

KARAKTERISASI BAHAN TIMBUNAN TANAH PADA LOKASI RENCANA BENDUNGAN DANAU TUA, ROTE TIMOR, DAN BENDUNGAN HAEKRIT, ATAMBUA TIMOR

Alpon Sirait
NRP : 9921036

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

FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS KRISTEN MARANATHA
BANDUNG

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan pada dua lokasi yaitu pada rencana bendungan Haekrit dan Danau Tua.

Hasil penelitian yang dilakukan di rencana bendungan Danau Tua menunjukkan bahwa bahan yang digunakan menurut klasifikasi USCS termasuk jenis tanah lanau lempungan MH, dengan kadar air asli rata-rata 20,18%, berat kering maksimum rata-rata 1,28 gr/cm³, kadar air optimum rata 36,27%. kohesi efektif rata-rata 10,3 kPa, sudut geser dalam efektif 19,87° (tipe CU), kohesi rata-rata 73,8 kPa, sudut geser dalam 7,6° (tipe UU); indeks pemampatan rata-rata $c_c = 0,41$; indeks pemuai rata-rata $c_s = 0,082$; tegangan prakonsolidasi rata-rata $p_c = 1,99$. Dari hasil penelitian *swelling* contoh tanah yang tidak dibebani atau beban 0 kg/cm² menghasilkan potensi pengembangan rata-rata 12,07%; bila dibebani sampai 0,8 kg/cm² menghasilkan potensi pengembangan rata-rata 1,27% dan kalau beban ditambah terus secara bertahap tanah akan terjadi penurunan. k rata-rata $2,4 \times 10^{-9}$ m/det dengan kadar air yang berbeda-beda.

Hasil penelitian yang dilakukan di rencana bendungan Haekrit menunjukkan bahwa bahan yang digunakan menurut klasifikasi USCS termasuk jenis tanah CH (lempung berlanau) dan SC (pasir berlempung) dengan kadar air asli rata-rata 9,95%, berat kering maksimum rata-rata 1,64 gr/cm³ dan mempunyai kadar air optimum 18,97%, kohesi efektif rata-rata 17,77 kPa, sudut geser dalam efektif 22,12° (tipe CU) dan kohesi rata-rata 79 kPa, sudut geser dalam 6,3° (tipe UU), indeks pemampatan rata-rata $c_c = 0,29$; indeks pemuai rata-rata $c_s = 0,055$; tegangan prakonsolidasi rata-rata $p_c = 1,66$; beban 0 kg/cm² menghasilkan potensi pengembangan rata-rata 6,76% dan bila dibebani 0,8 kg/cm² menghasilkan potensi pengembangan rata-rata 0,68%, dan nilai k rata-rata $7,6 \times 10^{-10}$ m/det dengan kadar air yang berbeda-beda.

Juga telah dikembangkan persamaan empiris dengan menggabungkan data-data kedua bendungan tersebut dengan menggunakan hubungan batas plastis dengan parameter lain yang hasilnya , $OMC = 0,9244(IP) - 5,5122$; $MDD = -0,0204(IP) + 2,191$; $\phi = -0,0846(IP) + 14,416$; $\phi' = -0,0386(IP) + 22,554$; $c = 0,0002(IP) + 19,983$; $c' = -0,2086(IP) + 21,71$; $c_c = 0,006(IP) + 0,1455$; $c_s = 0,0014(IP) + 0,0223$; $p_c = 0,0068(IP) + 1,5779$; $Sw = a IP + b$; $k = 0,3707(IP) + 6,4769$.

DAFTAR ISI

	Halaman
SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR	i
SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xiiiv
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xxii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Maksud dan tujuan Penelitian	3
1.3 Metodologi dan Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Sistematika Pembahasan	5
BAB 2 STUDI PUSTAKA	7
2.1 Klasifikasi Tanah	7
2.1.1 Klasifikasi Tanah Sistem USCS	8
2.1.2 Klasifikasi Tanah Sistem AASHTO	12
2.2 Hubungan Berat dan Volume	14
2.2.1 Kadar Air	15
2.2.2 Porositas	15
2.2.3 Angka Pori	15

2.2.4	Berat Volume Basah	16
2.2.5	Berat Volume Kering	16
2.2.6	Berat Derajat Kejenuhan	16
2.3	Batas-Batas Atterberg	16
2.3.1	Batas Cair	17
2.3.2	Batas Plastis	18
2.3.3	Batas Susut	18
2.4	Indeks Konsistensi Tanah	19
2.5	Sifat-Sifat Teknis Bahan Timbunan	19
2.5.1	Prinsip Umum Pemadatan	19
2.5.2	Uji Proctor Standar	22
2.5.3	Kadar Air Keseimbangan (<i>Equilibrium Water Content</i>)	25
2.6	Parameter Kuat Geser Tanah	26
2.6.1	Tegangan Efektif pada Tanah	26
2.6.2	Parameter Kuat Geser c dan ϕ	27
2.6.3	Tipe-Tipe Pengujian Kuat Geser dengan Triaksial Test	30
2.7	Kemampumampatan Tanah (Konsolidasi)	31
2.7.1	Uji Konsolidasi	31
2.7.2	Grafik Angka Pori – Tekanan	33
2.7.3	Indeks Pemampatan (<i>Compression Index, c_c</i>)	34
2.7.4	Indeks Pemuaian (<i>Swell Index, c_s</i>)	35
2.7.5	Koefisien Konsolidasi, c_v	35
2.8	Pengembangan (<i>Swelling</i>)	37

2.8.1	Pengukuran <i>Swelling</i>	38
2.8.2	Prediksi <i>Swelling</i>	39
2.8.3	Cara-Cara Menanggulangi <i>Swelling</i>	39
2.9	Daya Rembes (<i>Permeability</i>)	40
2.9.1	Gradien Hidrolik	40
2.9.2	Koefisien Rembesan	44
2.9.3	Uji <i>Falling Head Test</i>	45
2.10	Bendungan Tipe Urugan	46
2.10.1	Klasifikasi Bendungan Urugan	47
2.10.2	Karakteristik Bendungan Tipe Urugan	48
2.11	Bahan Urugan	49
2.11.1	Bahan Tanah	50
2.11.2	Bahan Pasir dan Kerikil	51
2.11.3	Bahan Batu	51
2.12	Persyaratan Bahan Urugan	52
2.12.1	Bahan untuk Zona Kedap Air	52
2.12.2	Bahan-bahan untuk Filter dan Zone Transisi	56
2.12.3	Bahan Batu	59
2.12.4	Bahan-bahan Lainnya	62
BAB 3	PROSEDUR UJI DAN PENGUJIAN	63
3.1	Pengambilan Contoh Tanah	65
3.2	Uji <i>Specific Gravity</i>	65
3.3	Pengujian Kadar Air Alamiah	67
3.4	Batas-Batas Atterberg	68

3.4.1	Pengujian Batas Cair (<i>Liquid Limit / LL</i>)	68
3.4.2	Pengujian Batas Plastis (<i>Plastic Limit / PL</i>)	70
3.5	Analisa Ukuran Butir	71
3.5.1	Uji Hidrometer	71
3.5.2	Uji Saringan	73
3.6	Uji Pemadatan	75
3.7	Uji Geser Triaksial	78
3.7.1	Persiapan Contoh Tanah	78
3.7.2	Tahap Pemasangan Specimen Pada Alat Uji	79
3.7.3	Uji Geser Kondisi UU	80
3.7.4	Uji Geser Kondisi CU	81
3.7.4.1	Tahap Penjenuhan Specimen dengan <i>Back Pressure</i>	81
3.7.4.2	Tahap Konsolidasi	89
3.7.4.3	Tahap Pengujian Kuat Geser	90
3.7.5	Tahap Pasca Uji Geser	92
3.8	Uji Konsolidasi	92
3.9	Uji <i>Swelling</i>	94
3.10	Uji Permeabilitas	96
BAB 4	ANALISA HASIL UJI	98
4.1	Data Hasil Uji Properties	98
4.2	Analisa Hasil Uji Atterberg Limit Test	99
4.3	Kurva Distribusi Butir	102
4.4	Klasifikasi Tanah Berdasarkan Hasil Uji Properties	103

4.4.1	Klasifikasi Berdasarkan USCS	103
4.4.2	Klasifikasi Berdasarkan AASHTO	104
4.5	Hasil Uji Pemadatan (Proctor standar)	105
4.6	Hasil Uji Geser Triaksial	106
4.6.1	Uji Geser Triaksial Tipe UU	106
4.6.2	Uji Geser Triaksial Tipe CU	109
4.6.2.1	Hasil Uji Penjenuhan Spesimen dengan metode <i>Back Pressure</i>	109
4.6.2.2	Perubahan Volume Akibat Penjenuhan dan Akibat Konsolidasi Spesimen Uji	109
4.6.2.3	Analisa Uji Geser Triaksial	110
4.7	Hasil Uji Konsolidasi	116
4.8	Hasil Uji <i>Swelling</i>	118
4.9	Hasil Uji Permeabilitas	120
4.10	Persamaan-Persamaan Empiris	121
4.10.1	Kumpulan Data Laboratorium	121
4.10.2	Korelasi Batas Plastis dengan Parameter Kompaksi	121
4.10.3	Korelasi Batas Plastis dengan Parameter Kuat Geser ..	124
4.10.3.1	Korelasi Batas Plastis dengan Sudut Geser Dalam	124
4.10.3.2	Korelasi Batas Plastis dengan Kohesi	125
4.10.4	Korelasi Batas Plastis dengan Parameter Konsolidasi	126
4.10.5	Korelasi Batas Plastis dengan <i>Swelling</i>	128
4.10.6	Korelasi Batas Plastis dengan Permeabilitas	129
4.10.7	Korelasi Indeks Plastis dengan Parameter Kompaksi ..	130

4.10.8	Korelasi Indeks Plastis dengan Parameter Kuat Geser .	130
4.10.8.1	Korelasi Indeks Plastis dengan Sudut Geser Dalam	131
4.10.8.2	Korelasi Indeks Plastis dengan Kohesi	131
4.10.9	Korelasi Indeks Plastis dengan Parameter Konsolidasi	132
4.10.10	Korelasi Indeks Plastis dengan <i>Swelling</i>	134
4.10.11	Korelasi Indeks Plastis dengan Permeabilitas	135
4.10.12	Korelasi Persen Lolos Fraksi < 0,002 mm dengan Parameter Kompaksi	136
4.10.13	Korelasi Persen Lolos Fraksi < 0,002 mm dengan Parameter Kuat Geser	136
4.10.13.1	Korelasi Persen Lolos Fraksi < 0,002 mm dengan Sudut Geser Dalam	137
4.10.13.2	Korelasi Persen Lolos Fraksi < 0,002 mm dengan Kohesi	137
4.10.14	Korelasi Persen Lolos Fraksi < 0,002 mm dengan Parameter Konsolidasi	138
4.10.15	Korelasi Persen Lolos Fraksi < 0,002 mm dengan <i>Swelling</i>	140
4.10.16	Korelasi Persen Lolos Fraksi < 0,002 mm dengan Permeabilitas	141
4.11	Aplikasi Untuk Desain	142
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	143
5.1	Kesimpulan	143
5.2	Saran	147

DAFTAR PUSTAKA	148
LAMPIRAN	149

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

a	=	Luas penampang melintang pipa tegak (uji tinggi jatuh)
A	=	Luas penampang contoh uji
AASHTO	=	American Association of State Highway and Transportation
ASTM	=	American Society for Testing Materials
A_u	=	Peningkatan tekanan air pori akibat peningkatan tekanan sel
B	=	Koefisien tekanan air pori
c	=	Kohesi total
c_c	=	Indeks pemampatan
c_s	=	Indeks pemuaian
c_v	=	Indeks konsolidasi
c'	=	Kohesi efektif
C	=	Lempung
C_c	=	Koefisien gradasi
C_u	=	Koefisien keseragaman
e	=	Angka pori
e_0	=	Angka pori awal
g	=	Gravitasi
G	=	Kerikil
G_s	=	Berat spesifik butir tanah
h	=	Tinggi energi total
H	=	Tinggi awal contoh uji

Hdr	= Panjang rata-rata yang harus ditempuh oleh air pori selama proses konsolidasi
Hs	= Tinggi contoh uji
Hv	= Tinggi awal ruang pori
i	= Gradien hidrolik
IC	= Indeks konsistensi
IL	= Indeks cair
IP	= Indeks plastisitas
k	= Koefisien rembesan
K	= Koefisien rembesan absolut
LL	= Batas cair
M	= Lanau
MDD	= Berat isi kering maksimum
n	= Porositas
OMC	= Kadar air optimum
p_c	= Tekanan prakonsolidasi
p_s	= Tambahan tegangan untuk menahan pengembangan
p	= Tekanan total
P	= Tekanan efektif
PL	= Batas plastis
P_T	= Tegangan untuk menahan pengembangan
Q	= Tekanan geser efektif
S	= Pasir
Sr	= Derajat kejenuhan

S_w	=	Potensi pengembangan
t	=	Waktu
t_{50}, t_{90}	=	Waktu yang dibutuhkan untuk konsolidasi 50% dan 90%
u_a	=	Tekanan udara pori
u_w	=	Tekanan air pori
u_{wf}	=	Tegangan air pori pada saat runtuh
U	=	Derajat konsolidasi rata-rata
USCS	=	Unified Soil Classification System
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
Z	=	Kedalaman zona efektif
ZAV	=	Zero Air Void
ΔH	=	Perubahan tinggi contoh uji
ΔV	=	Perubahan volume contoh uji
Δsf	=	Free Surface Heave
α	=	Sudut geser

α'	=	Sudut geser efektif
ϕ	=	Sudut geser dalam total
ϕ'	=	Sudut geser dalam efektif
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
τ	=	Tegangan geser
τ_{ff}	=	Tegangan geser saat runtuh

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Bagan plastisitas untuk menentukan jenis tanah 10
Gambar 2.2	Hubungan berat dan volume tanah 14
Gambar 2.3	Batas-batas Atterberg 17
Gambar 2.4	Perbedaan proses konsolidasi dan pemadatan tanah 19
Gambar 2.5	Prinsip pemadatan 20
Gambar 2.6	Alat uji Proctor Standar 24
Gambar 2.7	Hasil uji pemadatan Proctor standar 25
Gambar 2.8	Seperangkat alat uji Triaksial 26
Gambar 2.9	Garis keruntuhan tegangan total dan efektif uji triaksial kondisi <i>consolidated-undrained</i> 28
Gambar 2.10	Grafik waktu – pemampatan selama konsolidasi untuk suatu penambahan beban yang diberikan. 32
Gambar 2.11	Oedometer 33
Gambar 2.12	Kurva hubungan antara tekanan dengan angka pori 36
Gambar 2.13	Zona aktif 37
Gambar 2.14	Tekanan, elevasi, dan tinggi total energi untuk aliran air di dalam tanah 42
Gambar 2.15	Variasi kecepatan aliran v dengan gradien hidrolik I 43
Gambar 2.16	Uji rembesan dengan <i>Falling Head</i> 46
Gambar 2.17	Klasifikasi umum bendungan urugan 47
Gambar 3.1	Bagan alir penelitian 64

Gambar 3.2	Skema Alat Pengujian	83
Gambar 3.2a	Pemberian tegangan keliling sebesar 0.5 kg/cm^2	84
Gambar 3.2b	Pemberian <i>back pressure</i> sebesar 0.4 kg/cm^2	85
Gambar 3.2c	Pemberian tegangan keliling sebesar 1 kg/cm^2	85
Gambar 3.2d	Pemberian <i>back pressure</i> sebesar 0.9 kg/cm^2	86
Gambar 3.2e	Pemberian tegangan keliling sebesar 1.5 kg/cm^2	86
Gambar 3.2f	Pemberian <i>back pressure</i> sebesar 1.4 kg/cm^2	87
Gambar 3.2g	Pemberian tegangan keliling sebesar 2 kg/cm^2	87
Gambar 3.2h	Pemberian <i>back pressure</i> sebesar 1.9 kg/cm^2	88
Gambar 3.2i	Pemberian tegangan konsolidasi sebesar $\sigma_3 \text{ kg/cm}^2$	88
Gambar 3.3	Proses Konsolidasi	90
Gambara 3.4	Proses Uji Geser	91
Gambar 4.1	Bagan plastisitas untuk penentuan jenis tanah	101
Gambar 4.2	Distriusi ukuran butir	103
Gambar 4.3	Kurva hubungan γ_d dengan kadar air (w)	105
Gambar 4.4	Hubungan <i>axial strain</i> dengan <i>deviator stress</i>	107
Gambar 4.5	Lingkaran Mohr-Coulomb Triaksial Tipe UU	108
Gambar 4.6	Hubungan <i>axial strain</i> dengan <i>pore pressure</i>	111
Gambar 4.7	Lingkaran Mohr-Coulomb Triaksial Tipe CU	113
Gambar 4.8	Diagram P' dan Q' hasil regresi linear	114
Gambar 4.9	Metode logaritma – waktu untuk mendapatkan derajat konsolidasi rata-rata 50%	117
Gambar 4.10	Hubungan angka pori dengan tekanan	117
Gambar 4.11	Hubungan <i>swelling</i> dengan <i>time</i>	118

Gambar 4.12 Hubungan <i>swelling</i> dengan <i>pressure</i>	119
Gambar 4.13 Hubungan PL dengan OMC untuk jenis tanah MH, SC, CH, dan MH+SC+CH	122
Gambar 4.14 Hubungan PL dengan MDD untuk jenis tanah MH, SC, CH, dan MH+SC+CH	123
Gambar 4.15 Hubungan PL dengan sudut geser dalam untuk jenis tanah MH+SC+CH	125
Gambar 4.16 Hubungan PL dengan kohesi untuk jenis tanah MH+SC+CH	126
Gambar 4.17 Hubungan PL dengan parameter konsolidasi untuk jenis tanah MH+SC+CH	127
Gambar 4.18 Hubungan PL dengan <i>swelling</i> untuk jenis tanah MH+SC+CH	128
Gambar 4.19 Hubungan PL dengan k untuk jenis tanah MH+SC+CH	129
Gambar 4.20 Hubungan IP dengan parameter kompaksi untuk jenis tanah MH+SC+CH	130
Gambar 4.21 Hubungan IP dengan sudut geser dalam untuk jenis tanah MH+SC+CH	131
Gambar 4.22 Hubungan IP dengan kohesi untuk jenis tanah MH+SC+CH	132
Gambar 4.23 Hubungan IP dengan parameter konsolidasi untuk jenis tanah MH+SC+CH	133
Gambar 4.24 Hubungan IP dengan <i>swelling</i> untuk jenis tanah MH+SC+CH	134

Gambar 4.25 Hubungan IP dengan k untuk jenis tanah MH+SC+CH	135
Gambar 4.26 Hubungan persen lolos fraksi $< 0,002$ mm dengan parameter kompaksi untuk jenis tanah MH+SC+CH	136
Gambar 4.27 Hubungan persen lolos fraksi $< 0,002$ mm dengan sudut geser dalam untuk jenis tanah MH+SC+CH	137
Gambar 4.28 Hubungan persen lolos fraksi $< 0,002$ mm dengan kohesi untuk jenis tanah MH+SC+CH	138
Gambar 4.29 Hubungan persen lolos fraksi $< 0,002$ mm dengan parameter konsolidasi untuk jenis tanah MH+SC+CH	139
Gambar 4.30 Hubungan persen lolos fraksi $< 0,002$ mm dengan <i>swelling</i> untuk jenis tanah MH+SC+CH	140
Gambar 4.31 Hubungan persen lolos fraksi $< 0,002$ mm dengan k untuk jenis tanah MH+SC+CH	141

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Klasifikasi tanah berdasarkan sistem USCS	11
Tabel 2.2 Klasifikasi tanah berdasarkan sistem AASHTO	13
Tabel 2.3 Fariasi faktor waktu terhadap derajat konsolidasi	36
Tabel 2.4 Harga-harga koefisien rembesan pada umumnya	44
Tabel 2.4 Jenis batuan yang cocok untuk bendungan	52
Tabel 2.5 Bahan batuan yang dapat digunakan untuk pembangunan bendungan	61
Tabel 4.1 Hasil uji <i>soil properties</i>	99
Tabel 4.2 Hubungan antara <i>plasticity index</i> dan tingkat plastisitas	99
Tabel 4.3 Hubungan antara <i>plasticity index</i> dan potensi pengembangan	100
Tabel 4.4 Sifat-sifat tanah berdasarkan <i>plasticity index</i>	100
Tabel 4.5 Penentuan jenis tanah dari <i>plasticity chart</i>	100
Tabel 4.6 Kalsifikasi tanah berdasarkan sistem USCS	104
Tabel 4.7 Kalsifikasi tanah berdasarkan sistem AASHTO	104
Tabel 4.8 Kadar air optimun dan isi kering maksimum	106
Tabel 4.9 Data uji geser tipe UU	107
Tabel 4.10 Data Parameter sudut geser dalam dan kohesi tipe UU	108
Tabel 4.11 Perubahan volume contoh uji	110
Tabel 4.12 Data uji geser tipe CU	112
Tabel 4.13 Parameter sudut geser dalam dan kohesi dari lingkaran Mohr-Coulomb tipe CU	113

Tabel 4.14	Parameter sudut geser dalam dan kohesi dari diagram P' dan Q'	116
Tabel 4.15	Hasil uji konsolidasi	118
Tabel 4.16	Hasil uji <i>swelling</i>	119
Tabel 4.17	Hasil uji permeabilitas	120
Tabel 4.18	Konstanta hubungan PL dengan OMC	123
Tabel 4.19	Konstanta hubungan PL dengan MDD	124
Tabel 4.20	Konstanta hubungan PL dengan <i>swelling</i>	129
Tabel 4.21	Konstanta hubungan IP dengan <i>swelling</i>	135
Tabel 4.22	Konstanta hubungan persen lolos fraksi < 0,002 mm dengan <i>swelling</i>	141
Tabel 4.23	Parameter-parameter desain teknis dari hasil korelasi empiris ..	142