Teknik Standardisasi Bidang Prasarana Transportasi. Pedoman ini diprakarsai oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah. Konsep pedoman ini didasarkan pada hasil litbang terutama dari hasil timbunan percobaan di Berengbengkel, Kalimantan Tengah. Maksud dari pembuatan pedoman ini adalah memberikan panduan kepada perencana di dalam mendesain timbunan badan jalan yang akan dibangun di atas gambut dengan metode prapembebanan.

Pedoman ini disusun mengikuti Pedoman BSN No. 8 tahun 2000 dan dibahas melalui forum konsesus sesuai ketentuan Pedoman BSN No. 9 tahun 2000. Penyebutan produk atau piranti lunak dalam pedoman ini bukan merupakan suatu anjuran atau pengakuan.

Perencanaan konstruksi timbunan jalan di atas gambut dengan metode prapembebanan

1 Ruang lingkup

Pedoman ini dimaksudkan sebagai penuntun bagi praktisi di dalam mendesain timbunan jalan di atas tanah gambut dengan metode prapembebanan. Berbagai teknik analisis stabilitas dan penurunan timbunan yang umum digunakan oleh perekayasa diuraikan terlebih dahulu. Kemudian, kriteria desain penimbunan dan evaluasi performa timbunan dengan pemantauan (*monitoring*) secara praktis dibahas. Suatu contoh perhitungan untuk memperjelas penerapan metode-metode perhitungan juga diberikan sebagai lampiran.

Pedoman ini lebih menghususkan kepada aspek-aspek geoteknik dalam proses desain timbunan jalan secara keseluruhan.

2 Acuan normatif

- SNI 03-1964-1990, *Metode pengujian berat jenis tanah*
- SNI 03-1965-1990, *Metode pengujian kadar air tanah*
- SNI 03-1966-1990, *Metode pengujian batas plastis*
- SNI 03-1967-1990, *Metode pengujian batas cair dengan alat casagrande*
- SNI 03-2455-1991, *Metode pengujian triaksial A.*
- SNI 03-2812-1992, *Metode pengujian konsolidasi tanah satu dimensi*
- SNI 03-3442-1994, *Tata cara pemasangan pisometer pipa terbuka casagrande*
- SNI 03-3443-1994, *Tata cara pemantauan tekanan air pori dengan pisometer pipa terbuka casagrande*
- SNI 03-3452-1994, *Tata cara pemasangan pisometer pematik*
- SNI 03-3431-1994, *Tata cara pemantauan gerakan horizontal dengan alat inklinometer*
- SNI 03-3404-1994, *Metode pemasangan inklinometer*
- SNI 03-3455-1994, *Tata cara pemantauan gerakan vertikal tanah dengan menggunakan instrumen magnetis*
- SNI 03-3637-1994, *Metode pengujian berat isi tanah berbutir halus dengan cetakan benda uji*
- ASTM D 4531-86, *Standard test methods for bulk density of peat and peat products*
- Pd M-12-1998-03, *Metode pengujian kadar air, kadar abu dan bahan organik dari tanah gambut dan tanah organik lainnya*
- Pd M-13-1998-03, *Metode pengujian untuk penentuan kadar serat dari contoh gambut dengan cara kering di laboratorium*
- Pd M-13-1997-03, *Metode pengujian pH bahan gambut dengan alat pH meter*
- Pd M-14-1997-04, *Metode pengukuran tebal endapan gambut*
- Pd M-22-1996-03, *Metode pengujian triaksial untuk tanah kohesif dalam keadaan tanpa konsolidasi dan drainase*

Pt T-08-2002-B, *Panduan geoteknik 1, Timbunan jalan pada tanah lunak: proses pembentukan dan sifat-sifat dasar tanah lunak*

Pt T-09-2002-B, *Panduan geoteknik 2, Timbunan jalan pada tanah lunak: penyelidikan tanah lunak, desain dan pekerjaan lapangan*

Pt M-01-2002-B, *Panduan geoteknik 3, Timbunan jalan pada tanah lunak: penyelidikan tanah lunak, pengujian laboratorium*

Pt T-10-2002-B, *Panduan geoteknik 4, Timbunan jalan pada tanah lunak: desain dan konstruksi.*

3 Istilah dan definisi

3.1

gambut

suatu jenis tanah lunak yang pembentuk utamanya terdiri dari sisa-sisa tumbuhan yang membusuk

3.2

gambut berserat atau *fibrous*

gambut yang memiliki derajat pembusukan rendah, struktur berserat, struktur tumbuhan terlihat jelas, terutama lumut keputih-putihan

3.3

gambut amorf atau *amorphous*

gambut yang memiliki derajat pembusukan tinggi, struktur tumbuhan tidak terlihat serta konsistensi seperti bubur

3.4

prapembebanan (*preloading*)

suatu metode konstruksi perbaikan tanah berupa penempatan timbunan pada lokasi yang akan distabilisasi dengan berat sekurang-kurangnya sama dengan berat struktur di masa yang akan datang (beban permanen) dan akan dibuang pada saat konsolidasi yang diinginkan telah tercapai

3.5

penurunan primer

penurunan akibat proses berkurangnya volume tanah jenuh yang memiliki permeabilitas yang kecil akibat drainase sebagian air pori yang berlangsung sampai tekanan air pori eksese yang terbentuk akibat kenaikan tegangan total terdisipasi sempurna

3.6

penurunan sekunder

penurunan yang berlangsung setelah penurunan primer selesai dan pada tanah tidak terjadi lagi perubahan tegangan efektif (konstan)

3.7**beban tambahan (*surcharge*)**

beban timbunan tambahan di luar berat struktur di masa yang akan datang (beban permanen) yang bersifat sementara dan berfungsi untuk meminimalkan penurunan selama masa layan

3.8**rasio beban tambahan**

rasio antara beban tambahan terhadap beban permanen

3.9**pemantauan (*monitoring*)**

pemantauan perilaku massa tanah yang dinyatakan dalam bentuk antara lain penurunan, tekanan air pori dan deformasi lateral akibat gangguan yang terjadi padanya dengan menggunakan alat-alat instrumentasi seperti pelat penurunan, pisometer dan inklinometer

3.10**indeks kompresi**

gradien kurva angka pori terhadap logaritmik tegangan dari uji oedometer pada daerah kompresi

3.11**indeks rekompresi**

gradien kurva angka pori terhadap logaritmik tegangan dari uji oedometer pada daerah rekompresi

3.12**tegangan *overburden***

tegangan yang dialami suatu massa tanah pada kedalaman tertentu akibat berat massa tanah di atasnya (*overburden*)

3.13**tegangan prakonsolidasi**

Tegangan *overburden* maksimum yang dialami suatu massa tanah pada masa lampau yang biasanya ditandai oleh transisi atau 'patahan' pada kurva angka pori terhadap logaritmik tegangan dari uji oedometer

3.14**koefisien kompresi sekunder**

gradien bagian yang lurus dari kurva pembacaan dial terhadap logaritmik waktu dari uji oedometer yang terjadi setelah konsolidasi primer selesai

4 Prinsip-prinsip

Penurunan pada gambut selama masa layan dapat dikurangi dengan prapembebanan (*preloading*). Prinsipnya sederhana: timbunan yang ditempatkan pada lokasi yang direncanakan harus memiliki berat yang lebih besar dari berat struktur rencana. Sebagian timbunan dibuang pada saat derajat konsolidasi yang diinginkan telah tercapai.

Laju konsolidasi umumnya diukur dengan pemantauan penurunan dan/atau pengukuran tekanan air pori di lapangan. Berbeda dengan lempung yang proses konsolidasinya membutuhkan waktu yang lama, terutama jika ketebalan lapisan lempungnya besar, penggunaan prapembebanan pada gambut yang permeabilitasnya tinggi menguntungkan karena waktu yang dibutuhkan singkat. Penambahan kuat geser (*gain in strength*) akibat konsolidasi umumnya besar karena sudut geser gambut yang tinggi. Penurunan akibat konsolidasi sekunder selama masa layan yang dominan pada tanah gambut juga dapat dikurangi dengan beban tambahan (*surchage*).

5 Analisis

5.1 Analisis stabilitas

Analisis stabilitas timbunan terdiri dari metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*) dan metode elemen hingga (*finite element method*). Kedua metode tersebut dapat dilaksanakan dengan bantuan program komputer yang telah divalidasi terhadap solusi-solusi yang diakui oleh akademisi. Analisis harus dilakukan di bawah supervisi ahli geoteknik yang telah berpengalaman yang bisa menentukan metode-metode dan parameter-parameter yang paling representatif untuk analisis dan keterbatasan peranti lunak (*software*) yang dipakai.

Untuk keperluan analisis stabilitas, informasi-informasi yang diperlukan meliputi:

- a) topografi saat ini;
- b) geometri timbunan dan struktur;
- c) beban eksternal (contohnya lalu lintas);
- d) stratigrafi tanah;
- e) muka air terendah dan tertinggi;
- f) sifat-sifat timbunan;
- g) profil kuat geser tanah;
- h) distribusi dan besar tekanan air pori.

5.1.1 Kuat geser untuk analisis stabilitas

Analisis stabilitas berdasarkan perilaku tanah bisa dilakukan dengan berbagai cara:

- a) analisis tegangan total (*total stress analysis*, TSA);
- b) analisis tegangan efektif (*effective stress analysis*, ESA);
- c) analisis kuat geser takteralirkan (*undrained strength analysis*, USA).

Untuk timbunan yang melibatkan pembebanan satu tahap ataupun beberapa tahap di mana pembebanan menimbulkan kenaikan tegangan pada tanah, kondisi jangka pendek merupakan kondisi paling kritis. Hal ini disebabkan pola pembebanan seperti ini akan menimbulkan kenaikan tekanan air pori dan disipasi tekanan air pori terhadap waktu setelah pembebanan usai. Proses yang disebutkan terakhir menyebabkan tegangan efektif dan kuat geser akan bertambah (*gain in strength*).

Teknik analisis kuat geser takteralirkan (USA) tidak akan dibahas di sini, karena selain jarang digunakan, analisis ini membutuhkan pengujian kuat geser dengan konsolidasi anisotropik yang jarang diterapkan pada laboratorium-laboratorium mekanika tanah pada umumnya. Pembaca yang tertarik dengan teknik ini bisa merujuk ke tulisan Ladd (1991).

5.1.1.1 Analisis tegangan total (TSA)

Stabilitas timbunan dihitung dengan hanya mempertimbangkan kuat geser *undrained* sebelum dimulainya konstruksi tanpa memperhitungkan kenaikan kuat geser akibat konsolidasi. Pada suatu analisis tegangan total, kuat geser yang tersedia τ_f pada suatu potensi bidang keruntuhan adalah:

$$\tau_f = c_u + \sigma_n \tan \phi_u \quad (1)$$

di mana c_u dan ϕ_u mendefinisikan selubung keruntuhan tegangan total Mohr-Coulomb. Apabila diasumsikan tanah sepenuhnya jenuh (*fully saturated*), kuat geser undrained c_u yang digunakan adalah $c_u = s_u$ dan $\phi_u = 0$. Kuat geser untuk TSA bisa didapat dari uji triaksial *unconsolidated undrained* (UU), geser baling (*vane shear*, VST) atau sondir (CPT).

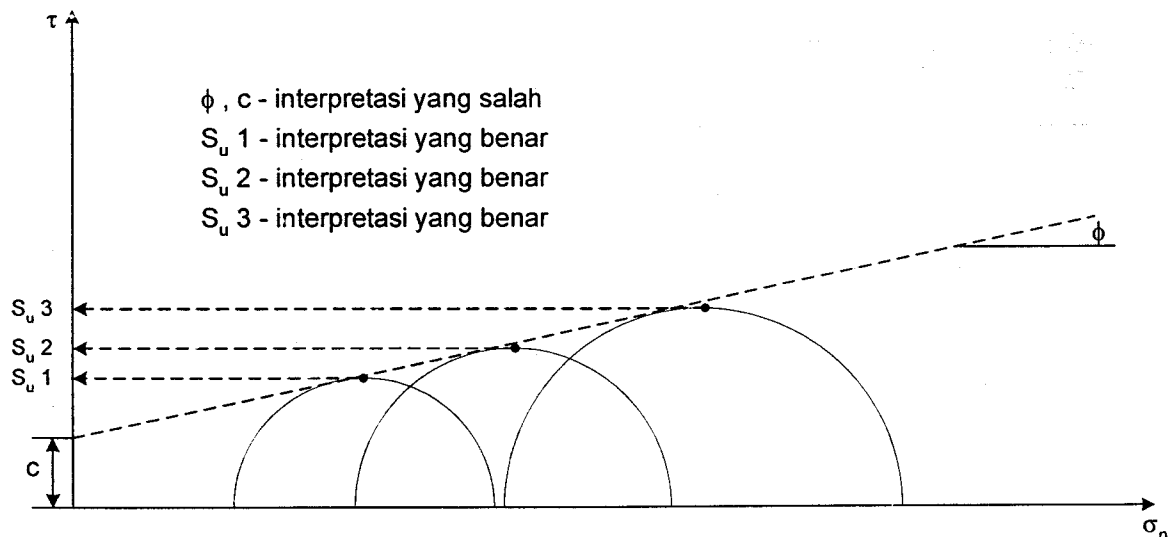
Uji triaksial UU harus diinterpretasi dengan konsep $\phi = 0$. Sebagai contoh, pada Gambar 1 diperlihatkan kuat geser *undrained* s_u yang berbeda untuk masing-masing spesimen akibat gangguan sampel atau faktor-faktor lainnya. Namun, kebanyakan laboratorium mekanika tanah menyajikan parameter kuat geser *undrained* sebagai interpolasi atau *best-fit* selubung keruntuhan dari masing-masing lingkaran Mohr. Interpretasi seperti ini adalah tidak tepat; untuk masing-masing pengujian, kuat geser *undrained* (jari-jari dari masing-masing lingkaran Mohr) harus dievaluasi (lihat Gambar 1). Teknik sederhana yang direkomendasikan untuk digunakan adalah dengan merata-ratakan kuat geser *undrained* untuk keseluruhan n buah lingkaran Mohr:

$$s_u = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right)_i}{n} \quad (2)$$

Apabila kuat geser *undrained* didapat dari uji geser baling lapangan (FVST), nilai yang diperoleh dari hasil uji tersebut harus dikoreksi sebelum digunakan pada analisis stabilitas timbunan. Faktor koreksi ini dinyatakan sebagai μ dan merupakan fungsi dari indeks plastisitas PI:

$$\mu \approx 2,5(PI)^{-0,3} \leq 1,1 \quad (3)$$

dengan PI dinyatakan dalam persen. Berdasarkan penelitian terhadap bidang keruntuhan selama pengujian geser baling, faktor koreksi untuk gambut adalah $\mu = 0,5-0,55$.



Gambar 1 Interpretasi data uji triaksial UU

Salah satu isu yang paling penting berkaitan dengan TSA untuk gambut berserat (*fibrous*) adalah permeabilitas gambut jenis ini relatif tinggi sehingga drainase yang signifikan bisa terjadi selama konstruksi. Sebagai dasar untuk mengestimasi derajat drainase selama konstruksi atau pembebanan adalah faktor waktu T yang dinyatakan sebagai:

$$T = \frac{c_v t}{H^2} \quad (4)$$

dengan pengertian

c_v adalah koefisien konsolidasi ($m^2/hari$)
 t adalah waktu pembebanan atau konstruksi (hari)
 H adalah panjang jalur drainase (meter)

Apabila nilai T melebihi 3,0 maka material fondasi dianggap sebagai *drained* sehingga teknik analisis ESA yang dipakai. Sebaliknya, jika nilai T lebih kecil dari 0,01, material diasumsikan sebagai *undrained* sehingga teknik analisis TSA yang digunakan. Selanjutnya bila nilai T berada di antara kedua batasan tersebut, kedua kemungkinan teknik analisis harus dipertimbangkan. Jika data yang diperlukan untuk menghitung T tidak tersedia, untuk kasus yang melibatkan laju pembebanan yang normal, material yang memiliki permeabilitas lebih besar dari 10^{-4} cm/s dianggap *drained* dan untuk yang lebih kecil 10^{-7} cm/s *undrained*.

5.1.1.2 Analisis tegangan efektif (ESA)

Kuat geser efektif yang diperlukan untuk analisis tegangan efektif dinyatakan oleh parameter-parameter kuat geser efektif Mohr-Coulomb c' dan ϕ' yang didapat dari uji triaksial *drained* (CD), *consolidated-undrained* (CU) dengan pengukuran tekanan air pori atau dari geser langsung (*direct shear*). Nilai c' dan ϕ' dari uji triaksial CU pada prinsipnya sama dengan yang didapat dari uji triaksial CD dan geser langsung.

Analisis tegangan efektif (ESA) memerlukan informasi tekanan air pori awal sebelum, selama dan sesudah konstruksi. Tekanan air pori awal sebelum konstruksi bisa diketahui dengan relatif mudah melalui penyelidikan iapangan. Namun, variasinya selama konstruksi sulit diprediksi dengan akurat. Mempertimbangkan hal tersebut, kondisi *undrained* harus dianalisis dengan menggunakan tegangan total (TSA).

Tabel berikut merangkum parameter-parameter yang relevan untuk suatu analisis stabilitas.

Tabel 1 Kuat geser, tekanan air pori dan berat isi yang relevan untuk analisis stabilitas pada berbagai kondisi

Jenis tanah	Parameter	Kondisi		
		Akhir konstruksi	Pembebanan beberapa tahap*	Jangka panjang
Semua	Tekanan air eksternal	Sertakan	Sertakan	Sertakan
Semua	Berat isi	Total	Total	Total
Drained	Kuat geser	c' dan ϕ'	c' dan ϕ'	c' dan ϕ'
Drained	Tekanan air pori	u dari analisis <i>seepage</i>	u dari analisis <i>seepage</i>	u dari analisis <i>seepage</i>
Undrained	Kuat geser	Tegangan total, c dan ϕ dari uji-uji in situ, triaksial UU dan CU	Tegangan total, $\phi_u = 0$ dan c_u dari uji triaksial CU pada tekanan konsolidasi	c' dan ϕ'
Undrained	Tekanan air pori	Abaikan, set $u = 0$ pada input komputer	Abaikan, set $u = 0$ pada input komputer	u dari analisis <i>seepage</i>

*Pembebanan beberapa tahap adalah suatu kondisi pembebanan di mana konsolidasi pada satu tahap pembebanan diikuti oleh perubahan beban dengan kondisi *undrained*.

5.1.1.3 Kenaikan kuat geser

Kenaikan kuat geser *undrained* Δc_u akibat proses konsolidasi dapat diestimasi secara sederhana dari parameter-parameter efektif hasil uji triaksial CU:

$$\Delta c_u = U \tan \phi' \Delta \sigma_v \quad (5)$$

dengan pengertian: