

PENENTUAN PARAMETER KUAT GESER TANAH TAK JENUH AIR SECARA TIDAK LANGSUNG MENGGUNAKAN SOIL-WATER CHARACTERISTIC CURVE

Aulia Handayani
NRP : 0121088

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

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

ABSTRAK

Tanah tak jenuh merupakan tanah yang memiliki dua fase fluida pada rongga antar partikel tanahnya, yaitu fase cair dan udara. Selisih antara nilai tekanan udara pori dan tekanan air pori dikenal dengan istilah *matrices suction* ($u_a - u_w$). Nilai *matrices suction* ini bergantung pada kadar air yang berpengaruh terhadap kuat geser tanah.

Dilakukan analisa prediksi parameter kekuatan geser tanah tak jenuh air dengan menggunakan metode tidak langsung (*indirect method*) menggunakan *Soil-water Characteristic Curve* (*SWCC*) dengan mengambil data hasil pengujian Triaxial pada kondisi *consolidated undrained* (*CU*) dari tugas akhir Alpond Sirait (2005) pada Bendungan Danau Tua, Rote Timor dan Bendungan Haekrit, Atambua Timor dan dengan mengambil data dari hasil pengujian tanah tak jenuh dari lokasi Embung Pompong, Desa Batu Tering, Sumbawa (Nusa Tenggara Barat) dengan menggunakan peralatan triaxial yang dimodifikasi dengan metode *SWCC*.

SWCC merupakan suatu metode yang mempelajari karakteristik dan tingkah laku tanah, *gravimetric water content*, *volumetric water content*, derajat kejenuhan dan *matrices suction*. *SWCC* ini digunakan sebagai alat untuk memprediksi parameter kuat geser tanah. Dari hasil analisa dan perhitungan data untuk parameter kuat geser tanah tak jenuh dengan *SWCC*, kemudian hasilnya digambarkan dalam suatu kurva keruntuhan lingkaran mohr-coulomb untuk tanah tak jenuh, sesuai dengan nilai *matric suction* yang diprediksikan. Didapat nilai rata-rata (ϕ^b) untuk Danau Tua nilai *matric suction* 150 = 44.146° dengan kohesi rata-rata 151.052 kPa, untuk Haekrit rata-rata (ϕ^b) nilai *matric suction* 150 = 40.002° dengan kohesi rata-rata 141.612 kPa, untuk Embung Pompong berdasarkan empiris rata-rata (ϕ^b) nilai *matric suction* 150 = 50.825° dengan kohesi rata-rata 190.083 kPa sedangkan berdasarkan pengujian rata-rata (ϕ^b) nilai *matric suction* 141.6 = 39.499° dengan kohesi rata-rata 122.723 kPa.

Universitas Kristen Maranatha

DAFTAR ISI

	Halaman
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR	i
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Maksud dan tujuan Analisa	2
1.3 Ruang Lingkup Pembahasan	2
1.4 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Klasifikasi Tanah	5
2.1.1 Klasifikasi Tanah Sistem <i>USCS</i>	6
2.1.2 Klasifikasi Tanah Sistem <i>AASHTO</i>	9
2.2 Hubungan Berat dan Volume	10
2.2.1 Angka Pori (<i>e</i>)	11
2.2.2 Porositas (<i>n</i>)	11

2.2.3	Derajat Kejenuhan (S)	11
2.2.4	Kadar Air (w)	12
2.2.5	Berat Volume (γ)	12
2.3	Batas-Batas Atterberg (<i>Atterberg Limits</i>)	12
2.3.1	Batas Cair (<i>Liquid Limit</i>)	12
2.3.2	Batas Plastis (<i>Plastic Limit</i>)	13
2.3.3	Batas Susut (<i>Shrinkage Limit</i>)	13
2.4	Indeks Konsistensi Tanah	13
2.4.1	<i>Plasticity Index</i> (Indeks Plastisitas)	14
2.4.2	<i>Flow Index</i>	14
2.4.3	<i>Thoughness Index</i>	14
2.4.4	<i>Liquidity Index</i> (Indeks Cair)	14
2.4.5	<i>Consistency Index</i> (Indeks Konsistensi)	15
2.5	Tanah Tak Jenuh	15
2.5.1	Perbedaan Tanah Jenuh dengan Tanah Tak Jenuh	16
2.5.2	Fase dalam Tanah Tak Jenuh	17
2.5.3	Fase <i>Contractile Skin</i>	17
2.5.4	Air Tanah	19
2.5.4.1	Zona Jenuh Air	19
2.5.4.2	Zona Kapiler	19
2.5.4.3	Zona Tak Jenuh	20
2.5.5	Tekanan Kapiler	20
2.6	Teknik Axis-Translasi	23
2.7	<i>Matrics Suction</i>	24

2.7.1	Kondisi Permukaan Tanah	25
2.7.2	Kondisi Lingkungan	25
2.7.3	Vegetasi	26
2.7.4	Muka Air Tanah	26
2.7.5	Permeabilitas Tanah	27
2.7.6	Pengukuran <i>Matrics Suction</i>	27
2.7.6.1	Pengukuran Secara Langsung	27
2.7.6.2	Pengukuran Secara Tidak Langsung	32
2.8	Parameter Kuat Geser Tanah	33
2.8.1	Tegangan Efektif Tanah	33
2.8.2	Kuat Geser Tanah Jenuh	36
2.8.3	Kuat Geser Tanah Tak Jenuh	37
2.9	Uji Geser Triaxial	38
2.9.1	Tipe-tipe Uji Triaxial	40
2.9.1.1	Tipe <i>Consolidated Drained</i> (<i>CD</i>)	41
2.9.1.2	Tipe <i>Consolidated Undrained</i> (<i>CU</i>)	41
2.9.1.3	Tipe <i>Unconsolidated Undrained</i> (<i>UU</i>)	41
2.9.1.4	Tipe <i>Constant Water</i>	42
2.9.2	Modifikasi Alat Triaxial untuk Uji Kuat Geser Tanah Tak Jenuh	42
2.10	<i>Soil-Water Characteristic Curve</i> (<i>SWCC</i>)	43
2.10.1	Hubungan Antara <i>SWCC</i> dan Kuat Geser Tanah Tak Jenuh	43
2.10.2	Penggunaan <i>SWCC</i> dalam Prediksi Kuat Geser untuk Tanah Tak Jenuh	46

2.10.3 Model Fisikal untuk Menjelaskan Tingkah Laku Tanah Tak Jenuh	47
2.10.3.1 <i>Boundary Effect Zone</i>	49
2.10.3.2 <i>Transition Zone</i>	49
2.10.3.3 <i>Residual Zone</i>	50
2.10.4 Persamaan dalam Literatur <i>SWCC</i>	51
2.10.5 Prediksi Kuat Geser dengan Pendekatan <i>SWCC</i>	54
BAB 3 PROSEDUR PENGUJIAN	60
3.1 Pengambilan Data Contoh Tanah	60
3.2 Uji <i>Specific Gravity</i> (<i>G_s</i>)	61
3.3 Pengujian Kadar Air Alami	63
3.4 Batas-Batas Atterberg	64
3.4.1 Pengujian Batas Cair (<i>Liquid Limit / LL</i>)	64
3.4.2 Pengujian Batas Plastis (<i>Plastic Limit / PL</i>)	66
3.5 Analisa Ukuran Butir	67
3.5.1 Uji Hidrometer	67
3.5.2 Uji Saringan	70
3.6 Uji Pemadatan	71
3.7 Pengujian Triaxial untuk Tanah Jenuh	74
3.7.1 Peralatan yang Digunakan	74
3.7.2 Persiapan Contoh Tanah	75
3.7.3 Tahap Pemasangan Contoh Tanah pada Alat Uji	76
3.7.4 Uji Geser Triaxial Kondisi <i>CU</i> untuk Tanah Jenuh	77

3.7.4.1	Metode <i>Back Pressure</i>	77
3.7.4.2	Tahap Konsolidasi.....	85
3.7.4.3	Tahap Pengujian Kuat Geser.....	86
3.7.4.4	Tahap Pasca Uji Geser	88
3.7.4.5	Prediksi Parameter Kuat Geser dari Data Hasil Uji Triaxial Kondisi <i>CU</i>	88
3.8	Uji Triaxial Untuk Tanah Tak Jenuh dengan <i>SWCC</i> Menggunakan Peralatan Triaxial yang Dimodifikasi	89
3.8.1	Tahap Persiapan Spesimen dan Alat Uji	90
3.8.2	Pemasangan Spesimen Sampel Tanah	91
3.8.3	Tahap Pemberian <i>Matrics Suction</i>	92
BAB 4	ANALISA DATA HASIL UJI	95
4.1	Data Hasil Uji Properties Bendungan Danau Tua dan Haekrit ..	95
4.1.1	Analisa Hasil Uji <i>Atterberg Limits</i>	96
4.1.2	Kurva Distribusi Butir	97
4.1.3	Data Hasil Uji Geser Triaksial Tipe <i>CU</i>	99
4.2	Data Hasil Uji Properties pada Lokasi Embung Pompong	102
4.3	Hasil Prediksi dengan <i>SWCC</i>	103
4.4	Perhitungan Parameter Kuat Geser	104
4.5	Analisa Hasil Pengujian Tanah Tak Jenuh pada Embung Pompong	105
4.6	Hasil Perhitungan Parameter Kuat geser Berdasarkan Pengujian pada Embung Pompong	108
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	111
5.1	Kesimpulan	111

5.2	Saran	114
DAFTAR PUSTAKA		116
LAMPIRAN		117

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a	=	Parameter tanah suction yang berhubungan dengan nilai udara yang masuk ketanah
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>
B	=	Koefisien tekanan air pori
c	=	Kohesi total
c	=	Parameter tanah di residual kadar air
c'	=	Kohesi efektif
e	=	Angka pori
e_0	=	Angka pori awal
g	=	Gravitasi
G_s	=	Berat spesifik butir tanah
h_c	=	Tinggi Kapilaritas
h_r	=	Volumetrik kadar air di kondisi residual
IC	=	Indeks konsistensi
If	=	<i>Flow index</i>
IL	=	Indeks cair
It	=	<i>Toughness index</i>
k	=	Koefisien permeabilitas
LL	=	Batas cair
n	=	Porositas

p	=	Tekanan total
P	=	Tekanan efektif
PI	=	Indeks plastisitas
PL	=	Batas plastis
S	=	Derajat kejenuhan
$SWCC$	=	<i>Soil-water Characteristic Curve</i>
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</i> pada <i>high air entry disk</i>
$USCS$	=	<i>Unified Soil Classification System</i>
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
ΔV	=	Perubahan volume contoh uji
γ	=	Berat volume
γ_d	=	Berat volume kering
γ_n	=	Berat volume basah

γ_w	=	Berat volume air
σ	=	Tegangan normal total
σ_1	=	Tegangan utama mayor
σ_3	=	Tegangan utama minor
σ'	=	Tegangan normal efektif
σ_1'	=	Tegangan utama mayor efektif
σ_3'	=	Tegangan utama minor efektif
σ_{ff}	=	Tegangan normal pada saat runtuh
θ_w	=	Volumetrik kadar air
θ_{sat}	=	Volumetrik kadar air pada saat jenuh
τ	=	Tegangan geser
τ_{ff}	=	Tegangan geser saat runtuh
ϕ	=	Sudut geser dalam total
ϕ^b	=	Sudut geser yang menunjukkan perubahan <i>matrics suction</i>
ϕ'	=	Sudut geser dalam efektif

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Bagan plastisitas	7
Gambar 2.2 Hubungan berat-volume	10
Gambar 2.3 Pembagian studi mekanika tanah	16
Gambar 2.4 Elemen-elemen tanah tak jenuh	17
Gambar 2.5 a) Model tanah 4 fase b) Model tanah 3 fase	18
Gambar 2.6 Pembagian lapisan tanah berdasarkan kejenuhannya	19
Gambar 2.7 Percobaan dengan menggunakan pipa kapiler, muka air tanah dimodelkan sebagai permukaan air pada bejana (datum) ..	22
Gambar 2.8 Distribusi tekanan air pori dibawah permukaan tanah	22
Gambar 2.9 Teknik aksis translasi	23
Gambar 2.10 Variasi nilai <i>matrics suction</i> pada tanah terbuka	26
Gambar 2.11 Jet fill tensiometer	30
Gambar 2.12 Konvensional tensiometer	30
Gambar 2.13 <i>Axis Translation Apparatus</i>	31
Gambar 2.14 <i>Axis Translation Apparatus</i> (Olson dan Langfelder, 1965)	32
Gambar 2.15 Kuat geser tanah jenuh	37
Gambar 2.16 Kuat geser tanah tak jenuh	38
Gambar 2.17 Skema alat triaxial (Bishop dan Bjerrum, 1960)	39
Gambar 2.18 Kurva <i>Soil-Water Characteristic Curve (SWCC)</i> , Hubungan Antara derajat kejenuhan dan <i>matrics suction</i>	44

Gambar 2.19	Tipikal <i>SWCC</i> untuk tanah kering dan tanah basah	45
Gambar 2.20	a) <i>SWCC</i> ; b) Perilaku kuat geser sebagai hubungan dengan <i>SWCC</i>	45
Gambar 2.21	Tiga perbedaan tingkatan kejenuhan	48
Gambar 2.22	Ilustrasi variasi area air pada tingkatan kejenuhan	48
Gambar 2.23	<i>Boundary Effect Zone</i>	49
Gambar 2.24	<i>Primary Transition Zone</i>	50
Gambar 2.25	<i>Secondary Transition Zone</i>	50
Gambar 2.26	<i>Residual Zone</i>	51
Gambar 2.27	Hubungan antara parameter pengukuran (κ) dan Indeks plastisitas (<i>PI</i>) (Vanapalli dan Fredlund, 2000)	56
Gambar 3.1a	Bagan alir penelitian	57
Gambar 3.1b	Bagan alir perhitungan kuat geser secara empiris	58
Gambar 3.1c	Bagan alir perhitungan kuat geser berdasarkan hasil pengujian	59
Gambar 3.2a	Pemberian tegangan keliling sebesar 0.5 kg/cm^2	80
Gambar 3.2b	Pemberian <i>back pressure</i> sebesar 0.4 kg/cm^2	81
Gambar 3.2c	Pemberian tegangan keliling sebesar 1 kg/cm^2	81
Gambar 3.2d	Pemberian <i>back pressure</i> sebesar 0.9 kg/cm^2	82
Gambar 3.2e	Pemberian tegangan keliling sebesar 1.5 kg/cm^2	82
Gambar 3.2f	Pemberian <i>back pressure</i> sebesar 1.4 kg/cm^2	83
Gambar 3.2g	Pemberian tegangan keliling sebesar 2 kg/cm^2	83
Gambar 3.2h	Pemberian <i>back pressure</i> sebesar 1.9 kg/cm^2	84
Gambar 3.2i	Pemberian tegangan konsolidasi sebesar $\sigma_3 \text{ kg/cm}^2$	84

Gambar 3.3	Proses Konsolidasi	86
Gambar 3.4	Proses Uji Geser	87
Gambar 3.5	<i>High air entry disk</i>	90
Gambar 4.1	Distribusi ukuran butir	99
Gambar 4.2	Hubungan <i>axial strain</i> dengan <i>pore pressure</i>	100
Gambar 4.3	Lingkaran Mohr-Coulomb Triaksial Tipe <i>CU</i>	101
Gambar 4.4	<i>Soil-water Characteristic Curve</i> Hubungan antara <i>matrices suction</i> dan derajat kejenuhan	103
Gambar 4.5	Kurva keruntuhan lingkaran Mohr-Coulomb untuk tanah tak Jenuh untuk tanah TPD.1	105
Gambar 4.6	Perbandingan antara data eksperimen dan hasil pengujian Hubungan antara <i>matrices suction</i> dan derajat kejenuhan	107
Gambar 4.7	Perbandingan antara data eksperimen dan hasil pengujian Hubungan antara <i>matrices suction</i> dan <i>volumetric water content</i>	107
Gambar 4.8	Kurva keruntuhan lingkaran mohr-coulomb tanah tak jenuh untuk Embung Pompong berdasarkan empiris	109
Gambar 4.9	Kurva keruntuhan lingkaran mohr-coulomb tanah tak jenuh untuk Embung Pompong berdasarkan hasil pengujian	110

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Simbol kelompok dan sub kelompok pada <i>USCS</i>	7
Tabel 2.2 Klasifikasi tanah berdasarkan <i>USCS</i>	8
Tabel 2.3 Klasifikasi tanah berdasarkan <i>AASHTO</i>	9
Tabel 2.4 Tinggi kapiler pada berbagai jenis tanah	23
Tabel 2.5 <i>High air entry disk</i> yang digunakan di Imperial College	28
Tabel 2.6 <i>High air entry disk</i> yang dibuat oleh <i>Soil Moisture Equipment Corporation</i>	29
Tabel 2.7 Kombinasi Tegangan untuk tanah tak jenuh	36
Tabel 4.1 Hasil uji <i>soil properties</i> untuk Bendungan Danau Tua dan Haekrit	96
Tabel 4.2 Hubungan <i>plasticity index</i> dengan tingkat plastisitas untuk Bendungan Danau Tua dan Haekrit	97
Tabel 4.3 Sifat-sifat tanah berdasarkan <i>plasticity index</i> untuk Bendungan Danau Tua dan Haekrit	97
Tabel 4.4 Penentuan jenis tanah dari <i>plasticity chart</i> untuk Bendungan Danau Tua dan Haekrit	97
Tabel 4.5 Data uji geser tipe <i>CU</i> untuk Bendungan Danau Tua dan Haekrit	101
Tabel 4.6 Parameter sudut geser dalam dan kohesi dari lingkaran Mohr-Coulomb tipe <i>CU</i>	102
Tabel 4.7 Hasil uji <i>soil properties</i> untuk Embung Pompong	103

Tabel 4.8	Hasil perhitungan Parameter kuat geser tanah tak jenuh	104
Tabel 4.9	Hasil pengujian tanah tak jenuh untuk Embung Pompong ...	106
Tabel 4.10	Hasil perhitungan parameter kuat geser tanah tak jenuh berdasarkan empiris	108
Tabel 4.11	Hasil perhitungan parameter kuat geser tanah tak jenuh berdasarkan pengujian	109

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1	Hasil uji Triaxial kondisi <i>CU</i> untuk daerah Danau tau, Haekrit (Alpon Sirait,2005)
Lampiran 2	Hasil uji Triaxial kondisi <i>CU</i> untuk daerah Embung Pompong
Lampiran 3	Hasil perhitungan parameter kuat geser untuk tanah tak jenuh berdasarkan empiris dan hasil pengujian
Lampiran 4	Hasil pengujian tanah tak jenuh Embung Pompong berdasarkan <i>SWCC</i> untuk Embung Pompong
Lampiran 5	<i>SWCC</i> hasil perhitungan secara empiris untuk Bendungan Danau Tua, Haekrit dan Embung Pompong