

# **PENENTUAN KOEFISIEN PERMEABILITAS TANAH TAK JENUH AIR SECARA TIDAK LANGSUNG MENGGUNAKAN SOIL-WATER CHARACTERISTIC CURVE**

**Bona Johannes Simbolon**  
**NRP : 012111116**

**Pembimbing : Ir. Theo F. Najoan, M. Eng.**

**FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL  
UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA  
BANDUNG**

---

## **ABSTRAK**

*Soil-water Characteristic Curve ( SWCC )* merupakan metode empiris yang dapat digunakan untuk memprediksi koefisien permeabilitas air (  $k_w$  ). Analisa dan perhitungan pada tugas akhir ini bertujuan untuk menentukan koefisien permeabilitas air (  $k_w$  ) pada tanah tak jenuh air, yang diambil dari data hasil percobaan permeabilitas *Falling Head* pada tugas akhir Alpond Sirait (2005) pada Bendungan Danau Tua, Rote Timor dan Bendungan Haekrit, Atambua Timor dan dari data hasil pengujian dengan menggunakan peralatan triaxial yang dimodifikasi berdasarkan *SWCC*. pada lokasi Embung Pompong, Desa Batu Tering, Sumbawa ( Nusa Tenggara Barat ).

Dalam penentuan koefisien permeabilitas air (  $k_w$  ) digunakan dua metode rumus empiris dengan *SWCC*. Hasil berdasarkan empirikal dan hasil berdasarkan pengujian kemudian dibandingkan dalam suatu kurva *SWCC* dengan hubungan antara *matrix suction* dan derajat kejenuhan, hubungan antara *matrix suction* dan *volumetric water content* dan hubungan antara *matrix suction* dan koefisien permeabilitas air (  $k_w$  ) sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan pertambahan *matrix suction* maka koefisien permeabilitas air (  $k_w$  ) semakin kecil.

Pada Bendungan Danau Tua berdasarkan metode 1 didapat  $k_w$  rata-rata untuk *matrix suction* 250 = 9.68E-11m/s, berdasarkan metode 2 didapat  $k_w$  rata-rata untuk *matrix suction* 250=1.07E-11m/s. Pada Bendungan Haekrit berdasarkan metode 1 didapat  $k_w$  rata-rata untuk *matrix suction* 250 = 3.66E-11 m/s, berdasarkan metode 2 didapat  $k_w$  rata-rata untuk *matrix suction* 250 = 3.66E-12m/s. Pada Embung Pompong berdasarkan Empiris metode 1 didapat  $k_w$  rata-rata untuk *matrix suction* 250 =4.277E-11m/s, metode 2 didapat  $k_w$  rata-rata untuk *matrix suction* 250 = 6.43E-12m/s. Pada Embung Pompong berdasarkan hasil uji metode 1 didapat  $k_w$  rata-rata untuk *matrix suction* 141.6 = 5.52E-12 m/s, metode 2 didapat  $k_w$  rata-rata untuk *matrix suction* 241.6 = 1.84E-26m/s

# DAFTAR ISI

	Halaman
<b>SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR</b> .....	i
<b>SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>PRAKATA</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	2
1.2 Tujuan Analisa .....	2
1.3 Ruang Lingkup Pembahasan .....	3
1.4 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Klasifikasi Tanah .....	5
2.1.1 Sistem Klasifikasi <i>AASHTO</i> .....	6
2.1.2 Sistem Klasifikasi <i>USCS</i> .....	9
2.2 Hubungan Berat – Volume Tanah .....	12
2.2.1 Angka Pori ( e ) .....	12
2.2.2 Porositas ( n ) .....	12

2.2.3	Derajat Kejenuhan ( $S_r$ ) .....	13
2.2.4	Kadar Air ( $w$ ) .....	13
2.2.5	Volumetrik kadar air ( $\theta_w$ ) .....	13
2.2.6	Berat Volume ( $\gamma$ ) .....	14
2.3	Batas-Batas Atterberg .....	14
2.3.1	Batas Cair .....	14
2.3.2	Batas Plastis .....	14
2.3.3	Batas Susut .....	15
2.4	Tinjauan Umum Tanah Tak Jenuh .....	15
2.4.1	Fase dalam Tanah Tak Jenuh .....	16
2.4.2	Fase <i>Contractile Skin</i> .....	16
2.5	Koefisien Permeabilitas .....	17
2.6	Uji Tinggi Jatuh ( Falling Head Test ) .....	18
2.7	Tinjauan Umum Mengenai <i>Matrics Suction</i> .....	20
2.7.1	Teori Umum Matrics Suction .....	20
2.7.2	Kapilaritas .....	22
2.7.2.1	Tinggi Kapilaritas .....	22
2.7.2.2	Pengaruh Tinggi Kpilaritas dan Jari-jari <i>Curvature</i> Kapilaritas .....	24
2.7.3	<i>High Air Entry Disk</i> .....	26
<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>34</b>
3.1	Koefisien Permeabilitas .....	34
3.2	<i>Soil-Water Characteristic Curve ( SWCC )</i> .....	36
3.2.1	Zona Tingkat Kejenuhan pada SWCC .....	38

3.2.2	Penelitian Tentang Koefisien Permeabilitas Tanah Tak Jenuh .....	40
3.2.2.1	Latar Belakang .....	42
3.2.2.2	Penelitian Koefisien Permeabilitas dengan Prediksi .....	43
3.2.2.3	Teknik Normalisasi .....	44
3.2.2.4	Pengaruh Tegangan dan Struktur Tanah dalam Hubungan Normal .....	46
3.2.3	Prediksi Koefisien Permeabilitas Tanah Tak Jenuh (Metode 1) .....	50
3.2.4	Prediksi Koefisien Permeabilitas Tanah Tak Jenuh yang Disederhanakan (Metode 2) .....	51
3.3	Persiapan Awal, Bahan dan Alat .....	54
3.3.1	Berat Isi dan Kadar Air .....	56
3.3.2	Berat Jenis ( <i>Specific Gravity</i> ) .....	57
3.3.3	Uji Batas-Batas Atterberg .....	60
3.3.4	Uji Saringan ( Analisa Tapis ) .....	63
3.3.5	Uji Hidrometer ( Analisa Hidrometer ) .....	64
3.4	Uji Permeabilitas untuk Tanah Jenuh .....	66
3.5	Uji Permeabilitas Tanah Tak Jenuh dengan Metode <i>SWCC</i> Menggunakan Alat Triaxial yang Dimodifikasi .....	68
3.5.1	Persiapan Alat .....	68
3.5.2	Pemasangan Sampel Tanah .....	69

3.5.3	Pengujian Koefisien Permeabilitas Air .....	70
3.5.4	Pengujian Koefisien Permeabilitas Udara .....	72
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS</b> .....	<b>74</b>
4.1	Data Hasil Uji Properties .....	74
4.2	Analisa Hasil Uji Atterberg Limit Test .....	75
4.3	Kurva Distribusi Butir .....	76
4.4	Hasil Uji Permeabilitas .....	78
4.5	Hasil Prediksi Penentuan Koefisien Permeabilitas dengan <i>SWCC</i> .....	78
4.6.1	Metode 1 .....	78
4.6.2	Metode 2 .....	83
4.7	Analisa Hasil Pengujian Tanah Tak Jenuh pada Embung Pompong .....	84
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>88</b>
5.1	Kesimpulan .....	88
5.2	Saran .....	92
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>95</b>
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>96</b>

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a	=	Luas penampang melintang pipa tegak
a	=	Parameter tanah suction yang berhubungan dengan nilai udara yang masuk ketanah
A	=	Luas penampang contoh uji
AASHTO	=	<i>American Association of State Highway and Transportation</i>
ASTM	=	<i>American Society for Testing Materials</i>
B	=	Parameter tanah diperubahan kelandaian di <i>SWCC</i>
c	=	Parameter tanah di residual kadar air
C	=	Lempung
C(h)	=	Faktor koreksi yang mempengaruhi <i>SWCC</i> melewati suction 1000000 kPa dan kadar air = 0
e	=	Angka pori
e <sub>0</sub>	=	Angka pori awal
g	=	Percepatan gravitasi
G	=	Kerikil
G <sub>s</sub>	=	Berat spesifik butir tanah
h	=	Tinggi energi total
h <sub>c</sub>	=	Tinggi Kapilaritas
h <sub>r</sub>	=	Volumetrik kadar air di kondisi residual
H	=	Tinggi awal contoh uji
H <sub>s</sub>	=	Tinggi contoh uji
i	=	Gradien hidrolik

IC	=	Indeks konsistensi
IL	=	Indeks cair
IP	=	Indeks plastisitas
k	=	Koefisien permeabilitas
$k_{rel}$	=	Koefisien permeabilitas relatif
$k_{sat}$	=	Koefisien permeabilitas air pada saat jenuh
$k_{unsat}$	=	Koefisien permeabilitas untuk tanah tak jenuh
$k_w$	=	Koefisien permeabilitas air
LL	=	Batas cair
M	=	Lanau
n	=	Porositas
PL	=	Batas plastis
q	=	Jumlah air yang mengalir melalui contoh tanah per satuan waktu
r	=	Jari-jari tabung kapilaritas
$R_s$	=	Ukuran jari-jari pori maksimum
S	=	Pasir
S	=	Derajat kejenuhan
Soil Vision <sup>TM</sup>	=	Soil vision for testing materials
SWCC	=	<i>Soil-water characteristic curve</i>
Ts	=	Tegangan Permukaan air
t	=	Waktu
$u_a$	=	Tekanan udara pori
$u_w$	=	Tekanan air pori

$(u_a - u_w)$	=	<i>Matrics suction</i>
$(u_a - u_w)_d$	=	<i>Air entry-value pada high air entry disk</i>
USCS	=	<i>Unified Soil Classification System</i>
$v$	=	Kecepatan aliran
$V$	=	Volume total
$V_a$	=	Volume udara dalam pori
$V_s$	=	Volume butiran padat
$V_v$	=	Volume pori
$V_w$	=	Volume air dalam pori
$w$	=	Kadar air
$W$	=	Berat total
$W_s$	=	Butiran padat
$W_w$	=	Berat air
$\Delta H$	=	Perubahan tinggi contoh uji
$\Delta V$	=	Perubahan volume contoh uji
$\alpha$	=	Sudut kontak
$\gamma$	=	Berat volume
$\gamma$	=	Parameter pengukuran
$\gamma_d$	=	Berat volume kering
$\gamma_n$	=	Berat volume basah
$\gamma_w$	=	Berat volume air
$\theta_w$	=	Volumetrik kadar air
$\theta_{sat}$	=	Volumetrik kadar air pada saat jenuh



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Rentang dari LL dan PI untuk tanah A-2 sampai A-7 .....	9
Gambar 2.2 (a) Model tanah 4 fase ; (b) Model tanah 3 fase .....	17
Gambar 2.3 Uji rembesan dengan cara tinggi jatuh .....	20
Gambar 2.4 Ilustrasi distribusi tekanan .....	21
Gambar 2.5 Ilustrasi tabung kapilaritas .....	23
Gambar 2.6 Ilustrasi tinggi kapilaritas dan jari-jari <i>curvature</i> ( Taylor, 1948 ) .....	24
Gambar 2.7 <i>Air entry value</i> pada disk oleh Kelvin .....	27
Gambar 2.8 Aliran <i>steady</i> yang melalui <i>high air entry disk</i> .....	29
Gambar 2.9 Karakteristik udara tembus disk ( Bishop dan Henkel, 1962 ) .....	30
Gambar 3.1a Bagan alir penelitian .....	31
Gambar 3.1b Bagan alir perhitungan koefisien permeabilitas air berdasarkan rumus empiris <i>SWCC</i> .....	32
Gambar 3.1c Bagan alir perhitungan koefisien permeabilitas air berdasarkan hasil pengujian .....	33
Gambar 3.2 Prediksi <i>SWCC</i> berdasarkan nilai <i>wPI</i> .....	38
Gambar 3.3 Tiga perbedaan tingkat kejenuhan pada <i>SWCC</i> .....	39
Gambar 3.4 Variasi kontak area air pada tingkatan zona pada <i>SWCC</i> ....	40
Gambar 3.5 Perbandingan $k_{rel}$ dan $S$ untuk dua tipe tanah .....	45

Gambar 3.6	Perbandingan $k_{rel}$ dan $S$ untuk dua tipe tanah dengan menggunakan nilai $\gamma$ yang berbeda .....	45
Gambar 3.7	Data normalisasi untuk empat tipe tanah .....	46
Gambar 3.8	Pengaruh tegangan untuk suatu tanah lanau .....	47
Gambar 3.9	Pengaruh tegangan untuk tanah lempung ( <i>clay till</i> ) yang dikompaksi pada kondisi kering optimum .....	48
Gambar 3.10	$k_{rel}$ Vs $S^{\eta}$ untuk tanah Indian Head Till menggunakan parameter pengukuran single ( $\gamma$ ) .....	48
Gambar 3.11	$k_{rel}$ Vs $S^{\eta}$ untuk tanah Indian Head Till menggunakan parameter pengukuran single ( $\gamma$ ) yang berbeda .....	49
Gambar 3.12	Hubungan antara parameter pengukuran ( $\gamma$ ) dan indeks Plastisitas ( $PI$ ) untuk tanah-tanah yang dinormalisasi .....	52
Gambar 3.13	Hubungan fungsi permeabilitas .....	53
Gambar 3.14	<i>High air entry disk</i> .....	69
Gambar 4.1	Distribusi ukuran butir .....	77
Gambar 4.2	<i>SWCC</i> Hubungan antara <i>matrices suction</i> Vs derajat kejenuhan Untuk bendungan Danau Tua .....	79
Gambar 4.3	<i>SWCC</i> Hubungan antara <i>matrices suction</i> Vs <i>volumetric water content</i> untuk bendungan Danau Tua .....	80
Gambar 4.4	<i>SWCC</i> Hubungan antara <i>matrices suction</i> Vs derajat kejenuhan Untuk bendungan Haekrit .....	81
Gambar 4.5	<i>SWCC</i> Hubungan antara <i>matrices suction</i> Vs <i>volumetric water content</i> untuk bendungan Haekrit .....	81

Gambar 4.6	<i>SWCC</i> Hubungan antara <i>matrics suction</i> Vs derajat kejenuhan Untuk Embung Pompong .....	82
Gambar 4.7	<i>SWCC</i> Hubungan antara <i>matrics suction</i> Vs <i>volumetric water content</i> Untuk Embung Pompong .....	82
Gambar 4.8	Hubungan antara <i>matrics suction</i> Vs $k_w$ .....	83
Gambar 4.9	Hubungan antara $S'$ dan koefisien permeabilitas relatif .....	84
Gambar 4.10	Hubungan antara <i>matrics suction</i> dan koefisien permeabilitas tanah tak jenuh .....	84
Gambar 4.11	Perbandingan antara rumus empiris dan hasil pengujian Hubungan antara <i>matrics suction</i> dan derajat kejenuhan ....	86
Gambar 4.12	Perbandingan antara rumus empiris dan hasil pengujian Hubungan antara <i>matrics suction</i> Vs <i>volumetric water content</i>	86
Gambar 4.13	Perbandingan $k_w$ untuk hasil pengujian dan hasil empirikal	88

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi tanah untuk lapisan tanah dasar jalan raya ( sistem klasifikasi <i>AASHTO</i> ) ..... 8
Tabel 2.2	Klasifikasi tanah berdasarkan <i>USCS</i> ..... 11
Tabel 2.3	Harga-harga koefisien permeabilitas pada umumnya ..... 18
Tabel 2.4	Tipe <i>high air entry disk</i> oleh Imperial College ( London dan Blight, 1966 ) ..... 28
Tabel 2.5	Tipe <i>high air entry disk</i> yang dibuat oleh <i>Soil Moisture Equipment Corperation</i> ..... 28
Tabel 3.1	Nilai parameter pengukuran ( $\gamma$ ) yang digunakan untuk tanah Indian Head Till ..... 49
Tabel 3.2	Nilai parameter pengukuran ( $\gamma$ ) dan indeks plastisitas ( <i>PI</i> ) Untuk tanah-tanah yang dinormalisasi ..... 52
Tabel 4.1	Hasil uji <i>soil properties</i> ..... 75
Tabel 4.2	Hubungan antara <i>plasticity index</i> dengan tingkat plastisitas ..... 76
Tabel 4.3	Sifat-sifat tanah berdasarkan <i>plasticity index</i> ..... 76
Tabel 4.4	Hasil uji permeabilitas ..... 78
Tabel 4.5	Perhitungan hasil Pengujian pada Embung Pompong Berdasarkan <i>SWCC</i> ..... 85
Tabel 4.6	Perhitungan <i>kw</i> berdasarkan pengujian dengan Metode 1 ... 87
Tabel 4.7	Perhitungan <i>kw</i> berdasarkan pengujian dengan Metode 2 ... 87

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1	Hasil uji Permeabilitas falling head untuk daerah Danau tau, Heikrit ( Alpon Sirait,2005 )
Lampiran 2	Hasil uji Permeabilitas falling head untuk daerah Embung Pompong
Lampiran 3	Hasil uji penentuan <i>SWCC</i> untuk tanah Embung Pompong
Lampiran 4	Hasil penentuan <i>SWCC</i> dengan perhitungan secara empiris untuk daerah Danau Tua, Heikrit dan Embung Pompong
Lampiran 5	Hasil Perhitungan koefisien permeabilitas air ( $k_w$ ) secara empiris dengan metode 1
Lampiran 6	Hasil Perhitungan koefisien permeabilitas air secara empiris dengan Metode 2