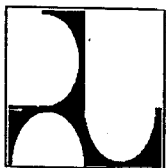


# **PEDOMAN**

**Konstruksi dan Bangunan**

---

## **Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan**



**DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM**

## Daftar isi

Daftar isi .....	i
Daftar gambar .....	iii
Daftar tabel.....	v
Daftar notasi.....	vi
Prakata.....	viii
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif.....	1
3 Istilah dan definisi .....	2
3.1 hisapan osmotik .....	2
3.2 hisapan tanah .....	2
3.3 hisapan total .....	2
3.4 pengangkatan tanah ( <i>heaving</i> ).....	2
3.5 pengembangan ( <i>swelling</i> ) .....	2
3.6 penyusutan ( <i>shrinkage</i> ).....	2
3.7 tanah ekspansif.....	2
3.8 zona aktif.....	3
4 Tanah ekspansif .....	3
4.1 Karakteristik tanah .....	3
4.2 Ciri-ciri kerusakan jalan di atas tanah ekspansif.....	3
4.2.1 Retakan.....	3
4.2.2 Pengangkatan tanah .....	4
4.2.3 Penurunan.....	4
4.2.4 Longsor.....	4
5 Penyelidikan tanah.....	5
5.1 Studi meja ( <i>desk study</i> ).....	5
5.2 Penyelidikan lapangan .....	5
5.3 Pengujian laboratorium .....	6
6 Identifikasi tanah ekspansif.....	6
6.1 Identifikasi langsung.....	6
6.1.1 Kembang bebas ( <i>free swell</i> ) .....	6
6.1.2 Perubahan volume potensial .....	7
6.1.3 Uji indeks pengembangan .....	8
6.2 Identifikasi tidak langsung .....	9
6.2.1 Nilai indeks plastisitas (PI) dan batas susut (Si) .....	9
6.2.2 Tingkat keaktifan ( <i>activity</i> ) .....	9
6.2.3 Mineral lempung.....	10
7 Pertimbangan desain .....	11
7.1 Kembang susut.....	11
7.2 Kondisi retak .....	11
7.3 Kondisi arah memanjang.....	11
7.4 Stabilitas .....	11
7.4.1 Stabilitas lereng.....	11
7.4.2 Daya dukung tanah .....	11

7.4.2.1	Kriteria keruntuhan batas ( <i>ultimate failure</i> ).....	12
7.4.2.2	Kriteria perilaku elastis tanah.....	12
7.5	Faktor keamanan.....	12
7.6	Parameter desain.....	12
7.6.1	Kuat geser tanah jenuh.....	12
7.6.1.1	Pengujian tak terkonsolidasi – tak terdrainase ( <i>unconsolidated-undrained UU</i> ).....	12
7.6.1.2	Pengujian terkonsolidasi – tak terdrainase ( <i>consolidated-undrained CU</i> ).....	13
7.6.2	<i>Poisson's ratio</i> ( $\mu$ ).....	13
7.7	Tekanan mengembang.....	13
7.7.1	Metode Nelson dan Miller.....	14
8	Analisis pengangkatan tanah ke atas pada tanah ekspansif.....	14
8.1	Hubungan konstitutif untuk tanah ekspansif.....	15
8.1.1	Keadaan tegangan.....	15
8.1.2	Hubungan konstitutif.....	15
8.1.3	Indeks hisapan.....	16
8.2	Hisapan tanah.....	16
8.3	Hisapan osmotik.....	17
8.3.1	Hisapan matrik.....	17
8.3.2	Hisapan total.....	18
8.4	Pengukuran hisapan tanah.....	19
8.4.1	Tensiometer.....	19
8.4.2	Metode kertas saring.....	20
8.4.3	<i>Thermal Matric Potential</i> .....	20
8.5	Perkiraan pengangkatan tanah berdasarkan uji oedometer.....	21
8.5.1	Uji konsolidasi mengembang.....	21
8.5.2	Uji volume konstan atau uji tekanan pengembangan.....	22
8.6	Perkiraan pengembangan berdasarkan uji hisapan tanah.....	23
9	Desain konstruksi jalan di atas tanah ekspansif.....	23
9.1	Zona aktif.....	23
9.2	Pemadatan tanah.....	24
9.3	Kuat geser tanah tak jenuh.....	24
9.4	Perilaku kuat geser akibat siklus berulang.....	25
9.5	Perilaku mengembang akibat siklus berulang.....	26
9.6	Tekanan tanah lateral.....	26
9.6.1	Tekanan tanah aktif.....	26
9.6.2	Retak tarik.....	27
9.6.3	Tekanan tanah pasif.....	28
9.6.4	Daya dukung tanah dan kestabilan lereng.....	29
10	Teknik konstruksi di atas tanah ekspansif.....	29
10.1	Penggantian material.....	30
10.2	Manajemen air.....	30
10.3	Stabilisasi.....	30
10.3.1	Stabilisasi dengan kapur.....	30
10.3.2	Stabilisasi dengan semen.....	31
10.4	Membran.....	31
10.4.1	Membran geosintetik.....	31
10.4.2	Pelat beton.....	32
10.4.3	Aspal.....	32
10.4.4	Membran horisontal.....	32
10.4.5	Membran vertikal.....	33

10.4.6 Membran pembungkus lapisan tanah.....	33
10.5 Pembebanan.....	34
11 Struktur perkerasan jalan di atas tanah ekspansif.....	36
11.1 Desain perkerasan lentur.....	36
11.1.1 Pengangkatan mengembang tanah di bawah jalan.....	36
11.1.2 Tahapan desain perkerasan lentur.....	36
11.2 Desain perkerasan kaku.....	41
11.2.1 Pengangkatan mengembang tanah di bawah jalan.....	41
11.2.2 Tahapan desain perkerasan kaku.....	41
Lampiran A (informatif) Contoh penentuan pengembangan tanah ekspansif.....	46
Lampiran B (informatif) Penyebaran tanah ekspansif di Pulau Jawa.....	59
Lampiran C (informatif) Nama dan lembaga.....	60
Bibliografi.....	61

### Daftar gambar

Gambar 1 Retakan memanjang pada tepi perkerasan jalan.....	4
Gambar 2 Penurunan perkerasan jalan.....	4
Gambar 3 Longsor badan jalan.....	5
Gambar 4 Peralatan pengujian perubahan volume potensial.....	7
Gambar 5 Indeks pengembangan terhadap potensi perubahan volume.....	8
Gambar 6 Klasifikasi potensi kembang.....	10
Gambar 7 Kurva hubungan angka pori dan log tekanan.....	13
Gambar 8 Penentuan tekanan mengembang.....	14
Gambar 9 Penentuan tekanan mengembang.....	14
Gambar 10 Pengembangan tekanan osmotik melewati membran.....	17
Gambar 11 Hubungan air dan udara dalam tanah.....	18
Gambar 12 Kurva penyimpanan (retensi) air untuk tanah.....	18
Gambar 13 Tensiometer <i>Quick Draw</i> .....	19
Gambar 14 Hubungan pengukuran dengan kertas saring.....	20
Gambar 15 Sensor <i>thermal matric potential</i> .....	21
Gambar 16 Hasil uji konsolidasi mengembang.....	22
Gambar 17 Hasil uji volume konstan.....	22
Gambar 18 Metode penentuan zona aktif dari perubahan kadar air.....	24
Gambar 19 Kurva keruntuhan tanah tak jenuh.....	25
Gambar 20 Distribusi tekanan tanah aktif Rankine untuk tanah jenuh.....	27

Gambar 21	Komponen distribusi tekanan tanah aktif pada saat hisapan matrik konstan terhadap kedalaman.....	27
Gambar 22	Penentuan retak tarik .....	28
Gambar 23	Komponen distribusi tekanan tanah pasif pada saat hisapan matrik konstan terhadap kedalaman.....	29
Gambar 24	Stabilisasi dengan semen.....	31
Gambar 25	Membran geosintetik .....	32
Gambar 26	Membran horisontal pada konstruksi jalan.....	33
Gambar 27	Membran vertikal pada konstruksi jalan.....	33
Gambar 28	Membran pembungkus lapisan tanah pada konstruksi jalan.....	34
Gambar 29	Grafik desain untuk perkerasan lentur berdasarkan penggunaan nilai rata-rata untuk tiap inputnya .....	38
Gambar 30	Contoh konseptual grafik hubungan kehilangan tingkat pelayanan dengan perkembangan waktu untuk lokasi tertentu.....	39
Gambar 31	Contoh pengeplotan kumulatif lalu lintas ekuivalen sumbu tunggal 8,16 ton terhadap waktu.....	40
Gambar 32	Grafik desain untuk perkerasan kaku berdasarkan penggunaan nilai rata-rata untuk tiap variabel input.....	44
Gambar A.1	Nomograf untuk memperkirakan besarnya kecepatan.....	51
Gambar A.2	Grafik untuk memperkirakan besarnya potensial pengangkatan vertikal tanah alami .....	52
Gambar A.3	Grafik untuk memperkirakan besarnya kehilangan masa pelayanan akibat pengembangan lapisan dasar jalan .....	53
Gambar A.4	Contoh desain angka pori terhadap log tekanan.....	54
Gambar A.5	Grafik hubungan indeks plastisitas dengan perubahan volume .....	55
Gambar A.6	Kurva hubungan antara potensi pengembangan vertikal dengan beban .....	56
Gambar A.7	Kurva hubungan antara potensi pengembangan vertikal dengan beban .....	57
Gambar A.8	Contoh borlog pengambilan sampel tanah ekspansif .....	58
Gambar B.1	Daerah yang diketahui memiliki masalah lempung mengembang di pulau Jawa .....	59

## Daftar tabel

Tabel 1	Penentuan skala peta dasar berdasarkan jenisnya .....	5
Tabel 2	Korelasi nilai indeks pengembangan dengan potensi pengembangan .....	8
Tabel 3	Korelasi indeks plastisitas, indeks susut dengan tingkat pengembangan .....	9
Tabel 4	Korelasi tingkat keaktifan dengan potensi pengembangan .....	9
Tabel 5	Hubungan antara jenis mineral dengan tingkat keaktifan .....	10
Tabel 6	Faktor keamanan .....	12
Tabel 7	Nilai <i>poisson's ratio</i> tanah lempung .....	13
Tabel 8	Persamaan tegangan efektif untuk tanah tak jenuh .....	15
Tabel 9	Batasan nilai indeks hisapan tanah .....	16
Tabel 10	Hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan metode konstruksi .....	34
Tabel 11	Contoh proses untuk memperkirakan waktu untuk lapis tambah pada struktur perkerasan permulaan dengan mempertimbangkan pengangkatan mengembang .....	37
Tabel 12	Contoh proses untuk memperkirakan waktu untuk lapis tambah struktur perkerasan kaku permulaan dengan mempertimbangkan pengangkatan mengembang .....	42
Tabel 13	Tingkat kepercayaan yang direkomendasikan untuk klasifikasi jalan berdasarkan fungsinya .....	43
Tabel 14	Standar penyimpangan normal berdasarkan tingkat kepercayaan .....	43
Tabel A.1	Korelasi tingkat pengembangan dengan batas cair, indeks plastisitas .....	47
Tabel A.2	Hasil pengujian tanah .....	50

## Daftar notasi

$\rho$	=	kerapatan tanah, $\text{kN/m}^3$
$\alpha$	=	faktor kompresibilitas
$\chi$	=	variabel yang berhubungan dengan kejenuhan
$\mu$	=	<i>poisson's ratio</i>
$(\sigma_{ff} - u_{af})_f$	=	tegangan normal bersih pada bidang keruntuhan, kPa
$(\sigma - u_a)$	=	variabel tegangan efektif tanah jenuh, kPa
$\beta'$	=	faktor pengaruh kontak yang diukur dari sejumlah kontak pada tarikan efektif dalam kontribusi kekuatan tanah
$\phi^b$	=	sudut perubahan kuat geser terhadap hisapan matrik, derajat ( $^\circ$ )
$\Delta e$	=	perubahan angka pori
$\tau_{ff}$	=	kuat geser tanah tak jenuh, kPa
$\sigma_{ff}$	=	tegangan normal pada bidang keruntuhan, kPa
$\Delta h$	=	perubahan hisapan total
$\Delta h_c$	=	perubahan hisapan matrik
$\Delta h_o$	=	perubahan hisapan osmotik
$\sigma_n$	=	tegangan normal pada bidang geser, kPa
$\Delta \text{PSI}$	=	kehilangan tingkat pelayanan total
$\Delta \text{PSI}_{\text{SW}}$	=	kehilangan tingkat pelayanan lingkungan total yang diakibatkan oleh pengangkatan mengembang
$\Delta \text{PSI}_{\text{TR}}$	=	kehilangan tingkat pelayanan lalu lintas
$\rho_s$	=	kerapatan larutan, $\text{kN/m}^3$
$\rho_w$	=	kerapatan air, $\text{kN/m}^3$
$\Delta w$	=	perubahan kadar air
$[C_s]$	=	konsentrasi molar larutan
$\phi$	=	sudut tahanan geser, derajat ( $^\circ$ )
	=	tekanan osmotik, kPa
$A_c$	=	tingkat keaktifan
$B$	=	kemiringan kurva hisapan versus kadar air
$c$	=	kohesi tanah, kPa
$C_c$	=	indeks kompresi
$C_d$	=	koefisien drainase
$CF$	=	persentase fraksi lempung, %
$C_m$	=	indeks hisapan matrik
$C_{mi}$	=	indeks hisapan matrik untuk lapis i
$C_{ti}$	=	indeks tegangan efektif untuk lapis i
$D$	=	jarak dari muka tanah ke muka air tanah, m
$D_m$	=	indeks kadar air sesuai dengan hisapan matrik
$D_t$	=	indeks kadar air sesuai dengan variabel tegangan efektif tanah jenuh
$E$	=	modulus elastisitas, kPa
$e$	=	angka pori
$E_c$	=	modulus elastisitas beton, kPa
$EI$	=	indeks pengembangan
$e_o$	=	angka pori awal
$F$	=	persentase butiran tanah lolos saringan No.4, %
$f_w$	=	tekanan air pori
$g$	=	percepatan gravitasi
$G_s$	=	berat jenis tanah
$H$	=	tebal lapisan tanah lempung, m

h	=	hisapan total, kPa
$h_c$	=	hisapan matrik, kPa
$h_o$	=	hisapan osmotik, kPa
ITP	=	Indeks Tebal Perkerasan (ITP) atau disebut juga <i>Structure Number</i> (SN)
J	=	modulus transfer beban
$K_a$	=	koefisien tanah aktif
$K_p$	=	koefisien tanah pasif
LL	=	batas cair
$M_R$	=	modulus efektif reaksi tanah dasar, kPa
$N_\phi$	=	faktor daya dukung, diperoleh persamaan $\frac{1}{N_\phi} = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi'}{2} \right)$
$p'$	=	penurunan tekanan air pori
PI	=	indeks plastisitas, %
PSI	=	tingkat pelayanan
R	=	konstanta gas universal
r	=	jari-jari dari sebuah bola ideal pada bagian bawah saluran udara
R	=	tingkat kepercayaan, %
S	=	kuat geser tanah, kPa
$S'_c$	=	modulus keretakan <i>mean concrete</i> , kPa
SI	=	indeks susut, %
$S_o$	=	standar deviasi keseluruhan
T	=	temperatur, derajat ( $^\circ$ )
$T_s$	=	tarikan permukaan membran
$u_a$	=	tekanan udara pori, kPa
$u_{af}$	=	tekanan udara pori pada bidang keruntuhan, kPa
$u_w$	=	tekanan air pori, kPa
$V_R$	=	potensi pengembangan vertikal ( <i>potential vertical rise, PVR</i> )
$W_{18}$	=	kumulatif lalu lintas ekuivalen sumbu tunggal 8,16 ton, juta
$Y_c$	=	kedalaman retak tarik, m
$z_i$	=	ketebalan lapisan i, m
Zn	=	standar penyimpangan normal
$\Delta H$	=	persentase pengembangan
$\sigma$	=	tegangan normal total
$\sigma'$	=	tegangan normal efektif
$\psi$	=	parameter dengan rentang nilai 0 – 1

## **Prakata**

**Pedoman penanganan tanah ekspansif untuk konstruksi jalan dipersiapkan oleh Panitia Teknik Standardisasi 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 ex. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.**

**Pedoman merupakan kajian dari literatur dan manual yang berkaitan dengan perencanaan dan pelaksanaan penanganan tanah ekspansif untuk konstruksi jalan.**

**Tata cara penulisan berdasarkan Pedoman BSN No. 8 tahun 2000 dan dibahas dalam forum konsensus yang melibatkan narasumber, pakar dan pihak yang terkait dengan Prasarana Transportasi sesuai ketentuan Pedoman BSN No. 9 tahun 2000.**

# Penanganan tanah ekspansif untuk konstruksi jalan

## 1 Ruang lingkup

Pedoman ini merupakan tata cara penanganan tanah ekspansif untuk konstruksi jalan. Pedoman meliputi penjelasan mengenai ciri-ciri kerusakan jalan di atas tanah ekspansif, identifikasi tanah ekspansif, desain konstruksi jalan di atas tanah ekspansif serta teknik penanganan dengan metode penggantian material, manajemen air, stabilisasi, membran, geomembran dan pembebanan. Pedoman ini memberikan informasi dan petunjuk dalam merencanakan desain konstruksi, tetapi bukan merupakan petunjuk yang mendalam untuk desain detail. Prosedur baku yang telah ada tidak dibahas dalam pedoman ini tetapi tetap dijadikan rujukan.

## 2 Acuan normatif

- 1) SNI 03-1743, *Metode pengujian kepadatan berat untuk tanah*
- 2) SNI 03-1964, *Metode pengujian berat jenis tanah*
- 3) SNI 03-1965, *Metode pengujian kadar air tanah*
- 4) SNI 03-1966, *Metode pengujian batas plastis*
- 5) SNI 03-1967, *Metode pengujian batas cair tanah dengan alat cassagrande*
- 6) SNI 03-2455, *Metode pengujian triaksial A*
- 7) SNI 03-2812, *Metode pengujian konsolidasi tanah satu dimensi*
- 8) SNI 03-2813, *Metode pengujian geser langsung tanah terkonsolidasi dengan drain*
- 9) SNI 03-2827, *Metode pengujian lapangan dengan sondir*
- 10) SNI 03-2832, *Metode pengujian untuk mendapatkan kepadatan tanah maksimum dengan kadar air maksimum*
- 11) SNI 03-3420, *Metode pengujian geser langsung tanah tidak terkonsolidasi tanpa drain*
- 12) SNI 03-3422, *Metode pengujian batas susut tanah.*
- 13) SNI 03-3423, *Metode pengujian analisis ukuran butir tanah dengan alat hidrometer*
- 14) SNI 03-3638, *Metode pengujian kuat tekan bebas tanah kohesif.*
- 15) SNI 03-4153, *Metode pengujian penetrasi SPT.*
- 16) SNI 03-4813, *Metode pengujian triaksial untuk tanah kohesif dalam keadaan tanpa konsolidasi dan drain*
- 17) SNI 03-6376, *Metode prosedur penggalian parit uji*
- 18) Pt M-01-2002-B, *Panduan geoteknik 3, timbunan jalan pada tanah lunak : Penyelidikan tanah lunak, pengujian laboratorium*
- 19) Pt T-08-2002-B, *Panduan geoteknik 1, timbunan jalan pada tanah lunak : Proses pembentukan dan sifat-sifat dasar tanah lunak*
- 20) Pt T-09-2002-B, *Panduan geoteknik 2, timbunan jalan pada tanah lunak : Penyelidikan tanah lunak, desain dan pekerjaan lapangan*
- 21) Pt T-10-2002-B, *Panduan geoteknik 4, timbunan jalan pada tanah lunak : Desain dan konstruksi*
- 22) AASHTO (1993) *Guide for design of pavement structures*
- 23) AASHTO T 258-81 *Standard method of test for determining expansive soils*
- 24) ASTM D 1452-80 *Standard practice for soil investigation and sampling by auger borings*
- 25) ASTM D 2113-83 (1993) *Standard practice for diamond core drilling for site investigation*

- 26) ASTM D 4452-85 (1995) e1 *Standard methods for X-Ray radiography of soil samples*  
27) ASTM D 4546-90 *Standard test methods for one-dimensional swell or settlement potential of cohesive soils*

### **3 Istilah dan definisi**

Istilah dan definisi yang digunakan dalam pedoman ini sebagai berikut :

#### **3.1**

##### **hisapan osmotik**

gaya-gaya yang diupayakan pada molekul-molekul air sebagai hasil aktivitas kimia dalam tanah

#### **3.2**

##### **hisapan tanah**

potensi hisap yang ditimbulkan oleh daya ikatan permukaan partikel tanah dengan molekul air dan ikatan antar molekul air

#### **3.3**

##### **hisapan total**

fungsi dari hisapan osmotik dan hisapan matrik, hingga secara praktis dalam penerapan di bidang geoteknik adalah kadar air tanah yang diserap kation, pada umumnya penuh dengan hidrat dan gaya-gaya osmotik yang cukup konstan

#### **3.4**

##### **pengangkatan tanah (*heaving*)**

pengembangan tanah ke atas yang diakibatkan oleh membesarnya volume karena penambahan kadar air

#### **3.5**

##### **pengembangan (*swelling*)**

pembesaran volume tanah ekspansif akibat bertambahnya kadar air. Potensi pembesaran volume ini tergantung pada komposisi mineral, peningkatan kadar air, indeks plastisitas, kadar lempung dan tekanan tanah penutup

#### **3.6**

##### **penyusutan (*shrinkage*)**

pengecilan volume tanah ekspansif akibat berkurangnya kadar air. Potensi pengecilan volume ini terjadi apabila nilai kadar air lebih kecil dari nilai batas susutnya

#### **3.7**

##### **tanah ekspansif**

tanah atau batuan yang kandungan lempungnya memiliki potensi kembang-susut akibat perubahan kadar air