

EKSPLORASI GEOTEKNIK



Dr. Ir. ANDRIANI, S.T., M.T.
Ir. HENDRI GUSTI PUTRA, M.T.

EKSPLORASI GEOTEKNIK

Buku ini disusun untuk membantu para mahasiswa, dosen, dan praktisi yang ingin memahami dasar-dasar dan teknik eksplorasi geoteknik dalam perencanaan dan perancangan konstruksi, juga untuk keperluan mitigasi bencana. Eksplorasi geoteknik merupakan salah satu aspek penting dalam rekayasa sipil yang melibatkan studi terhadap sifat dan perilaku tanah serta batuan di lokasi konstruksi. Pemahaman yang tepat mengenai kondisi geoteknik sangat diperlukan untuk menentukan langkah-langkah yang efektif dan aman dalam perancangan konstruksi. Buku ini mencoba menghadirkan konsep-konsep dasar dan teknik eksplorasi geoteknik dengan bahasa yang mudah dipahami.



Minangkabau Press
Perumahan Unand Blok D I – 07 – 04 Gadut
Padang, Sumatera Barat
Kontak Person: 085263903352
e-mail: minangkabau.press99@gmail.com



Dr. Ir. ANDRIANI, S.T., M.T.
Ir. HENDRI GUSTI PUTRA, MT



EKSPLORASI GEOTEKNIK

EKSPLORASI GEOTEKNIK

Penulis

Dr. Ir. ANDRIANI, S.T., M.T.

Ir. HENDRI GUSTI PUTRA, M.T

Minangkabau Press

Eksplorasi Geoteknik

©2024

Penulis:

Dr. Ir. Andriani, S.T., M.T.
Ir. Hendri Gusti Putra, M.T

Editor:

Dr. Suharmono

Cover:

Muhammad Zuchry Zayzda

Cetakan I November 2024

xxvi + 280 hlm, 14 x 20,5
ISBN: 978-623-7749-45-5

Diterbitkan pertama kali oleh:

Minangkabau Press

Perumahan Unand Blok D I – 07 – 04 Gadut
Padang, Sumatera Barat

Kontak Person Zaiyardam Zubir : 082390497814
e-mail: minangkabau.press99@gmail.com

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang.

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebahagian atau seluruh isi buku
tanpa izin tertulis penerbit

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Ketentuan Pidana Pasal 72 UU No. 19 Tahun 2002

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal 2 ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,- (satu juta rupiah) atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,- (lima milyar rupiah).
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara selama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,- (lima ratus juta rupiah).

Hidup adalah perjalanan pembelajaran tiada henti; buku mengajarkan pengetahuan, dan Al-Qur'an menuntun hati pada kebijaksanaan.

Dipersembahkan kepada
Keluarga tercinta, orang tua terkasih, bangsa,
negara dan agamaku.

Prakata

Segala puji dan syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas terselesainya buku ajar Eksplorasi Geoteknik ini. Buku ini kami susun untuk membantu para mahasiswa, dosen, dan praktisi yang ingin memahami dasar-dasar dan teknik eksplorasi geoteknik dalam perencanaan dan perancangan konstruksi, juga untuk keperluan mitigasi bencana. Eksplorasi geoteknik merupakan salah satu aspek penting dalam rekayasa sipil yang melibatkan studi terhadap sifat dan perilaku tanah serta batuan di lokasi konstruksi. Pemahaman yang tepat mengenai kondisi geoteknik sangat diperlukan untuk menentukan langkah-langkah yang efektif dan aman dalam perancangan konstruksi. Buku ini mencoba menghadirkan konsep-konsep dasar dan teknik eksplorasi geoteknik dengan bahasa yang mudah dipahami.

Kami menyadari bahwa buku ini masih memiliki keterbatasan dan mungkin belum mencakup seluruh aspek eksplorasi geoteknik secara lengkap. Oleh karena itu, kami mengharapkan saran dan masukan dari pembaca agar dapat terus menyempurnakan isi buku ini di edisi mendatang. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan buku ini, Ulfa yang telah membantu editing. Kami berharap buku ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Padang, November 2024

Penyusun

Daftar Isi

Halaman Persembahan	ii
Prakata.....	vi
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar	xiv
Daftar Singkatan	xx
Susunan Bab	xxi
Petunjuk Bagi Mahasiswa Untuk Mempelajari Buku Ajar.....	xxiv
Petunjuk Bagi Dosen Untuk Mempelajari Buku Ajar	xxvi

BAB 1

PENGANTAR EKSPLORASI GEOTEKNIK.....	1
1.1 Capaian Pembelajaran	1
1.2 Relevansi	1
1.3 Pengantar Umum.....	2
1.4 Eksplorasi Geoteknik dalam Pekerjaan Konstruksi	4
1.5 Eksplorasi Geoteknik dalam Pertambangan	6
1.6 Eksplorasi Geoteknik untuk Kebencanaan	7
1.7 Eksplorasi Geoteknik untuk Konservasi Tanah dan Air	9
1.8 Umpan Balik.....	11
1.8.1 Jawablah pertanyaan dengan singkat dan jelas !.....	11
1.8.2 Tugas dan Diskusi Kelompok	12
1.9 Rangkuman	12

BAB 2

PERANCANGAN EKSPLORASI GEOTEKNIK.....	14
2.1 Capaian Pembelajaran	14

2.2	Relevansi	14
2.3	Pengantar Umum	15
2.4	Persyaratan Umum Perancangan	16
2.4.1	persyaratan minimum lingkup penyelidikan geoteknik	17
2.4.2	Persyaratan umum sifat-sifat tanah	20
2.5	Penyelidikan Tanah	21
2.6	Penyelidikan Awal	23
2.7	Penyelidikan Tahap Perancangan	24
2.8	Program penyelidikan lapangan	25
2.9	Umpan Balik	26
2.10	Rangkuman	28

BAB 3

TEKNIK PENGAMBILAN SAMPEL TANAH..... 29

3.1	Capaian Pembelajaran	29
3.2	Relevansi	30
3.3	Pengantar Umum	30
3.4	Penentuan Titik Pengujian Tanah	31
3.5	Penentuan Interval dan Kedalaman Pengambilan Contoh Tanah (Sampel)	39
3.6	Pengambilan Contoh Tanah (Sampel)	40
3.6.1	Jenis contoh tanah (sampel)	40
3.6.2	Metode pengambilan contoh tanah (sampel)	46
3.6.3	Metode penanganan contoh tanah (sampel)	67
3.7	Persyaratan jumlah minimum benda uji yang disarankan	70
3.8	Teknik Pengambilan Sampel Tanah dengan Boring	72
3.8.1	Uji Bor Tangan (Hand Boring Test)	72
3.8.2	Uji Bor Mesin	76
3.8.3	Metode Pengeboran	79

3.9	Test Pit	83
3.9.1	Proses Pelaksanaan Uji Test Pit.....	84
3.9.2	Kelebihan dan Kekurangan Uji Test Pit:	84
3.10	Umpan Balik.....	86
3.10.1	Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan benar !	86
3.10.2	Tugas dan Diskusi kelompok	88
3.11	Rangkuman	90
BAB 4	PENYELIDIKAN TANAH DI LAPANGAN	92
4.1	Capaian Pembelajaran	92
4.2	Relevansi	93
4.3	Pengantar Umum.....	95
4.4	Uji <i>Cone Penetration Test</i> (CPT)/ Sondir	96
4.4.1	Syarat Pengujian Penetrasi konus/Sondir	101
4.4.2	Pengujian penetrasi konus	102
4.4.3	Pembacaan hasil pengujian.....	103
4.4.4	Perhitungan hasil uji sondir.....	105
4.4.5	Korelasi antara Kepadatan Relatif (D_r) dan q_c untuk Pasir	110
4.4.6	Korelasi untuk nilai kuat geser undrained (c_u), tekanan prakonsolidasi (σ'_o), and Overconsolidation Ratio (OCR) pada tanah lempung	111
4.4.7	Korelasi Jenis Tanah	112
4.5	Uji <i>Standar Penetration Test</i> (SPT).....	113
4.5.1	Pengujian SPT	116
4.5.2	Koreksi Hasil Uji SPT	119
4.5.3	Korelasi N-SPT dengan Kepadatan Relatif (D_r) Tanah Pasir.....	121
4.5.4	Korelasi N-SPT dengan Peak Drained	

	Friction Angle untuk Tanah Pasir.....	122
4.5.5	Kelebihan dan kekurangan Uji SPT.....	124
4.6	Uji <i>Vaneshear Test</i>	125
4.7	Uji Pressuremeter (PMT)	131
	Kelebihan dan kekurangan PMT.....	135
4.8	Uji dilatometer datar	136
4.8.1	Identifikasi Jenis Tanah	140
4.8.2	Undrained Shear Strength (c_u) pada Tanah Kohesif.....	141
4.8.3	Constrained Modulus (MDMT).....	142
4.8.4	Modulus Young (Modulus Kekakuan) (E)	142
4.8.5	Sudut Geser Efektif (ϕ').....	142
4.8.6	Koefisien Tekanan Lateral Tanah Kondisi Diam (K_0).....	143
4.8.7	Kelebihan dan kekurangan Uji Dilatometer	143
4.9	Dynamic Cone Penetration (DCP)	144
4.10	Uji Permeabilitas di Lapangan.....	147
4.10.1	Pengujian permeabilitas di lapangan dengan pemompaan dari sumur	147
4.10.2	Koefisien Rembesan dari Lubang Auger	151
4.10.3	Tanah Granuler (Granular soils)	152
4.10.4	Tanah Kohesif.....	153
4.11	Umpan Balik	154
4.11.1	Pilihlah jawaban yang tepat !.....	154
4.11.2	Jawablah pertanyaan dengan singkat, jelas dan benar !.....	156
4.12	Rangkuman	156
BAB 5 PENYELIDIKAN TANAH DI LABORATORIUM		158
5.1	Capaian Pembelajaran	158
5.2	Relevansi	159

5.3	Pengantar Umum.....	159
5.4	Uji Sifat Fisik Tanah	160
5.4.1	Berat Volume Tanah (γ).....	161
5.4.2	Porositas (n) dan Angka pori (e).....	163
5.4.3	Uji kadar air (w) dan berat jenis (G_s).....	165
5.4.4	Uji analisis saringan dan hidrometer.....	166
5.4.5	Uji batas-batas Atterberg	173
5.4.6	Uji Relatif Density	178
5.4.7	Klasifikasi Tanah	180
5.5	Uji Sifat Mekanis Tanah.....	182
5.5.1	Kuat Geser Tanah	183
5.5.2	Konsolidasi Tanah.....	190
5.5.3	Uji Pemadatan Tanah dan CBR Laboratorium.....	190
5.5.4	Uji Permeabilitas Tanah di Laboratorium.....	194
5.6	Umpan Balik	196
5.6.1	Pilihlah jawaban yang tepat di bawah ini !	196
5.6.2	Jawablah dengan singkat dan jelas !	199
5.7	Rangkuman	200
BAB 6	INSTRUMENTASI GEOTEKNIK	201
6.1	Capaian Pembelajaran	201
6.2	Relevansi	201
6.3	Pengantar Umum.....	202
6.4	Pengukuran gerakan tanah	202
6.4.1	Uji Inclinometer.....	202
6.4.2	Tiltmeter (Pengukuran kemiringan di permukaan).....	209
6.4.3	Ekstensometer	213
6.5	Pengukur Tekanan Air Pori.....	215
6.5.1	Fungsi Piezometer	216
6.5.2	Jenis Piezometer	217

6.5.3	Cara kerja Piezometer	222
6.5.4	Pemasangan Piezometer	222
6.6	Settlement Plate	226
6.7	Persyaratan minimum instrumentasi geoteknik	232
6.8	Penyelidikan Tanah dengan Geolistrik dan Georadar	233
6.8.1	Geolistrik	233
6.8.2	Georadar	235
6.9	Umpan Balik	239
6.9.1	Soal Pilihan Ganda	239
6.9.2	Soal (Benar/Salah)	241
6.9.3	Soal Esai	241
6.9.4	Soal Studi Kasus	242
6.10	Rangkuman	242

BAB 7 PENYUSUNAN LAPORAN PENYELIDIKAN

	GEOTEKNIK	244
7.1	Capaian Pembelajaran	244
7.2	Relevansi	244
7.3	Pengantar Umum	245
7.4	Jenis-jenis laporan	247
7.4.1	Laporan Penyelidikan Geoteknik	247
7.4.2	Laporan desain geoteknik	250
7.4.3	Laporan pengaruh lingkungan pada tanah	254
7.5	Analisis dan Rekomendasi Eksplorasi Geoteknik	255
7.5.1	Penyampaian informasi geoteknik	255
7.5.2	Evaluasi informasi geoteknik	257
7.6	Presentasi atau penyajian data	259
7.6.1	Log bor	259
7.6.2	Rencana lokasi uji	260
7.6.3	Profil geoteknik	261

7.7 Umpan Balik.....	262
7.7.1 Jawablah pertanyaan dengan singkat dan jelas !	262
7.7.2 Pilihlah jawaban yang tepat	263
7.7.3 Jawablah soal di bawah ini dengan Benar/ Salah	265
7.8 Rangkuman	266
BAB 8 PENUTUP	267
DAFTAR PUSTAKA	269
GLOSARIUM	274
TENTANG PENULIS.....	278

Daftar Gambar

Gambar 1.1	Menara Pisa yang miring akibat Proses Konsolidasi Tanah belum selesai	3
Gambar 3. 1	Petunjuk Kedalaman Penyelidikan Tanah.....	38
Gambar 3. 2	Pengambilan contoh tanah terganggu (disturbed) dengan menggunakan cangkul.	41
Gambar 3. 3	Split-Barrel Samplers	52
Gambar 3. 4	Split Barrel Sampler	53
Gambar 3. 5	Split Barrel Sampler	53
Gambar 3.6 (a)	Ukuran dan jenis dari Thin Walled Shelby Tubes. (b) Skema dari Thin-Walled Shelby Tube.....	56
Gambar 3. 7	Metode Penyegehan Tabung Shelby	57
Gambar 3. 8	Piston Sampler	59
Gambar 3. 9	Sampler piston	60
Gambar 3. 10	Tabung Pitcher untuk Pengambil Sampel Tanah.	61
Gambar 3. 11	Pengambil Sampel Pitcher	62
Gambar 3. 12	Denison Double -Tube Core Barrel Soil Sampler	64
Gambar 3. 13	Peralatan bor tangan	73
Gambar 3. 14	Pengambilan contoh tanah dengan bor tangan.	75
Gambar 3. 15	Pengeboran tanah dengan metode wash	80
Gambar 3. 16	Pengeboran dengan metode Percussion Drilling.	82

Gambar 3.17 Profil tanah dengan karakteristik morfologi seragam.	85
Gambar 3. 18 Foto profil tanah biasanya diambil setelah lapisan diidentifikasi.	86
Gambar 4. 1 Penetrometer kerucut gesek mekanis.....	98
Gambar 4. 2 Penetrometer kerucut gesek elektrik	99
Gambar 4. 3 Rangkaian alat penetrasi konus (sondir Belanda).....	100
Gambar 4. 4 Rincian penekan hidraulik.....	102
Gambar 4. 5 Kedudukan pergerakan konus pada waktu pengujian sondir	104
Gambar 4. 6 Contoh formulir pencatatan hasil uji sondir	104
Gambar 4. 7 Bagan alir cara uji penetrasi lapangan dengan alat sondir	107
Gambar 4. 8 Contoh grafik hasil uji sondir	108
Gambar 4. 9 Uji penetrometer kerucut dengan pengukuran gesekan.....	109
Gambar 4. 10 Hubungan antara D_r dan q_c	110
Gambar 4. 11 Korelasi Robertson dan Campanella (1986) antara q_c , F_r dan jenis tanah.....	113
Gambar 4. 12 Alat pengambilan contoh tabung belah.	114
Gambar 4. 13 Skema urutan uji penetrasi standar (SPT).	115
Gambar 4. 14 Bagan alir cara uji penetrasi lapangan dengan SPT	118
Gambar 4. 15 Hubungan Variasi D_r , terhadap $e'_{o/Pa}$ dan N-SPT	123
Gambar 4. 16 Variasi nilai ϕ , dengan $e'_{o/Pa}$ dan N.....	124
Gambar 4. 17 Geometri bidang Vaneshear.....	126
Gambar 4. 18 Prosedur Uji Umum untuk Baling-baling Lapangan di Tanah Berbutir Halus.	129
Gambar 4. 19 Prosedur Uji dan Pelaksanaan Uji Pressuremeter Tipe Pra-Bored	

	(Menard).	131
Gambar 4. 20	(a) Pressuremeter; (b) plot tekanan versus volume rongga total.....	132
Gambar 4. 21	(a) Diagram skema dilatometer pelat datar (b) probe dilatometer dimasukkan ke dalam tanah.....	137
Gambar 4. 22	Pengaturan dan Urutan Prosedur untuk Uji Dilatometer Pelat Datar.	139
Gambar 4. 23	Contoh Pengukuran DMT di tanah residual Piedmont (CL hingga ML) di Charlotte, NC.	140
Gambar 4. 24	Grafik Identifikasi Jenis Tanah.	141
Gambar 4. 25	Cara kerja Dynamic Cone Penetration	145
Gambar 4. 26	Uji pemompaan dari sumur uji dalam lapisan tembus air yang didasari oleh lapisan kedap air.	149
Gambar 4. 27	Uji pemompaan dari suatu sumur uji yang dibuat sampai dengan lapisan tembus air yang di apit oleh lapisan kedap air (akifer ditekan).	150
Gambar 4. 28	Penentuan koefisien rembesan dari suatu lubang yang dibuat dengan alat bor auger.	151
Gambar 4. 29	Grafik hubungan antara permeabilitas (k)-void ratio (e) – ukuran butir efektif D ₁₀ pada tanah berbutir kasar.	153
Gambar 5. 1	(a) Unsur tanah dalam keadaan alami; (b) tiga fase unsur tanah	162
Gambar 5. 2	Satu set saringan untuk pengujian di laboratorium.	168
Gambar 5. 3	Hidrometer	170
Gambar 5. 4	Kurva distribusi ukuran partikel—analisis saringan dan analisis hidrometer.....	171
Gambar 5. 5	Cara menentukan D ₇₅ , D ₆₀ , D ₃₀ , D ₂₅ , dan D ₁₀	172

Gambar 5. 6 Berbagai jenis kurva distribusi ukuran partikel.....	173
Gambar 5. 7 Batas-batas Atterberg.....	174
Gambar 5. 8 Alat uji Batas Cair.....	175
Gambar 5. 9 Kurva untuk penentuan batas cair pada lanau berlempung.....	176
Gambar 5. 10 Uji batas penyusutan: (a) tepuk tanah sebelum pengeringan; (b) tepuk tanah setelah pengeringan	178
Gambar 5. 11 Alat Uji Geser Langsung.....	184
Gambar 5. 12 Potongan Melintang Alat Uji Geser langsung	184
Gambar 5. 13 Proses Pengujian Triaksial.....	188
Gambar 6. 1 Inclinometer dan bagian-bagiannya.....	203
Gambar 6. 2 Casing Inclinometer	204
Gambar 6. 3 Jenis Inclinometer.....	206
Gambar 6. 4 Proses pemasangan Inclinometer.....	208
Gambar 6. 5 Tiltmeter	211
Gambar 6. 6 Ekstensometer Tanah Model EDS-92	214
Gambar 6. 7 Piezometer tipe Casagrande/ pipa tegak terbuka	218
Gambar 6. 8 Salah satu contoh Piezometer Hidraulik yaitu GeO Flushable Piezometer	219
Gambar 6. 9 Prinsip Kerja Piezometer Hidraulik	220
Gambar 6. 10 Piezometer Elektrik.....	221
Gambar 6.11 Settlement Plate dan komponen-komponennya	227
Gambar 6. 12 Pemasangan settlement plate	230
Gambar 7. 1 Rencana lokasi uji pada lokasi bor inti	260
Gambar 7. 2 Rencana lokasi-lokasi pengeboran dan uji in-situ.....	261
Gambar 7. 3 Profil geoteknik berdasarkan data pengeboran yang menunjukkan gambaran penampang melintang	262

Gambar 7. 1 Rencana lokasi uji pada lokasi bor inti.....	260
Gambar 7. 2 Rencana lokasi-lokasi pengeboran dan uji in-situ.	261
Gambar 7. 3 Profil geoteknik berdasarkan data pengeboran yang menunjukkan gambaran penampang melintang.....	262

Daftar Tabel

Tabel 3.1	Jumlah minimum penyelidikan tanah.....	33
Tabel 3.2	Metode Pengambilan contoh tanah (sampel) yang umum dilakukan	50
Tabel 3.3	Kelas kualitas contoh tanah untuk uji laboratorium dan kategori pengambilan contoh tanah.	69
Tabel 3.4	Persyaratan jumlah minimum benda uji yang disarankan.	70
Tabel 4.1	Kelebihan dan kekurangan penggunaan Cone Penetration Test (CPT)/ Sondir.	100
Tabel 4.2	Koreksi-koreksi yang digunakan dalam uji SPT	120
Tabel 4.3	Deskripsi Kualitatif Kerapatan Relatif Tanah Pasir.	121
Tabel 4.4	Nilai Empiris untuk D_r , ϕ , γ dari tanah berbutir berdasarkan nilai N Koreksi	122
Tabel 4.5	Dimensi ASTM yang Direkomendasikan untuk Vaneshear ^{a)} lapangan	126
Tabel 4.6	dimensi untuk diameter probe dan diameter lubang bor	134
Tabel 4.7	Nilai β_k	143
Tabel 5.1	Nilai berat jenis (G_s) pada berbagai jenis tanah....	166
Tabel 5.2	Derajat Kejenuhan dan Konsistensi Tanah	166
Tabel 5.3	Susunan Saringan berdasarkan ASTM	167
Tabel 5.4	Nilai Indeks Plastisitas pada berbagai jenis tanah	177
Tabel 5.5	Kriteria Kerapatan relatif (D_r) dan sifat tanah.....	179
Tabel 6.1	Perbandingan Geolistrik dan Georadar	239
Tabel 7.1	Contoh isi laporan penyelidikan geoteknik.....	249
Tabel 7.2	Contoh isi laporan utama geoteknik.....	251

Daftar Singkatan

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	American Society for Testing and Materials
CBR	California Bearing Ratio
DCP	Dynamic Cone Penetration
DMT	DilatoMeter Test
DTH	Down The Hole
FDP	Full displacement pressuremeter
FDT	Flat Dilatometer Test
GPR	Ground Penetrating Radar
LI	Liquidity Indeks
LL	Liquid Limit
MPM	Ménard Pressuremeter
MSE	Mechanically Stabilized Earth
OCR	Over Consolidation Ratio
PBP	Pre-Bored Pressuremeter
PCA	Portland Cement Association
PI	Plasticity Index
PL	Plastic Limit
SBP	Self Boring Pressuremeter
SL	Shrinkage Limit
SNI	Standar Nasional Indonesia
SQ3R	Suvey Question Read Recite Review
USCS	Unified Soil Classification System
USGS	United States Geological Survey
UU	Unconsolidated Undrained
CU	Consolidated Undrained
CD	Consolidated Drained

Susunan Bab

Untuk memudahkan pemahaman materi mata kuliah sehingga tujuan ditulisnya buku ini dapat tercapai, maka sebaiknya buku digunakan dalam pembelajaran. Di awal bab, diberikan capaian pembelajaran yang diharapkan beserta relevansi materi pada bab tersebut dengan mata kuliah.

Berikut susunan bab dalam buku ini:

Bab 1. Pengantar Eksplorasi Geoteknik

Pada Bab 1 menjelaskan tentang pentingnya eksplorasi geoteknik untuk pekerjaan konstruksi, mitigasi bencana, pertambangan dan bidang lainnya. Eksplorasi geoteknik sebagai langkah awal yang krusial dalam perencanaan dan pelaksanaan berbagai proyek konstruksi serta mitigasi risiko kebencanaan. Dalam bidang konstruksi, eksplorasi geoteknik bertujuan untuk memahami sifat dan kondisi tanah serta batuan di lokasi proyek. Informasi ini sangat penting untuk merancang fondasi yang kokoh dan memastikan stabilitas serta keselamatan struktur bangunan. Sementara itu, dalam konteks kebencanaan, eksplorasi geoteknik membantu mengidentifikasi potensi bahaya geoteknik seperti longsor, likuefaksi, dan erosi tanah, sehingga langkah-langkah mitigasi yang tepat dapat dirancang dan diterapkan.

Bab 2. Perancangan Eksplorasi Geoteknik

Bab 2 akan membahas tentang ruang lingkup data geoteknik, perancangan penyelidikan geoteknik meliputi: informasi geoteknik dan tahapan penyelidikan

awal sebelum penyelidikan dilakukan.

Bab 3. Teknik Pengambilan Sampel Tanah

Bab 3 membahas tentang Teknik Pengambilan Sampel Tanah dirancang untuk memberikan pemahaman teoritis dan praktis mengenai teknik-teknik pengambilan sampel tanah yang digunakan dalam eksplorasi geoteknik. Materi mencakup berbagai metode dan alat yang digunakan untuk mengambil sampel tanah, baik dalam kondisi terganggu (disturbed) maupun tidak terganggu (undisturbed), serta analisis dan interpretasi hasil pengujian sampel tersebut.

Bab 4. Penyelidikan Tanah di Lapangan

Bab 4 akan membahas tentang Penyelidikan Tanah di Lapangan bertujuan untuk memberikan pengetahuan dan keterampilan praktis mengenai teknik dan metode penyelidikan tanah secara langsung di lapangan. Materi mencakup berbagai metode pengujian in situ, teknik pengambilan sampel, serta analisis dan interpretasi data lapangan. Mata kuliah ini penting untuk memastikan fondasi yang aman dan efisien dalam proyek konstruksi serta untuk mengidentifikasi dan mengelola risiko geoteknik

Bab 5. Penyelidikan Tanah di Laboratorium

Bab 5 membahas tentang Penyelidikan Tanah di Laboratorium dirancang untuk memberikan pengetahuan dan keterampilan praktis mengenai teknik-teknik pengujian tanah di laboratorium. Penyelidikan ini mencakup berbagai metode pengujian untuk menentukan sifat fisik, mekanik, dan kimia tanah. Hasil dari pengujian ini sangat penting untuk analisis dan desain dalam bidang geoteknik, memastikan bahwa struktur yang dirancang aman dan sesuai dengan kondisi

tanah setempat.

Bab 6. Instrumentasi Geoteknik

Pada bab 6 ini menjelaskan tentang penggunaan perangkat dan teknik pengukuran untuk memantau dan mengukur kondisi fisik dan mekanik tanah, batuan, dan struktur terkait dalam proyek konstruksi dan geoteknik. Tujuan utama instrumentasi ini adalah untuk mendapatkan data yang akurat mengenai perilaku tanah dan batuan serta kinerja struktur selama dan setelah proses konstruksi.

Bab 7. Pelaporan dan Analisis Eksplorasi Geoteknik

Pada Bab 7 akan membahas proses dan pembuatan pelaporan eksplorasi geoteknik dan hasil analisis serta rekomendasi yang diberikan berdasarkan hasil eksplorasi yang dilakukan di lapangan dan laboratorium

Bab 8. Penutup

Untuk tiap bab, kecuali bab 8, akan diberikan contoh-contoh soal beserta pembahasan soal. Untuk umpan balik, pada akhir bab, terdapat latihan soal yang harus diselesaikan.

Petunjuk Bagi Mahasiswa Untuk Mempelajari Buku Ajar Susunan

Pembaca dianjurkan untuk membaca buku ini secara ini teliti. Jika memungkinkan, para pembaca dapat membaca buku – buku penunjang untuk mendapatkan pembahasan yang lebih mendalam. Sangat dianjurkan kepada pembaca untuk menggunakan konsep SQ3R dalam membaca buku ini. SQ3R adalah *Suvey Question Read Recite Review*.

Pada tahap survei, hal – hal yang perlu diperhatikan adalah judul bab, pendahuluan, judul subbab, gambar dan tabel dan kata kunci. Pada tahap question, setiap judul subbab diubah menjadi pertanyaan. Pertanyaan ini dibuat dengan kata ‘mengapa’, ‘bagaimana’, dan seterusnya. Jangan menggunakan kata ‘apakah’ karena biasanya jawaban dari pertanyaan yang demikian adalah ‘ya’ atau ‘tidak’. Pertanyaan ini sebaiknya ditulis pada sebuah buku yang terpisah atau dapat juga diketik. Proses membaca buku baru dimulai setelah daftar pertanyaan selesai dibuat. Pada saat membaca, setiap subbab harus dituntastak sebelum berpindah ke subbab yang lain. Fokus dari tahap ini adalah menjawab pertanyaan yang telah dibuat. Jawaban yang diperoleh saat membaca buku ini segera ditulsikan pada buku yang telah disiapkan.

Recite adalah proses mengulang apa yang telah dibaca berdasarkan daftar pertanyaan beserta jawabannya. Perlu dilakukan evaluasi hasil belajar yang telah dilakukan dengan mencoba menjawab pertanyaan yang telah disusun tanpa melihat jawaban dan isi buku lagi. Tahap review dilakukan untuk membangun informasi yang diperoleh dan membangun daya

ingat pada bahan yang telah dibaca. Proses ini dilakukan dengan membaca ulang catatan yang telah dibuat pada tahap sebelumnya. Ada soal – soal latihan yang harus dikerjakan disetiap bab dari buku ini. Pembaca harus menyelesaikan soal – soal latihan tersebut sebelum melanjutkan ke bagian berikutnya. Penulis tidak menganjurkan untuk melewati tugas yang dianggap sulit. Pembaca diminta untuk mencari informasi melalui berbagai sumber referensi yang lain agar dapat menyelesaikan tugas tersebut.

Petunjuk Bagi Dosen Untuk Mempelajari Buku Ajar

Pada prinsipnya petunjuk bagi dosen untuk mempelajari buku ajar ini sama dengan petunjuk bagi mahasiswa untuk mempelajari buku ajar ini. Selain itu diharapkan bagi dosen yang akan menggunakan buku ajar ini, sebelum memulai proses belajar mengajar (PBM) sudah mengerti dan mencari solusi dari soal – soal yang terdapat pada bagian evaluasi, umpan dan tindak pada setiap babnya. Selain itu diharapkan juga kepada dosen pengampu mata kuliah Eksplorasi Geoteknik untuk menguasai penggunaan peralatan lapangan dan laboratorium Mekanika Tanah serta mampu menginterpretasi data-data hasil eksplorasi geoteknik untuk kepentingan konstruksi, kebencanaan dan bidang lainnya.

BAB 1

PENGANTAR EKSPLORASI GEOTEKNIK

1.1 Capaian Pembelajaran

Capaian pembelajaran pada Bab 1 Pengantar eksplorasi geoteknik adalah mahasiswa mempunyai Kemampuan untuk mengidentifikasi, memformulasi dan memberikan solusi untuk pengembangan infrastruktur di bidang Teknik Sipil. Mengidentifikasi permasalahan di bidang geoteknik dan memberikan solusi untuk pengelolaan infrastruktur sipil dengan mempertimbangkan berbagai aspek geoteknik.

1.2 Relevansi

Eksplorasi geoteknik memiliki relevansi yang sangat besar dalam konstruksi teknik sipil karena memberikan pemahaman yang mendalam tentang kondisi tanah di lokasi proyek. Dengan memahami karakteristik tanah di lokasi proyek, eksplorasi geoteknik memungkinkan evaluasi risiko geoteknik yang mungkin terjadi selama dan setelah konstruksi.

Eksplorasi geoteknik memberikan data tentang sifat dan perilaku tanah di lokasi proyek, yang sangat penting dalam desain struktur seperti pondasi, dinding penahan tanah, dan struktur penahan beban lateral. Dengan memahami kondisi tanah yang baik, insinyur sipil dapat merancang struktur yang sesuai dengan kondisi tanah lokal, mengoptimalkan efisiensi dan keandalan.

1.3 Pengantar Umum

Eksplorasi geoteknik adalah salah satu langkah awal yang sangat penting dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek konstruksi teknik sipil. Proses ini melibatkan pengumpulan data dan informasi tentang sifat dan perilaku tanah di lokasi proyek untuk memastikan bahwa struktur yang dirancang dapat berdiri dengan aman dan stabil. Tanah merupakan bahan alami yang heterogen dan sering kali memiliki sifat yang bervariasi dalam jarak yang dekat, sehingga pemahaman mendalam tentang kondisi tanah sangat penting untuk keberhasilan proyek konstruksi.

Dalam materi ini, kita akan menjelajahi berbagai aspek penting dari eksplorasi geoteknik, termasuk teknik dan metode yang digunakan untuk mengumpulkan data geoteknik, interpretasi data yang diperoleh, serta aplikasi praktis dari informasi geoteknik dalam desain dan konstruksi. Materi ini dirancang untuk memberikan pemahaman yang komprehensif tentang bagaimana eksplorasi geoteknik dilakukan dan mengapa hal ini sangat penting dalam setiap tahap proyek konstruksi.

Eksplorasi tanah adalah langkah kritis dalam proses perencanaan dan pelaksanaan proyek konstruksi teknik sipil. Ketika eksplorasi tanah tidak dilakukan dengan benar, atau jika data yang diperoleh diabaikan, risiko kegagalan konstruksi meningkat secara signifikan. Berikut adalah beberapa cara eksplorasi tanah yang tepat dapat mencegah kegagalan konstruksi, serta contoh-contoh kegagalan yang diakibatkan oleh eksplorasi tanah yang tidak memadai.

Eksplorasi tanah memberikan informasi penting tentang sifat fisik dan mekanik tanah di lokasi proyek. Ini termasuk daya dukung tanah, permeabilitas, kohesi, sudut gesek dalam, dan lain-lain. Informasi ini sangat penting untuk merancang fondasi

yang mampu menahan beban struktur di atasnya. Eksplorasi tanah membantu mengidentifikasi potensi risiko seperti likuefaksi, tanah ekspansif, tanah lunak, atau adanya lapisan tanah yang rentan terhadap pergerakan. Mengidentifikasi risiko ini sejak awal memungkinkan perancangan langkah mitigasi yang tepat. Tanpa eksplorasi tanah yang cukup, fondasi mungkin dirancang tanpa memperhitungkan daya dukung tanah yang sebenarnya, yang dapat menyebabkan penurunan yang berlebihan atau diferensial dan pada akhirnya menyebabkan retakan atau kegagalan struktur.

Contoh kasus: Menara Pisa miring karena masalah dalam konstruksi dan tanah di bawahnya. Ketika konstruksi dimulai pada tahun 1173, fondasi yang dibangun pada lapisan tanah yang lempung dan lunak mulai mengalami permasalahan. Lokasi Pisa terletak di dekat sungai Arno, dan tanah di daerah ini terdiri dari lapisan lempung dan endapan lumpur. Tanah lempung cenderung tidak stabil dan mampu bergerak dan meresap air dengan mudah.



Gambar 1. 1 Menara Pisa yang miring akibat Proses Konsolidasi Tanah belum selesai.

[https://id.wikipedia.org/wiki/Menara_Pisa#/media/Berkas:Italy - Pisa - Leaning Tower.jpg](https://id.wikipedia.org/wiki/Menara_Pisa#/media/Berkas:Italy_-_Pisa_-_Leaning_Tower.jpg).

Dengan memahami eksplorasi geoteknik, mahasiswa dan praktisi di bidang teknik sipil akan dilengkapi dengan pengetahuan yang diperlukan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan memitigasi potensi masalah geoteknik yang dapat mempengaruhi keberhasilan dan keamanan proyek konstruksi.

1.4 Eksplorasi Geoteknik dalam Pekerjaan Konstruksi

Eksplorasi geoteknik adalah proses vital dalam pekerjaan konstruksi yang bertujuan untuk mengumpulkan data tentang kondisi tanah dan batuan di lokasi proyek. Informasi ini kemudian digunakan untuk merancang fondasi dan struktur yang aman dan stabil. Berikut ini adalah rincian tentang pentingnya eksplorasi geoteknik, metode yang digunakan, dan penerapannya dalam pekerjaan konstruksi.

Penentuan Daya Dukung Tanah : Mengetahui daya dukung tanah adalah langkah awal dalam merancang fondasi yang sesuai. Tanah dengan daya dukung rendah membutuhkan fondasi khusus atau perbaikan tanah untuk mencegah penurunan dan kegagalan struktur.

Identifikasi Kondisi Tanah dan Batuan : Eksplorasi geoteknik membantu mengidentifikasi sifat fisik dan mekanik tanah dan batuan, seperti kepadatan, kohesi, sudut gesek dalam, permeabilitas, dan konsolidasi. Ini penting untuk merancang struktur yang mampu menahan beban yang diterapkan.

Evaluasi Risiko Geoteknik : Mengidentifikasi risiko seperti likuefaksi, longsor, tanah ekspansif, atau penurunan tanah adalah kunci untuk menghindari masalah selama dan setelah konstruksi. Dengan mengetahui risiko ini, insinyur dapat merancang langkah-langkah mitigasi yang tepat.

Desain Fondasi : Berdasarkan data geoteknik, insinyur dapat menentukan jenis fondasi yang paling sesuai, apakah itu fondasi dangkal, fondasi tiang, atau fondasi caisson. Fondasi dirancang untuk memastikan kestabilan struktur di atas tanah yang memiliki sifat yang beragam.

Stabilitas Lereng dan Dinding Penahan : Data geoteknik digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng dan merancang dinding penahan tanah yang efektif. Ini melibatkan penentuan sudut kemiringan yang aman dan memilih material penahan yang sesuai.

Mitigasi Risiko Geoteknik : Langkah-langkah mitigasi seperti perbaikan tanah, penggunaan geotekstil, dan sistem drainase dirancang berdasarkan hasil eksplorasi geoteknik untuk mengatasi masalah seperti penurunan tanah, likuefaksi, atau pergerakan tanah.

Manajemen Konstruksi : Informasi geoteknik digunakan untuk merencanakan urutan konstruksi, pemilihan alat berat, dan teknik pengerjaan di lapangan. Ini membantu dalam meminimalkan risiko selama pelaksanaan proyek.

Pemantauan dan Evaluasi Pasca-Konstruksi : Setelah konstruksi selesai, data geoteknik digunakan untuk pemantauan dan evaluasi kondisi tanah dan fondasi. Ini termasuk pemantauan penurunan, pergerakan tanah, dan perubahan dalam kondisi tanah yang dapat mempengaruhi kestabilan struktur.

Dengan melaksanakan eksplorasi geoteknik yang komprehensif, insinyur dapat memastikan bahwa setiap proyek konstruksi didasarkan pada pemahaman yang mendalam tentang kondisi tanah dan risiko yang terkait. Ini tidak hanya meningkatkan keamanan dan kestabilan struktur tetapi juga mengoptimalkan biaya dan efisiensi proyek.

1.5 Eksplorasi Geoteknik dalam Pertambangan

Eksplorasi geoteknik memainkan peran penting dalam industri pertambangan, membantu memastikan operasi yang aman dan efisien serta meminimalkan risiko terkait geoteknik. Dalam konteks pertambangan, eksplorasi geoteknik melibatkan penilaian kondisi tanah dan batuan di lokasi tambang untuk mendukung perencanaan, desain, dan operasional tambang. Berikut ini adalah penjelasan tentang pentingnya eksplorasi geoteknik dalam bidang pertambangan, metode yang digunakan, dan aplikasinya dalam operasi tambang.

Kestabilan Lereng dan Dinding Tambang : Penilaian kestabilan lereng adalah kunci untuk mencegah longsor tanah atau batuan yang dapat membahayakan pekerja dan peralatan tambang. Eksplorasi geoteknik membantu dalam merancang lereng tambang yang aman dan stabil.

Perencanaan dan Desain Tambang : Data geoteknik digunakan untuk merancang tambang terbuka dan bawah tanah, termasuk dimensi, sudut lereng, dan lokasi infrastruktur tambang. Ini memastikan bahwa desain tambang optimal dan aman.

Mitigasi Risiko Geoteknik : Mengidentifikasi risiko seperti runtuh, likuefaksi, dan air tanah memungkinkan perancangan langkah-langkah mitigasi yang efektif. Ini penting untuk menjaga kelangsungan operasi tambang.

Efisiensi Operasional : Pemahaman yang baik tentang kondisi tanah dan batuan dapat meningkatkan efisiensi operasional dengan memilih metode ekstraksi yang paling tepat dan aman.

Data geoteknik digunakan untuk merancang lereng tambang terbuka yang aman, menentukan sudut lereng, dan mendesain sistem drainase untuk mengelola air permukaan dan air tanah.

Desain dan Konstruksi Tambang Bawah Tanah : Informasi geoteknik membantu dalam merancang penyanggaan (support systems) untuk terowongan dan ruang tambang bawah tanah, serta menentukan lokasi dan dimensi struktur penyangga.

Pemantauan dan Pengelolaan Kestabilan Lereng : Sistem pemantauan kestabilan lereng seperti inklinometer, extensometer, dan radar interferometri digunakan untuk mendeteksi pergerakan tanah atau batuan dan mengambil tindakan mitigasi sebelum terjadinya longsoran.

Pengelolaan Air Tanah : Data geoteknik dan hidrologi digunakan untuk merancang sistem pengendalian air tanah, termasuk sumur dewatering dan sistem drainase, untuk mencegah genangan air yang dapat mengganggu operasi tambang.

Reklamasi dan Penutupan Tambang : Setelah operasi tambang selesai, data geoteknik digunakan untuk merancang dan melaksanakan program reklamasi dan penutupan tambang yang memastikan stabilitas jangka panjang dan meminimalkan dampak lingkungan.

Eksplorasi geoteknik merupakan komponen vital dalam perencanaan, desain, dan operasional tambang. Dengan melakukan eksplorasi geoteknik yang menyeluruh, risiko geoteknik dapat diidentifikasi dan dikelola dengan efektif, meningkatkan keselamatan dan efisiensi operasi tambang. Data geoteknik yang akurat dan analisis yang tepat memungkinkan desain tambang yang optimal, operasional yang aman, dan keberlanjutan lingkungan.

1.6 Eksplorasi Geoteknik untuk Kebencanaan

Eksplorasi geoteknik berperan penting dalam memahami dan mengurangi risiko bencana alam yang

berkaitan dengan tanah dan geologi. Mengidentifikasi kondisi tanah dan batuan serta potensi bahaya geoteknik membantu dalam perencanaan mitigasi dan tindakan pencegahan yang efektif. Berikut ini adalah penjelasan tentang pentingnya eksplorasi geoteknik dalam kebencanaan, metode yang digunakan, dan aplikasinya dalam mitigasi bencana.

Identifikasi Risiko Bencana : Eksplorasi geoteknik membantu mengidentifikasi risiko seperti likuefaksi, longsor, gempa bumi, dan erosi tanah. Dengan memahami potensi bahaya ini, langkah-langkah mitigasi yang tepat dapat direncanakan dan diterapkan.

Perencanaan dan Zonasi : Data geoteknik digunakan untuk membuat peta risiko dan zonasi bencana yang menunjukkan area rawan bencana. Ini membantu dalam perencanaan tata ruang dan pembangunan infrastruktur yang aman.

Desain Infrastruktur Tahan Bencana : Informasi geoteknik memungkinkan desain infrastruktur yang lebih tahan terhadap bencana, seperti bangunan tahan gempa, sistem penahan longsor, dan fondasi yang kuat.

Manajemen dan Mitigasi Risiko : Dengan data yang akurat, strategi mitigasi risiko seperti stabilisasi lereng, perbaikan tanah, dan sistem drainase dapat dirancang untuk mengurangi dampak bencana.

Aplikasi Eksplorasi Geoteknik dalam Mitigasi Bencana

Mitigasi Likuefaksi : Di daerah rawan gempa, data geoteknik digunakan untuk mengidentifikasi lapisan tanah yang rentan terhadap likuefaksi. Teknik stabilisasi tanah seperti perbaikan tanah atau penggunaan geosintetik dapat diterapkan untuk mengurangi risiko.

Stabilisasi Lereng : Eksplorasi geoteknik membantu merancang sistem stabilisasi lereng seperti dinding penahan tanah, terasering, dan penggunaan jangkar tanah. Ini penting untuk

mencegah longsor di daerah berbukit atau pegunungan.

Desain Struktur Tahan Gempa : Informasi tentang sifat tanah digunakan untuk mendesain fondasi dan struktur bangunan yang lebih tahan terhadap gempa. Ini termasuk penggunaan fondasi dalam, bantalan isolasi seismik, dan material bangunan yang fleksibel.

Pengelolaan Erosi dan Banjir : Data geoteknik membantu dalam merancang sistem drainase dan pengendalian air permukaan untuk mengurangi erosi tanah dan risiko banjir. Ini termasuk pembangunan tanggul, waduk, dan saluran drainase yang efektif.

Reklamasi dan Pemulihan Pasca Bencana : Setelah bencana terjadi, eksplorasi geoteknik digunakan untuk menilai kerusakan tanah dan merancang program reklamasi yang memastikan stabilitas jangka panjang dan keberlanjutan lingkungan.

Eksplorasi geoteknik merupakan alat yang sangat penting dalam manajemen risiko bencana alam. Dengan memahami kondisi geoteknik dan potensi bahaya di suatu wilayah, langkah-langkah mitigasi yang efektif dapat diterapkan untuk melindungi infrastruktur dan penduduk dari dampak bencana. Melalui pendekatan yang komprehensif dan berbasis data, kita dapat meningkatkan ketahanan terhadap bencana dan meminimalkan kerugian yang ditimbulkannya.

1.7 Eksplorasi Geoteknik untuk Konservasi Tanah dan Air

Konservasi tanah dan air serta eksplorasi geoteknik merupakan dua bidang yang saling terkait dan saling mendukung dalam menjaga keberlanjutan lingkungan dan memitigasi risiko bencana. Eksplorasi geoteknik menyediakan

data dan analisis yang diperlukan untuk merancang dan mengimplementasikan strategi konservasi tanah dan air yang efektif. Berikut ini adalah penjelasan tentang bagaimana eksplorasi geoteknik berkontribusi pada konservasi tanah dan air, serta hubungan antara kedua bidang ini.

Identifikasi Karakteristik Tanah dan Batuan : Eksplorasi geoteknik membantu mengidentifikasi sifat fisik dan mekanik tanah dan batuan, seperti permeabilitas, porositas, struktur, dan tekstur. Informasi ini penting untuk menentukan kemampuan tanah dalam menyerap, menyimpan, dan mengalirkan air.

Penilaian Risiko Erosi : Dengan mengetahui karakteristik tanah, kita dapat mengidentifikasi area yang rentan terhadap erosi. Tanah yang mudah tererosi memerlukan tindakan konservasi khusus untuk mencegah kehilangan tanah dan penurunan kualitas lahan.

Pengelolaan Air Tanah : Eksplorasi geoteknik menyediakan data tentang distribusi dan aliran air tanah. Ini membantu dalam merancang sistem pengelolaan air tanah yang memastikan ketersediaan air bersih dan menghindari overextraction yang dapat menyebabkan penurunan permukaan tanah atau kekeringan.

Aplikasi Eksplorasi Geoteknik dalam Konservasi Tanah dan Air

Desain Sistem Drainase : Data geoteknik digunakan untuk merancang sistem drainase yang efektif untuk mengendalikan aliran air permukaan dan mengurangi erosi tanah. Ini termasuk pembangunan saluran drainase, tanggul, dan penahan air.

Reklamasi Lahan Terdegradasi : Informasi geoteknik membantu dalam merancang program reklamasi lahan yang terdegradasi akibat erosi atau aktivitas manusia. Teknik seperti terasering, revegetasi, dan penggunaan bahan organik untuk meningkatkan struktur tanah dapat diterapkan.

Pengelolaan Lahan Pertanian : Eksplorasi geoteknik memberikan data untuk merancang sistem irigasi yang efisien, konservasi kelembaban tanah, dan praktik pengelolaan lahan yang mengurangi erosi dan kehilangan nutrisi.

Mitigasi Risiko Banjir : Data geoteknik digunakan untuk merancang langkah-langkah mitigasi banjir, seperti pembangunan waduk, bendungan, dan sistem pengendalian banjir yang efektif. Ini membantu dalam mengelola aliran air permukaan dan melindungi lahan dari erosi dan kerusakan.

Pengelolaan Air Tanah : Informasi tentang kondisi dan aliran air tanah membantu dalam merancang sistem pengelolaan air tanah yang berkelanjutan, termasuk sumur dewatering dan recharge pits untuk menjaga keseimbangan air tanah dan mencegah penurunan permukaan tanah.

Eksplorasi geoteknik memberikan fondasi ilmiah yang penting untuk konservasi tanah dan air. Dengan memahami sifat dan perilaku tanah dan air melalui eksplorasi geoteknik, kita dapat merancang dan mengimplementasikan strategi konservasi yang efektif dan berkelanjutan. Hubungan erat antara kedua bidang ini memungkinkan kita untuk mengelola sumber daya alam dengan lebih baik, mengurangi risiko bencana, dan meningkatkan kualitas lingkungan.

1.8 Umpan Balik

1.8.1 Jawablah pertanyaan dengan singkat dan jelas !

1. Apa tujuan utama dari eksplorasi geoteknik dalam proyek konstruksi?
2. Bagaimana hubungan antara eksplorasi geoteknik dan konservasi tanah dan air. Bagaimana data geoteknik dapat mendukung upaya konservasi ini?
3. Mengapa penting untuk mengetahui permeabilitas

tanah dalam eksplorasi geoteknik?

4. Jelaskan pentingnya eksplorasi geoteknik dalam mitigasi bencana alam ?
5. Bagaimana data dari eksplorasi geoteknik dapat digunakan untuk desain fondasi bangunan?

1.8.2 Tugas dan Diskusi Kelompok

1. Diskusikan hubungan antara eksplorasi geoteknik dan pembangunan konstruksi. Bagaimana data geoteknik menjadi bagian penting pada pekerjaan konstruksi ?
2. Diskusikan hubungan antara eksplorasi geoteknik dan kebencanaan. Bagaimana data geoteknik dapat mendukung upaya mitigasi bencana ?
3. Diskusikan hubungan antara eksplorasi geoteknik dan konservasi tanah dan air. Bagaimana data geoteknik dapat mendukung upaya konservasi ini?

1.9 Rangkuman

Eksplorasi tanah adalah langkah penting dalam berbagai proyek konstruksi dan upaya mitigasi bencana. Proses ini melibatkan pengumpulan dan analisis data mengenai kondisi tanah dan batuan di suatu lokasi untuk memahami sifat fisik dan mekaniknya. Informasi yang diperoleh dari eksplorasi tanah membantu dalam merancang struktur yang aman dan efisien serta dalam mengidentifikasi dan mengelola risiko bencana. Informasi geoteknik memungkinkan desain infrastruktur yang tahan terhadap bencana, seperti bangunan tahan gempa dan sistem penahan longsor. Dalam konstruksi, eksplorasi tanah membantu memastikan bahwa fondasi dan struktur dirancang dengan mempertimbangkan kondisi tanah setempat, sementara dalam kebencanaan, eksplorasi tanah membantu mengidentifikasi risiko dan merancang langkah-

langkah mitigasi yang efektif. Dengan melakukan eksplorasi tanah yang menyeluruh, kita dapat membangun infrastruktur yang lebih aman dan tangguh serta mengurangi dampak bencana alam.

BAB 2

PERANCANGAN EKSPLORASI GEOTEKNIK

2.1 Capaian Pembelajaran

Capaian pembelajaran pada Bab 2. Perancangan eksplorasi geoteknik adalah mahasiswa mempunyai Kemampuan merancang eksplorasi geoteknik yang diperlukan untuk pembangunan konstruksi dan juga mitigasi bencana. untuk pengembangan infrastruktur di bidang Teknik Sipil.

2.2 Relevansi

Perancangan eksplorasi geoteknik yang baik sangat berperan dalam memastikan bahwa penyelidikan dilakukan dengan efisien, tepat, dan sesuai dengan kebutuhan proyek. Hal ini tidak hanya menghasilkan data yang akurat untuk perencanaan dan desain, tetapi juga membantu dalam mengidentifikasi risiko serta mematuhi regulasi yang ada. Dengan demikian, perancangan yang matang menjadi fondasi penting bagi keberhasilan proyek konstruksi dan mitigasi risiko bencana.

2.3 Pengantar Umum

Perancangan eksplorasi geoteknik merupakan langkah awal yang sangat penting dalam memastikan keberhasilan proyek teknik sipil. Dengan melakukan eksplorasi tanah yang komprehensif, risiko konstruksi yang diakibatkan oleh kondisi tanah yang tidak stabil dapat diminimalkan. Data yang dihasilkan dari eksplorasi ini sangat penting untuk membuat keputusan yang tepat dalam pemilihan pondasi, pengendalian longsor, perbaikan tanah, dan mitigasi bahaya lainnya, sehingga proyek dapat berjalan aman, efektif, dan berkelanjutan. Tujuan dari perancangan eksplorasi geoteknik adalah untuk memperoleh informasi yang akurat dan terperinci mengenai kondisi tanah dan batuan di lokasi proyek. Informasi ini digunakan untuk mendukung perencanaan, desain, dan pelaksanaan konstruksi yang aman dan berkelanjutan.

Penyelidikan geoteknik harus terdiri atas penyelidikan tanah dan penyelidikan lain untuk lokasi pembangunan seperti: penilaian dari pembangunan yang sudah ada, seperti gedung-gedung, jembatan, terowongan, tanggul dan lereng dan sejarah pembangunan pada dan sekitar lokasi.

Sebelum merancang program penyelidikan, informasi dan dokumen yang tersedia dievaluasi dalam tahap studi meja yaitu: Peta topografi, Peta perencanaan kota yang menggambarkan penggunaan lokasi sebelumnya, Peta geologi dan deskripsinya, Peta geologi teknik, Peta hidrogeologi dan deskripsinya, Peta geoteknik, Foto udara dan interpretasi foto sebelumnya, Penyelidikan geofisik, Penyelidikan sebelumnya di lokasi tersebut dan di sekitarnya. Pengalaman sebelumnya dari lokasi yang dikaji dan kondisi iklim setempat.

2.4 Persyaratan Umum Perancangan

Persyaratan yang berlaku umum untuk seluruh pasal di dalam SNI 8460 tahun 2017 adalah berdasarkan asumsi-asumsi berikut:

- a. Data yang dibutuhkan dikumpulkan, dicatat, dan diinterpretasi oleh Ahli Geoteknik yang disertifikasi oleh lembaga yang diakui.
- b. Struktur direncanakan oleh personel dengan tingkat kualifikasi yang sesuai dan berpengalaman
- c. Kontinuitas dan komunikasi yang efektif antara personel yang terlibat dalam pengumpulan data, perencanaan dan konstruksi
- d. Supervisi dan kontrol kualitas yang memadai diperlukan di dalam pekerjaan
- e. Pelaksanaan pekerjaan berdasarkan standar dan spesifikasi yang relevan, oleh personel yang memiliki kemampuan dan pengalaman yang sesuai
- f. Material konstruksi dan produk digunakan sesuai persyaratan yang diberikan di dalam SNI ini atau spesifikasi lain yang relevan
- g. Struktur akan cukup dipelihara untuk memastikan keamanan dan kemampulayanannya selama umur rencana
- h. Struktur akan digunakan sesuai dengan tujuan perancangannya.

Saat menentukan kondisi perancangan dan kondisi batasnya, faktor-faktor berikut harus dipertimbangkan :

- a. Kondisi lapangan yang mempertimbangkan stabilitas global dan pergerakan tanah.

- b. Sifat dan ukuran struktur serta elemen-elemennya, termasuk persyaratan khusus seperti umur rencana.
- c. Kondisi yang berkaitan dengan sekitar (misalnya: struktur yang berdekatan, lalu-lintas, utilitas, vegetasi, zat kimia berbahaya).
- d. Kondisi tanah.
- e. Kondisi muka air tanah.
- f. Kegempaan regional.
- g. Pengaruh lingkungan (hidrologi, air permukaan, penurunan/subsidence, perubahan musim dari temperatur dan kelembapan).

2.4.1 persyaratan minimum lingkup penyelidikan geoteknik

Untuk memperoleh persyaratan minimum lingkup penyelidikan geoteknik, pengecekan perhitungan dan kontrol konstruksi, kompleksitas setiap perancangan geoteknik harus diidentifikasi dengan mempertimbangkan risiko yang mungkin dihadapi. Secara khusus perlu dibedakan, antara :

- a. Struktur yang ringan dan sederhana serta pekerjaan tanah yang kecil, sehingga persyaratan minimum dapat dipenuhi melalui penyelidikan geoteknik kualitatif dan berdasarkan pengalaman, dengan risiko yang dapat diabaikan,
- b. Struktur geoteknik lainnya. Untuk struktur dan pekerjaan tanah dengan tingkat kompleksitas dan risiko rendah, seperti yang dijelaskan di atas, prosedur perancangan yang sederhana dapat digunakan.

Untuk memenuhi persyaratan perancangan geoteknik, dapat digunakan pengelompokan Kategori Geoteknik 1, 2 dan 3, yang dijelaskan sebagai berikut.

- a. **Kategori Geoteknik 1** : berlaku untuk struktur kecil dan relatif sederhana, yang memungkinkan persyaratan mendasar dapat dipenuhi melalui penyelidikan geoteknik kualitatif dan berdasarkan pengalaman, dengan risiko yang dapat diabaikan. Prosedur pada Kategori Geoteknik 1 harus digunakan hanya jika ada risiko yang dapat diabaikan berkaitan dengan stabilitas global
- b. **Kategori Geoteknik 2** : berlaku untuk semua tipe struktur dan fondasi konvensional (tanpa risiko besar, kondisi tanah yang sulit dan pembebanan).

Struktur atau bagian dari struktur konvensional yang sesuai dengan Kategori Geoteknik 2, adalah: fondasi telapak, fondasi rakit, fondasi tiang, dinding dan struktur penahan tanah atau air, penggalian, pilar dan abutmen jembatan, timbunan dan pekerjaan tanah, angkur tanah dan sistem tie-back, terowongan.

Perancangan struktur di Kategori Geoteknik 2 harus melibatkan data geoteknik kuantitatif dan analisis untuk memastikan bahwa persyaratan dasarnya terpenuhi. Prosedur rutin untuk pengujian laboratorium dan lapangan untuk perancangan dan konstruksi dapat digunakan untuk perancangan Kategori Geoteknik 2.

- c. **Kategori Geoteknik 3** : berlaku untuk struktur atau bagian dari struktur yang tidak dapat dipenuhi dengan Kategori Geoteknik 1 dan 2.

Kategori Geoteknik 3 berlaku untuk: struktur yang tidak biasa atau struktur sangat besar, struktur yang memiliki risiko tidak umum, berada pada tanah dan kondisi pembebanan yang sulit, struktur yang berada di zona gempa tinggi, serta struktur yang berada pada area

tidak stabil yang memerlukan penyelidikan dan penanganan khusus.

Kondisi umum perancangan dijelaskan sebagai berikut:

- a. kondisi perancangan jangka pendek dan jangka panjang harus dipertimbangkan;
- b. pada perancangan geoteknik, spesifikasi rinci dari suatu kondisi perancangan harus mencakup hal-hal di bawah ini.
 - 1) gaya-gaya yang bekerja, kombinasinya serta kondisi pembebanannya
 - 2) kesesuaian tanah secara umum untuk penempatan suatu struktur, berkenaan dengan stabilitas global dan pergerakan tanah
 - 3) pengaturan dan pengklasifikasian berbagai zona tanah, batuan dan elemen-elemen konstruksi, yang digunakan dalam model perhitungan
 - 4) pekerjaan tambang, penggalian atau struktur bawah tanah lainnya kondisi struktur yang berada di atas atau berdekatan dengan batuan:
 - i. berada di antara lapisan tanah keras dan lunak
 - ii. sesar, kekar dan rekahan
 - iii. ketidakstabilan blok-blok batuan yang mungkin terjadi
 - iv. terdapatnya rongga, lubang atau rekahan yang terisi material lunak dan proses tersebut berkelanjutan
 - v. lingkungan tempat struktur berada, termasuk : efek gerusan, erosi dan penggalian, yang mengakibatkan perubahan geometri permukaan tanah, efek korosi kimiawi, efek pelapukan, efek musim kering yang berkepanjangan, variasi tinggi

muka air, termasuk misalnya efek dewatering, kemungkinan terjadinya banjir, kerusakan sistem drainase, dan eksploitasi air, munculnya gas dari dalam tanah,

vi. efek-efek waktu dan lingkungan lainnya terhadap kekuatan dan sifat material lainnya, misalnya efek lubang yang diakibatkan oleh aktivitas hewan.

- 5) gempa,
- 6) pergerakan tanah yang diakibatkan oleh penurunan/subsidence karena penggalian atau aktivitas lainnya,
- 7) sensitivitas struktur terhadap deformasi,
- 8) efek struktur baru terhadap struktur eksisting, pelayanan dan lingkungan sekitar.

2.4.2 Persyaratan umum sifat-sifat tanah

Sifat massa tanah dan batuan, yang diperhitungkan sebagai parameter perancangan, harus diperoleh dari hasil pengujian maupun melalui korelasi, teori atau secara empirik, dan dari data relevan lainnya. Hal yang perlu dipertimbangkan adalah perbedaan antara sifat tanah dan parameter geoteknik yang diperoleh dari hasil pengujian, serta yang menentukan perilaku struktur. Perbedaan tersebut dapat terjadi akibat faktor-faktor berikut:

- a) Banyak parameter geoteknik yang tidak konstan namun tergantung kepada besarnya regangan dan bentuk deformasi.
- b) Struktur air dan tanah (misalnya rekahan, laminasi, atau butiran besar) yang memiliki peran berbeda dalam pengujian serta dalam struktur geoteknik.
- c) Pengaruh waktu.

- d) Pengaruh pelunakan (softening) rembesan air terhadap kekuatan tanah atau batuan.
- e) Pengaruh pelunakan gaya-gaya dinamik.
- f) Kerapuhan atau daktilitas tanah dan batuan yang diuji.
- g) Metode instalasi struktur-struktur geoteknik.
- h) Pengaruh pelaksanaan pekerjaan terhadap tanah yang diperbaiki.
- i) Pengaruh aktivitas konstruksi terhadap sifat tanah.

Pada saat menentukan nilai-nilai parameter geoteknik, faktor-faktor berikut harus dipertimbangkan.

- a) Standar tata cara pengujian yang berlaku umum dan relevan penggunaannya untuk masing-masing pengujian dan pada kondisi tanah yang sesuai.
- b) Nilai masing-masing parameter geoteknik dibandingkan dengan data yang telah dipublikasikan serta pengalaman lokal maupun pengalaman secara umum.
- c) Variasi parameter geoteknik yang relevan dengan perancangan.
- d) Hasil percobaan lapangan (field trials) skala besar serta hasil pengukuran dari konstruksi yang berdekatan.
- e) Korelasi hasil uji dari beberapa jenis pengujian.
- f) Penurunan mutu (deteriorasi) sifat material tanah selama umur rencana struktur.

2.5 Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah harus memberikan deskripsi kondisi tanah yang relevan dengan pekerjaan yang akan dilaksanakan dan menetapkan dasar untuk penilaian parameter geoteknik

yang relevan untuk semua tahap konstruksi. Informasi yang diperoleh harus memungkinkan penilaian terhadap aspek-aspek berikut:

- a) kesesuaian lokasi sehubungan dengan pembangunan yang diusulkan dan tingkat risiko yang dapat diterima;
- b) deformasi tanah yang disebabkan oleh bangunan atau yang dihasilkan dari pekerjaan pembangunan, distribusi spasial dan perilaku terhadap waktu;
- c) keamanan sehubungan dengan Kondisi Batas (misalnya penurunan, penggelembungan tanah, terangkat, pergeseran massa tanah dengan batuan, dan tekuknya tiang pancang);
- d) beban yang tersalur dari tanah ke struktur (misalnya tekanan lateral pada tiang pancang) dan batas sebaran yang tergantung dari perancangan dan pembangunan;
- e) metode fondasi (misalnya perbaikan tanah, kemungkinan untuk menggali, kemampuan penetrasi pemancangan, drainase);
- f) urutan pekerjaan fondasi;
- g) pengaruh dari bangunan serta penggunaannya terhadap lingkungan sekitarnya;
- h) langkah-langkah struktural tambahan yang diperlukan (misalnya penyangga dari penggalian, pemasangan angkur, penyelimutan tiang bor, pengangkatan penghalang-penghalang dalam tanah);
- i) pengaruh-pengaruh pembangunan terhadap lingkungan sekitar;
- j) jenis dan tingkat kontaminasi tanah pada, dan di sekitar, lokasi pembangunan;

- k) efektivitas kebijakan yang diambil untuk membendung atau memperbaiki kontaminasi.

Komposisi dan lingkup penyelidikan tanah harus didasarkan pada jenis dan perancangan konstruksi, misalnya jenis fondasi, metode perbaikan atau struktur penahan tanah, lokasi dan kedalaman konstruksi. Hasil studi literatur dan inspeksi lapangan harus dipertimbangkan ketika memilih metode dan penentuan titik-titik penyelidikan. Titik-titik penyelidikan harus dapat mencerminkan variasi pada kondisi tanah, batuan dan air tanah. Apabila tersedia waktu dan budget yang cukup, penyelidikan tanah harus dilakukan secara bertahap seperti dibawah untuk memperoleh informasi yang komprehensif sepanjang perancangan awal, perancangan, dan pembangunan proyek:

- a. penyelidikan awal untuk penentuan posisi dan perancangan awal dari bangunan
- b. penyelidikan tahap perancangan
- c. Pemeriksaan kesesuaian hasil penyelidikan selama konstruksi Dalam kasus dimana semua penyelidikan dilakukan pada saat yang sama, penyelidikan awal dan dan penyelidikan tahap perancangan serta tambahan harus dipertimbangkan secara bersamaan.

2.6 Penyelidikan Awal

Penyelidikan awal harus direncanakan sedemikian rupa sehingga data yang diperoleh memadai untuk hal-hal yang relevan di bawah ini:

- a. Menilai stabilitas global dan kesesuaian umum lapangan;
- b. Menilai kesesuaian lokasi proyek dibandingkan dengan

- lokasi alternatif lainnya;
- c. Menilai kesesuaian posisi bangunan;
 - d. Mengevaluasi efek yang mungkin ditimbulkan dari pembangunan terhadap lingkungan, seperti bangunan tetangga, struktur dan lokasi bangunan;
 - e. Mengidentifikasi daerah sumber material konstruksi;
 - b) Mempertimbangkan kemungkinan metode fondasi dan perbaikan tanah;
 - c) Merencanakan penyelidikan utama tahap perancangan dan penyelidikan tambahan, termasuk identifikasi zona tanah yang mungkin dapat memberi pengaruh yang signifikan terhadap perilaku struktur.

Penyelidikan tanah awal harus menyediakan perkiraan data tanah, bila relevan, mengenai:

- a. jenis tanah atau batuan dan stratifikasinya;
- b. muka air tanah atau profil tekanan air pori;
- c. informasi awal tentang kekuatan dan sifat deformasi tanah dan batuan;
- d. potensi terjadinya kontaminasi pada tanah atau air tanah yang mungkin dapat merusak daya tahan bahan konstruksi.

2.7 Penyelidikan Tahap Perancangan

Apabila penyelidikan awal tidak memberikan informasi yang diperlukan untuk menilai aspek 2.6 maka penyelidikan tambahan harus dilakukan pada tahap perancangan. Apabila relevan, penyelidikan lapangan dalam tahap perancangan harus terdiri atas:

- a) Pengeboran dan/atau galian untuk pengambilan

contoh tanah

- b) Pengukuran muka air tanah;
- c) Uji lapangan;
- d) Penutupan kembali lubang bor diwajibkan untuk dilakukan oleh kontraktor dengan metode grouting.

Berbagai jenis penyelidikan lapangan di antaranya:

- a) uji lapangan (misalkan CPT, SPT, uji penetrasi dinamis, WST, uji pressuremeter, uji dilatometer, uji pembebanan pelat, uji geser baling lapangan, dan uji permeabilitas);
- b) pengambilan contoh tanah dan batuan untuk deskripsi serta uji laboratorium;
- c) pengukuran air tanah untuk menentukan muka air tanah atau profil tekanan air pori serta fluktuasinya;
- d) penyelidikan geofisika (seperti uji seismik, uji radar, pengukuran tahanan tanah, dan pengukuran kecepatan rambat gelombang pada tanah);
- e) uji skala besar, seperti menentukan daya dukung atau perilaku langsung pada elemen struktur tertentu, misalnya angkur.

Apabila terdapat indikasi potensi kontaminasi tanah atau gas tanah, informasi harus dikumpulkan dari sumber-sumber yang relevan. Informasi ini harus diperhitungkan ketika merencanakan. Jika kontaminasi tanah atau gas terdeteksi dalam rangka penyelidikan tanah, harus dilaporkan kepada klien dan pihak yang berwenang.

2.8 Program penyelidikan lapangan

Program penyelidikan lapangan harus meliputi:

- a) Rencana lokasi titik penyelidikan termasuk jenis penyelidikan
- b) Kedalaman penyelidikan
- c) Jenis contoh tanah (kategori, dan lainnya) yang akan diambil termasuk spesifikasi untuk jumlah dan kedalaman pada lokasi contoh tanah harus diambil
- d) Spesifikasi pengukuran air tanah
- e) Jenis peralatan yang akan digunakan
- f) Standar yang akan diterapkan.

2.9 Umpan Balik

Jawablah pertanyaan dengan jelas, singkat dan benar !

Soal 1.

Jelaskan apa yang dimaksud dengan eksplorasi geoteknik dan sebutkan tiga tujuan utama dari eksplorasi geoteknik dalam perencanaan proyek konstruksi.

Soal 2.

Sebutkan dan jelaskan langkah-langkah yang harus dilakukan dalam merancang program eksplorasi geoteknik untuk suatu proyek pembangunan gedung bertingkat di atas tanah lunak.

Soal 3.

Dalam eksplorasi geoteknik, data yang diambil di lapangan harus sesuai dengan jenis proyek yang akan dibangun. Jelaskan bagaimana Anda menentukan jenis penyelidikan dan uji tanah yang tepat untuk proyek pembangunan jembatan.

Soal 4.

Bagaimana perbedaan pendekatan eksplorasi geoteknik pada proyek infrastruktur di daerah rawan longsor dibandingkan dengan di daerah perkotaan yang datar? Sebutkan jenis-jenis

uji yang direkomendasikan untuk kedua jenis proyek tersebut.

Soal 5.

Jelaskan perbedaan antara penyelidikan geoteknik di lapangan dan penyelidikan laboratorium. Bagaimana kedua metode ini saling melengkapi dalam mendapatkan informasi yang dibutuhkan untuk perancangan pondasi?

Soal 6.

Dalam perancangan eksplorasi geoteknik, seberapa penting pembuatan bor log? Jelaskan informasi apa saja yang perlu dimasukkan dalam bor log dan bagaimana data tersebut digunakan dalam perancangan pondasi bangunan.

Soal 7.

Pada proyek pembangunan bendungan, jelaskan jenis uji geoteknik yang penting dilakukan untuk memastikan stabilitas struktur bendungan, dan bagaimana hasil uji tersebut digunakan dalam proses perancangan.

Soal 8.

Eksplorasi geoteknik sering kali dilakukan secara bertahap, dari penyelidikan awal hingga penyelidikan rinci. Jelaskan kapan penyelidikan rinci diperlukan dan apa saja faktor yang mempengaruhi keputusan untuk melakukan penyelidikan rinci.

Soal 9.

Sebutkan dan jelaskan alat-alat yang sering digunakan dalam eksplorasi geoteknik lapangan, serta bagaimana masing-masing alat tersebut memberikan informasi yang diperlukan untuk mendesain pondasi bangunan.

Soal 10.

Jelaskan bagaimana hasil eksplorasi geoteknik digunakan untuk mitigasi risiko bencana seperti longsor atau likuifaksi. Berikan contoh bagaimana data dari uji lapangan membantu

perancangan bangunan yang lebih aman.

2.10 Rangkuman

Perancangan geoteknik sebelum eksplorasi sangat penting untuk memastikan bahwa penyelidikan lapangan berjalan sesuai rencana, menghasilkan data yang relevan, dan membantu dalam pembuatan desain yang aman, efisien, serta sesuai dengan kondisi tanah dan kebutuhan proyek. Hal ini akan berperan dalam mengurangi risiko dan meningkatkan keberhasilan proyek konstruksi atau mitigasi bencana. Perancangan geoteknik adalah langkah awal yang sangat penting sebelum dilakukan eksplorasi geoteknik di lapangan, meliputi area yang akan diselidiki, metode yang digunakan, dan data yang harus dikumpulkan, sehingga keputusan yang dibuat berdasarkan informasi yang tepat. Perancangan geoteknik yang baik memastikan bahwa data yang diambil relevan dan memadai untuk kebutuhan desain, sehingga pondasi yang dirancang aman dan sesuai dengan kondisi tanah. Tujuan utama perancangan eksplorasi geoteknik adalah memastikan bahwa investigasi yang dilakukan efektif, efisien, dan memberikan data yang relevan untuk perencanaan konstruksi atau mitigasi bencana. Perancangan yang matang memastikan bahwa tidak ada pekerjaan yang sia-sia atau berlebihan, dan semua pengujian yang dilakukan benar-benar diperlukan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan.

BAB 3

TEKNIK PENGAMBILAN SAMPEL TANAH

3.1 Capaian Pembelajaran

Kemampuan mahasiswa untuk mengembangkan dan melakukan eksperimen yang tepat, menganalisis dan menafsirkan data, serta menggunakan penilaian teknik untuk menarik kesimpulan. Mahasiswa mampu menentukan cara pengambilan sampel tanah sesuai dengan standar yang berlaku.

Berikut adalah beberapa capaian pembelajaran yang diharapkan dalam teknik pengambilan sampel tanah yaitu : pemahaman tentang metode pengambilan sampel, identifikasi lokasi dan kedalaman pengambilan Sampel, teknik penanganan dan penyimpanan sampel yang tepat serta interpretasi data dan kesimpulan.

Dengan mencapai capaian pembelajaran ini, mahasiswa menjadi lebih siap untuk mengambil peran dalam eksplorasi geoteknik dan menyumbangkan pemahaman dan keterampilan mereka dalam praktek rekayasa sipil dan konstruksi.

3.2 Relevansi

Teknik pengambilan sampel sangatlah penting dalam pemahaman kondisi geoteknik di lokasi proyek konstruksi. Eksplorasi tanah dan teknik pengambilan sampel bekerja bersama-sama untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang kondisi tanah di lokasi proyek. Eksplorasi tanah memberikan gambaran umum tentang sifat dan struktur tanah di wilayah tersebut, sementara teknik pengambilan sampel memungkinkan untuk mendapatkan sampel tanah secara langsung untuk analisis lebih lanjut di laboratorium.

Teknik pengambilan sampel memungkinkan untuk langsung mengambil contoh tanah dari lokasi proyek, yang kemudian dapat diklasifikasikan dan dikarakterisasi secara lebih detail. Dengan demikian, eksplorasi tanah dan teknik pengambilan sampel saling melengkapi satu sama lain dalam menyediakan informasi yang diperlukan untuk pemahaman yang holistik tentang kondisi geoteknik di lokasi proyek. Keduanya merupakan bagian integral dari proses perencanaan dan desain dalam rekayasa sipil dan konstruksi.

3.3 Pengantar Umum

Pengambilan sampel tanah adalah langkah penting dalam eksplorasi geoteknik yang bertujuan untuk memperoleh data yang akurat tentang kondisi bawah permukaan tanah. Data ini sangat penting untuk mendukung perencanaan dan desain fondasi, jalan raya, bendungan, dan berbagai struktur lainnya. Teknik pengambilan sampel tanah yang tepat dapat memberikan informasi yang diperlukan untuk menilai sifat fisik dan mekanik tanah, yang akan mempengaruhi keberhasilan proyek konstruksi.

Pengambilan sampel tanah dilakukan untuk:

- a) Menentukan sifat fisik tanah, seperti tekstur, kepadatan, dan kadar air.
- b) Menilai sifat mekanik tanah, seperti kekuatan geser, konsolidasi, dan permeabilitas.
- c) Mengidentifikasi jenis tanah dan stratigrafinya.
- d) Menilai potensi masalah geoteknik seperti likuifaksi, stabilitas lereng, dan daya dukung tanah.

Kategori pengambilan contoh dan jumlah contoh yang akan diambil harus didasarkan pada :

- a) tujuan penyelidikan tanah
- b) geologi lapangan
- c) kompleksitas struktur geoteknik.

Untuk identifikasi dan klasifikasi tanah, setidaknya satu lubang bor atau galian uji (test pit) dengan pengambilan contoh tanah harus tersedia. Contoh tanah harus diperoleh dari setiap lapisan tanah yang dapat memengaruhi perilaku struktur. Pengambilan contoh tanah dapat diganti dengan uji lapangan jika terdapat pengalaman setempat yang cukup tentang korelasi uji lapangan dengan kondisi tanah untuk memastikan interpretasi yang tidak ambigu terhadap hasilnya.

3.4 Penentuan Titik Pengujian Tanah

Lokasi dan kedalaman titik penyelidikan harus dipilih berdasarkan kondisi geologi dari informasi yang terhimpun pada studi meja atau hasil penyelidikan awal. Berdasarkan SNI 8460 tahun 2017, penentuan titik pengujian harus mempertimbangkan hal-hal berikut ini :

- a) titik penyelidikan harus diatur dalam pola sedemikian

rupa sehingga stratifikasi tanah yang melintasi lokasi pembangunan dapat diperoleh.

- b) titik penyelidikan untuk bangunan atau struktur harus ditempatkan pada titik-titik kritis tergantung dari bentuk, perilaku struktural dan distribusi beban yang diharapkan (misalnya pada sudut-sudut area fondasi).
- c) untuk struktur linear, titik penyelidikan harus diatur pada jarak yang cukup terhadap sumbu bangunan, tergantung pada lebar keseluruhan struktur, seperti tapak timbunan atau galian.
- d) untuk struktur pada atau dekat lereng dan pada medan bertangga (termasuk galian), titik penyelidikan juga harus dirancang sampai di luar area proyek, sehingga stabilitas lereng atau galian dapat dievaluasi. Apabila dipasang angkur, pertimbangan harus diberikan juga pada tegangan yang akan terjadi pada zona transfer beban.
- e) titik penyelidikan harus diatur sedemikian rupa sehingga tidak menimbulkan bahaya bagi struktur, pekerjaan konstruksi, atau lingkungan (misalnya sebagai akibat dari perubahan kondisi tanah dan air tanah).
- f) area penyelidikan tanah harus meliputi daerah yang berdekatan sampai pada jarak dimana tidak ada pengaruh bahaya pada struktur yang berdekatan.
- g) untuk titik pengukuran air tanah, penggunaan alat yang dapat memantau secara kontinu selama penyelidikan tanah sampai pasca masa konstruksi perlu dipertimbangkan.

Faktor-faktor berikut harus diperhatikan dalam menentukan jarak titik penyelidikan.

- a) Apabila kondisi tanah relatif seragam atau tanah memiliki kekuatan dan kekakuan yang cukup, jarak titik penyelidikan yang lebih jauh atau jumlah titik penyelidikan yang lebih sedikit dapat diterapkan.
- b) Apabila lebih dari satu jenis penyelidikan direncanakan di lokasi tertentu (misalnya CPT dan pengambilan contoh dengan tabung piston), jarak titik penyelidikan tersebut harus cukup jauh.
- c) Apabila penyelidikan tanah kombinasi dilakukan, misalnya, CPTs dan pengeboran, maka CPTs harus dilakukan sebelum pengeboran. Jarak dari CPT dan pengeboran harus cukup jauh sehingga lubang bor tidak akan memotong lubang CPT. Jika pengeboran dilakukan sebelum CPT, CPT harus dilakukan pada jarak minimal 2 m dari lubang bor. Kedalaman penyelidikan harus meliputi ke semua lapisan yang akan memengaruhi proyek atau terpengaruhi oleh konstruksi. Untuk bendungan, tanggul dan galian di bawah muka air tanah, dan terdapat pekerjaan penurunan muka air tanah (dewatering), kedalaman penyelidikan harus ditentukan berdasarkan kondisi hidrogeologi. Lereng dan medan bertangga harus dieksplorasi sampai kedalaman di bawah bidang gelincir yang potensial.

Jumlah penyelidikan tanah harus mengacu pada Tabel 3.1, sedangkan kedalaman penyelidikan tanah mengacu pada Gambar 3.1.

Tabel 3. 1 Jumlah minimum penyelidikan tanah
(berdasarkan SNI 8460 tahun 2017)

Jenis struktur	Jumlah minimum penyelidikan tanah
	- Satu titik setiap 300 m ² dalam pola grid dengan jarak 10 m sampai 30 m dengan minimum 3 titik per blok

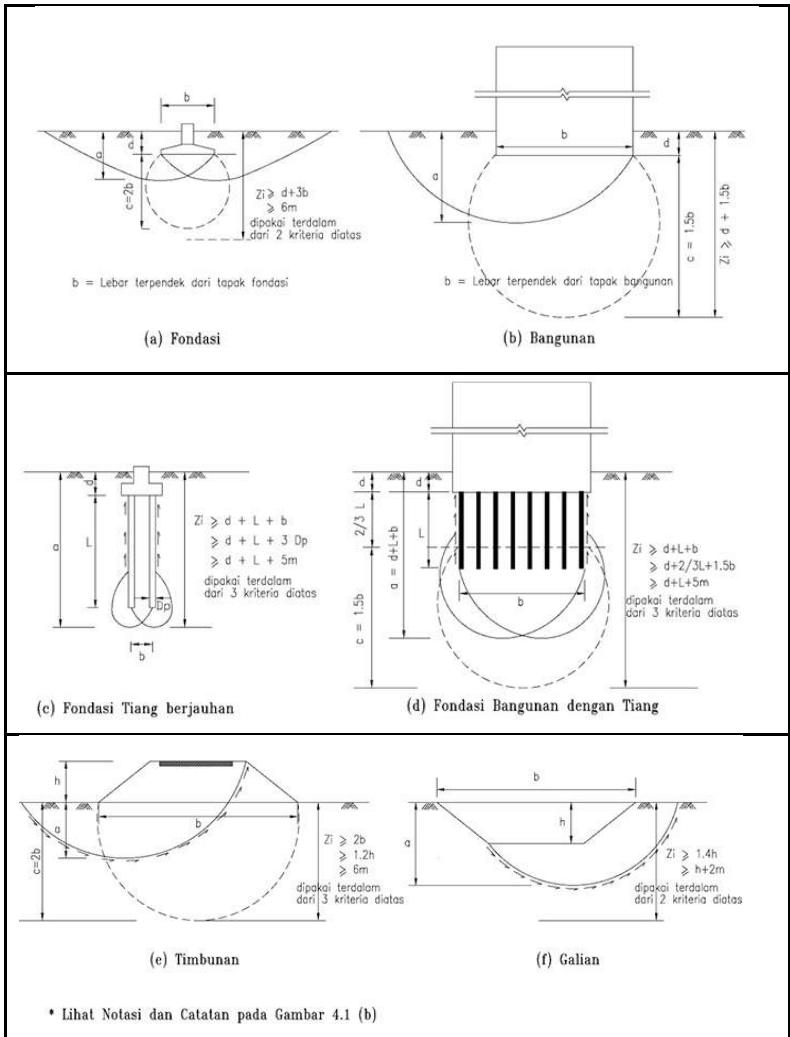
<p>Gedung tinggi 8 lantai ke atas</p>	<p>menara.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dalam hal beberapa menara terletak berdekatan, dijadikan satu kesatuan dan digunakan kaidah yang sama. - Tambah titik apabila hasil investigasi menunjukkan anomali lapisan tanah
<p>Gedung dengan 4 sampai dengan 7 lantai</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Satu titik setiap 400m² dalam pola grid dengan jarak 15 m sampai 40 m dengan minimum 2 titik per gedung. - Dalam hal beberapa gedung terletak berdekatan, dijadikan satu kesatuan dan digunakan kaidah yang sama. - Tambah titik apabila hasil investigasi menunjukkan
<p>Gedung kurang dari 4 lantai atau bangunan pabrik (di luar rumah tinggal)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Satu titik setiap 600m² dalam pola grid dengan jarak 25 m sampai 50 m dengan minimum 1 titik per gedung. - Dalam hal beberapa gedung terletak berdekatan, dijadikan satu kesatuan dan digunakan kaidah yang sama. - Tambah titik apabila hasil investigasi menunjukkan anomali lapisan tanah.
<p>Bangunan kurang dari 4 lantai dengan tapak sangat luas > 25,000m²</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Satu titik setiap 2500m² dalam pola grid dengan jarak 50 m sampai 100 m. - Tambah titik untuk dapat menghasilkan potongan tanah pada orientasi.
<p>Struktur memanjang (jalan raya, rel</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Satu titik per 50 sampai 200m, kecuali runway/taxiway jarak maksimum dibatasi 100m.

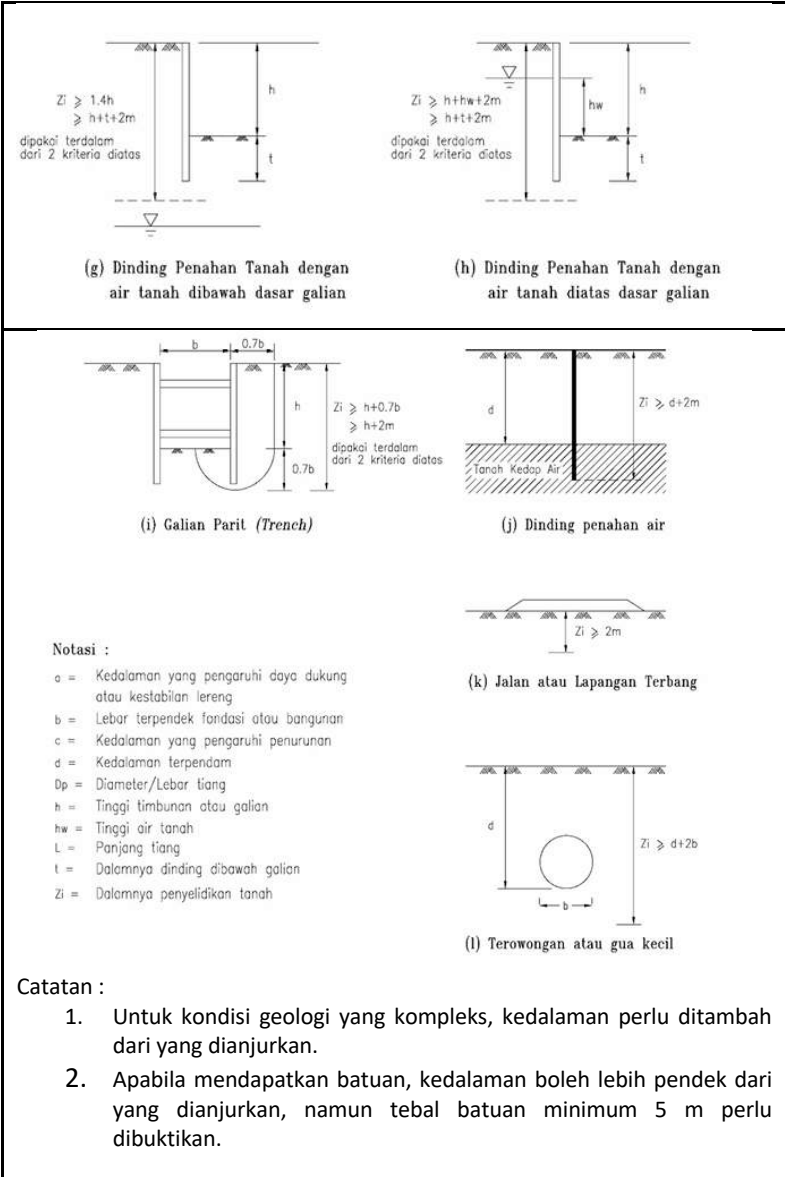
kereta, kanal, tanggul, runway dan taxiway)	<ul style="list-style-type: none"> - Jarak yang besar dapat dipakai pada investigasi awal. - Tambah titik di antaranya apabila hasil investigasi awal menunjukkan adanya variasi tanah yang perlu diinvestigasi lebih
Terowongan transportasi	<ul style="list-style-type: none"> - Satu titik setiap 10 sampai 75m pada daerah pemukiman dan 20 sampai - 200m pada daerah terbuka. - Jarak yang besar dapat dipakai pada investigasi awal. - Tambah titik di antaranya apabila hasil investigasi awal menunjukkan adanya variasi tanah yang perlu diinvestigasi lebih detail. - Pada setiap portal minimum 1 titik.
Basemen dan/atau dinding penahan tanah <ul style="list-style-type: none"> - Tinggi < 6m - Tinggi ≥ 6m 	<p>1 titik setiap 15 sampai 40m</p> <p>1 titik setiap 10 sampai 30m</p>
Jembatan	<ul style="list-style-type: none"> - Untuk jembatan konvensional dengan bentang < 50 m: minimum 1 titik pada tiap abutmen dan pilar per 2 lajur lalu lintas - Untuk jembatan khusus dengan bentang ≥ 50 m atau jembatan di laut: ditentukan oleh tenaga ahli geoteknik
Konstruksi Khusus (menara, fondasi	1 per 300m ² tapak konstruksi, dengan

mesin berat, tangki)	minimum 1 titik.
Bendungan besar	<ul style="list-style-type: none"> - Pada tahap perencanaan awal, minimum 5 titik, 3 pada sumbu bendungan dan 2 titik, masing-masing di hulu dan hilir. - Pada tahap perencanaan detail, penambahan titik bor disesuaikan kondisi geologi yang ditemukan pada penyelidikan tahap perencanaan. Minimum 1 titik setiap 50 m sepanjang sumbu dam - Tambahkan titik pada pintu air, terowongan pengelak, spillway, outlet, power house dll.
Stabilitas lereng, galian dalam, dan timbunan tinggi dengan ketinggian > 6m untuk tanah normal dan > 3m pada tanah lunak	<ul style="list-style-type: none"> - 3 – 5 titik pada potongan kritis untuk menghasilkan model untuk dilakukan analisis. Jumlah potongan kritis tergantung tingkat masalah stabilitas. - Untuk kelongsoran yang masih aktif, minimum satu titik pada sisi atas lereng yang longsor.
Reklamasi	1 per 1000 m ² luas timbunan

CATATAN Untuk jumlah titik bor: Konsultan Perencana diwajibkan menjamin jumlah ketercukupan dan keakuratan data tanah yang digunakan dalam perancangan.

Gambar 3.1 menunjukkan kedalaman pengambilan sampel tanah sesuai dengan bentuk dan jenis konstruksi.





Gambar 3. 1 Petunjuk Kedalaman Penyelidikan Tanah.

3.5 Penentuan Interval dan Kedalaman Pengambilan Contoh Tanah (Sampel)

Pengambilan contoh tanah (sampel) dilakukan baik pada tanah berbutir kasar maupun tanah kohesif dan untuk tanah kohesif dilakukan dengan menggunakan tabung dinding tipis. Penentuan interval pengambilan contoh dan jenis tabung adalah sebagai berikut :

- (a) Interval pengambilan contoh berbeda-beda antara proyek dan daerah masing-masing. Pengambilan contoh tabung belah di bagian atas 3 m (10 ft) dapat dilakukan pada interval 0,75 m (2,5 ft), dan di bagian bawah 3 m (10 ft) pada interval 1,5 m (5 ft). Pada kedalaman di bawah 30 m (100 ft) dapat dilakukan interval contoh yang lebih besar, misalnya 3 m (10 ft). Selain itu, diperlukan contoh menerus untuk beberapa bagian pengeboran.
- (b) Untuk tanah kohesif, minimal harus diambil satu contoh tanah tidak terganggu dari setiap lapisan yang berbeda. Jika deposit tanah kohesif meluas sampai dalam sekali, maka diperlukan tambahan contoh tidak terganggu yang biasanya diambil pada interval 3 m (10 ft) sampai 6 m (20 ft). Jika pengeboran dilakukan cukup luas, maka contoh tanah tidak terganggu diambil di setiap lubang bor.
- (c) Untuk bor yang terlalu dekat atau dalam deposit tanah homogen secara lateral, contoh tanah tidak terganggu diambil hanya dalam lubang bor yang dipilih
- (d) Dalam formasi geologi yang tidak teratur atau lapisan lempung tipis, kadang-kadang diperlukan pengeboran secara terpisah yang berdekatan dengan lubang bor semula. Hal ini untuk memperoleh contoh tidak tanah terganggu dari kedalaman tertentu yang mungkin tidak terdapat pada pengeboran pertama.

3.6 Pengambilan Contoh Tanah (Sampel)

Dalam eksplorasi geoteknik, sampel atau contoh uji tanah adalah bagian dari tanah yang diambil dari lokasi tertentu untuk dianalisis di laboratorium. Sampel ini digunakan untuk menilai sifat fisik, kimia, dan mekanik tanah yang akan mempengaruhi desain dan pelaksanaan proyek konstruksi. Kategori pengambilan contoh (lihat Tabel 3.1) dan jumlah contoh yang akan diambil harus didasarkan pada:

- a) tujuan penyelidikan tanah
- b) geologi lapangan
- c) kompleksitas struktur geoteknik.

Untuk identifikasi dan klasifikasi tanah, setidaknya satu lubang bor atau galian uji (test pit) dengan pengambilan contoh tanah harus tersedia. Contoh tanah harus diperoleh dari setiap lapisan tanah yang dapat memengaruhi perilaku struktur.

Pengambilan contoh tanah dapat diganti dengan uji lapangan jika terdapat pengalaman setempat yang cukup tentang korelasi uji lapangan dengan kondisi tanah untuk memastikan interpretasi yang tidak ambigu terhadap hasilnya.

3.6.1 Jenis contoh tanah (sampel)

Berdasarkan cara pengambilannya, sampel tanah dibagi menjadi 2 (dua) yaitu sampel tanah terganggu (disturbed) dan sampel tanah tidak terganggu (undisturbed)

a. Sampel tanah disturbed (terganggu)

Sampel tanah ini diperoleh dengan menggunakan alat yang mungkin dapat menghancurkan struktur makro tanah tetapi tidak mengganggu komposisi mineraloginya, dan dapat dilakukan dengan berbagai metode. Contoh tanah terganggu diambil tanpa adanya usaha usaha yang dilakukan untuk melindungi struktur asli dari tanah tersebut. Sampel tanah ini

biasanya dibawa ke laboratorium dalam tempat tertutup (kaleng atau kantong plastik) sehingga kadar airnya tidak akan berubah. Bilamana tidak ada kebutuhan untuk mempertahankan contoh-contoh tersebut pada kadar airnya yang asli, maka contoh-contoh ini dapat diambil terbuka. Contoh tanah ini dapat digunakan untuk mengetahui perkiraan litologi umum endapan tanah, identifikasi komponen tanah dan tujuan klasifikasi umum, ukuran butiran, batas-batas Atterberg, dan karakteristik pemadatan tanah.



Gambar 3. 2 Pengambilan contoh tanah terganggu (disturbed) dengan menggunakan cangkul.

Sampel yang benar-benar terganggu dicirikan oleh kerusakan total pada struktur serta pencampuran bahan seperti yang terjadi pada sampel wash dan auger. Sampel representatif mengalami deformasi sebagian. Sifat rekayasa (kekuatan, kompresibilitas, dan permeabilitas) berubah, tetapi struktur asli bervariasi dari tidak berubah hingga terdistorsi, dan masih

tampak jelas. Tanah yang sebagian atau seluruh struktur asli tanah terganggu, sementara kadar airnya tetap dijaga.

Pengambilan contoh tanah terganggu diperlukan untuk mengetahui jenis tanah, gradasi, klasifikasi, konsistensi, kepadatan, adanya pencemaran, stratifikasi dan lain-lain. Metode pengambilan contoh tanah berbeda-beda mulai dari cara manual, dengan alat keruk menggunakan truck mounted auger dan cara bor putar. Jika diperlukan, maka contoh tanah terambil dapat dimodifikasi sesuai dengan keadaan alami tanah sebelum pengujian dilakukan.

b. Sampel tanah undisturb (Tidak Terganggu)

Sampel tanah tidak terganggu adalah suatu contoh yang masih menunjukkan sifat-sifat asli tanah, sampel tanah ini tidak mengalami perubahan dalam struktur, kadar air (water content), atau susunan kimia. Contoh tanah yang benar-benar asli (*truly undisturbed samples*) tidaklah mungkin diperoleh, akan tetapi dengan teknik pelaksanaan sebagaimana mestinya dan cara pengamatan yang tepat, maka kerusakan-kerusakan terhadap contoh bisa dibatasi sekecil mungkin.

Contoh asli dapat diambil dengan memakai tabung-tabung contoh (sample tubes), core barrels, atau dengan mengambilnya secara langsung dengan tangan, sebagai contoh dalam bentuk bongkah-bongkah (block samples). Contoh tanah (sampel) yang diperoleh dari lapisan tanah lempung akan digunakan dalam uji laboratorium untuk mengetahui sifat-sifat teknik tanah. Contoh tidak terganggu dari tanah berbutir kasar dapat juga diambil dengan prosedur khusus, seperti pembekuan atau pengisian damar/lilin (parafin) dan tabung blok atau tabung inti.

Pengambilan contoh yang dilakukan dengan alat khusus ini, digunakan untuk membantu mengurangi gangguan pada struktur tanah in situ dan kadar air tanahnya. Contoh tanah

tidak terganggu dapat pula digunakan untuk mengetahui kekuatan, stratifikasi, kelulusan air, kepadatan, konsolidasi, sifat dinamik, dan sifat teknik tanah lainnya. Sampel yang tidak terganggu mungkin memperlihatkan sedikit deformasi di sekelilingnya, tetapi sebagian besar, sifat rekayasannya tidak berubah. Hasil seperti itu diperoleh dengan sampel tabung atau blok. Contoh tanah yang struktur asli tanah dan sifat/karakteristiknya dijaga tetap seperti di lapangan tanpa gangguan. Sampel tanah yang diambil dengan cara meminimalkan gangguan terhadap struktur alami tanah dan mempertahankan kadar air.

Pengambilan contoh tanah tidak terganggu digunakan untuk menentukan kekuatan tanah in-situ, kompresibilitas (kemampumampatan tanah sehingga dapat diprediksi besar dan lama penurunan), kadar air asli, berat volume, sifat permeabilitas (kelulusan air), diskontinuitas, patahan dan retakan formasi tanah dasar.

Tingkat gangguan contoh tanah tidak terganggu bergantung pada:

- (a) jenis material tanah dasar;
- (b) jenis dan kondisi alat yang digunakan;
- (c) pengetahuan petugas pengeboran;
- (d) lokasi penampungan contoh yang digunakan;
- (e) metode transportasi contoh yang digunakan.

Diperlukan cara perhitungan yang tepat untuk menghindari atau mengurangi tingkat gangguan yang dapat mempengaruhi desain. Metode Pengambilan dengan alat khusus seperti tabung Shelby, piston sampler, atau tabung sampel lainnya yang menjaga integritas tanah.

c. Sampel Tanah Bongkahan (Bulk)

Tabung khusus contoh tanah dan batuan terdiri atas berbagai

variasi, antara lain metode tabung sumbatan yang dapat ditarik masuk (retractable plug), Sherbrooke, dan tabung Laval. Metode pengambilan contoh ini digunakan untuk tanah yang sulit dan tidak dapat dilakukan dengan metode biasa, dengan penjelasan sebagai berikut.

- (a) Contoh tanah bongkahan (bulk) dapat digunakan untuk klasifikasi tanah, uji indeks, nilai R, pemadatan, rasio dukung California (CBR), dan uji sifat-sifat tanah padat,
- (b) Contoh tanah bongkahan dapat diambil secara manual tanpa mempertimbangkan gangguan. Contoh dapat diambil dari dasar atau dinding sumuran uji atau parit uji, batang bor, galian lubang dengan sekop dan alat manual lain, backhoe, atau stockpile,
- (c) Contoh harus dimasukkan ke dalam wadah yang dapat mempertahankan semua ukuran butiran. Untuk contoh yang besar, digunakan wadah plastik atau logam atau tabung logam. Untuk contoh yang lebih kecil, digunakan kantong plastik, yang dapat ditutup untuk menjaga kadar air contoh,
- (d) Contoh bongkahan dapat mewakili material borrow untuk urugan uji konstruksi. Untuk uji laboratorium diperlukan contoh yang dipadatkan. Jika material relatif homogen, maka contoh bongkahan dapat diambil secara manual ataupun mesin. Untuk material berlapis diperlukan galian secara manual,
- (e) Dalam pengambilan contoh bongkahan perlu dipertimbangkan cara penggalian material untuk konstruksi. Jika diinginkan material berlapis dengan menggunakan alat keruk, maka diperlukan penggalian secara manual untuk mencegah bercampurnya tanah. Jika material diambil dari bidang tegak, maka pengambilan contoh dilakukan dengan cara pencampuran yang relatif

homogen seperti pada waktu penggalian daerah borrow.

Hal-hal yang berkaitan dengan contoh blok dan pengambilannya adalah sebagai berikut :

- (a) Contoh blok dapat diambil dari tebing bukit, galian, sumuran uji, dinding terowongan dan dinding tebing terbuka lainnya. Pengambilan contoh blok tidak terganggu hanya dapat dilakukan pada tanah kohesif dan batuan. Prosedur pengambilan contoh blok tidak terganggu berbeda-beda dan dapat dilakukan dengan pemotongan blok tanah besar dengan menggunakan kombinasi sekop, alat tangan dan pemotong kabel, pisau kecil dan spatula untuk memperoleh blok kecil
- (b) Ada metode khusus pengambilan contoh blok yang lebih baik dari lubang bawah. Pada tanah kohesif dapat dilakukan dengan menggunakan tabung Sherbrooke untuk memperoleh contoh berdiameter 250 mm (9,85 in) dan tinggi 350 mm (13,78) (Lefebvre dan Poulin, 1979)
- (c) Sebelum pengambilan contoh, dilakukan metode pembekuan di lapangan untuk tanah berbutir kasar jenuh dan metode penggembungan damar untuk memblok tanah insitu. Cara ini dapat menghasilkan contoh tidak terganggu yang berkualitas tinggi tetapi memerlukan waktu lama sehingga kurang praktis
- (d) Contoh terambil diangkut ke laboratorium dalam wadah yang memadai, lalu dipotong dengan ukuran dan bentuk tertentu untuk keperluan pengujian. Contoh blok harus dibungkus dengan lapisan tipis/membran plastik dan foil yang ringan dan disimpan dalam bentuk blok serta hanya dipotong sedikit sebelum pengujian. Setiap contoh harus diidentifikasi dengan informasi nomor proyek, jumlah bor atau sumuran uji, jumlah contoh, kedalaman contoh, dan orientasi.

3.6.2 Metode pengambilan contoh tanah (sampel)

Pengambilan contoh tanah tak terganggu diperoleh dengan menekan tabung dinding tipis ke dalam tanah, mencabut tabung yang telah terisi penuh oleh tanah, dan menutup kedua ujung tabung untuk menghindari tanah dari gangguan atau perubahan kelembaban.

a. Prosedur Pengambilan Contoh Tanah (SNI 03-4148 tahun 2000)

Prosedur pengambilan contoh tanah dengan tabung dinding tipis dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Bersihkan lubang bor sampai pada elevasi pengambilan contoh dengan cara yang sesuai asalkan tidak mengganggu tanah yang akan diambil sebagai contoh. Apabila terdapat air tanah, elevasi muka air pada lubang bor harus dijaga tetap berada pada atau di atas permukaan air tanah selama proses pengambilan contoh tanah.
- Bersihkan lubang bor dengan cara penyemprotan air melalui tabung pengambil contoh. Buang material lepas di dalam pipa pelindung (casing) dengan cara pembilasan, batang pipa dari auger harus dibersihkan secara hati-hati agar tidak mengganggu tanah yang akan diambil sebagai contoh.
- Tempatkan tabung pengambil contoh sedemikian rupa ke dalam lubang bor sehingga bagian bawah tabung menyentuh dasar lubang bor. Tabung kemudian ditekan tanpa rotasi (putaran) secara menerus dan relatif cepat.
- Panjang penetrasi tabung ke dalam tanah ditentukan oleh tahanan geser dan kondisi lapisan tanah, asalkan tidak boleh lebih besar dari 5 sampai 10 kali diameter

tabung contoh pada tanah pasir dan 10 sampai 15 kali diameter tabung contoh pada tanah lempung.

- Apabila formasi tanah terlalu keras untuk jenis alat penetrasi tekan maka tabung contoh dapat ditumbuk atau dipancang. Metode lainnya dapat digunakan asalkan atas persetujuan ahli teknik. Apabila metode penumbukan diterapkan maka data-data mengenai berat palu, tinggi jatuh dan besarnya penetrasi harus dimasukkan ke dalam laporan. Selain itu tabung contoh harus diberi tanda sebagai “contoh dengan cara ditumbuk”.
- Dalam keadaan apapun, panjang penetrasi tidak boleh melebihi panjang tabung dikurangi tebal kepala tabung atau sekurang-kurangnya tersedia kelonggaran minimum 7,62 cm untuk pemotongan ujung.
- Jika tabung contoh sudah terisi penuh, maka untuk memotong contoh tanah bagian bawah, putar tabung contoh searah jarum jam melalui pipa bor bagian atas.
- Tarik tabung ke atas secara hati-hati untuk memperkecil gangguan pada contoh tanah.
- Tabung contoh tanah harus diberi tanda atau label. Tanda ini harus cukup kuat sehingga tidak mudah lepas selama pengangkutan dan penyimpanan.
- Setelah tabung diberi label, maka tabung yang telah terisi contoh tanah tersebut harus disimpan dengan ketentuan :
 - Tabung harus ditempatkan dalam posisi vertikal.
 - Contoh tanah bagian atas harus berada dalam posisi di atas (tidak boleh terbalik).
 - Di lapangan, tabung yang sudah berisi contoh

tanah harus disimpan di tempat yang teduh sehingga terhindar dari udara panas atau sinar matahari.

- Di laboratorium, tabung yang telah berisi contoh tanah harus disimpan di ruangan pada suhu 27°C konstan.

b. Persiapan Pengangkutan

Prosedur untuk pengangkutan contoh tanah (sampel) dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- Setelah tabung contoh diangkat dari lubang bor, panjang contoh tanah dalam tabung harus segera diukur. Bagian contoh tanah sebelah atas tabung yang terganggu harus dibuang dan panjang contoh tanah harus diukur lagi. Lubang atas tabung kemudian ditutup dengan parafin.
- Ambil contoh tanah sepanjang 2,54 cm dari bagian bawah tabung sesuai yang disyaratkan dalam standar ASTM D 2488 yang akan digunakan untuk deskripsi jenis lapisan tanah. Ukur kembali panjang contoh tanah dalam tabung, setelah itu bagian bawah tabung ditutup dengan parafin. Jika diperlukan, lubang bawah tabung dapat langsung ditutup tanpa mengambil contoh tanah dari bagian bawah tabung.
- Pengangkutan tabung yang telah terisi contoh tanah harus dilakukan sebagai berikut : Tabung harus ditempatkan dalam posisi vertikal dan tabung harus dilindungi dengan sekat atau selimut elastis (karet atau busa) sedemikian rupa sehingga aman dari pengaruh guncangan atau benturan.

c. Pelaporan

Laporan harus berisikan informasi yang memadai dan

dibutuhkan sebagai berikut :

- Nama dan lokasi proyek
- No. lubang bor dan lokasi lubang bor
- Elevasi permukaan lubang bor
- Tanggal dan waktu pemboran
- Kedalaman dan jumlah contoh tanah yang diambil
- Jenis tabung tipis mencakup : ukuran, jenis besi atau logam, jenis bahan pelapis
- Cara memasukan dinding tabung pada tanah : ditekan atau ditumbuk
- Cara pemboran, ukuran lubang bor, pipa pelindung dan jenis air pembilas
- Kedalaman muka air tanah : tanggal dan waktu pengukuran
- Pemberian contoh tanah sesuai ASTM D 2488
- Panjang penetrasi tabung contoh
- Panjang contoh terambil.

Berbagai macam pengambil sampel tersedia untuk memperoleh sampel tanah bagi proyek rekayasa geoteknik. Ini termasuk alat pengambilan sampel standar yang banyak digunakan serta jenis khusus yang mungkin unik untuk wilayah tertentu di negara tersebut untuk mengakomodasi kondisi dan preferensi setempat. Metode pengambilan contoh tanah yang umum dilakukan ditampilkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Metode Pengambilan contoh tanah (sampel) yang umum dilakukan

Tabung	Terganggu/ tidak terganggu	Jenis tanah yang cocok	Metode Penetrasi	Penggunaan dalam praktek
Tabung laras belah <i>(split-barel split spoon)</i>	Terganggu	Pasir, lanau, lempung	Dipukul dengan palu	85 %
Tabung dinding tipis <i>(Thin-wall Shebly tube)</i>	Tidak terganggu	Lempung, lanau, tanah berbutir kasar halus, pasir lempungan	Didorong secara mekanik	6
Tekan menerus <i>(continuous push)</i>	Sebagian tidak terganggu	Pasir, lanau dan lempung	Didorong secara hidraulik dengan lining plastic	4
Piston	Tidak terganggu	Lanau dan lempung	Didorong secara hidraulik	1
Pitcher	Tidak terganggu	Lempung kaku sampai keras, lanau, pasir, batuan lapuk sebagian, dan tanah berbutir kasar beku atau terisi damar/ lilin (parafin)	Rotasi dan tekanan hidraulik	< 1
Denison	Tidak terganggu	Lempung kaku sampai keras, lanau, pasir dna batuan	Rotasi dan tekanan hidraulik	< 1

		lapuk sebagian		
Modified California	Terganggu	Pasir, lanau, lempung dan kerikil	Dipukul dengan hammer (large split spoon)	< 1
Continuous auger	Terganggu	Tanah kohesif	Bor batang hollow	< 1
Bongkahan (Bulk)	Terganggu	Kerikil, pasir, lanau, lempung	Bor tangan, bor auger ember	< 1
Blok	Tidak terganggu	Tanah kohesif dan tanah berbutir kasar beku atau terisi damar/ lilin (parafin)	Bor tangan	< 1

Tabung laras belah (split barel atau split spoon) digunakan untuk memperoleh sampel terganggu di semua jenis tanah. Pengambil sampel split spoon biasanya digunakan bersama dengan Uji Penetrasi Standar (SPT), sebagaimana ditentukan dalam AASHTO T206 dan ASTM D1586, di mana pengambil sampel digerakkan dengan palu seberat 63,5 kg (140 lb) yang dijatuhkan dari ketinggian 760 mm (30 in). Secara umum tabung ini memiliki panjang standar 457 mm (18 in) dan 610 mm (24 in) dengan diameter dalam berkisar antara 38,1 mm (1,5 in) hingga 114,3 mm (4,5 in) dengan kelipatan 12,7 mm (0,5 in). Pengambil sampel berdiameter dalam 38,1 mm (1,5 in) populer karena korelasi telah dikembangkan antara jumlah pukulan yang diperlukan untuk penetrasi dan beberapa sifat tanah tertentu. Pengambil sampel dengan diameter lebih besar

(diameter dalam lebih besar dari 51 mm (2 in) terkadang digunakan saat partikel kerikil hadir atau saat lebih banyak material dibutuhkan untuk uji klasifikasi. Pengambil sampel standar split-barrel dengan diameter dalam 38,1 mm (1,5 in) memiliki diameter luar 51 mm (2,0 in) dan sepatu pemotong dengan diameter dalam 34,9 mm (1,375 in). Ini sesuai dengan pengambil sampel berdinding relatif tebal dengan rasio area :

[$Ar = 100 * (D_{\text{external}}^2 - D_{\text{internal}}^2) / D_{\text{internal}}^2$], sebesar 112 persen (Hvorslev, 1949).

Rasio area yang tinggi ini mengganggu karakteristik alami tanah yang diambil sampelnya, sehingga sampel yang terganggu diperoleh. Katup periksa bola yang disertakan dalam kepala pengambil sampel memfasilitasi pemulihan material yang tidak kohesif. Katup ini terpasang saat pengambil sampel ditarik dari lubang bor, sehingga mencegah tekanan air di bagian atas sampel mendorong. Jika sampel cenderung meluncur keluar karena beratnya, vakum akan terbentuk di bagian atas sampel untuk menahannya.



(a)



(b)

Gambar 3. 3 Split-Barrel Samplers

(a) panjang: 457 mm (18 in) dan 610 mm (24 in)

(b) Diameter dalam dari 38.1 mm (1.5 in) sampai 89 mm (3.5 in).



Gambar 3. 4 Split Barrel Sampler

- (a) Open sampler with soil sample and cutting shoe
- (b) Sample jar, split-spoon, shelby tube, and storage box for transport of jar samples.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4a, saat sepatu dan selongsong jenis pengambil sampel ini dibuka dari laras terpisah, kedua bagian laras dapat dipisahkan dan sampel dapat diambil dengan mudah. Sampel tanah dikeluarkan dari pengambil sampel laras terpisah, sampel ditempatkan dan disegel dalam toples kaca, disegel dalam kantong plastik, atau disegel dalam pelapis kuning (Gambar 3.4b). Wadah terpisah harus digunakan jika sampel mengandung jenis tanah yang berbeda.



Gambar 3. 5 Split Barrel Sampler
 (a) Stainless steel and brass retainer rings
 (b) Sample catchers.

Pelapis dapat ditempatkan di dalam pengambil sampel dengan diameter dalam yang sama dengan sepatu pemotong (Gambar 3.5a). Hal ini memungkinkan sampel tetap utuh selama pengangkutan ke laboratorium. Dalam kedua kasus, sampel yang diperoleh dengan laras terpisah terganggu dan karenanya hanya cocok untuk identifikasi tanah dan uji klasifikasi umum. Penahan sampel baja atau plastik sering kali diperlukan untuk menjaga sampel tanah granular yang bersih di dalam pengambil sampel laras terpisah. Gambar 3.5b menunjukkan penahan sepatu keranjang, penahan pegas, dan penahan katup perangkap. Mereka dimasukkan ke dalam sampler di antara sepatu dan tabung sampel untuk membantu menahan material yang lepas atau mengalir.

Penahan ini memungkinkan tanah masuk ke dalam sampler selama pemboran, tetapi setelah ditarik, penahan ini menutup dan dengan demikian menahan sampel. Penggunaan penahan sampel harus dicatat pada log pemboran.

Tabung dinding tipis (*Thin-wall Shelby tube*)

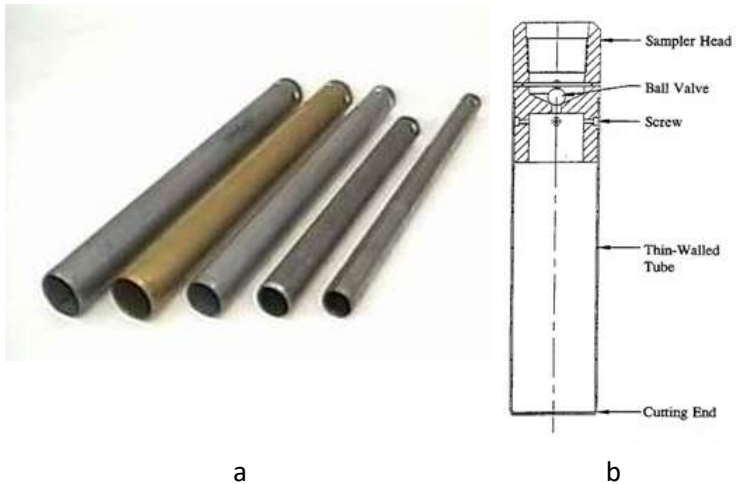
Umumnya tabung ini digunakan untuk memperoleh sampel tanah kohesif yang relatif tidak terganggu untuk pengujian kekuatan dan konsolidasi. Pengambil sampel yang umum digunakan (Gambar 3.6a) memiliki diameter luar 76 mm (3,071 inci) dan diameter dalam 73 mm (2,875 inci), sehingga menghasilkan rasio area sebesar 9 persen. Pengambil sampel dinding tipis memiliki diameter luar bervariasi antara 51 mm (2,0 inci) dan 76 mm (3,0 inci) dan biasanya memiliki panjang mulai dari 700 mm (27,56 inci) hingga 900 mm (35,43 inci). Tabung pengambil sampel berdiameter lebih besar digunakan jika diperlukan sampel dengan kualitas lebih tinggi dan gangguan pengambilan sampel harus dikurangi. Metode pengujian untuk pengambilan sampel tabung berdinding tipis

dijelaskan dalam AASHTO T 207 dan ASTM D 1587.

Tabung berdinding tipis diproduksi menggunakan baja karbon, baja karbon berlapis galvanis, baja tahan karat, dan kuningan. Tabung baja karbon sering kali merupakan tabung dengan biaya terendah tetapi tidak cocok jika sampel harus disimpan dalam tabung selama lebih dari beberapa hari atau jika bagian dalam tabung berkarat, yang secara signifikan meningkatkan gesekan antara tabung dan sampel tanah. Pada tanah yang keras, tabung baja karbon galvanis lebih disukai karena baja karbon lebih kuat, lebih murah, dan galvanisasi memberikan ketahanan tambahan terhadap korosi.

Untuk pengeboran jembatan lepas pantai, kondisi air asin, atau waktu penyimpanan yang lama, tabung baja tahan karat lebih disukai. Tabung berdinding tipis diproduksi dengan tepi depan miring untuk memotong sampel berdiameter kecil [biasanya diameter dalam 72 mm (2,835 in)] untuk mengurangi gesekan. Pengambil sampel tabung berdinding tipis tidak boleh didorong lebih dari panjang total hingga tutup penghubung kurang dari 75 mm (3 in). Sisa panjang tabung sepanjang 75 mm (3 in) disediakan untuk menampung lumpur yang terkumpul lebih banyak atau lebih sedikit di dasar lubang bor.

Panjang sampel sekitar 600 mm (24 in). Jika tanah dengan kepadatan rendah atau material yang mudah runtuh sedang diambil sampelnya, dorongan yang dikurangi sebesar 300 mm (12 in) hingga 450 mm (18 in) mungkin sesuai untuk mencegah gangguan pada sampel.



Gambar 3. 6 (a) Ukuran dan jenis dari Thin Walled Shelby Tubes. (b) Skema dari Thin-Walled Shelby Tube.

(ASTM D 4700)

Pengambil sampel tabung berdinding tipis harus didorong perlahan dengan satu gerakan terus-menerus menggunakan sistem hidrolik rig pengeboran. Tekanan hidrolik yang diperlukan untuk memajukan pengambil sampel tabung berdinding tipis harus dicatat dan dicatat pada log. Kepala pengambil sampel berisi katup periksa yang memungkinkan air melewati kepala pengambilan sampel ke dalam batang bor. Katup periksa ini harus bebas dari lumpur dan pasir dan harus diperiksa sebelum setiap percobaan pengambilan sampel. Setelah dorongan selesai, pengebor harus menunggu setidaknya sepuluh menit untuk membiarkan sampel membengkak sedikit di dalam tabung, lalu putar rangkaian batang bor melalui dua putaran penuh untuk memotong sampel, lalu perlahan-lahan dan hati-hati bawa sampel ke permukaan. Pada tanah yang keras, sering kali tidak perlu

memutar pengambil sampel.



Gambar 3. 7 Metode Penyegelan Tabung Shelby

(a) Lilin mikrokristalin

(b) Pengemas cincin-O.

Panjang sampel yang diambil harus diukur dan tanah yang diambil diklasifikasikan untuk log. Sekitar 25 mm material di ujung bawah tabung harus dibuang dan potongan ditempatkan dalam toples penyimpanan yang diberi label dengan benar. Kedua ujung tabung kemudian harus disegel dengan lapisan lilin mikrokristalin (tidak menyusut) setebal minimal 25 mm (1 inci) setelah menempatkan cakram plastik untuk melindungi ujung sampel (Gambar 3.7a). Rongga yang tersisa di atas bagian atas sampel harus diisi dengan pasir basah. Tutup ujung plastik kemudian harus ditempatkan di kedua ujung tabung dan pita listrik ditempatkan di atas sambungan antara kerah tutup dan tabung dan di atas lubang sekrup. Ujung tabung yang ditutup kemudian dicelupkan ke dalam lilin cair. Atau, pengemas cincin-O dapat dimasukkan ke ujung sampel dan kemudian disegel (Gambar 3.7b). Cara ini mungkin lebih baik karena lebih bersih dan lebih cepat. Dalam kedua kasus, sampel harus disegel untuk memastikan pengawetan sampel yang tepat. Sampel harus disimpan tegak di lingkungan yang terlindungi untuk mencegah pembekuan,

pengeringan, dan perubahan kadar air (ASTM D 4220).

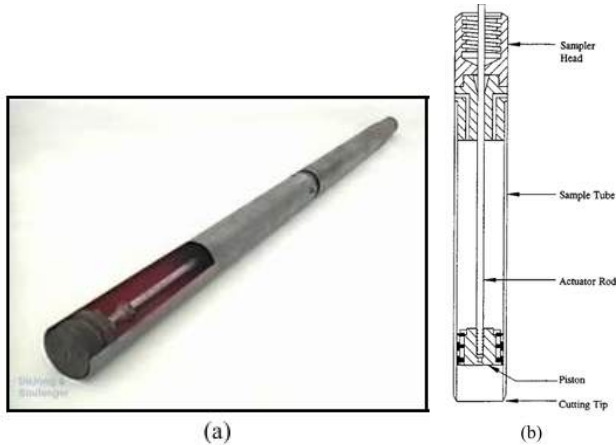
Selanjutnya ditulis di bagian atas tabung dan di tutup ujung atas dituliskan: nomor proyek, nomor lubang, nomor sampel, dan interval kedalaman. Pengawas lapangan juga harus menulis nama proyek dan tanggal pengambilan sampel di tabung. Di dekat ujung atas tabung, kata "atas" dan tanda panah yang menunjuk ke bagian atas sampel harus disertakan. Mencantumkan informasi sampel di tabung dan tutup ujung memudahkan pengambilan tabung dari penyimpanan laboratorium dan membantu mencegah tercampurnya tabung di laboratorium saat beberapa tabung mungkin tutup ujungnya dilepas pada saat yang bersamaan.

Piston Sampler

Pada dasarnya piston sampler adalah pengambil sampel tabung berdinding tipis dengan piston, batang, dan kepala pengambil sampel yang dimodifikasi. Pengambil sampel ini, yang juga dikenal sebagai pengambil sampel Osterberg atau Hvorslev, sangat berguna untuk mengambil sampel tanah lunak di mana pengambilan sampel sering kali sulit dilakukan meskipun dapat juga digunakan di tanah yang keras.

Pengambil sampel, dengan pistonnya yang terletak di dasar tabung pengambilan sampel, diturunkan ke dalam lubang bor. Saat pengambil sampel mencapai dasar lubang, batang piston ditahan tetap relatif terhadap permukaan tanah dan tabung berdinding tipis didorong ke dalam tanah secara perlahan dengan tekanan hidrolik atau dongkrak mekanis. Pengambil sampel tidak pernah digerakkan. Setelah pengambilan sampel selesai, pengambil sampel dikeluarkan dari lubang bor dan vakum antara piston dan bagian atas sampel diputus. Kepala piston dan piston kemudian dikeluarkan dari tabung dan sampel tabung diambil dari bagian

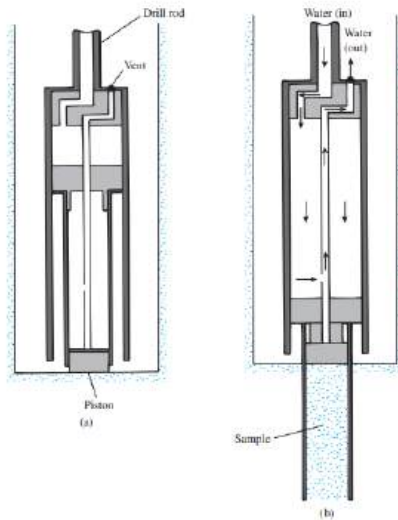
atas dan bawah sampel untuk tujuan identifikasi. Tabung kemudian diberi label dan disegel dengan cara yang sama seperti tabung Shelby yang dijelaskan di bagian sebelumnya.



Gambar 3. 8 Piston Sampler

- (a) Gambar Potongan thin-walled tube yang menunjukkan piston
(b) Skema (menurut ASTM D 4700).

Sampler terdiri dari tabung berdinding tipis dengan piston. Awalnya, piston menutup ujung tabung. Sampler diturunkan ke dasar lubang bor (Gambar 3.9a), dan tabung didorong ke dalam tanah secara hidrolik, melewati piston. Kemudian tekanan dilepaskan melalui lubang di batang piston (Gambar 3.9b). Sebagian besar, keberadaan piston mencegah distorsi dalam sampel dengan tidak membiarkan tanah masuk ke dalam tabung sampel dengan sangat cepat dan dengan tidak memasukkan tanah berlebih. Akibatnya, sampel yang diperoleh dengan cara ini kurang terganggu daripada yang diperoleh dengan tabung Shelby.



Gambar 3. 9 Sampler piston

(a) sampler di dasar lubang bor

(b) tabung didorong ke dalam tanah secara hidrolik.

Kualitas sampel yang diperoleh sangat baik dan kemungkinan untuk memperoleh sampel yang memuaskan tinggi. Salah satu keuntungan utama adalah piston tetap membantu mencegah masuknya tanah berlebih pada awal pengambilan sampel, sehingga mencegah rasio pemulihan lebih besar dari 100 persen. Piston ini juga membantu tanah masuk ke dalam pengambil sampel dengan kecepatan konstan selama pengambilan sampel. Kepala yang digunakan pada pengambil sampel ini juga berfungsi menciptakan vakum yang lebih baik yang membantu menahan sampel lebih baik daripada tabung berdinding tipis (Shelby).

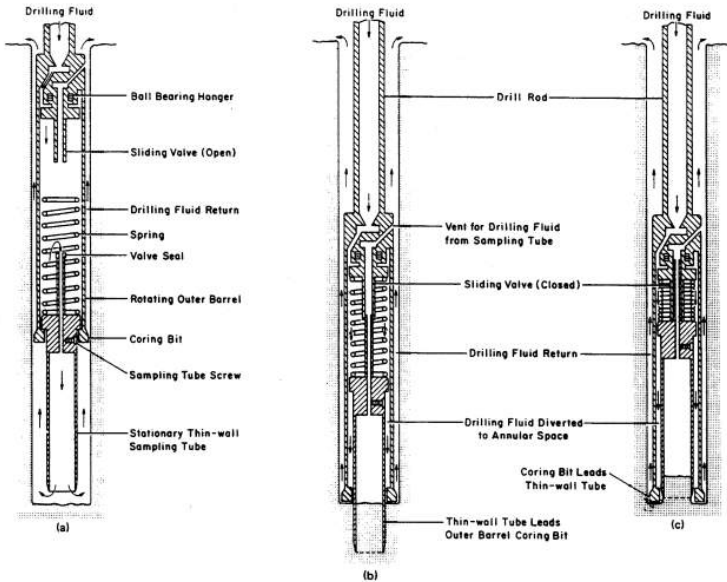
Pitcher Tube Sampler

Pengambil sampel tabung pitcher digunakan pada tanah liat keras hingga keras dan batuan lunak, dan sangat cocok untuk mengambil sampel endapan yang terdiri dari lapisan keras dan lunak secara bergantian.



Gambar 3. 10 Tabung Pitcher untuk Pengambil Sampel Tanah.

Gambar 3.11a. Komponen tabung Pitcher meliputi tabung inti berputar luar dengan mata bor dan tabung pengambilan sampel berdinding tipis, diam, dan berpegas di bagian dalam yang mengarah atau mengikuti mata bor laras luar, tergantung pada kekerasan material yang ditembus.



Gambar 3. 11 Pengambil Sampel Pitcher
(Courtesy of Mobile Drilling, Inc.)

(a) Pengambil Sampel Diturunkan ke Lubang Bor

(b) Pengambil Sampel pada Tanah Lunak

(c) Pengambil Sampel pada Tanah Kaku atau Padat

Setelah lubang bor dibersihkan, sampler diturunkan ke dasar lubang (Gambar 3.11a). Saat sampler mencapai dasar lubang, tabung bagian dalam pertama kali mengalami hambatan dan tabung bagian luar meluncur melewati tabung hingga pegas di bagian atas tabung menyentuh bagian atas tabung bagian luar. Pada saat yang sama, katup geser menutup sehingga cairan pengeboran dipaksa mengalir ke bawah di

ruang melingkar antara tabung dan tabung inti luar lalu ke atas antara sampler dan dinding lubang.

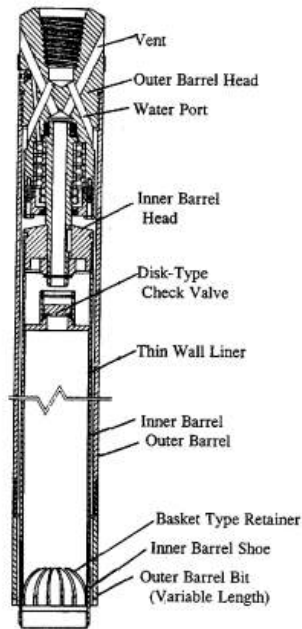
Jika tanah yang akan ditembus lunak, pegas akan sedikit terkompresi (Gambar 3.11b) dan ujung pemotong tabung akan dipaksa masuk ke dalam tanah saat tekanan ke bawah diberikan. Hal ini menyebabkan ujung pemotong mengarah ke mata bor tabung inti luar. Jika materialnya keras, pegas akan terkompresi lebih banyak dan tabung bagian luar melewati tabung sehingga mata bor mengarah ke ujung pemotong tabung (Gambar 3.11c). Jumlah ujung tabung atau laras dikontrol oleh kekerasan bahan yang ditembus. Tabung dapat mengarah ke laras hingga 150 mm (6 in) dan laras dapat mengarah ke tabung hingga 12 mm (0,5 in).

Pengambilan sampel dilakukan dengan memutar tabung luar pada 100 hingga 200 putaran per menit (rpm) sambil memberikan tekanan ke bawah. Pada material lunak, pengambilan sampel pada dasarnya sama dengan pengambilan sampel dengan alat pengambil sampel berdinding tipis dan mata bor hanya berfungsi untuk mengeluarkan material dari sekitar tabung. Pada material keras, tabung luar memotong inti, yang dikikis hingga diameter dalam tabung sampel oleh ujung pemotong dan memasuki tabung saat alat pengambil sampel menembusnya. Dalam kedua kasus, tabung melindungi sampel dari aksi erosi cairan pengeboran di dasar alat pengambil sampel. Tabung pengambilan sampel yang terisi kemudian dikeluarkan dari alat pengambil sampel dan ditandai, diawetkan, dan diangkut dengan cara yang sama seperti yang dijelaskan di atas untuk tabung berdinding tipis.

Denison Sampler

Pengambil sampel Denison mirip dengan pengambil sampel pitcher, kecuali bahwa proyeksi tabung pengambil sampel di depan laras putar luar disesuaikan secara manual sebelum

dimulainya operasi pengambilan sampel, bukan dikendalikan pegas selama penetrasi pengambil sampel.



Gambar 3. 12 Denison Double -Tube Core Barrel Soil Sampler
(Courtesy of Sprague & Henwood, Inc.)

Komponen dasar pengambil sampel (Gambar 3.12) adalah laras inti putar luar dengan mata bor, laras sampel stasioner bagian dalam dengan sepatu pemotong, kepala laras bagian dalam dan luar, pelapis laras bagian dalam, dan penahan inti tipe keranjang opsional. Mata bor inti dapat berupa mata bor sisipan karbida atau mata bor gigi gergaji baja yang dikeraskan. Sepatu laras bagian dalam memiliki ujung pemotong yang tajam. Ujung pemotong dapat dibuat untuk mengarahkan mata bor sejauh 12 mm (0,5 in) hingga 75 mm (3

in) melalui penggunaan mata bor inti dengan panjang yang berbeda. Timbal terpanjang digunakan pada tanah lunak dan gembur karena sepatu dapat dengan mudah menembus material ini dan penetrasi yang lebih panjang diperlukan untuk memberikan perlindungan maksimal pada inti tanah terhadap erosi oleh cairan pengeboran yang digunakan dalam pengambilan inti. Timbal minimum digunakan pada material keras atau tanah yang mengandung kerikil. Pengambil sampel Denison digunakan terutama pada tanah kohesif yang kaku hingga keras dan pada pasir, yang tidak mudah diambil sampelnya dengan pengambil sampel berdinding tipis karena gaya dongkrak yang besar diperlukan untuk penetrasi. Sampel pasir bersih dapat diambil dengan menggunakan lumpur pengebor, katup vakum, dan keranjang penangkap. Pengambil sampel juga cocok untuk mengambil sampel tanah liat lunak dan lanau.

Modified California Sampler

Modified California Sampler adalah pengambil sampel tabung berlapis besar yang digunakan di Midwest dan Barat, tetapi jarang ditemukan di Amerika Serikat bagian Timur dan Selatan. Pengambil sampel berdinding tebal (rasio area 77 persen) dengan diameter luar 64 mm (2,5 in) dan diameter dalam 51 mm (2 in). Pengambil sampel ini memiliki sepatu pemotong yang mirip dengan pengambil sampel laras terpisah, tetapi dengan diameter dalam umumnya 49 mm (1,93 in). Empat pelapis kuningan sepanjang 102 mm (4,0 in) dengan diameter dalam 49 mm (1,93 in) digunakan untuk menampung sampel. Di Barat, pengambil sampel California yang dimodifikasi digerakkan dengan energi penetrasi standar. Jumlah pukulan yang tidak disesuaikan dicatat pada log pengeboran. Di Midwest, pengambil sampel umumnya didorong secara hidrolik. Saat didorong, tekanan hidrolik yang diperlukan untuk memajukan pengambil sampel California

yang dimodifikasi harus dicatat dan dicatat pada log. Hambatan penggerak yang diperoleh menggunakan sampler California yang dimodifikasi tidak sama dengan hambatan uji penetrasi standar dan harus disesuaikan jika perbandingan diperlukan.

Continuous Soil Samplers

Continuous soil sampler konvensional terdiri dari tabung berdinding tebal sepanjang 1,5 m (5 kaki) yang mengambil sampel tanah "kontinu" saat auger berbatang berongga dimajukan ke formasi tanah. Sistem ini menggunakan bantalan atau batang heksagonal tetap untuk menahan atau mengurangi putaran pengambil sampel kontinu saat auger berbatang berongga dimajukan dan tabung didorong ke tanah yang tidak terganggu di bawah auger. Pengambil sampel ini memiliki diameter dalam mulai dari 15 mm (0,6 inci) hingga 38,1 mm (1,5 inci). Sebuah mandrel baja didorong ke dalam tanah dengan kecepatan tetap dan tanah diambil di dalam lapisan plastik sekali pakai. Perangkat ini biasanya berdiri sendiri dan tidak memerlukan pengeboran apa pun. Jika lapisan keras ditemukan, prosedur getaran perkusi digunakan untuk penetrasi.

Sampel kontinu umumnya terganggu dan hanya sesuai untuk pengamatan visual, uji indeks, dan uji laboratorium tipe klasifikasi (kelembapan, kepadatan). Pengambil sampel kontinu telah terbukti bekerja dengan baik di sebagian besar tanah liat dan di tanah dengan lapisan pasir tipis. Biasanya kurang cocok digunakan untuk mengambil sampel tanah tanpa kohesi / granular di bawah permukaan air tanah, tanah lunak, atau sampel yang mengembang setelah pengambilan sampel meskipun modifikasi tersedia untuk meningkatkan pemulihan sampel. Untuk uji kekuatan dan konsolidasi harus digunakan dengan hati-hati.

3.6.3 Metode penanganan contoh tanah (sampel)

3.6.3.1 Penanganan sampel tanah tidak terganggu (undisturbed)

Setiap tahapan kegiatan pengambilan, pengeluaran, penyimpanan dan pengujian contoh akan menimbulkan berbagai tingkat gangguan pada contoh tanah. Untuk itu diperlukan metode pengambilan, penanganan, dan penyimpanan contoh yang baik untuk mengurangi gangguan tersebut. Gangguan yang terjadi selama tahapan pengambilan sampai pengujian contoh, harus disadari dan diketahui oleh tenaga ahli geoteknik. Supervisor lapangan harus peka terhadap adanya gangguan dan konsekuensinya (ASTM D 4220 Practices for Preserving and Transporting Soil Samples).

Hal-hal yang harus dilakukan dalam perawatan dan pemeliharaan contoh adalah sebagai berikut :

- a) Jika diperoleh beberapa contoh tabung, maka setiap tabung harus diperiksa untuk memastikan bahwa tabung tidak bengkok, ujung-ujung potongan tidak rusak, dan bagian dalam tabung tidak berkarat. Jika dinding tabung berkarat atau tidak teratur atau contoh telah disimpan lama dalam tabung, maka diperlukan tenaga untuk mengeluarkan contoh yang kadang-kadang melebihi kuat geser contoh tanah sehingga akan menimbulkan tambahan gangguan pada contoh.
- b) Semua contoh harus terlindungi terhadap perbedaan temperatur yang besar, dijaga terhadap sinar matahari langsung dan ditutup dengan kain lap basah atau bahan lain. Pada musim dingin contoh harus dicegah terhadap terjadinya pembekuan selama penanganan, pengapalan dan penyimpanan.
- c) Secara praktis tabung contoh dinding tipis harus dijaga berdiri vertikal dengan bagian atas contoh berada di

atas. Jika memungkinkan, maka tabung dinding tipis harus disimpan dalam alat pengangkut tersendiri. Alas atau bantalan harus ditempatkan di bawah dan di antara tabung untuk melindungi dan menghindari tabrakan antar tabung. Seluruh pengangkutan harus diamankan dengan tali atau kabel ke badan kendaraan angkutan.

3.6.3.2 Penanganan sampel tanah terganggu (disturbed)

Penanganan sampel tanah terganggu adalah proses penting untuk memastikan bahwa sampel tetap representatif dan tidak mengalami perubahan signifikan yang dapat mempengaruhi hasil analisis. Gunakan alat bor tangan, sekop, atau alat lainnya untuk mengambil sampel tanah terganggu. Pastikan untuk mengambil volume sampel yang cukup untuk semua pengujian yang direncanakan. Hindari kontaminasi dari permukaan atau lapisan tanah lain selama pengambilan.

a) Penyimpanan Sementara

Segera setelah pengambilan, masukkan sampel tanah ke dalam kantong plastik atau wadah yang bersih dan kedap udara. Labeli setiap kantong atau wadah dengan informasi penting seperti lokasi pengambilan, kedalaman, tanggal, dan waktu pengambilan sampel.

b) Segel dan Penyimpanan

Segel kantong atau wadah dengan rapat untuk mencegah perubahan kadar air dan kontaminasi.

Simpan sampel di tempat yang sejuk dan teduh untuk menghindari penguapan air yang berlebihan dan perubahan suhu yang ekstrem. Pastikan setiap wadah atau kantong dilabeli dengan benar dan memiliki dokumentasi yang menyertakan rincian sampel. Saat sampel tiba di laboratorium, periksa kondisi kemasan dan catat kondisi sampel. Simpan sampel di ruang penyimpanan yang sejuk dan terkontrol suhunya hingga pengujian dimulai.

3.6.3.3 Inspeksi visual dan profil tanah awal

Contoh tanah dan galian uji (test pit) harus diinspeksi secara visual dan dibandingkan dengan data bor sehingga profil tanah awal dapat diperoleh. Untuk contoh tanah, inspeksi visual harus didukung oleh uji manual sederhana untuk identifikasi tanah dan memberi informasi awal tentang konsistensi dan sifat mekanik. Jika terdapat perbedaan yang jelas dan signifikan pada sifat antara bagian yang berbeda dari satu strata, profil tanah awal harus dibagi lagi menjadi dua lapisan. Bila memungkinkan, kualitas contoh tanah harus dinilai sebelum uji laboratorium dilaksanakan. Kelas tentang kualitas contoh tanah didefinisikan dalam Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Kelas kualitas contoh tanah untuk uji laboratorium dan kategori pengambilan contoh tanah.

Sifat Tanah / Kelas Kualitas	1	2	3	4	5
Sifat tanah yang tidak dapat berubah					
Ukuran butiran	*	*	*	*	
Kadar air	*	*	*		
Kepadatan, indeks kepadatan, permeabilitas	*	*			
Kompresibilitas, kuat geser	*				
Sifat tanah yang dapat ditentukan					
Urutan lapisan	*	*	*	*	*
Batasan lapisan tanah – yang kasar	*	*	*	*	
Batasan lapisan tanah – yang halus	*	*			
Batas Atterberg, kepadatan butir, kandungan organik	*	*	*	*	
Kandungan air	*	*	*		
Kepadatan, indeks kepadatan, porositas, permeabilitas	*	*			
Kompresibilitas, kuat geser	*				
Kategori pengambilan contoh tanah	A				
				B	
					C

3.7 Persyaratan jumlah minimum benda uji yang disarankan

Jumlah pengujian laboratorium harus mengikuti persyaratan berikut:

- a. Jumlah benda uji harus ditetapkan berdasarkan homogenitas tanah, kualitas dan jumlah pengalaman pada tanah tersebut dan kategori permasalahan geoteknik.
- b. Benda uji tambahan harus disediakan, bila memungkinkan, untuk mengakomodir tanah bermasalah, benda uji yang rusak dan faktor-faktor lain.
- c. Jumlah minimum benda uji harus diselidiki tergantung pada jenis ujinya seperti yang direkomendasikan pada Tabel 3.4.
- d. Jumlah minimum uji laboratorium dapat dikurangi jika perancangan geoteknik tidak butuh optimisasi dan menggunakan parameter tanah yang konservatif, atau jika sudah memiliki pengalaman atau informasi setempat yang cukup.

Tabel 3. 4 Persyaratan jumlah minimum benda uji yang disarankan.

Deskripsi	Satuan	Pengalaman Sejenis		
		1	2	3
A. Sifat Indeks atau Klasifikasi				
1. Distribusi ukuran butir	Tes	4-6	3-5	2-4
2. Kadar air	Tes	Semua contoh tanah kualitas kelas 1 s.d 3		
3. Indeks kekuatan (engineering properties)	Tes	Semua contoh tanah kualitas kelas 1		

4. Batas Atterberg	Tes	3-5	2-4	1-3
5. Kandungan organik	Tes	3-5	2-4	1-3
6. Berat Volume	Tes			
- untuk nilai ≥ 20 kN/m ³		4	3	2
- untuk nilai ≤ 20 kN/m ³		3	2	1
7. Indeks kepadatan (kepadatan relatif)	Tes	Secukupnya (ditentukan oleh Ahli Geoteknik yang bertanggungjawab)		
8. Berat jenis	Tes	2	1	1
B. Sifat Mekanikal				
1. Uji Triaksial untuk kuat geser efektif Untuk variasi amplop kekuatan dengan koefisien regresi "r"	Set			
(3 benda uji pada tekanan berbeda)		4	3	2
- $r \leq 0.95$		3	2	1
- $0.95 < r < 0.98$		2	1	1
- $r \geq 0.98$				
2. Uji Triaksial untuk kuat geser tak alir untuk variasi kuat geser tak alir pada tegangan konsolidasi yang sama	Set			
(3 benda uji pada tekanan berbeda)		6	4	3
- Rasio nilai maks / min > 2		4	3	2
- $1.25 < \text{Rasio nilai maks / min} \leq 2$		3	2	1
- Rasio nilai maks / min ≤ 1.25				
3. Uji Geser langsung untuk variasi amplop kekuatan dengan koefisien regresi "r"	Set			
(3 benda uji pada tekanan berbeda)		4	3	2
- $r \leq 0.95$ set		3	2	1
- $0.95 < r < 0.98$		2	2	1
- $r \geq 0.98$				
4. Uji Konsolidasi Untuk variasi Modulus Oedometer (E_{oed}) pada rentang tekanan yang relevan				
- Rentang nilai $E_{oed} \geq 50\%$	Tes	4	3	2
- $\approx 20\% < \text{Rentang nilai } E_{oed} <$	Tes	3	2	2

≈50% - Rentang nilai Eoed < ≈20%	Tes	2	2	1
C.Sifat Hidrolis				
1. Uji Permeabilitas Untuk variasi koefisien permeabilitas (k) - Rasio nilai maks / min > 100 - 10 < Rasio nilai maks / min ≤ 100 - Rasio nilai maks / min ≤ 10	Tes Tes Tes	5 5 3	4 3 2	3 2 1
D. Sifat Kimia				
1. Kandungan Karbonat 2. Kandungan Sulfat 3. pH tes 4. Kandungan Klorit	Tes Tes Tes Tes	Secukupnya (ditentukan oleh Ahli Geoteknik yang bertanggungjawab)		
E. Lain-lain 1 Dispersibilitas tanah 2 Uji kembang tanah	Tes Tes	Secukupnya (ditentukan oleh Ahli Geoteknik yang bertanggungjawab)		

3.8 Teknik Pengambilan Sampel Tanah dengan Boring

3.8.1 Uji Bor Tangan (Hand Boring Test)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui atau mendiskripsikan susunan lapisan tanah. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini adalah sampel tanah terganggu (*disturbed*) dan sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed*). Standard untuk pengujian ini adalah SNI 03-2436-2008 dan ASTM D 1452.

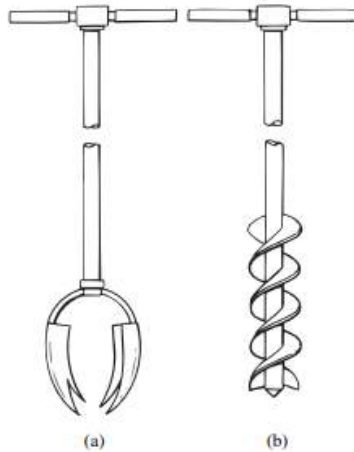
Alat ini digunakan untuk mendapatkan informasi geoteknik dangkal dari lapangan yang sulit dimasuki dengan kendaraan beroda empat.

- a) Bersihkan permukaan tanah dari rumput atau humus tanah
- b) Sambungkan mata bor dengan stang pemutar dan mulai pengeboran
- c) Lakukan pengangkatan setelah dirasa mata bor penuh kurang lebih 10-15 cm dan tanah dalam mata bor dimasukan kedalam plastic sebagai sampel tanah terganggu (*disturbed*)
- d) Catat kedalaman dan diskripsikan tanah secara visual
- e) Lakukan pengerjaan ini berulang sampai bertemu dengan muka air tanah
- f) Setelah itu lakukan pengambilan sampel tanah asli menggunakan tabung (*undisturbed*)
- g) Untuk cara ini dipergunakan tabung contoh dengan ukuran 6,8 cm dan panjang 40 cm.
- h) Tabung contoh dimasukkan lubang bor dan kemudian ditekan perlahan-lahan sampai mencapai kedalaman 40 cm.
- i) Untuk memudahkan pemeriksaan di laboratorium, minimal 50% dari tabung harus terisi tanah.
- j) Stang bor kemudian diputar dengan arah terbalik sehingga contoh tanah terlepas dari kelilingnya dan contoh dapat diangkat ke atas.
- k) Setelah tabung contoh diangkat keluar, dilepas dari kepala tabung, ujung tanah diratakan dan dibersihkan kemudian diberi lilin / paraffin pada ujung-ujung sebagai isolator.
- l) Setelah lilin / paraffin mengering contoh diberi label dan ditempatkan pada tempat yang terlindung.

Keuntungan pengujian ini adalah mudah dilaksanakan, sederhana dan ekonomis, tidak memerlukan peralatan berat atau mesin, sehingga cocok untuk situasi lapangan yang terbatas, biaya rendah karena tidak memerlukan bahan bakar atau perawatan mesin yang mahal. Adapun kekurangan dari pengujian ini adalah kedalaman tanah yang dibor terbatas yaitu kapasitas Terbatas (pengambilan sampel tanah dangkal atau dalam lubang bor dengan diameter kecil), tidak cocok untuk pekerjaan dalam skala besar atau dalam, proses bor tangan lebih lambat dan memerlukan lebih banyak tenaga manusia, sehingga kurang efisien dalam hal waktu dan usaha.



Gambar 3. 14 Pengambilan contoh tanah dengan bor tangan.



Gambar 3.14 Jenis mata bor untuk penyelidikan tanah dangkal.

- a) Gambar (a) : bor tabung (posthole auger) digunakan untuk mengambil sampel tanah yang lebih lembek atau lunak. Alat ini bekerja dengan menangkap tanah di dalam tabung saat diputar ke dalam tanah.
- b) Gambar (b): Ini adalah bor spiral (helical auger) digunakan untuk pengeboran tanah dengan konsistensi yang lebih keras. Alat ini bekerja dengan menggali tanah menggunakan ulir spiral yang melilit di sekitar batang bor.

3.8.2 Uji Bor Mesin

Mesin boring adalah alat yang digunakan untuk menggali lubang bor dalam tanah atau batuan dengan menggunakan tenaga mesin. Pengujian ini sama dengan pengujian bor tangan. Perbedaannya terletak pada proses pengeboran dan pengambilan sampel tanah. Proses pengeboran nya pada

pengujian ini menggunakan mesin dan proses pengambilan sampel menggunakan tumbukan dengan hammer yang terjun bebas. Hasil yang diperoleh dari pengujian ini adalah sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed*) dan nilai N-SPT. Standar untuk pengujian ini adalah SNI 4153:2008 dan ASTM D1586-67.

Keuntungan dari pengujian ini adalah bisa melakukan pengeboran hingga kedalaman yang diinginkan dan mendapatkan data klasifikasi tanah setiap lapisan yang lebih akurat. Kekurangan dari pengujian ini adalah membutuhkan tenaga yang banyak karena peralatan yang digunakan memiliki ukuran yang besar dan berat.

1. Peralatan

Alat yang digunakan untuk bor mesin, terdiri dari : mesin pompa, casing, mata bor (lengkap dengan core single/core barel), kepala tabung, kepala penumbuk, tabung sample, split spoon, Hammer berat 63.5 kg, Otomatic Hammer, Batang/pipa bor, kunci-kunci, selang air, parafin dan perlengkapan serta bahan lainnya.

2. Langkah Kerja

Untuk uji bor mesin biasanya dilakukan bersamaan dengan uji SPT (Standard Penetration Test)

a. Persiapan

1. Pasang Blok penahan pada pipa bor
2. Beri tanda pada ketinggian sekitar 75 cm pada pipa bor yang berada di atas penahan
3. Bersihkan lubang bor pada kedalaman yang akan dilakukan pengujian dari bekas-bekas pengeboran
4. Pasang split barrel sampler pada pipa bor, dan pada ujung lainnya disambungkan dengan pipa bor yang telah di pasangi blok penahan

5. Masukkan peralatan uji SPT ke dalam dasar lubang bor atau sampai kedalaman pengujian yang diiinginkan
6. Beri tanda pada batang bor mulai dari muka tanag sampai pada ketinggian 15 cm, 30 cm dan 45 cm

b. Prosedur Pengujian

1. Lakukan pengujian pad setiap perubahan lapisan tanah atau pada interval sekitar 1.5 m s/d 2m
2. Tarik talipengikat palu (hammer) sampai pada tanda yang telah dibuat sebelumnya
3. Lepaskan tali sehingga palu jatuh bebas menimpa penahan
4. Ulangi 2 dan 3 berkali kali sampai penetrai sedalam 15 cm
5. Hitung jumlah pukuran atau tumbukan penetraasi 15 cm yang pertama,
6. Ulangi 2 ,3, 4 dan 5 sampai pada penetrasi 15 cm yang kedua dan ketiga
7. Catat jumlah pukulan N setiap penetrasi 15 cm
8. 15 cm pertama dicatat N ; 15 cm ke dua N2; 15 cm ke tiga N3; Bila nilai N lebih besar daripada 50 pukulan, hentikan pengujian dan tambah pengujian minimum 6 m
9. Catat jumlah pulukan pada setiap penetrasi 5 cm untuk jenis tanah batuan

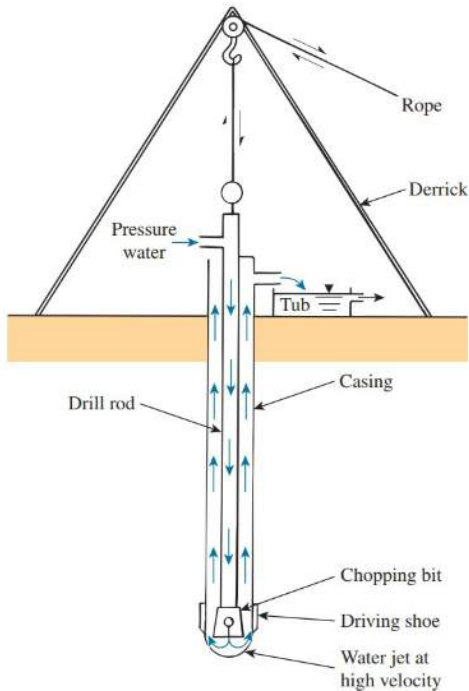
Di dalam pekerjaan pengeboran dilaksanakan juga pengambilan contoh tanah asli (undisturbed sample) maupun contoh tanah terganggu (disturbed sample). Tujuan pengambilan contoh tanah asli adalah untuk pemeriksaan di laboratorium mekanika tanah agar memperoleh sifat-sifat fisik

dan teknis dari tanah. Pengambilan contoh tanah terganggu (disturbed sample) dilaksanakan setiap interval 0.50 m atau pada setiap perubahan lapisan tanah. Pengambilan contoh tanah terganggu ini dimasukkan untuk penentuan jenis tanah. Hasilnya disajikan dan bentuk boring log.

3.8.3 Metode Pengeboran

1. Bor Basah (Wash Boring)

Pemboran basah dilakukan dengan cara kombinasi pemotongan dan jetting air ke dalam tanah. Hasil pemotongan tanah diangkat ke atas dengan aliran air bertekanan melalui casing. Cara ini tidak dapat digunakan untuk mengambil sampel dan fungsi utamanya adalah hanya untuk pemboran. Untuk pengambilan sampel, alat pemotong (chopping bit) dinaikkan ke atas dan diganti dengan tabung contoh tanah. Jenis tanah diidentifikasi secara visual dari material yang terbawa oleh air pencuci. Pemboran basah dapat dilakukan dengan atau tanpa casing. Casing digunakan bila dijumpai tanah pasiran karena umumnya runtuh ke dalam lubang bor tanpa adanya casing.



Gambar 3. 15 Pengeboran tanah dengan metode wash
<https://civilhex.com/soil-boring-different-methods-of-soil-boring/#types-of-soil-boring>.

2. Pemboran Perkusi (Percussion Drilling)

Metode ini mengandalkan palu atau gerakan perkusi untuk memecah dan menghancurkan batuan atau material tanah. Beban berat atau palu berulang kali diangkat dan dijatuhkan ke mata bor, yang menyalurkan energi tumbukan ke permukaan batuan, menyebabkannya retak dan terfragmentasi. Puing-puing kemudian dikeluarkan dari dasar lubang, sering kali menggunakan udara bertekanan atau air. Pengeboran perkusi dapat dilakukan menggunakan metode top-hammer (di mana

gerakan palu terjadi di permukaan dan disalurkan ke bawah tali) atau metode down-the-hole (DTH) (di mana gerakan palu terjadi langsung pada mata bor, di dasar lubang).

Keunggulan metode ini adalah :

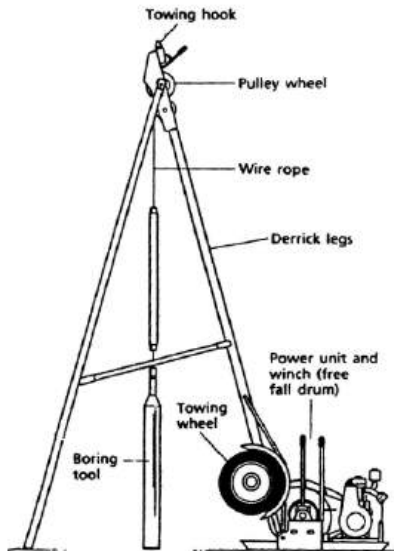
- Pengeboran perkusi sangat efektif dalam menembus formasi batuan keras tempat bor putar mungkin kesulitan.
- Peralatan yang digunakan untuk pengeboran perkusi umumnya lebih sederhana, lebih kuat, dan lebih toleran terhadap kondisi abrasif, sehingga berpotensi menurunkan biaya perawatan.
- Metode ini biasanya memerlukan lebih sedikit air daripada pengeboran putar, yang menguntungkan di daerah-daerah dengan keterbatasan air.

Kekurangan metode ini adalah :

- Pengeboran perkusi biasanya berlangsung lebih lambat daripada pengeboran putar, khususnya pada material yang lebih lunak atau untuk lubang bor yang dalam.
- Metode ini menghasilkan kebisingan dan getaran yang signifikan, yang dapat menjadi kerugian di daerah padat penduduk atau tempat gangguan tersebut harus diminimalkan.
- Proses pengeboran dapat kurang presisi daripada pengeboran putar, yang menyebabkan lebih banyak penyimpangan dalam arah lubang bor dan dinding lubang bor yang berpotensi lebih kasar.
- Tindakan pengeboran perkusi dapat lebih mengganggu sampel geologis daripada pengeboran putar, yang berpotensi mempersulit analisis.

Pengeboran perkusi sangat efektif dalam formasi batuan

keras yang sulit ditembus menggunakan metode putar. Metode ini umumnya digunakan dalam eksplorasi mineral, penggalian, dan proyek konstruksi, serta untuk sumur dangkal dan lubang peledakan. Gambar 3.16 menunjukkan metode pengeboran dengan menggunakan percussion drilling.



Gambar 3. 16 Pengeboran dengan metode Percussion Drilling.

3. Rotary Drilling

Rotary drilling merupakan salah satu prosedur yang menggunakan metode drilling bit yang secara cepat berotasi yang disambungkan pada bagian bawah drilling rod dan kemudian memotong dan menggerus tanah hingga membentuk boreholes. Ada beberapa tipe dari drilling bit sendiri. Rotary drilling biasanya digunakan untuk tanah yang tersusun atas pasir, lempung dan batu. Air atau drilling mud ditekan kebawah melewati drilling rod hingga menuju ke bit,

dan kembali lagi ke atas dengan membawa hasil cutting ke permukaan. Boreholes dengan diameter antara 50 hingga 203 mm bisa dengan mudah menggunakan teknik jenis ini. Drilling mud tersusun atas air dan bentonite. Umumnya, digunakan ketika tanah mulai melakukan kontraksi seperti akan terjadi keruntuhan. Ketika sampel tanah dibutuhkan, drilling rod dinaikan dan drilling bit digantikan digunakan sebagai sampler.

Metoda pemboran dengan cara kering (rotary drilling atau dry coring) dilakukan tanpa air, dengan menggunakan rotasi pada mata bor (drill-bit) bersamaan dengan penekanan untuk membuat lubang bor. Pelaksanaan pemboran dengan cara ini memerlukan waktu yang lebih lama daripada menggunakan metode bor basah. Bor kering memiliki keuntungan karena dengan metoda ini contoh tanah dapat disimpan pada core-box dan diidentifikasi secara visual. Disamping itu cara ini umumnya dapat digunakan pada jenis tanah apapun dan dapat untuk membor batuan.

3.9 Test Pit

Uji test pit adalah salah satu metode investigasi tanah yang dilakukan dengan cara menggali lubang atau pit di lokasi yang akan digunakan untuk konstruksi atau proyek teknik sipil. Uji ini bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang kondisi tanah secara langsung di lapangan, termasuk karakteristik fisik tanah, lapisan-lapisan tanah, dan adanya potensi masalah geoteknik, seperti air tanah atau batuan keras. Biasanya, lubang yang digali dalam uji test pit berkisar antara 1,5 hingga 6 meter tergantung kebutuhan investigasi dan kondisi lapangan.

Secara umum tujuan dilakukan test pit adalah untuk mengidentifikasi berbagai lapisan tanah di bawah permukaan, seperti tanah lempung, pasir, kerikil, atau batuan, dan kedalaman serta ketebalan masing-masing lapisan;

pengambilan sampel tanah dari kedalaman yang berbeda untuk diuji lebih lanjut di laboratorium; mengamati kondisi air tanah; mengidentifikasi struktur tanah dan batuan.

3.9.1 Proses Pelaksanaan Uji Test Pit

1. Penggalian

Sebuah lubang digali secara manual menggunakan alat seperti cangkul atau sekop, atau dengan peralatan mekanis seperti ekskavator, tergantung ukuran dan kedalaman yang dibutuhkan.

2. Pemeriksaan Visual

Setelah penggalian, kondisi tanah dan lapisan-lapisan yang terlihat diamati secara langsung. Pengamatan visual ini bisa memberikan banyak informasi awal mengenai jenis tanah dan kondisi geoteknik di lokasi tersebut.

3. Pengambilan Sampel

Sampel tanah diambil dari setiap lapisan untuk kemudian diuji lebih lanjut di laboratorium. Sampel ini diambil dengan hati-hati untuk mempertahankan integritas sifat-sifat asli tanah.

4. Dokumentasi

Selama proses penggalian, hasil observasi dan pengukuran, seperti kedalaman tiap lapisan dan kehadiran air tanah, didokumentasikan. Foto dan sketsa juga sering digunakan untuk mendokumentasikan kondisi lapangan.

3.9.2 Kelebihan dan Kekurangan Uji Test Pit

Kelebihan uji tes pit adalah memungkinkan pemeriksaan visual langsung terhadap kondisi tanah tanpa memerlukan interpretasi alat; sampel tanah diambil secara langsung dari kedalaman yang diinginkan, sehingga representasi tanah yang diuji lebih akurat; Jika dilakukan pada kedalaman yang tidak terlalu besar, uji test pit relatif murah dibandingkan metode

pengeboran.

Kekurangan uji test pit adalah metode ini biasanya terbatas hingga kedalaman sekitar 6 meter, tergantung kemampuan alat yang digunakan untuk penggalian; uji ini bisa membutuhkan waktu dan memerlukan tenaga lebih jika tanah yang digali keras atau mengandung banyak batu; Untuk investigasi lapisan yang lebih dalam, diperlukan metode lain seperti pengeboran geoteknik atau pengeboran eksplorasi.

Secara keseluruhan, uji test pit adalah metode yang sangat berguna untuk investigasi awal di lokasi proyek yang membutuhkan informasi jenis dan karakteristik tanah. Gambar 3.17 dan 3.18 menunjukkan pengujian dengan menggunakan tes pit.



Gambar 3. 17 Profil tanah dengan karakteristik morfologi seragam.



Gambar 3. 18 Foto profil tanah biasanya diambil setelah lapisan diidentifikasi.

3.10 Umpan Balik

3.10.1 Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan benar !

Soal 1.

Jelaskan perbedaan antara teknik disturbed sampling dan undisturbed sampling dalam pengambilan sampel tanah. Berikan contoh metode yang digunakan untuk masing-masing teknik tersebut dan kapan masing-masing teknik sebaiknya digunakan dalam proyek konstruksi.

Soal 2.

Mengapa teknik sampling tanah perlu dilakukan sebelum

memulai proyek konstruksi? Jelaskan minimal empat alasan yang mendasari pentingnya pengambilan sampel tanah untuk perencanaan dan pelaksanaan proyek.

Soal 3.

Sebutkan dan jelaskan tiga metode yang digunakan dalam teknik undisturbed sampling. Apa tujuan utama dari teknik ini, dan mengapa menjaga keutuhan sampel tanah penting dalam uji laboratorium?

Soal 4.

Bagaimana hasil dari pengujian sampel tanah dapat mempengaruhi desain pondasi pada suatu proyek konstruksi? Jelaskan bagaimana informasi mengenai daya dukung tanah dan stabilitas tanah dari hasil sampling digunakan dalam merancang pondasi yang tepat.

Soal 5.

Apa saja potensi masalah geoteknik yang dapat diidentifikasi melalui teknik sampling tanah? Jelaskan bagaimana masalah-masalah tersebut bisa mempengaruhi keberhasilan proyek konstruksi jika tidak diidentifikasi dan diatasi dengan benar.

Soal 6.

Jelaskan langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam proses sampling tanah di lokasi proyek konstruksi. Sertakan tahapan mulai dari perencanaan hingga analisis hasil pengujian sampel tanah.

Soal 7.

Apa peran uji laboratorium terhadap sampel tanah yang diambil dari lapangan? Sebutkan beberapa jenis uji yang umum dilakukan pada sampel tanah dan jelaskan apa yang diukur dalam masing-masing uji tersebut.

3.10.2 Tugas dan Diskusi kelompok

Studi Kasus 1.

Sebuah perusahaan konstruksi berencana membangun gedung bertingkat 10 di kawasan perkotaan. Sebelum memulai proyek, perusahaan tersebut mengirim tim geoteknik untuk melakukan penyelidikan tanah di lokasi. Tim tersebut mendapati bahwa area tersebut memiliki lapisan tanah yang beragam, dengan tanah lempung di bagian atas dan pasir pada kedalaman tertentu.

Pertanyaan:

- Berdasarkan kondisi tanah yang beragam tersebut, teknik sampling tanah apa yang sebaiknya digunakan? Jelaskan metode yang tepat untuk mendapatkan sampel tanah terganggu dan tak terganggu di lokasi ini.
- Sampel tanah apa yang sebaiknya diambil dari lapisan lempung dan lapisan pasir? Mengapa pengambilan sampel dari kedua jenis tanah ini penting dalam perencanaan proyek?
- Setelah dilakukan sampling, hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa tanah lempung memiliki kadar air yang tinggi dan potensi untuk mengembang ketika basah. Apa dampak dari kondisi ini terhadap desain pondasi gedung? Apa jenis pondasi yang disarankan untuk digunakan pada kondisi tanah seperti ini?

Studi Kasus 2.

Pada suatu proyek pembangunan jembatan di atas tanah yang berada dekat dengan sungai, tim teknis menemukan bahwa tanah di lokasi proyek memiliki lapisan tanah berpasir yang longgar di bawah lapisan tanah permukaan. Mereka khawatir kondisi ini dapat menyebabkan penurunan tanah yang signifikan ketika jembatan dibangun.

Pertanyaan:

- Jelaskan jenis teknik sampling tanah yang harus dilakukan untuk mengidentifikasi secara akurat kondisi tanah di bawah permukaan, terutama tanah berpasir yang longgar tersebut.
- Uji apa yang sebaiknya dilakukan di laboratorium terhadap sampel tanah berpasir untuk mengevaluasi risiko penurunan tanah (settlement) dan likuefaksi? Berikan penjelasan singkat tentang bagaimana hasil uji tersebut dapat membantu menentukan langkah-langkah mitigasi.
- Jika ditemukan bahwa tanah berpasir longgar memiliki risiko likuefaksi tinggi, metode perbaikan tanah apa yang dapat dilakukan untuk meningkatkan stabilitas tanah di bawah jembatan? Jelaskan pilihan metode yang paling sesuai.

Studi Kasus 3.

Sebuah perusahaan tambang berencana membangun fasilitas pengolahan di atas tanah berbatu di lereng bukit. Namun, beberapa area di lokasi tersebut memiliki lereng curam dan terdapat potensi longsor. Tim geoteknik diminta untuk melakukan penyelidikan lebih lanjut sebelum proyek dimulai.

Pertanyaan:

- Teknik sampling tanah apa yang paling tepat digunakan di lokasi lereng berbatu ini? Bagaimana teknik sampling tersebut dapat membantu dalam memahami stabilitas lereng?
- Setelah pengambilan sampel, uji geser langsung (direct shear test) dilakukan pada sampel tanah berbatu yang diambil dari lereng. Apa yang dapat diukur dari uji ini, dan bagaimana hasilnya digunakan untuk menilai risiko

longsor?

- Jika risiko longsor tinggi terdeteksi, apa rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan untuk menjaga stabilitas lereng sebelum konstruksi dimulai?

Studi Kasus 4.

Pada proyek pembangunan perumahan, tim konstruksi menemukan bahwa tanah di lokasi memiliki karakteristik sangat lembek di kedalaman 3-5 meter. Sampel tanah yang diambil dari kedalaman ini menunjukkan kadar air yang sangat tinggi dan konsistensi yang rendah.

Pertanyaan:

- Teknik sampling apa yang paling tepat digunakan untuk mengambil sampel tanah yang sangat lembek ini? Mengapa teknik ini dipilih?
- Berdasarkan kondisi tanah yang sangat lembek, apa masalah utama yang mungkin terjadi jika konstruksi langsung dilakukan tanpa tindakan perbaikan tanah? Jelaskan bagaimana masalah ini dapat mempengaruhi stabilitas bangunan.
- Sebutkan dua metode perbaikan tanah yang dapat diterapkan pada kondisi tanah lembek ini sebelum konstruksi dimulai, dan jelaskan prinsip kerja masing-masing metode.

3.11 Rangkuman

Teknik sampling tanah adalah proses pengambilan sampel tanah dari lokasi proyek untuk dianalisis dan menentukan karakteristik tanah. Informasi yang diperoleh dari sampel tanah sangat penting dalam merancang pondasi dan struktur bangunan yang sesuai dengan kondisi geoteknik. Teknik

sampling tanah dapat dilakukan dengan disturbed sampling (sampel terganggu) dan undisturbed sampling (sampel tidak terganggu) atau dengan menggunakan block sampling. Dengan teknik sampling yang tepat, informasi yang akurat dapat diperoleh untuk memastikan perencanaan dan pelaksanaan konstruksi berjalan lancar dan aman.

BAB 4

PENYELIDIKAN TANAH DI LAPANGAN

4.1 Capaian Pembelajaran

Capaian pembelajaran pada Bab 4 adalah kemampuan mahasiswa untuk mengembangkan dan melakukan eksperimen yang tepat, menganalisis dan menafsirkan data, serta menggunakan penilaian teknik untuk menarik kesimpulan hasil penyelidikan tanah di lapangan untuk kegiatan konstruksi dan kebencanaan.

Capaian pembelajaran yang diharapkan pada penyelidikan tanah di lapangan meliputi :

- Pemahaman tentang Metode Eksplorasi Geoteknik, Mahasiswa dapat memahami berbagai metode eksplorasi geoteknik yang digunakan untuk mengumpulkan data lapangan, seperti pengeboran tanah, uji penetrasi, dan metode geofisika. Mahasiswa dapat memahami kelebihan, kekurangan, dan aplikasi praktis dari setiap metode, serta bagaimana metode tersebut dapat digunakan untuk menggambarkan kondisi tanah di lokasi proyek.
- Mahasiswa memperoleh keterampilan praktis dalam melakukan survei lapangan, pengambilan sampel tanah, dan pengamatan langsung kondisi tanah di lapangan.

- Mahasiswa mempunyai kemampuan untuk memproses dan menganalisis data lapangan yang diperoleh dari berbagai metode.
- Pemahaman tentang karakteristik tanah, melalui penyelidikan tanah di lapangan, mahasiswa dapat memperoleh pemahaman yang mendalam tentang karakteristik fisik, mekanik, dan hidrolis tanah di lokasi proyek.
- Mahasiswa mampu untuk mengintegrasikan data lapangan dengan teori geoteknik dan prinsip rekayasa sipil untuk membuat keputusan yang tepat terkait dengan desain dan konstruksi.
- Mahasiswa mampu mengidentifikasi risiko dan masalah potensial berdasarkan data lapangan dan membuat rekomendasi untuk tindakan mitigasi atau perbaikan.

Melalui proyek penyelidikan tanah di lapangan, mahasiswa dapat mengembangkan keterampilan komunikasi dalam menyampaikan hasil penelitian dan rekomendasi mereka kepada tim proyek dan pemangku kepentingan lainnya.

Dengan mencapai capaian pembelajaran ini, mahasiswa menjadi lebih siap untuk memasuki dunia kerja dalam industri rekayasa sipil dan geoteknik, dengan pemahaman yang kuat tentang prinsip-prinsip geoteknik dan keterampilan praktis dalam penyelidikan tanah di lapangan.

4.2 Relevansi

Penyelidikan tanah di lapangan merupakan salah satu kegiatan eksplorasi geoteknik yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik tanah berdasarkan hasil pengujian insitu.

Penyelidikan tanah di lapangan memiliki relevansi yang sangat erat dengan eksplorasi geoteknik yang dilakukan. Berikut

adalah beberapa poin yang menjelaskan relevansi antara keduanya:

- Pengumpulan Data Lapangan yang Akurat

Penyelidikan tanah di lapangan memungkinkan pengumpulan data langsung dari lokasi proyek, yang merupakan langkah kunci dalam eksplorasi geoteknik. Data lapangan ini sangat penting untuk memahami kondisi tanah secara keseluruhan, termasuk stratigrafi, tekstur, konsistensi, kelembaban, dan sifat-sifat geoteknik lainnya.

- Verifikasi dan Validasi Data Eksplorasi

Data yang diperoleh dari eksplorasi geoteknik, seperti hasil bor dan pengujian in situ, perlu diverifikasi dan divalidasi dengan data lapangan. Penyelidikan tanah di lapangan memungkinkan verifikasi langsung terhadap data eksplorasi tersebut, memastikan keakuratan dan keandalannya.

- Pemetaan dan Profilisasi Tanah

Penyelidikan tanah di lapangan membantu dalam pemetaan dan profilisasi tanah di lokasi proyek, yang merupakan bagian integral dari eksplorasi geoteknik. Data ini membantu dalam identifikasi lapisan tanah, ketebalan lapisan, perubahan sifat tanah, dan zona-zona potensial yang mempengaruhi kestabilan dan kinerja struktur.

Penyelidikan tanah di lapangan memungkinkan pemahaman yang lebih baik tentang kondisi dinamis tanah, termasuk perubahan jangka pendek dan jangka panjang yang mungkin terjadi. Hal ini penting untuk evaluasi risiko geoteknik, seperti pergerakan tanah, likuefaksi, atau perubahan tingkat air tanah.

Data yang diperoleh dari penyelidikan tanah di lapangan memberikan informasi penting untuk pengambilan keputusan terkait desain dan konstruksi. Keputusan seperti jenis fondasi

yang akan digunakan, perencanaan mitigasi risiko, atau pengembangan solusi desain yang tepat didasarkan pada pemahaman yang mendalam tentang kondisi tanah di lokasi proyek.

Dengan demikian, penyelidikan tanah di lapangan tidak hanya melengkapi, tetapi juga memperkuat eksplorasi geoteknik yang dilakukan dengan memberikan informasi yang sangat diperlukan dan konteks yang diperlukan untuk membuat keputusan yang tepat dalam desain dan konstruksi proyek rekayasa. Pengantar Umum.

4.3 Pengantar Umum

Penyelidikan lapangan bertujuan untuk mendapatkan data yang akan digunakan untuk keperluan desain dan pelaksanaan konstruksi dari sebuah proyek. Tujuan spesifik dari sebuah penyelidikan lapangan dapat bervariasi bergantung pada tahapan pekerjaan yang dilakukan, kompleksitas dari struktur tanah yang ada dan asal usul proyek tersebut. Secara umum tujuan dari penyelidikan tanah di lapangan adalah :

- a) untuk memperoleh informasi awal dari kondisi tanah, sebagai masukan dalam studi kelangsungan ekonomi (economic viability study) dari proyek.
- b) untuk memperoleh informasi awal dari kondisi tanah dasar, dan mengidentifikasi kemungkinan desain alternatif, serta memungkinkan penyelidikan yang lebih lengkap untuk direncanakan.
- c) untuk memperoleh informasi lengkap dari kondisi tanah dalam merencanakan metode perbaikan tanah yang tepat untuk timbunan dan fondasi jembatan serta konstruksi penyeberangan lainnya.

- d) untuk menyediakan informasi mengenai kondisi tanah dasar kepada Kontraktor.
- e) untuk memperoleh informasi tambahan pada lokasi tertentu untuk mengklarifikasi kondisi tanah, sehingga desain strukturnya menjadi lengkap.

Untuk mencapai tujuan tersebut harus memenuhi kriteria-kriteria berikut:

- a) data yang ada harus cukup untuk sebuah perencanaan yang ekonomis dan mampu memberikan informasi sedetil-detilnya sebagaimana disebutkan dalam tujuan di atas.
- b) data yang ada harus konsisten dengan metode analisis yang ada dan diusulkan untuk digunakan
- c) data yang ada harus konsisten dengan tipe-tipe tanah yang ditemukan pada lokasi tersebut.

Penyelidikan tanah di lapangan adalah proses sistematis untuk mengumpulkan dan mencatat semua data yang diperlukan yang akan dibutuhkan atau akan membantu dalam proses desain dan konstruksi.

4.4 Uji *Cone Penetration Test* (CPT)/ Sondir

Cone Penetration Test atau yang dikenal dengan istilah uji sondir adalah serangkaian pengujian penetrasi tanah yang dilakukan di suatu lokasi dengan menggunakan alat penetrasi konus. Uji penetrasi kerucut statis atau uji sondir banyak digunakan di Indonesia. Pengujian ini sangat berguna untuk memperoleh nilai variasi kepadatan tanah pasir yang tidak padat. Pada tanah pasir yang padat dan tanah-tanah berkerikil dan berbatu, penggunaan alat sondir menjadi tidak efektif, karena mengalami kesulitan dalam menembus tanah. Hasil dari pengujian ini berupa nilai tahanan kerucut statis atau tahanan

conus (q_c) dan tahanan gesek pipa luar (f_s). Parameter tersebut diperlukan dalam proses analisis daya dukung tanah. Prosedur pelaksanaan uji sondir mengacu kepada SNI 2827:2008.

Uji sondir adalah salah satu metode yang digunakan untuk menghitung kapasitas tahanan tanah. Pada pengujian sondir, akan didapati nilai perlawanan konus (q_c) yang dapat langsung dihubungkan dengan kapasitas tahanan tanah. Ada beberapa parameter yang didapati setelah melakukan pengujian sondir yaitu perlawanan konus (q_c), perlawanan geser (f_s), angka banding geser (friction ratio), yang dapat digunakan untuk menggambarkan kekuatan tanah per lapisan yang diinginkan. Selain itu nilai-nilai tersebut dapat dikorelasikan secara langsung dengan kapasitas dukung tanah dan penurunan pada fondasi dangkal dan fondasi tiang (dalam). Standar yang digunakan dalam pengujian sondir adalah SNI 2827:2008.

Uji penetrasi kerucut (CPT) dikenal sebagai uji penetrasi kerucut Belanda, adalah metode pengukuran serbaguna yang dapat digunakan untuk menentukan material dalam profil tanah dan memperkirakan sifat tekniknya. Uji ini juga disebut uji penetrasi statis, dan tidak diperlukan lubang bor untuk melakukannya. Dalam versi asli, kerucut 60° dengan luas dasar 10 cm^2 ($1,55 \text{ in}^2$) didorong ke dalam tanah dengan kecepatan tetap sekitar 20 mm/detik dan resistansi terhadap penetrasi (disebut resistansi titik) diukur.

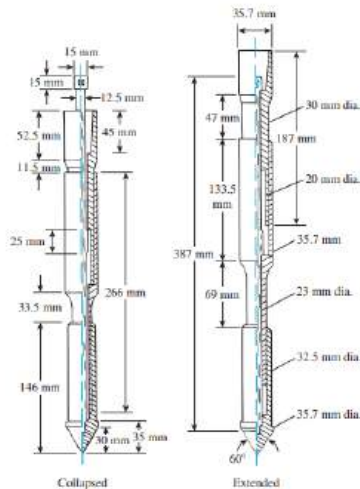
Penetrometer kerucut yang digunakan saat ini mengukur:

- (a) resistansi kerucut (q_c) terhadap penetrasi yang dihasilkan oleh kerucut, yang sama dengan gaya vertikal yang diterapkan pada kerucut, dibagi dengan luas proyeksi horizontalnya
- (b) resistansi gesekan (f_c) merupakan resistansi yang diukur oleh selongsong yang terletak di atas kerucut dengan tanah setempat di sekitarnya. Resistansi gesekan sama dengan

gaya vertikal yang diterapkan pada selongsong, dibagi dengan luas permukaan sebenarnya, jumlah gesekan dan adhesi.

Secara umum ada dua jenis penetrometer digunakan untuk mengukur q_c dan f_c , yaitu :

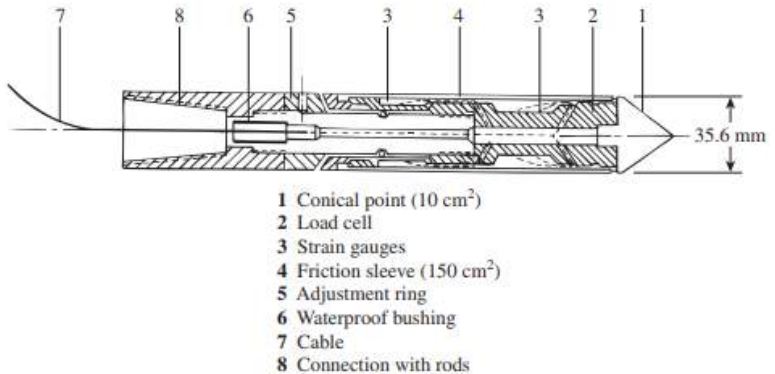
1. Penetrometer kerucut gesek mekanis (Gambar 4.1). Ujung penetrometer ini dihubungkan ke satu set batang bagian dalam. Ujungnya pertama-tama dimajukan sekitar 40 mm, sehingga menghasilkan resistansi kerucut. Dengan dorongan lebih lanjut, ujungnya akan menyentuh selongsong gesek. Saat batang bagian dalam maju, gaya batang sama dengan jumlah gaya vertikal pada kerucut dan selongsong. Mengurangi gaya pada kerucut akan menghasilkan resistansi samping.



Gambar 4. 1 Penetrometer kerucut gesek mekanis
(ASTM, 2001)

2. Penetrometer kerucut gesek elektrik (Gambar 4.2). Ujung penetrometer ini dipasang pada seutas batang baja.

Ujungnya didorong ke tanah dengan kecepatan 20 mm/detik. Kabel dari transduser dijalin melalui bagian tengah batang dan terus mengukur resistansi kerucut dan samping.



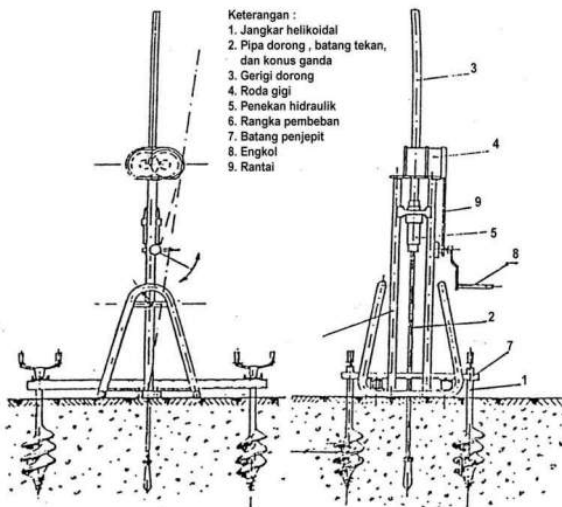
Gambar 4. 2 Penetrometer kerucut gesek elektrik

CPT dapat digunakan pada tanah lempung yang sangat lunak hingga pasir padat, tetapi tidak terlalu sesuai untuk kerikil atau medan berbatu. Kelebihan dan kekurangannya tercantum pada Tabel 4.1. Pengujian ini memberikan angka yang lebih akurat dan andal untuk analisis, tetapi tidak memerlukan pengambilan sampel tanah.

Tabel 4. 1 Kelebihan dan kekurangan penggunaan Cone Penetration Test (CPT)/ Sondir.

Kelebihan CPT	Kekurangan CPT
<ul style="list-style-type: none"> • Pembuatan profil yang cepat dan berkelanjutan • Tidak Memerlukan Pengambilan Sampel • Minim Gangguan pada Tanah • Hasil tidak bergantung pada operator • Sangat cocok untuk tanah lunak 	<ul style="list-style-type: none"> • Investasi modal tinggi • Memerlukan operator yang terampil untuk menjalankannya • Tidak ada sampel tanah yang diperoleh • Tidak cocok untuk endapan kerikil atau batu besar*

*Catatan: Kecuali jika rig khusus disediakan dan/atau dukungan pengeboran tambahan tersedia.

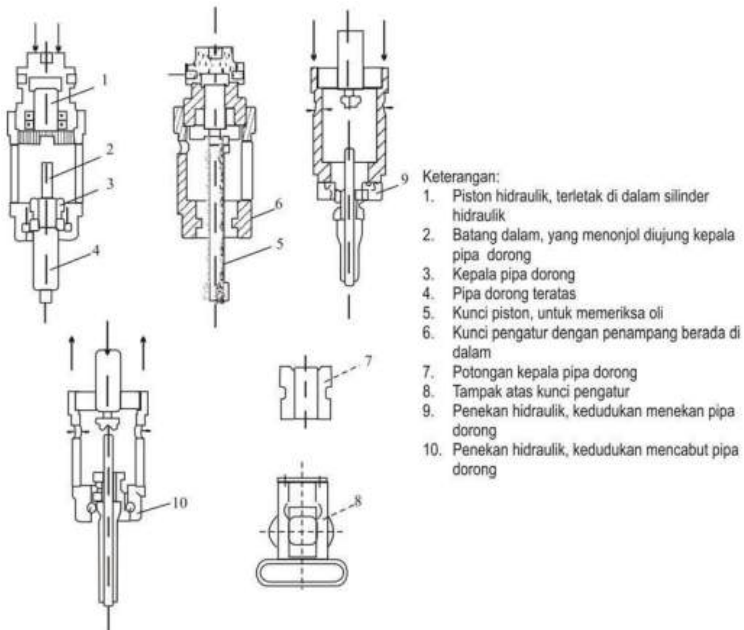


Gambar 4. 3 Rangkaian alat penetrasi konus (sondir Belanda)
(SNI 2827: 2008)

4.4.1 Syarat Pengujian Penetrasi konus/ Sondir

Persyaratan yang diperlukan adalah sebagai berikut:

- a) Ketelitian peralatan ukur dengan koreksi sekitar 5 %
- b) Deviasi standar pada alat penetrasi secara mekanik (untuk perlawanan konus (q_c) adalah 10 % dan untuk perlawanan geser (f_s) adalah 20 %.
- c) Alat ukur harus dapat mengukur perlawanan penetrasi di permukaan dengan dilengkapi alat yang sesuai, seperti mesin pembeban hidraulik.
- d) Alat perlengkapan mesin pembeban harus mempunyai kekakuan yang memadai, dan diletakkan di atas dudukan yang kokoh serta tidak berubah arah pada waktu pengujian
- e) Pada alat sondir ringan (< 200 kg) biasanya tidak dapat menembus untuk 2 m s.d 3 m sehingga datanya tidak bermanfaat
- f) Pada alat sondir berat (> 200 kg) digunakan sistem angker, namun di daerah tanah lunak tidak dapat digunakan kecuali dengan pemberian beban menggunakan karung-karung pasir.



Gambar 4. 4 Rincian penekan hidrolik
(SNI 2827: 2008)

Semua alat ukur harus dikalibrasi minimum 1 kali dalam 3 tahun dan pada saat diperlukan, sesuai dengan persyaratan kalibrasi yang berlaku.

Petugas pengujian ini adalah laboran atau teknisi yang memenuhi persyaratan kompetensi yang berlaku dalam pengujian penetrasi lapangan dengan alat sondir, dan diawasi oleh ahli geoteknik.

4.4.2 Pengujian penetrasi konus

Lakukan pengujian penetrasi konus ganda dengan langkah-langkah sebagai berikut:

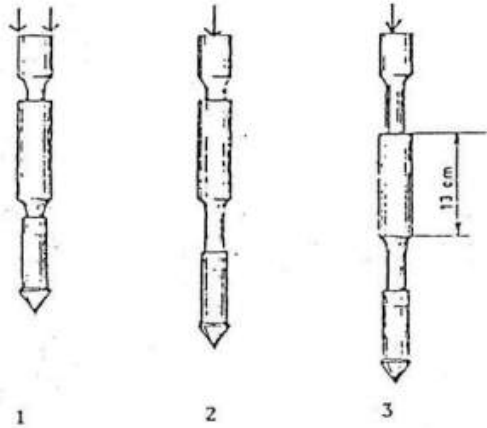
- a) Tegakkan batang dalam dan pipa dorong di bawah penekan hidrolik pada kedudukan yang tepat

- b) Dorong/tarik kunci pengatur pada kedudukan siap tekan, sehingga penekan hidraulik hanya akan menekan pipa dorong
- c) Putar engkol searah jarum jam, sehingga gigi penekan dan penekan hidraulik bergerak turun dan menekan pipa luar sampai mencapai kedalaman 20 cm sesuai interval pengujian
- d) Pada tiap interval 20 cm lakukan penekanan batang dalam dengan menarik kunci pengatur, sehingga penekan hidraulik hanya menekan batang dalam saja
- e) Putar engkol searah jarum jam dan jaga agar kecepatan penetrasi konus berkisar antara 10 mm/s sampai 20 mm/s \pm 5. Selama penekanan batang pipa dorong tidak boleh ikut turun, karena akan mengacaukan pembacaan data.

4.4.3 Pembacaan hasil pengujian

Lakukan pembacaan hasil pengujian penetrasi konus sebagai berikut:

- a) Baca nilai perlawanan konus pada penekan batang dalam sedalam kira-kira 4 cm pertama (kedudukan 2, lihat Gambar 4.5) dan catat pada formulir (Lampiran C) pada kolom Cw
- b) Baca jumlah nilai perlawanan geser dan nilai perlawanan konus pada penekan batang sedalam kira-kira 4 cm yang kedua (kedudukan 3, lihat Gambar 4.5) dan catat pada formulir (Gambar 4.6) pada kolom Tw.



Gambar 4. 5 Kedudukan pergerakan konus pada waktu pengujian sondir (SNI 2827:2008)

Tabel B.1 Contoh formulir hasil uji penetrasi konus statik

Lokasi	:	Penanggung jawab	:					
No. sondir	:	Tanggal	:					
Elevasi	:		:					
Kedalaman	C_w kPa/100	T_w kPa/100	K_w kPa/100	q_c kPa/100	f_s kPa/100	$f_s \times 20 \text{cm}$ kPa/100	T_f kPa-cm/100	R_f (%)

Gambar 4. 6 Contoh formulir pencatatan hasil uji sondir (SNI 2827:2008)

Ulangi langkah-langkah pengujian tersebut di atas hingga nilai perlawanan konus mencapai batas maksimumnya (sesuai kapasitas alat) atau hingga kedalaman maksimum 20 m s.d 40 m tercapai atau sesuai dengan kebutuhan. Hal ini berlaku baik untuk sondir ringan ataupun sondir berat.

4.4.4 Perhitungan hasil uji sondir

Prinsip dasar dari uji penetrasi statik di lapangan adalah dengan anggapan berlaku hukum Aksi Reaksi, seperti yang digunakan untuk perhitungan nilai perlawanan konus dan nilai perlawanan geser di bawah ini.

Perlawanan konus (q_c)

Nilai perlawanan konus (q_c) dengan ujung konus saja yang terdorong, dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$P_{\text{konus}} = P_{\text{piston}} = q_c \times A_c = C_w \times A_{\text{pi}} \quad (4.1)$$

$$q_c = C_w \times A_{\text{pi}} / A_c \quad (4.2)$$

$$A_{\text{pi}} = \pi (D_{\text{pi}})^2 / 4 \quad (4.3)$$

$$A_c = \pi (D_c)^2 / 4 \quad (4.4)$$

Perlawanan geser (f_s)

Nilai perlawanan geser lokal diperoleh bila ujung konus dan bidang geser terdorong bersamaan, dan dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$P_{\text{konus}} + P_{\text{geser}} = P_{\text{piston}} \quad (4.5)$$

$$(q_c \times A_c) + (f_s \times A_s) = T_w \times A_{\text{pi}}$$

$$(C_w \times A_{\text{pi}}) + (f_s \times A_s) = T_w \times A_{\text{pi}}$$

$$f_s = K_w \times A_{\text{pi}} / A_s \quad (4.6)$$

$$A_s = \pi D_s L_s \quad (4.7)$$

$$K_w = (T_w - C_w) \quad (4.8)$$

Angka banding geser (R_f)

Angka banding geser diperoleh dari hasil perbandingan antara nilai perlawanan geser lokal (f_s) dengan perlawanan konus (q_s), dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$R_f = (f_s / q_s) \times 100 \quad (4.9)$$

Geseran total (T_f)

Nilai geseran total (T_f) diperoleh dengan menjumlahkan nilai perlawanan geser lokal (f_s) yang dikalikan dengan interval pembacaan, dan dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$T_f = (f_s \times \text{interval pembacaan}) \quad (4.10)$$

Dengan,

C_w : pembacaan manometer untuk nilai perlawanan konus (kPa)

T_w : pembacaan manometer untuk nilai perlawanan konus dan geser (kPa)

K_w : selisih dengan (kPa)

P_{konus} : gaya pada ujung konus (kN)

P_{piston} : gaya pada piston (kN)

q_c : perlawanan konus (kPa)

f_s : perlawanan geser lokal (kPa)

R_f : angka banding geser (%)

T_f : geseran total (kPa)

A_{pi} : luas penampang piston (cm²)

D_{pi} : diameter piston (cm)

A_c : luas penampang konus (cm²)

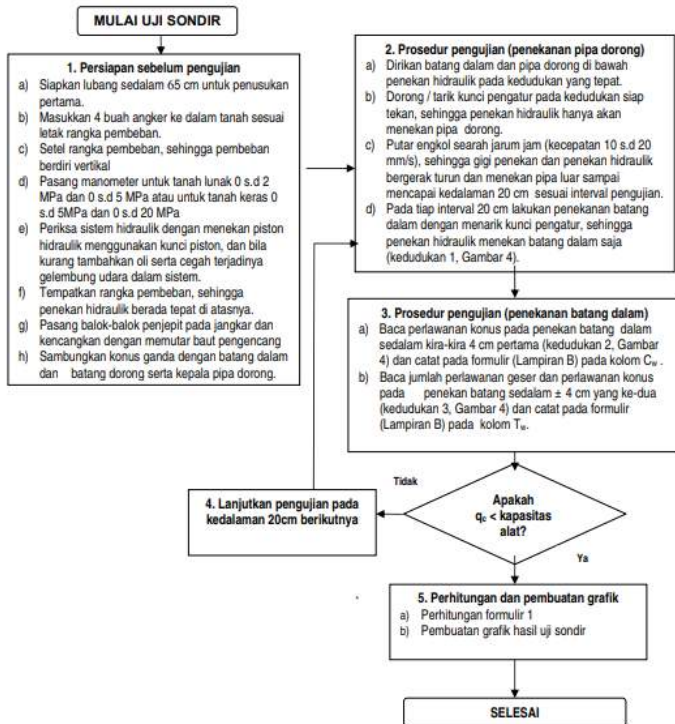
$D_c = D_s$: diameter konus sama dengan diameter selimut geser (cm)

A_s : luas selimut geser (cm²)

D_s : diameter selimut geser (cm)

L_s : panjang selimut geser (cm)

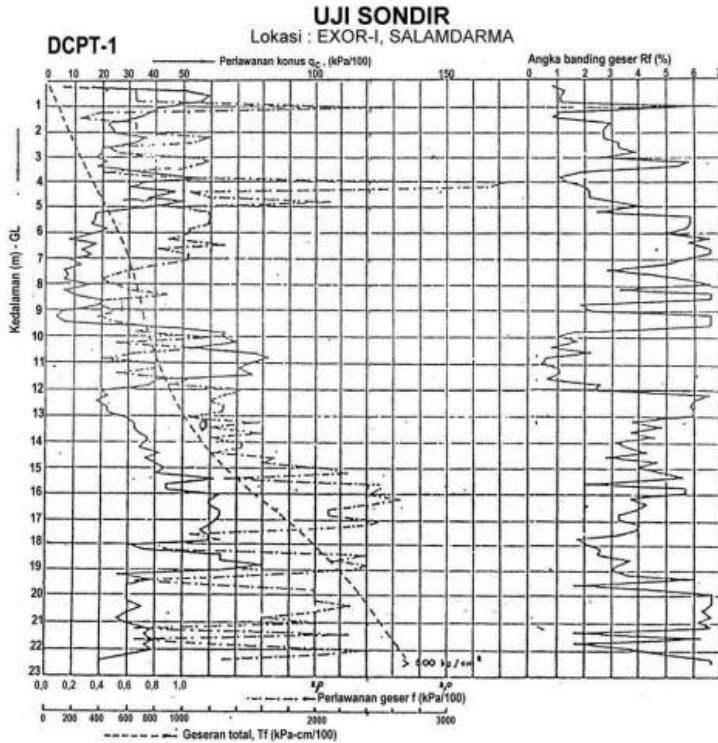
Pengujian dan pengolahan data sondir ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Bagan alir cara uji penetrasi lapangan dengan alat sondir

(SNI 2827 : 2008)

Uji penetrasi konus (CPT) dapat digunakan untuk tanah lempung sangat lunak sampai pasir padat, tapi tidak sesuai untuk kerikil atau batuan. Secara praktis interpretasi pasir mempunyai tahanan konus $q_T > 40$ atm (Catatan: 1 atm \approx 1 kg/cm² \approx 1 tsf \approx 100 kPa), sedangkan lanau dan lempung lunak sampai kaku memiliki nilai $q_T < 20$ atm.



Gambar 4. 8 Contoh grafik hasil uji sondir
(SNI 2827:2008)

Beberapa korelasi yang berguna dalam memperkirakan sifat-sifat tanah yang ditemukan selama program eksplorasi telah dikembangkan untuk resistansi titik (q_c) dan rasio gesekan (F_r) yang diperoleh dari uji penetrasi kerucut. Rasio gesekan didefinisikan sebagai :

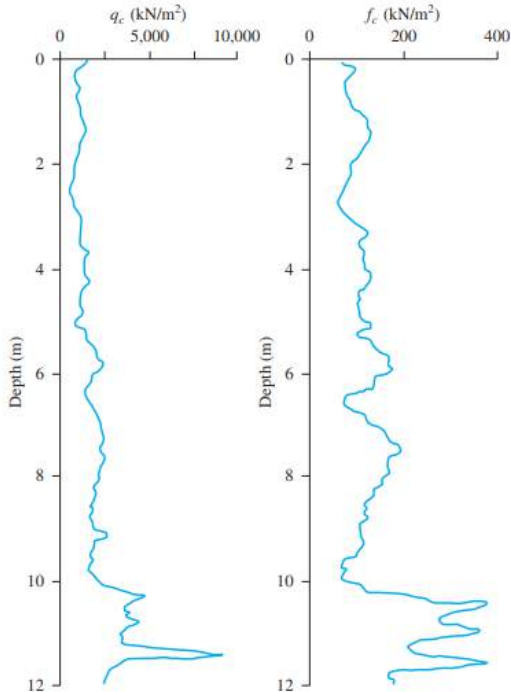
$$F_r = \frac{\text{Frictional resistance}}{\text{Cone resistance}} = \frac{f_c}{q_c} \quad (4.11)$$

Dalam penelitian yang lebih baru pada beberapa tanah di Yunani, Anagnostopoulos et al. (2003) menyatakan F_r sebagai :

$$F_r (\%) = 1,45 - 1,36 \log D_{50} \text{ (electric cone)} \quad (4.12)$$

$$F_r (\%) = 0,7811 - 1,611 \log D_{50} \text{ (mechanical cone)} \quad (4.13)$$

di mana D_{50} adalah nilai ukuran partikel yang sesuai dengan distribusi persentase kumulatif sebesar 50 persen lolos (mm). Nilai D_{50} untuk tanah biasanya mempunyai ukuran berkisar antara 0,001 mm hingga sekitar 10 mm.



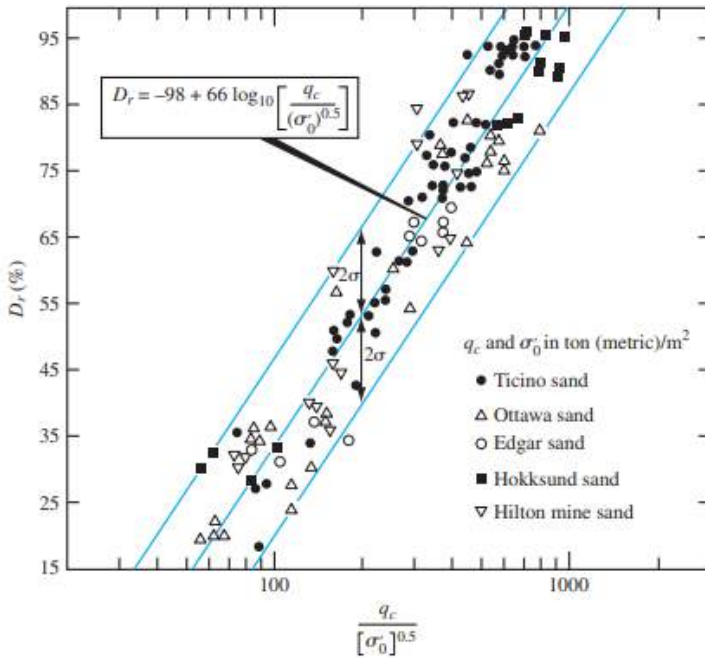
Gambar 4.9 Uji penetrometer kerucut dengan pengukuran gesekan

(Das & Sobhan, 2014)

4.4.5 Korelasi antara Kepadatan Relatif (D_r) dan q_c untuk Pasir

Lancellotta (1983) dan Jamiolkowski et al. (1985) menunjukkan bahwa kepadatan relatif pasir yang terkonsolidasi secara normal, D_r dan q_c dapat dikorelasikan sesuai dengan rumus 4.14 (Gambar 4.10).

$$D_r (\%) = A + B \log_{10} \left(\frac{q_c}{\sqrt{\sigma'_0}} \right) \quad (4.14)$$



Gambar 4. 10 Hubungan antara D_r dan q_c

(Berdasarkan Lancellotta, 1983, dan Jamiolski et al., 1985)

Menurut Kulhawy dan Mayne (1990) :

$$D_r (\%) = 68 \left[\log \left(\frac{q_c}{\sqrt{p_a \sigma'_0}} \right) - 1 \right] \quad (4.15)$$

Dimana,

P_a : tekanan atmosfer ($\approx 100 \text{ kN/m}^2$)

σ_o' : tegangan efektif vertikal

Kulhawy dan Mayne (1990) mengusulkan hubungan berikut untuk mengkorelasikan D_r , q_c dan tegangan efektif vertikal (σ_o') :

$$D_r = \sqrt{\left[\frac{1}{305 Q_c \text{OCR}^{1.8}} \right] \left[\frac{q_c}{P_a} \right] \left[\frac{\sigma_o'}{P_a} \right]^{0.5}}$$

OCR : rasio konsolidasi berlebih

P_a : tekanan atmosfer

Q_c : faktor kompresibilitas, nilai Q_c yang direkomendasikan adalah sebagai berikut:

Pasir yang sangat kompresibel = 0,91

Pasir yang cukup kompresibel = 1,0

Pasir yang kompresibel rendah = 1,09

4.4.6 Korelasi untuk nilai kuat geser undrained (c_u), tekanan prakonsolidasi (σ_o'), and Overconsolidation Ratio (OCR) pada tanah lempung

Kekuatan geser tak terdrainase (c_u) dapat dinyatakan sebagai :

$$c_u = \frac{q_c - \sigma_o}{N_k} \quad (4.17)$$

di mana,

σ_o : total tegangan vertikal

NK : faktor daya dukung

Faktor daya dukung, NK, dapat bervariasi dari 11 hingga 19 untuk lempung yang terkonsolidasi normal dan dapat mendekati 25 untuk lempung yang terkonsolidasi berlebihan. Menurut Mayne dan Kemper (1988) : NK = 15 untuk kerucut elektrik ; NK = 20 untuk kerucut mekanik

Berdasarkan pengujian di Yunani, Anagnostopoulos et al. (2003) menentukan :

NK = 17,2 (untuk kerucut elektrik); NK = 18,9 (untuk kerucut mekanis)

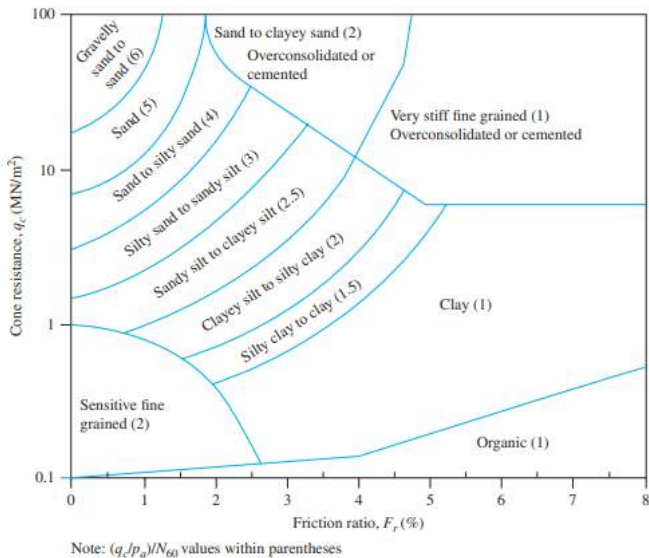
Pengujian lapangan ini juga menunjukkan bahwa :

$$cu = \frac{fc}{1,26} \text{ (untuk kerucut mekanis)} \quad (4.18)$$

$$cu = fc \text{ (untuk kerucut elektrik)} \quad (4.19)$$

4.4.7 Korelasi Jenis Tanah

Robertson dan Campanella (1986) memberikan korelasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.11, antara q_c dan rasio gesekan untuk mengidentifikasi berbagai jenis tanah yang ditemukan di lapangan.

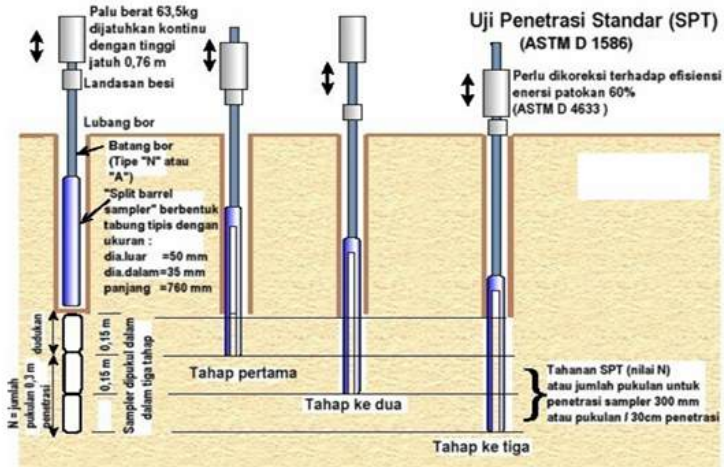


Gambar 4. 11 Korelasi Robertson dan Campanella (1986) antara q_c , F_r dan jenis tanah

4.5 Uji Standar Penetration Test (SPT)

Uji penetrasi standar dilakukan untuk memperoleh sampel tanah tak terganggu yang nantinya akan digunakan untuk pengujian lebih lanjut di laboratorium. Pada tanah berbutir, pengujian penetrasi standar dilakukan untuk mengetahui nilai kerapatan relatif. Selain itu uji penetrasi standar juga dilakukan untuk mengetahui nilai-N yang digunakan untuk analisis daya dukung tanah. Prosedur pelaksanaan uji penetrasi standar mengacu kepada SNI 4153:2008 dan ASTM D1586.

4153:2008 dan ASTM D1586, ilustrasi pengujian SPT disajikan pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Skema urutan uji penetrasi standar (SPT).

suatu metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui, baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm vertikal. Dalam sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap. Tahap pertama dicatat sebagai dudukan, sementara jumlah pukulan untuk memasukkan tahap ke-dua dan ke-tiga dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT (dinyatakan dalam pukulan/0,3 m).

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengujian penetrasi dengan SPT adalah: Peralatan harus lengkap dan laik pakai, Pengujian dilakukan dalam lubang bor, Interval pengujian dilakukan pada kedalaman antara 1,50 m s.d 2,00 m (untuk lapisan tanah tidak seragam) dan pada kedalaman 4,00 m kalau lapisan seragam, Pada tanah berbutir halus, digunakan ujung split barrel berbentuk konus terbuka (open cone), dan pada lapisan pasir dan kerikil, digunakan ujung split barrel berbentuk konus tertutup (close cone), Contoh tanah tidak asli diambil dari split barrel sampler, Sebelum pengujian dilakukan, dasar lubang bor harus dibersihkan terlebih dahulu, Jika ada air tanah, harus dicatat, Pipa untuk jalur palu harus berdiri tegak lurus untuk menghindari terjadinya gesekan antara palu dengan pipa, Formulir-formulir isian hasil pengujian.

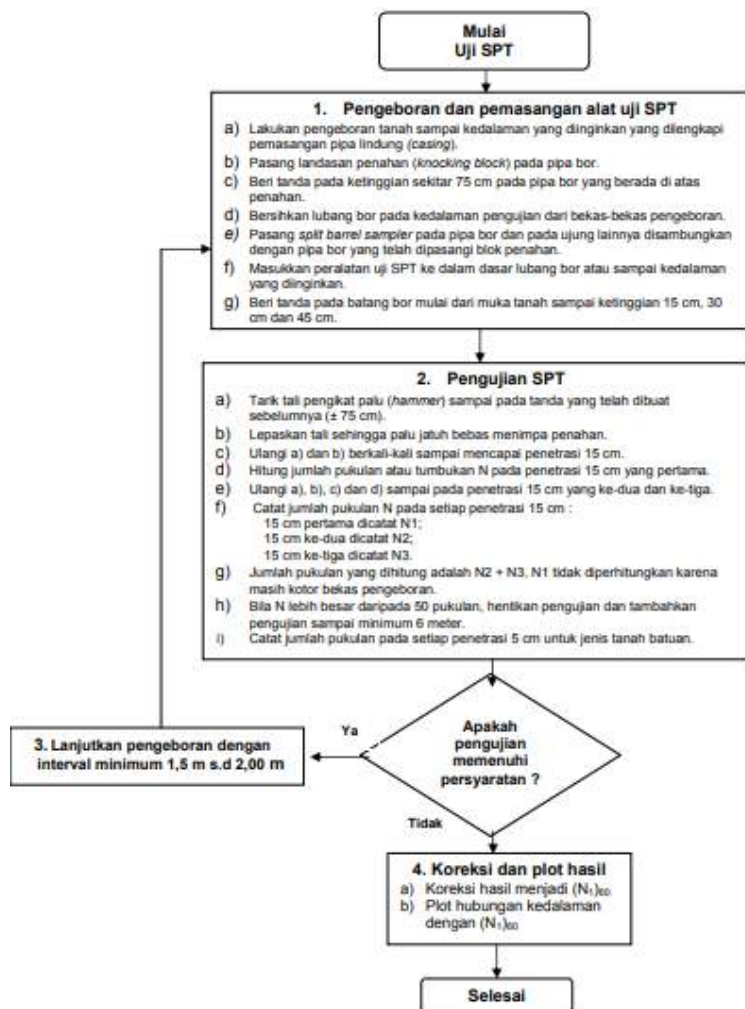
4.5.1 Pengujian SPT

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengujian penetrasi dengan SPT adalah:

- a) Peralatan harus lengkap dan laik pakai, Pengujian dilakukan dalam lubang bor
- b) Interval pengujian dilakukan pada kedalaman antara 1,50 m s.d 2,00 m (untuk lapisan tanah tidak seragam) dan pada kedalaman 4,00 m kalau lapisan seragam
- c) Pada tanah berbutir halus, digunakan ujung split barrel berbentuk konus terbuka (open cone); dan pada lapisan pasir dan kerikil, digunakan ujung split barrel berbentuk konus tertutup (close cone)
- d) Contoh tanah tidak asli diambil dari split barrel sampler
- e) Sebelum pengujian dilakukan, dasar lubang bor harus dibersihkan terlebih dahulu

- f) Jika ada air tanah, harus dicatat
- g) Pipa untuk jalur palu harus berdiri tegak lurus untuk menghindari terjadinya gesekan antara palu dengan pipa
- h) Formulir-formulir isian hasil pengujian

Semua alat ukur harus dikalibrasi minimum 1 kali dalam 3 tahun dan pada saat diperlukan, sesuai dengan persyaratan kalibrasi yang berlaku. Bagan alir cara uji penetrasi lapangan dengan SPT menurut SNI 4153:2008 ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4. 14 Bagan alir cara uji penetrasi lapangan dengan SPT
(SNI 4153:2008)

4.5.2 Koreksi Hasil Uji SPT

Menurut ASTM D-4633 setiap alat uji SPT yang digunakan harus dikalibrasi tingkat efisiensi tenaganya dengan menggunakan alat ukur strain gauges dan aselerometer, untuk memperoleh standar efisiensi tenaga yang lebih teliti. Di dalam praktek, efisiensi tenaga sistem balok derek dengan palu donat (donut hammer) dan palu pengaman (safety hammer) berkisar antara 35% sampai 85%, sementara efisiensi tenaga palu otomatis (automatic hammer) berkisar antara 80% sampai 100%. Jika efisiensi yang diukur (E_f) diperoleh dari kalibrasi alat, nilai N terukur harus dikoreksi terhadap efisiensi sebesar 60%, dan dinyatakan dalam rumus :

$$N_{60} = (E_f/60) N_M \quad (4.20)$$

Dengan,

N_{60} = Efisiensi 60%;

E_f = efisiensi yang diukur ($1/2 mv^2$)/(mgh);

N_M = Nilai N diukur yang harus dikoreksi.

Dalam beberapa hubungan korelatif, nilai tenaga terkoreksi N_{60} yang dinormalisasi terhadap pengaruh tegangan efektif vertikal (overburden), dinyatakan dengan $(N_1)_{60}$, seperti dijelaskan dalam persamaan berikut dan Tabel 4.2. Nilai $(N_1)_{60}$ menggambarkan evaluasi pasir murni untuk interpretasi kepadatan relatif, sudut geser, dan potensi likuifaksi.

$$(N_1)_{60} = N_M \times C_N \times C_E \times C_B \times C_R \times C_S \quad (4.21)$$

$$C_N = 2,2 / [1,2 + (\sigma_{vo}' / p_a)] \quad (4.22)$$

Dengan,

$(N_1)_{60}$ = Nilai SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh efisiensi tenaga 60%
 C_N = Faktor koreksi terhadap tegangan vertical efektif (nilainya $\leq 1,70$)

Tabel 4. 2 Koreksi-koreksi yang digunakan dalam uji SPT
(SNI 4153 : 2008)

Faktor	Jenis alat	Parameter	Koreksi
Tegangan vertikal efektif	-	C_N	$2,2 / [1,2 + (\sigma_{vo}' / p_a)]$
Tegangan vertikal efektif	-	C_N	$C_N \leq 1,7$
Rasio Tenaga	Palu donat (Donut hammer)	C_E	0,5 – 1,0
Rasio Tenaga	Palu pengaman (Safety hammer)	C_E	0,7 – 1,2
Rasio Tenaga	Palu otomatis (Automatic-trip Donut-type hammer)	C_E	0,8 – 1,3
Diameter Bor	65 s.d 115 mm	C_B	1,0
Diameter Bor	150 mm	C_B	1,05
Diameter Bor	200 mm	C_B	1,15
Panjang Batang	< 3m	C_R	0,75
Panjang Batang	3 - 4 m	C_R	0,8
Panjang Batang	4 - 6 m	C_R	0,85
Panjang Batang	6 - 10 m	C_R	0,95

Panjang Batang	10 – 30 m	C_R	1,0
Pengambilan Contoh	Tabung standar	C_S	1,0
Pengambilan Contoh	Tabung dengan pelapis (liner)	C_S	1,1 – 1,3

4.5.3 Korelasi N-SPT dengan Kepadatan Relatif (D_r) Tanah Pasir

Terzaghi dan Peck (1967) memberikan deskripsi kualitatif hubungan antara nilai N-SPT dengan kerapatan relatif pada tanah pasir pada Tabel 4.3. Bowles (1977) juga mengusulkan nilai Empiris antara nilai N-SPT terkoreksi dengan kerapatan relatif, sudut geser dalam serta berat volume pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 3 Deskripsi Kualitatif Kerapatan Relatif Tanah Pasir.

(Terzaghi dan Peck, 1967)

N-SPT	Kepadatan relatif, D_r
0 - 4	Sangat lepas
4 - 10	Lepas
10 - 30	Sedang/Menengah
30 – 50	Padat
> 50	Sangat padat

Tabel 4. 4 Nilai Empiris untuk D_r , ϕ , γ dari tanah berbutir berdasarkan nilai N Koreksi

(Bowles, 1977)

Deskripsi	Sangat lepas	Lepas	Sedang	padat	Sangat padat
Kerapatan relatif (D_r)	0 - 0,15	0,15 - 0,35	0,35 - 0,65	0,65 - 0,85	0,85 - 1,00
Nilai N – SPT terkoreksi	0 - 4	4 - 10	10 - 30	30 - 50	> 50
Sudut geser dalam (ϕ°)	25 - 30	27 - 32	30 - 35	35 - 40	38 - 43
Berat volume tanah (γ) (kN/m^3)	11,0 - 15,7	14,1 - 18,1	17,4 - 20,4	17,3 - 22	20,4 - 23,6

Secara lebih lanjut Holtz dan Gibbs (1979) melakukan pembaharuan terhadap hubungan nilai N dengan D_r seperti pada Gambar 4.14.

Untuk tujuan praktik praktis, dengan asumsi $N \approx N_{60}$, Bowles (1996) mengusulkan persamaan berikut :

$$D_r = 25 (\sigma'_o \text{ kN/m}^2)^{-0,12} N_{60}^{0,46} \quad (4.23)$$

4.5.4 Korelasi N-SPT dengan Peak Drained Friction Angle untuk Tanah Pasir

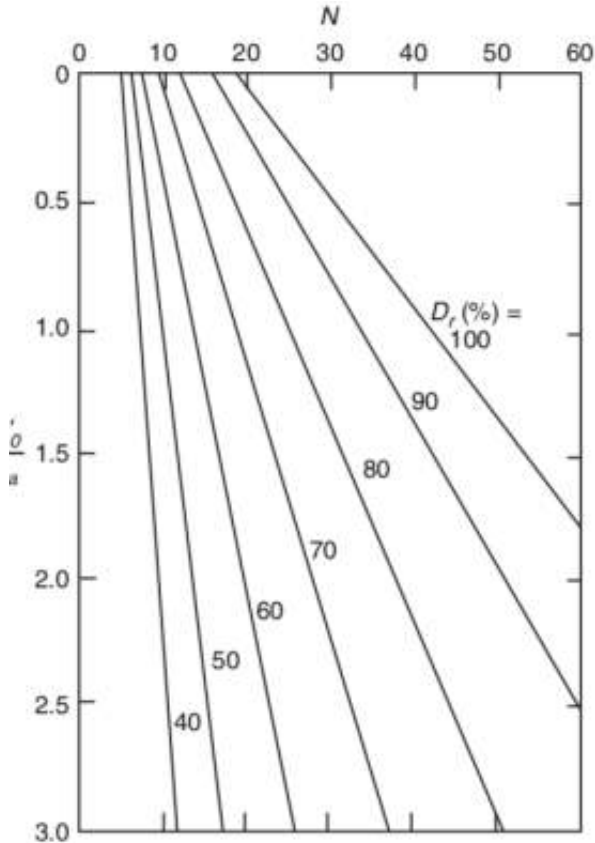
Dalam tahap awal, Meyerhof (1959) merumuskan korelasi nilai peak drained friction (triaxial) angle (ϕ) terhadap nilai N -SPT sebagai berikut,

$$\phi = 28 + 0.15D_r \quad (4.24)$$

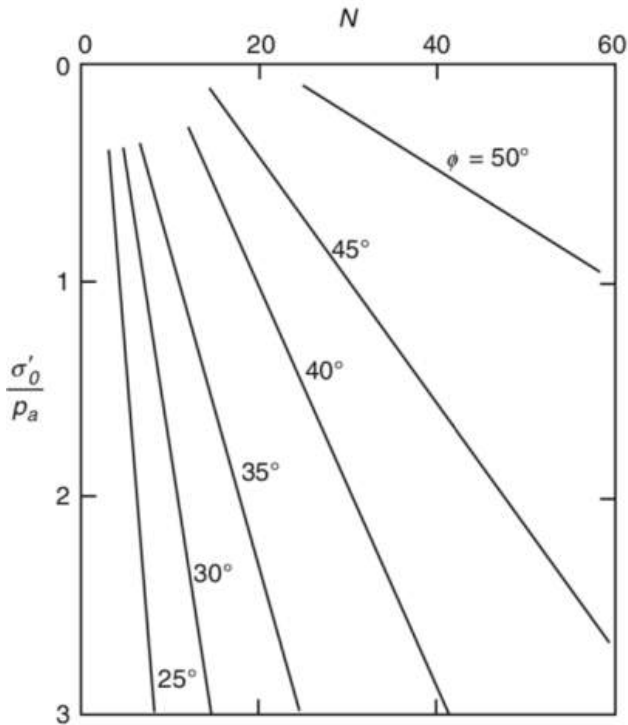
Schertmann (1975) mengusulkan grafik korelasi antara tekanan overburden efektif, Nilai N (sama dengan N_{60}) dan seperti pada

Gambar 4.15. Hatanaka dan Uchida (1996) merumuskan korelasi nilai sudut geser dengan nilai N-SPT terkoreksi sebagai berikut :

$$\Phi = \sqrt{20 (N_1)_{60}} + 20 \quad (4.25)$$



Gambar 4. 15 Hubungan Variasi D_r terhadap $e'/o/Pa$ dan N-SPT (Gibbs dan Holtz, 1979)



Gambar 4. 16 Variasi nilai ϕ , dengan $e'o/Pa$ dan N
(Schmertmann, 1975)

4.5.5 Kelebihan dan kekurangan Uji SPT

Uji Standard Penetration Test (SPT) adalah metode yang sederhana, terjangkau, dan banyak digunakan dalam investigasi tanah, terutama pada proyek teknik sipil. Kelebihannya termasuk kemampuan untuk memberikan gambaran kekuatan tanah, mengambil sampel tanah, dan fleksibilitas dalam penggunaannya. Namun, uji ini memiliki beberapa kekurangan terutama dalam hal variabilitas hasil, kesulitan dalam mengukur tanah lempung atau tanah keras, serta ketergantungan pada faktor-faktor operasional. Oleh

karena itu, meskipun sangat berguna, SPT sering dilengkapi dengan metode lain seperti CPT atau pengujian laboratorium untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan komprehensif.

4.6 Uji Vaneshear Test

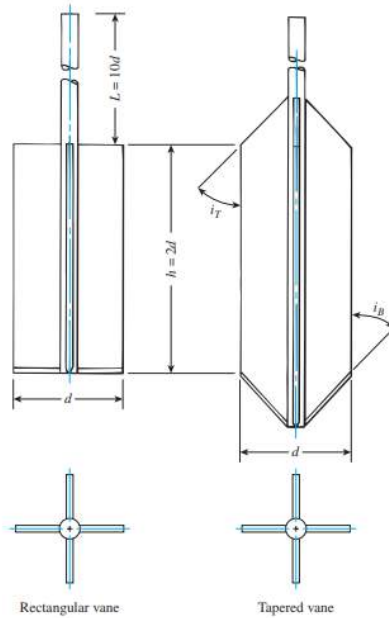
Pengujian geser kipas merupakan salah satu metode pengujian lapangan untuk mengukur tahanan geser tanah kohesif. Hasil pengujian geser kipas yaitu nilai kuat geser tak terdrainase (S_u/c_u) dan nilai sensitivitas tanah (St). Prosedur pelaksanaan uji geser kipas mengacu kepada SNI 03-2487-1991 (ASTM D2573/D2573M-15). Peralatan geser baling-baling terdiri dari empat bilah di ujung batang (Gambar 4.16). Tinggi baling-baling (H) adalah dua kali diameter (D). Baling-baling dapat berbentuk persegi panjang atau meruncing.

Baling-baling peralatan didorong ke dalam tanah di dasar lubang bor tanpa mengganggu tanah secara berarti. Torsi diterapkan di bagian atas batang untuk memutar baling-baling pada kecepatan standar 0,18/detik. Rotasi ini akan menyebabkan kegagalan pada tanah berbentuk silinder di sekeliling baling-baling. Torsi maksimum (T) yang diterapkan untuk menyebabkan kegagalan diukur.

$$T = f(c_u, H, \text{ dan } D) \quad (4.25)$$

$$C_u = \frac{T}{K} \quad (4.26)$$

Dimensi baling-baling yang digunakan di lapangan diberikan dalam Tabel 4.5.



Gambar 4. 17 Geometri bidang Vaneshear.

(ASTM, 2014)

Tabel 4. 5 Dimensi ASTM yang Direkomendasikan untuk Vaneshear^{a)} lapangan

(ASTM, 2014)

Casing size	Diameter(d) (mm)	Tinggi (h) (mm)	Ketebalan pisau (mm)	Diameter batang (mm)
AX	38,1	76,2	1,6	12,7
BX	50,8	101,6	1,6	12,7
NX	63,5	127,0	3,2	12,7
101,6 mm ^{b)}	92,1	184,1	3,2	12,7

a) Pemilihan ukuran bilah secara langsung berkaitan dengan konsistensi tanah yang diuji yaitu semakin lunak tanahnya semakin besar diameter bilahnya.

b) Diameter dalam

Menurut ASTM (2014), untuk bilah persegi panjang :

$$K = \frac{\pi d^2}{2} \left(h + \frac{d}{3} \right) \quad (4.27)$$

If $h/d = 2$, maka :

$$K = \frac{7\pi d^2}{6} \quad (4.28)$$

$$cu = \frac{6T}{7\pi d^2} \quad (4.29)$$

Sehingga :

$$K = \frac{\pi d^2}{12} \left(\frac{d}{\cos i_T} + \frac{d}{\cos i_B} + 6h \right) \quad (4.30)$$

Sudut i_T dan i_B ditunjukkan pada Gambar 4.16. Uji geser baling-baling lapangan cukup cepat dan ekonomis serta digunakan secara luas dalam program eksplorasi tanah lapangan. Uji ini memberikan hasil yang baik pada lempung lunak dan lempung sedang-kaku dan memberikan hasil yang sangat baik dalam menentukan sifat lempung sensitif. Sumber kesalahan yang signifikan dalam uji geser baling-baling lapangan adalah kalibrasi pengukuran torsi yang buruk dan baling-baling yang rusak. Kesalahan lain dapat terjadi jika laju putaran baling-baling tidak dikontrol dengan benar. Untuk tujuan desain aktual, nilai kuat geser tak terdrainase yang diperoleh dari uji geser baling-baling lapangan $[cu_{VST}]$ terlalu tinggi, dan direkomendasikan agar dikoreksi sesuai dengan persamaan di bawah ini, yaitu :

$$C_u \text{ (koreksi)} = \lambda \cdot C_u \text{ (VST)} \quad (4.31)$$

Dengan : λ adalah faktor koreksi.

Beberapa korelasi telah diberikan sebelumnya untuk faktor koreksi I. Korelasi yang paling umum digunakan untuk I adalah yang diberikan oleh Bjerrum (1972), yang dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\lambda = 1,7 - 0,54 \log [PI(\%)] \quad (4.34)$$

Morris dan Williams (1994) memberikan korelasi berikut:

$$\lambda = 1,18 e^{-0.08(PI)} + 0,57 \text{ (untuk } PI > 5) \quad (4.35)$$

$$\lambda = 7,01 e^{-0.08(LL)} + 0,57 \text{ (dimana LL dalam \%)} \quad (4.36)$$

Kekuatan geser bidang sudut dapat dikorelasikan dengan tekanan prakonsolidasi dan rasio konsolidasi berlebih dari lempung. Dengan menggunakan 343 titik data, Mayne dan Mitchell (1988) menyimpulkan hubungan empiris berikut untuk memperkirakan tekanan prakonsolidasi dari endapan lempung alami.

$$\sigma_c' = 7,04 [C_u \text{ lapangan}]^{0.83} \quad (4.37)$$

dimana :

σ_c' : tekanan prakonsolidasi (kN/m^2)

$C_u \text{ lapangan}$: kekuatan vaneshear lapangan (kN/m^2)

Untuk tanah dengan kondisi konsolidasi berlebih (OCR), nilai korelasi menggunakan :

$$OCR = \beta \frac{cu(\text{lapangan})}{\sigma_0'} \quad (4.38)$$

Dimana :

$\Sigma \sigma_0'$: tekanan overburden efektif (kN/m^2)

Besarnya β yang dikembangkan oleh berbagai peneliti diberikan di bawah ini.

Mayne and Mitchell (1988)

$$\beta = 22 [PI(\%)]^{-0.48} \quad (4.39)$$

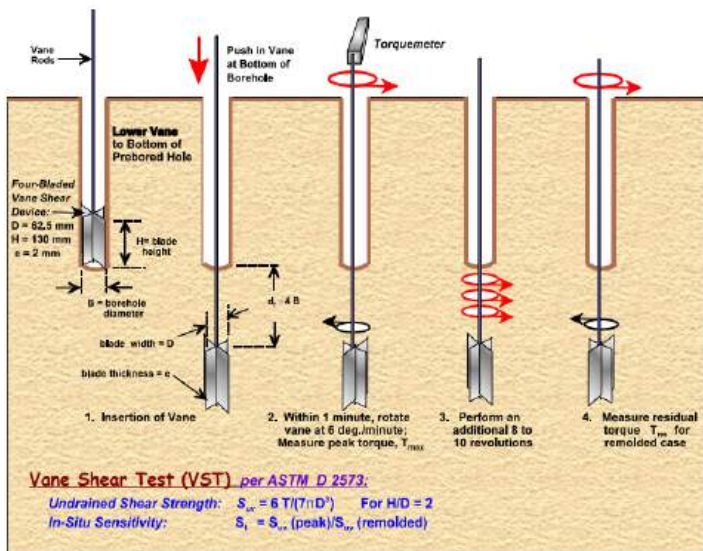
Hansbo (1957)

$$\beta = 222 / w(\%) \quad (4.40)$$

Larsson (1980)

$$\beta = \frac{1}{0,08 + 0,005 (PI)} \quad (4.41)$$

Vane Shear Test adalah metode yang efektif dan efisien untuk menentukan kekuatan geser tanah lunak, terutama lempung yang jenuh.



Gambar 4. 18 Prosedur Uji Umum untuk Baling-baling Lapangan di Tanah Berbutir Halus.

(Catatan: Interpretasi kekuatan tak terdrainase yang ditunjukkan khusus untuk baling-baling persegi panjang standar dengan $H/D = 2$).

Gambar 4.18 mengilustrasikan prosedur VST umum. Pada tanah liat yang sangat lunak, tersedia juga rumah pelindung khusus yang membungkus baling-baling jika tidak diperlukan lubang bor dan baling-baling dapat dipasang dengan mendorong penutup ke kedalaman uji yang diinginkan untuk memasang baling-baling. Pendekatan alternatif adalah dengan mendorong dua alat ukur kedalaman yang berdampingan (satu dengan baling-baling, yang lain hanya dengan batang). Kemudian, hasil gesekan batang yang terakhir dikurangi dari yang pertama untuk mendapatkan pembacaan baling-baling. Alternatif ini harus dihindari karena pembacaan gesekan batang bervariasi, bergantung pada kemiringan dan vertikalitas batang, jumlah putaran

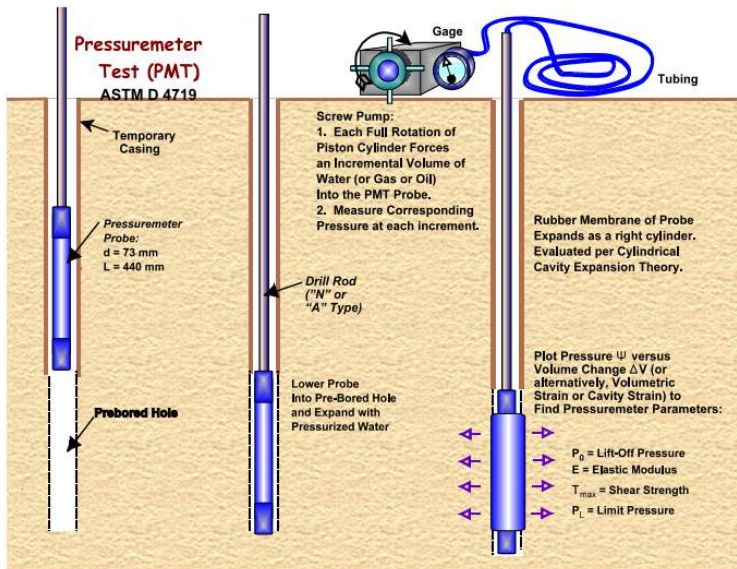
Kelebihan dan kekurangan Vane Shear Test

Pengujian ini sederhana dan dapat dilakukan di lapangan dengan waktu yang singkat tanpa perlu peralatan yang terlalu rumit, sangat ideal untuk tanah lempung jenuh atau tanah lunak yang sulit diuji dengan metode lain, pengujian tidak merusak kondisi asli tanah secara signifikan dibandingkan metode penggalian atau pengeboran besar-besaran, hasil dari tes ini dapat segera diketahui di lapangan, sehingga keputusan teknik dapat diambil secara lebih cepat.

Vane Shear Test tidak efektif untuk tanah yang lebih keras, berbatu, atau tanah berpasir karena alat tidak bisa menembus dengan baik dan resistansi terhadap rotasi vane tidak dapat diukur secara akurat, pengujian terbatas pada kedalaman dangkal hingga sedang, tergantung peralatan yang digunakan dan jenis tanah.

4.7 Uji Pressuremeter (PMT)

Uji pressuremeter dilakukan untuk mengetahui tekanan batas tanah (p_1). Secara umum pengujian pressuremeter dilakukan dengan memasukkan alat silinder yang mengembang bila dipompa didalam lubang bor yang telah dipersiapkan. Perubahan volume sebagai akibat tekanan silinder pada dinding lubang yang mengembang dicatat untuk dibuat grafik hubungan keduanya (Menard, 1956). Prosedur pelaksanaan uji pressuremeter mengacu kepada ASTM D 4719. Berdasarkan SNI 8460:2017, pengujian pressuremeter dilaksanakan mengacu kepada EN-ISO 22476 sesuai dengan jenis alat pressuremeter yang digunakan.

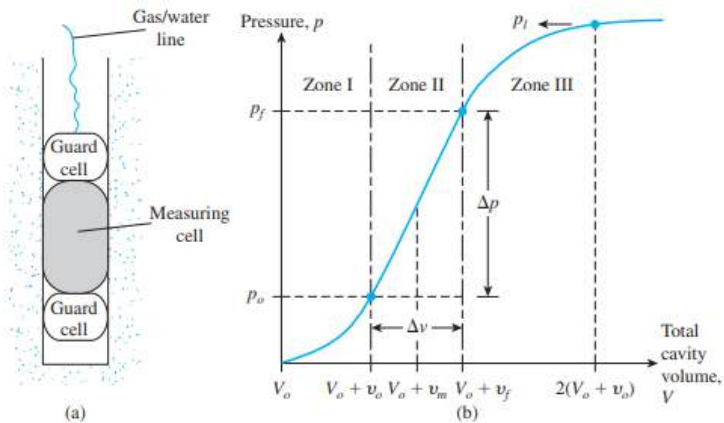


Gambar 4. 19 Prosedur Uji dan Pelaksanaan Uji Pressuremeter Tipe Pre-Bored (Menard).

(FHWA NHI-01-031)

Uji Pressuremeter (PMT) harus dilakukan dengan mengikuti persyaratan-persyaratan yang diberikan di dalam EN-ISO 22476. Ketika merancang sebuah program pengujian untuk suatu pekerjaan, jenis pressuremeter yang akan digunakan harus ditentukan. Ada empat jenis alat umumnya tersedia, dengan mengacu pada EN-ISO 22476 :

- Pre-bored pressuremeter (PBP), misalnya tes dilatometer fleksibel (FDT), mengacu pada EN ISO 22476-5
- Ménard pressuremeter (MPM), bentuk spesifik dari PBP, mengacu pada EN ISO 22476- 4
- Self-boring pressuremeter (SBP), mengacu pada EN ISO 22476-6
- Full-displacement pressuremeter (FDP), mengacu pada EN ISO 22476-8.



Gambar 4. 20 (a) Pressuremeter; (b) plot tekanan versus volume rongga total
(Das & Sobhan, 2014)

PMT tipe Menard pada dasarnya terdiri dari probe dengan tiga sel. Sel atas dan bawah adalah sel pelindung dan sel tengah adalah sel pengukur, seperti yang ditunjukkan secara skematis pada Gambar 4.20a. Hasil uji pengukur tekanan dinyatakan dalam bentuk grafik tekanan versus volume, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.20b. Pada gambar, Zona I menggambarkan bagian pemuatan ulang saat tanah di sekitar lubang bor didorong kembali ke keadaan awal (yaitu, keadaan sebelum pengeboran). Tekanan p_0 mewakili tegangan horizontal total in situ. Zona II mewakili zona pseudoelastis di mana volume sel versus tekanan sel praktis linier. Tekanan p_f mewakili tekanan creep, atau yield. Zona yang ditandai III adalah zona plastis. Tekanan p_l mewakili tekanan batas.

Uji ini dilakukan di lubang yang telah dibor sebelumnya dengan diameter antara 1,03 dan 1,2 kali diameter nominal probe. Probe yang paling umum digunakan memiliki diameter 58 mm dan panjang 420 mm. Sel probe dapat diekspansi oleh cairan atau gas. Sel pelindung diekspansi untuk mengurangi efek kondisi akhir pada sel pengukur, yang memiliki volume (V_0) sebesar 535 cm³. Tabel 4.6 menunjukkan dimensi untuk diameter probe dan diameter lubang bor, seperti yang direkomendasikan oleh ASTM. Untuk melakukan pengujian, volume sel pengukur (V_0) diukur dan probe dimasukkan ke dalam lubang bor. Tekanan diberikan secara bertahap dan volume sel yang baru diukur. Proses ini dilanjutkan hingga tanah runtuh atau hingga batas tekanan perangkat tercapai. Tanah dianggap runtuh jika volume total rongga yang mengembang (V) sekitar dua kali volume rongga asli. Setelah pengujian selesai, probe dikempiskan dan dimajukan untuk pengujian pada kedalaman lain.

Tabel 4.6 dimensi untuk diameter probe dan diameter lubang bor

(ASTM D 4719)

Diameter Probe (mm)	Diameter lubang bor (mm)	
	nominal	maksimum
44	45	53
58	60	70
74	76	89

Modulus pengukur tekanan tanah (E_p) ditentukan dengan menggunakan teori ekspansi silinder yang tebalnya tak terhingga. Jadi,

$$E_p = 2(1 + \mu_s)(V_o + \nu_m)\left(\frac{\Delta p}{\Delta \nu}\right) \quad (4.40)$$

Dengan,

$$\nu_m = (\nu_o + \nu_f) / 2$$

$$\Delta p = p_f - p_o$$

$$\Delta \nu = \nu_f - \nu_o$$

$$\mu_s = \text{Poisson's ratio (diasumsikan 0,33)}$$

Tekanan batas p_1 biasanya diperoleh dengan ekstrapolasi dan bukan dengan pengukuran langsung. Korelasi antara berbagai parameter tanah dan hasil yang diperoleh dari uji tekanan telah dikembangkan oleh berbagai peneliti. Kulhawy dan Mayne (1990) mengusulkan untuk tanah lempung :

$$\sigma'_c = 0,45 p_1 \quad (4.41)$$

dimana, σ'_c = tekanan prakonsolidasi

Baguelin et al. (1978) mengusulkan bahwa :

$$C_u = (p_1 - p_o) / N_p \quad (4.42)$$

dimana :

c_u = kekuatan geser tak terdrainase lempung;

$$N_p = 1 + \ln (E_p / 3c_u)$$

Tipikal nilai N_p bervariasi antara 5 dan 12, dengan rata-rata sekitar 8,5. Ohya dkk (1982) (lihat juga Kulhawy dan Mayne, 1990) mengkorelasikan E_p dengan angka penetrasi standar lapangan sN_{60d} untuk pasir dan lempung sebagai berikut:

$$\text{Lempung : } E_p \text{ (kN/m}^2\text{)} = 1930 N_{60}^{0,63} \quad (4.43)$$

$$\text{Pasir : } E_p \text{ (kN/m}^2\text{)} = 908 N_{60}^{0,66} \quad (4.44)$$

Kelebihan dan kekurangan PMT

Kelebihan pengujian dengan menggunakan Pressuremeter test adalah :

- Pengukuran Parameter Tanah yang Akurat: PMT dapat mengukur parameter tanah seperti modulus elastisitas dan modulus geser dengan akurat, yang sangat penting untuk analisis geoteknik.
- Pengujian di Zona Tanah yang Lebih Luas: PMT dapat dilakukan dalam zona massa tanah yang lebih luas dibandingkan dengan uji lapangan lainnya, memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang kondisi tanah.
- Kurva Tegangan-Regangan yang Lengkap: Hasil PMT dapat diinterpretasikan sebagai kurva hubungan tegangan, regangan, dan kekuatan secara lengkap, yang membantu dalam memahami perilaku tanah di bawah beban.
- Aplikasi pada Berbagai Jenis Tanah: PMT dapat diaplikasikan pada berbagai tipe tanah dan batuan lunak, membuatnya fleksibel untuk berbagai kondisi lapangan.

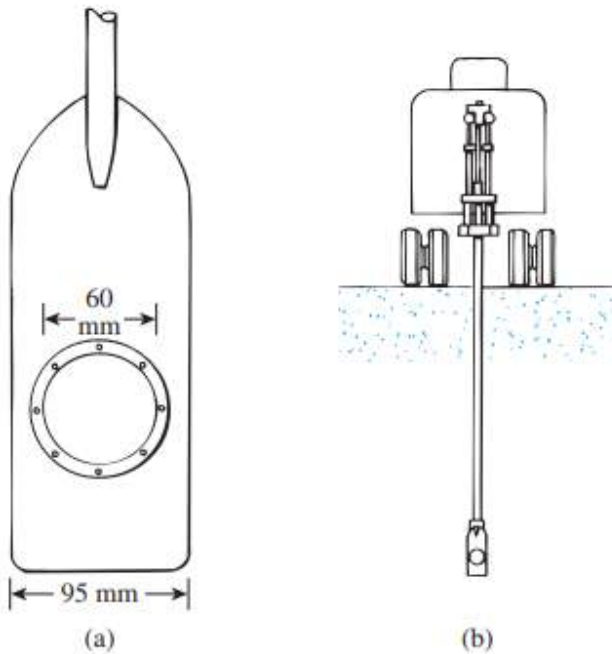
Kekurangan pengujian dengan menggunakan Pressuremeter test adalah :

- Biaya dan Waktu: Pengujian PMT bisa lebih mahal dan memakan waktu dibandingkan dengan metode pengujian tanah lainnya.
- Keterbatasan pada Tanah Tertentu: PMT mungkin tidak efektif pada lapisan tanah yang sangat kerikil, koral, atau batu besar karena kemungkinan kebocoran pada sel pengukur.
- Kebutuhan Peralatan Khusus: PMT memerlukan peralatan khusus dan operator yang terlatih, yang mungkin tidak selalu tersedia di semua lokasi proyek.
- Pengaruh ketergangguan tanah: Hasil PMT bisa dipengaruhi oleh disturbansi tanah selama pengeboran dan pemasangan probe, yang dapat mempengaruhi akurasi hasil.

4.8 Uji dilatometer datar

Uji dilatometer datar (Uji DMT) dilakukan untuk menentukan kekuatan dan deformasi sifat tanah lapangan dengan memperluas membran baja tipis melingkar dipasang penyemprot di salah satu wajah penduga baja pisau berbentuk dimasukkan secara vertikal ke dalam tanah. Uji dilatometer datar (DMT) dilakukan untuk menentukan kekuatan dan deformasi sifat tanah lapangan. Hasil uji dilatometer dapat digunakan untuk mendapatkan informasi tentang stratigrafi tanah, keadaan tegangan lapangan, sifat deformasi dan kekuatan geser. Tiga parameter yang diperoleh dari pengujian DMT yaitu indeks material (I_D), indeks tegangan horizontal (K_D) dan modulus dilatometer (E_D). Prosedur pelaksanaan uji dilatometer mengacu kepada ASTM D6635-15. Ilustrasi skema

dilatometer disajikan pada Gambar 4.20.



Gambar 4. 21 (a) Diagram skema dilatometer pelat datar (b) probe dilatometer dimasukkan ke dalam tanah

(Das & Sobhan, 2014)

Prosedur untuk pengujian diberikan oleh ASTM D 6635 dan Schmertmann (1986) dan Gambar 4.21 memberikan gambaran umum tentang perangkat dan urutan operasinya. Dua kalibrasi dilakukan sebelum pengukuran untuk memperoleh koreksi kekakuan membran di udara. Tekanan "A" dan "B" yang dikoreksi ini masing-masing dinotasikan sebagai p_0 dan p_1 dengan perhitungan asli yang diberikan oleh (Marchetti 1980):

$$p_0 = A + \Delta A \quad (4.45)$$

$$p_1 = B - \Delta B \quad (4.46)$$

di mana ΔA dan ΔB adalah faktor kalibrasi untuk kekakuan membran di udara. Kalibrasi ΔA diperoleh dengan menerapkan gaya hisap pada membran dan ΔB diperoleh dengan memberikan tekanan pada membran di udara (Catatan: keduanya dicatat sebagai nilai positif). Pada tanah kaku, persamaan (4.45) dan (4.46) biasanya cukup untuk menghitung tekanan kontak p_0 dan tekanan ekspansi p_1 . Namun, pada tanah lempung & lanau lunak, prosedur koreksi yang lebih akurat diberikan oleh (Schmertmann 1986):

$$p_0 = 1,05 (A + \Delta A - z_m) - 0,05 (B - \Delta B - z_m) \quad (4.47)$$

$$p_1 = (B - \Delta B - z_m) \quad (4.48)$$

di mana z_m = offset pengukur tekanan (yaitu, pembacaan pengukur nol). Biasanya untuk pengukur baru, $z_m = 0$. Persamaan (4.47) dan (4.48) lebih disukai secara umum daripada persamaan sebelumnya (4.45) dan (4.46).

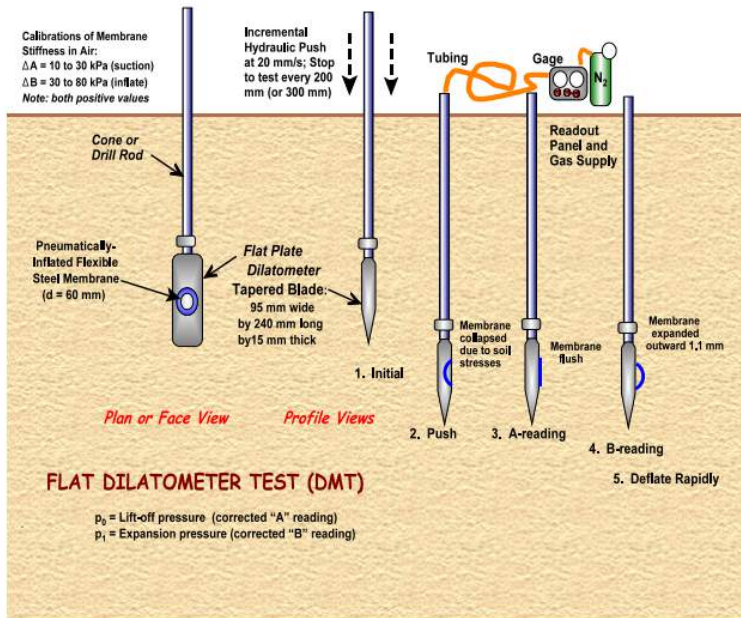
Dua pembacaan DMT (p_0 dan p_1) digunakan untuk memberikan tiga indeks yang dapat memberikan informasi tentang stratigrafi, jenis tanah, dan evaluasi parameter tanah:

- Material index : $I_D = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0)$ (4.49)

- Dilatometer modulus : $E_d = 34,7 (p_1 - p_0)$ (4.50)

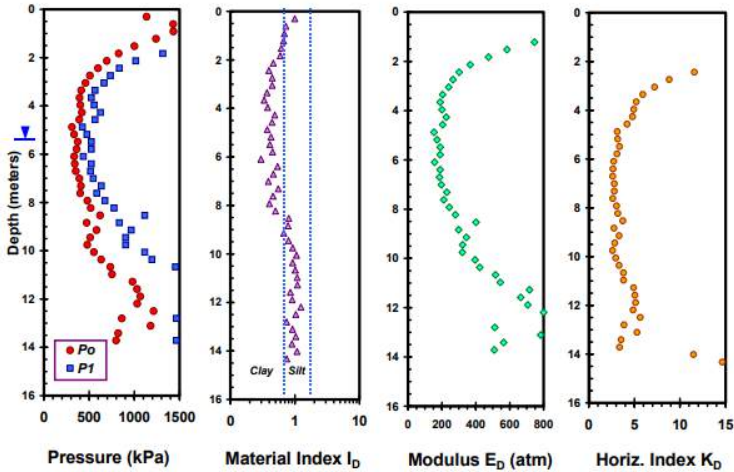
- Horizontal stress index : $K_D = (p_0 - u_0) / \sigma_{vo}'$ (4.51)

di mana u_0 = tekanan air pori hidrostatis dan σ_{vo}' = tegangan beban vertikal efektif. Untuk klasifikasi perilaku tanah, lapisan diinterpretasikan sebagai lempung bila $I_D < 0,6$, lanau dalam kisaran $0,6 < I_D < 1,8$, dan pasir bila $I_D > 1,8$.



Gambar 4. 22 Pengaturan dan Urutan Prosedur untuk Uji Dilatometer Pelat Datar.

Contoh hasil dari DMT yang dilakukan di tanah residual Piedmont disajikan pada Gambar 4.22. Pada Gambar tersebut ditampilkan , tekanan lepas landas (p_0) dan ekspansi (p_1) yang diukur, indeks material (I_D), modulus dilatometer (E_D), dan indeks tegangan horizontal (K_D) versus kedalaman. Tanah tersebut berupa lempung berpasir halus dan lanau berpasir yang berasal dari pelapukan di tempat batuan dasar skistos dan gneis.



Gambar 4. 23 Contoh Pengukuran DMT di tanah residual Piedmont (CL hingga ML) di Charlotte, NC.

Berat total tanah (γ_T) dapat dievaluasi dari indeks material dan modulus dilatometer. Untuk penggunaan spreadsheet, ekspresi perkiraannya adalah :

$$\gamma_T = 1,12 \gamma_w (E_D / \sigma_{atm})^{0,1} (I_D)^{-0,05} \tag{4.52}$$

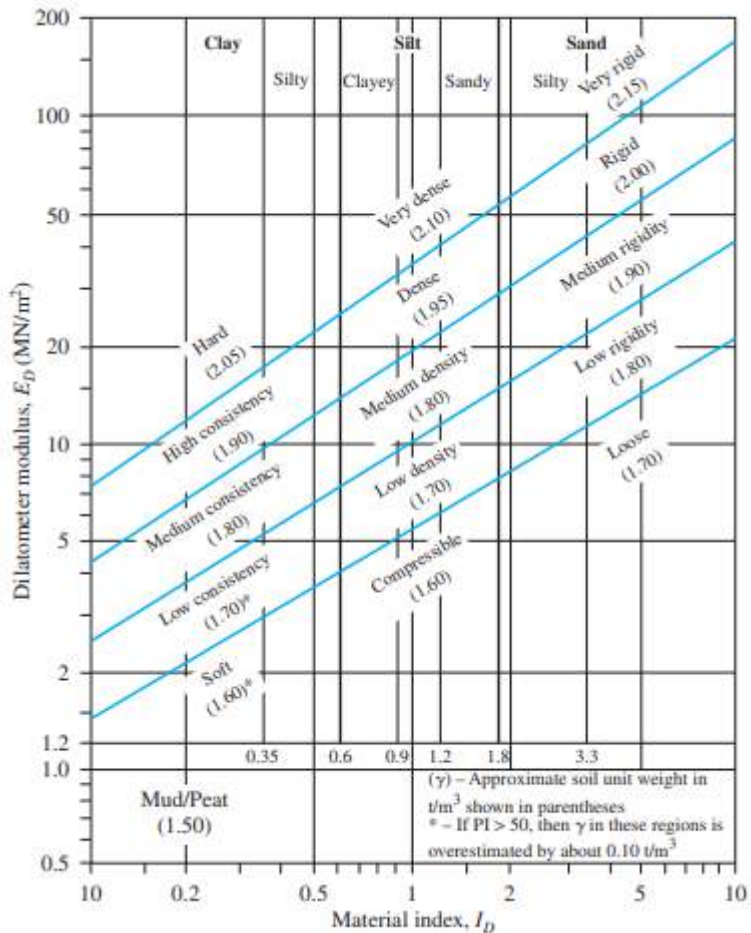
di mana :

w = berat satuan air dan σ_{atm} = tekanan atmosfer. Untuk setiap lapisan berikutnya, tegangan beban total kumulatif (σ_{vo}) dapat dihitung, karena ini diperlukan untuk penentuan tegangan beban vertikal efektif ($\sigma_{vo}' = \sigma_{vo} - u_o$) dan evaluasi parameter K_D .

4.8.1 Identifikasi Jenis Tanah

Salah satu kegunaan utama pengujian dilatometer adalah untuk mengidentifikasi jenis tanah. Schmertmann (1986) mengusulkan grafik hubungan indeks material (I_D) dan modulus dilatometer (E_D) untuk menentukan identifikasi jenis tanah

pada Gambar 4.24.



Gambar 4. 24 Grafik Identifikasi Jenis Tanah.

(Schmertmann, 1986)

4.8.2 Undrained Shear Strength (c_u) pada Tanah Kohesif

Iwasaki dan Kamei (1994) mengusulkan persamaan berikut

untuk menghitung nilai c_u dengan menggunakan parameter E_D :

$$c_u = 0,118 E_D \quad (4.53)$$

Kamei dan Iwaki (1995) mengusulkan persamaan berikut untuk menghitung nilai c_u dengan menggunakan parameter K_D .

$$(c_u/\sigma'_{vo})_{oc} \approx 0,35 (0,47 K_D)^{1,14} \quad (4.54)$$

4.8.3 Constrained Modulus (MDMT)

Constrained Modulus uji dilatometer (MDMT) dapat diperoleh dengan menggunakan nilai E_D .

$$M_{DMT} = R_M E_D$$

$$\text{Untuk } I_D \leq 0,6 \quad R_M = 0,14 + 2,36 \log K_D$$

$$\text{Untuk } 0,6 < I_D < 3 \quad R_M = R_{M,0} + (2,5 - \log R_{M,0}) \log K_D$$

$$R_{M,0} = 0,14 + 0,15 (I_D - 0,6)$$

$$\text{Untuk } I_D \geq 3 \quad R_M = 0,5 + 2,0 \log K_D$$

$$\text{Untuk } K_D \geq 10 \quad R_M = 0,32 + 2,18 \log K_D$$

Untuk diperhatikan dalam proses perhitungan, nilai R_M tidak boleh kurang dari 0.85.

4.8.4 Modulus Young (Modulus Kekakuan) (E)

Nilai modulus young dapat dihitung dengan parameter E_D dengan menggunakan persamaan berikut :

$$E = (1 - \nu^2) E_D \quad (4.55)$$

4.8.5 Sudut Geser Efektif (ϕ')

Marchetti (1997) menyarankan suatu perkiraan persamaan untuk menghitung sudut geser efektif suatu batas bawah dengan nilai underestimasi antara $2-4^0$ sebagai berikut.

$$\Phi' = 28 + 14.6 \log K_D - 2,1 (\log K_D)^2 \quad (4.56)$$

Untuk jenis tanah ML dan SP-SM, Ricceri et al. (2002) menyarankan persamaan berikut.

$$\Phi' = 31 + K_D / (0,236 + 0,066 K_D) \quad (4.57)$$

4.8.6 Koefisien Tekanan Lateral Tanah Kondisi Diam (K_0)

Kullhawy dan Mayne (1990) mengusulkan persamaan berikut untuk menghitung nilai K_0 dengan menggunakan parameter K_D .

$$K_0 = (K_D / \beta_k)^{0,47} - 0,6 \quad (4.58)$$

Dengan nilai β_k dapat dilihat pada Tabel 4. 7

Tabel 4. 7 Nilai β_k
(Kulhawy and Mayne, 1990)

Jenis tanah	β_k
Fissured clays	0,9
Insensitive clays	1,5
Sensitive clays	2
Glacial till	2

4.8.7 Kelebihan dan kekurangan Uji Dilatometer

Kelebihan pengujian dengan menggunakan dilatometer adalah:

- Cepat dan Efisien: Uji DMT dapat dilakukan dengan cepat dan memberikan hasil yang segera, sehingga efisien untuk proyek besar.
- Data yang Akurat: DMT memberikan data yang akurat mengenai tegangan lateral dalam keadaan diam (at rest lateral stresses), modulus elastisitas, dan kuat geser tanah.
- Non-Destruktif: Metode ini tidak merusak struktur tanah secara signifikan, sehingga kondisi asli tanah tetap terjaga.

- Penggunaan yang Luas: DMT dapat digunakan pada berbagai jenis tanah, termasuk pasir, lanau, dan lempung.

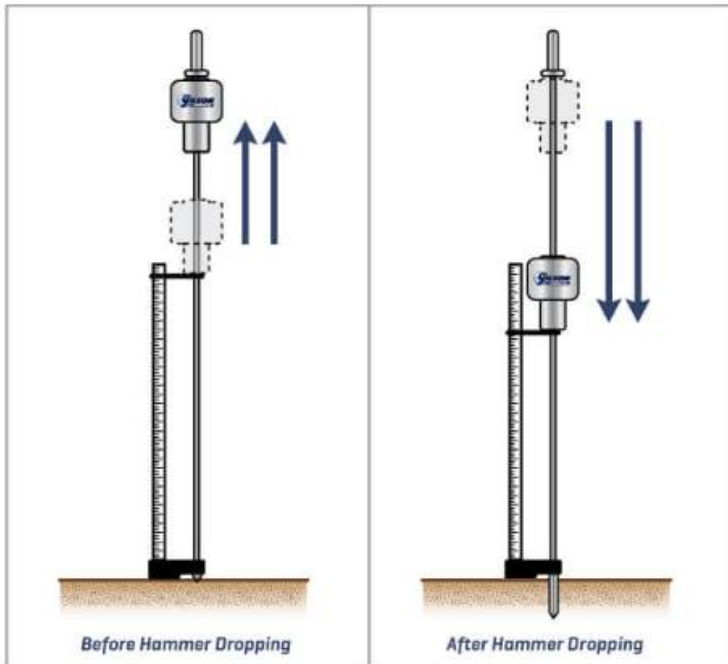
Kekurangan pengujian dengan menggunakan dilatometer adalah :

- Biaya Alat: Peralatan DMT bisa mahal, terutama jika dibandingkan dengan metode pengujian tanah lainnya.
- Keterbatasan Kedalaman: Uji DMT memiliki keterbatasan dalam hal kedalaman pengujian, sehingga mungkin tidak cocok untuk semua proyek.
- Keterampilan Operator: Memerlukan operator yang terlatih dan berpengalaman untuk mendapatkan hasil yang akurat.
- Keterbatasan Data: Meskipun memberikan data yang akurat, DMT mungkin tidak memberikan informasi yang cukup untuk semua parameter geoteknik yang diperlukan.

4.9 Dynamic Cone Penetration (DCP)

Penetrasi kerucut dinamis (DCP) adalah alat yang optimal untuk pengujian di tempat pada tanah berbutir halus, lapisan dasar perkerasan, sub-dasar, dan lapisan tanah dasar. DCP menyediakan penilaian kekuatan tanah dan kedalaman lapisan yang cepat dan hemat biaya untuk desain perkerasan dangkal dan permukaan penyangga pondasi.

Penetrasi kerucut dinamis menggerakkan ujung baja berbentuk kerucut melalui matriks tanah menggunakan palu jatuh baja yang menghasilkan sejumlah gaya standar pada setiap pukulan. Penetrasi kerucut pada setiap pukulan palu merupakan indikasi kekakuan tanah.



Gambar 4. 25 Cara kerja Dynamic Cone Penetration (<https://www.globalgilson.com/blog/dcp-test>).

Penetrasi kerucut dinamis adalah metode yang efisien untuk mengkarakterisasi berbagai sifat tanah. Perkiraan kekuatan geser, kepadatan, kekuatan penyangga, dan pemadatan dibuat dengan peralatan sederhana yang memerlukan pelatihan operator minimal. Instrumen DCP telah berevolusi dengan bobot palu dan dimensi kerucut yang berbeda, jadi penting untuk mencocokkan peralatan dengan aplikasi, tetapi prinsipnya sama.

Penetrometer kerucut dinamis ini kokoh dan mudah digunakan, dioperasikan secara manual oleh satu atau dua

orang, dan cukup ringan untuk dibawa ke lokasi terpencil dengan berjalan kaki. Hasil uji DCP cepat, dapat diulang, dan mudah dikorelasikan dengan nilai California Bearing Ratio (CBR) di lapangan (tetapi tidak di laboratorium). Standar ASTM D6951 menjelaskan cara menggunakan penetrometer kerucut dinamis untuk mengukur kekuatan tanah yang tidak terganggu atau padat dan memperkirakan nilai CBR in-situ untuk desain perkerasan. Pengujian DCP juga mengidentifikasi dan mengisolasi area tanah yang kurang padat pada timbunan yang direkayasa.

Indeks DCP dihitung dalam satuan metrik atau Inggris dengan membagi kedalaman penetrasi antara pembacaan dengan jumlah pukulan palu. Penetrasi 25 mm (1 inci) dari 5 pukulan palu menghasilkan indeks DCP 5 mm per pukulan (0,196 inci per pukulan). Metode uji ASTM menyediakan persamaan korelasi yang direkomendasikan untuk mengubah indeks DCP menjadi nilai CBR untuk sebagian besar tanah:

$$\text{CBR} = 292 / \text{DCP}^{1,12} \text{ untuk DCP dalam mm/ pukulan} \quad (4.59)$$

$$\text{CBR} = 292 / (\text{DCP} \times 25,4)^{1,12} \text{ untuk DCP dalam inch/pukulan} \quad (4.60)$$

Persamaan ini tidak berlaku untuk tanah lempung (CL) dengan nilai CBR kurang dari sepuluh atau tanah lempung gemuk (CH). Metode pengujian menawarkan persamaan terpisah untuk korelasi ini. Meskipun indeks DCP tidak memberikan korelasi langsung dengan daya dukung tanah, persamaan dari Portland Cement Association (PCA) ini menggunakan hasil DCP yang dikonversi ke nilai CBR sebagai perkiraan:

$$\text{Daya Dukung (psi), } q = 3,794 \times \text{CBR}^{0,664} \quad (4.61)$$

Peneliti banyak menggunakan nilai CBR berkorelasi yang diperoleh dari hasil DCP untuk memperkirakan modulus ketahanan tanah modulus reaksi tanah dasar dan sifat-sifat lainnya. Penetrometer kerucut dinamis bersifat serbaguna,

mudah dipahami dan dioperasikan, serta memberikan informasi berharga tentang kekuatan, komposisi, dan ketebalan lapisan tanah dan agregat.

4.10 Uji Permeabilitas di Lapangan

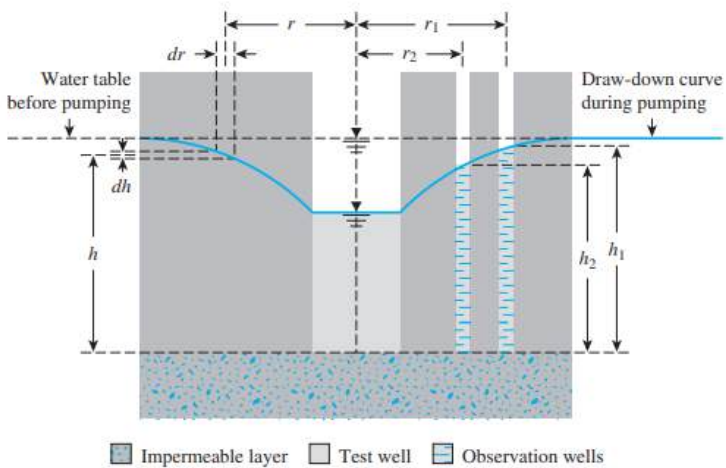
Pengujian permeabilitas di lapangan adalah salah satu prosedur penting dalam investigasi geoteknik yang bertujuan untuk mengukur kemampuan tanah atau batuan dalam mengalirkan air. Parameter permeabilitas atau konduktivitas hidrolik merupakan salah satu sifat fisik tanah yang sangat berpengaruh terhadap stabilitas lereng, desain fondasi, sistem drainase, dan proyek-proyek teknik sipil yang melibatkan air tanah, seperti bendungan, terowongan, atau saluran air bawah tanah. Pengujian permeabilitas dilakukan secara in-situ untuk mendapatkan data yang lebih akurat dan representatif dari kondisi lapangan. Dalam beberapa kasus, hasil laboratorium mungkin tidak cukup menggambarkan kondisi aktual tanah di lapangan, terutama jika terdapat faktor-faktor seperti tekanan air pori, stratifikasi tanah, atau perubahan dalam lapisan tanah yang memengaruhi aliran air. Pengujian di lapangan juga berguna untuk mengidentifikasi variasi lokal dalam tingkat permeabilitas, yang sangat penting dalam proyek-proyek yang melibatkan pengendalian air atau drainase. Beberapa metode yang umum digunakan untuk mengukur permeabilitas di lapangan antara lain uji pompa (pumping test), uji slug (slug test), dan uji Lugeon. Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan serta diaplikasikan sesuai dengan jenis tanah, kedalaman lapisan yang akan diuji, dan tujuan pengujian.

4.10.1 Pengujian permeabilitas di lapangan dengan pemompaan dari sumur

Metode Pemompaan dari Sumur (pumping test) adalah metode pengujian untuk mengukur tingkat permeabilitas atau

konduktivitas hidrolik pada tanah atau akuifer di lapangan. Uji ini dilakukan dengan memompa air secara terus-menerus dari sumur uji dan mengukur penurunan muka air, baik di sumur itu sendiri maupun di sumur observasi yang terletak di sekitarnya. Teknik ini sangat penting dalam proyek-proyek geoteknik yang melibatkan air tanah seperti pembangunan fondasi, penggalian besar, dan pengendalian rembesan pada bendungan atau kolam. Langkah-langkah Pelaksanaan Uji Pemompaan dari Sumur yaitu :

- Pembuatan sumur uji dan sumur observasi : satu sumur utama (sumur uji) dibor hingga mencapai lapisan akuifer yang akan diuji. Selain itu, beberapa sumur observasi dapat dibor di sekitar sumur utama untuk memantau penurunan muka air secara horizontal.
- Pemompaan air secara terus menerus : Pompa dipasang di sumur uji dan dioperasikan untuk menarik air keluar secara kontinyu pada laju konstan. Proses ini menyebabkan penurunan muka air di sumur uji dan di sumur observasi, yang menciptakan kerucut penurunan (cone of depression) di sekitar sumur uji.
- Pengukuran penurunan muka air : muka air di sumur uji dan sumur-sumur observasi di sekitarnya diukur pada interval waktu tertentu. Penurunan muka air ini memberikan informasi mengenai seberapa cepat air mengalir menuju sumur dan menstabilkan level air setelah periode tertentu.
- Pencatatan waktu dan debit pompa : setiap penurunan muka air dikaitkan dengan debit pompa dan waktu yang berguna untuk mengetahui nilai koefisien permeabilitas tanah.



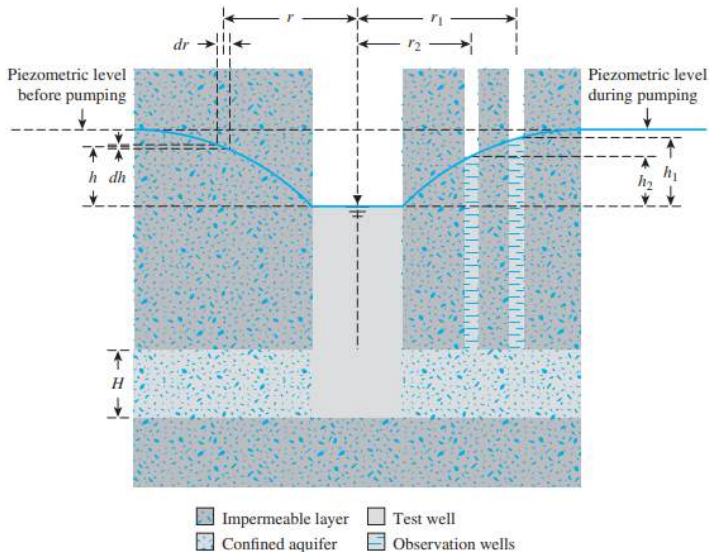
Gambar 4. 26 Uji pemompaan dari sumur uji dalam lapisan tembus air yang didasari oleh lapisan kedap air.

(Das, 2006)

Gambar 4.25 menunjukkan pengujian permeabilitas di lapangan dengan cara memompa air dari sumur. Dalam melakukan percobaan, udara dipompa keluar dari sumur uji yang mempunyai mantel silinder berlubang dengan kecepatan tetap. Beberapa sumur observasi dibuat di sekeliling sumur uji dengan jarak yang berbeda-beda. Ketinggian udara di dalam sumur uji dan sumur observasi diteliti secara terus menerus sejak pemompaan dilakukan hingga keadaan tunak (steady state) tercapai. Tunak tersebut akan tercapai bilamana keadaan ketinggian air di dalam sumur uji dan sumur observasi menjadi tunak. Jumlah air tanah yang mengalir ke dalam sumur uji per satuan waktu (debit = q) adalah sama dengan jumlah air yang dipompa keluar dari sumur uji per satuan waktu; keadaan ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$k = \frac{2,303 q \log_{10} \left(\frac{r_1}{r_2} \right)}{\pi (h_1^2 - h_2^2)} \quad (4.62)$$

Koefisien rembesan rata-rata untuk suatu akuifer terbatas (lapisan penyimpanan udara yang diapit oleh lapisan kedap udara) dapat juga ditentukan dengan cara penguatan udara keluar dari sumur uji, di mana mantel silinder berlubangnya dipasang sampai ke lapisan akifer (lapisan pe penyimpanan udara), dan dengan menghitung ketinggian udara di dalam sumur observasi yang dipasang dengan jarak yang berbeda-beda dari sumur uji (Gambar 4.26). Pemompaan dilakukan dengan debit yang tetap sesuai dengan keadaan tunak yang dicapai.



Gambar 4. 27 Uji pemompaan dari suatu sumur uji yang dibuat sampai dengan lapisan tembus air yang di apit oleh lapisan kedap air (akifer ditekan).

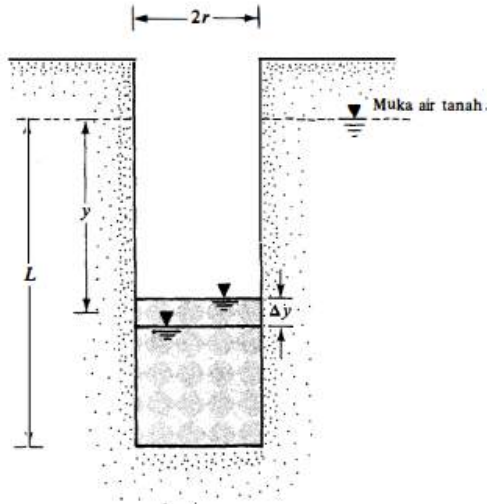
(Das, 2006)

Karena udara hanya dapat mengalir ke dalam sumur uji melalui akifer dengan ketebalan H, Koefisien rembesan yang searah dengan aliran dapat ditulis sebagai berikut:

$$k = \frac{q \log_{10} \left(\frac{r_1}{r_2} \right)}{2,727 H (h_1 - h_2)} \quad (4.63)$$

4.10.2 Koefisien Rembesan dari Lubang Auger

Koefisien rembesan di lapangan juga dapat diestimasi dengan cara membuat lubang auger (Gambar 4.27). Tipe uji ini biasanya disebut sebagai slug test. Lubang dibuat di lapangan sampai dengan kedalaman L di bawah muka air tanah. Pertama-tama air ditimba ke luar dari lubang. Hal ini akan menyebabkan adanya aliran air tanah ke dalam lubang melalui keliling dan dasar lubang. Penambahan tinggi udara di dalam lubang auger dan waktu yang dicatat.



Gambar 4. 28 Penentuan koefisien rembesan dari suatu lubang yang dibuat dengan alat bor auger.

(Endah dan Mochtar, 1997)

Koefisien rembesan dapat ditentukan dari data tersebut (Ernst, 1950; juga lihat Dunn, Anderson, dan Kiefer, 1980 dalam Endah dan Mochtar, 1997).

$$k = \frac{40}{(20 + \frac{L}{r})(2 - \frac{y}{L})} \frac{r \Delta y}{y \Delta t} \quad (4.64)$$

Dengan,

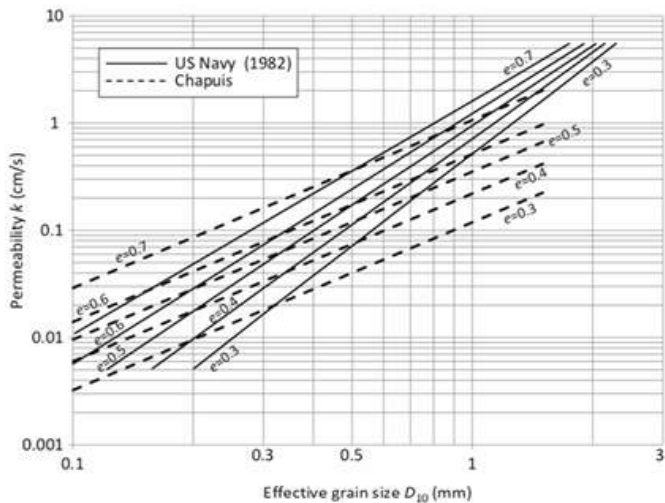
- r = jari-jari lubang auger (meter)
- y = harga rata-rata dari jarak antara tinggi air di dalam lubang auger dengan muka air tanah selama interval waktu Δt (menit).

Perlu diperhatikan bahwa untuk persamaan di atas, satuan L adalah meter dan satuan k adalah meter/detik atau meter/menit, tergantung pada satuan waktu Δt . Penentuan koefisien rembesan dari lubang auger biasanya tidak dapat memberikan hasil yang teliti tergantung dari harga pangkat dari k.

Permeabilitas tanah bergantung pada ukuran butir tanah. Hubungan permeabilitas untuk tanah granuler dan kohesif pun tergantung pada parameter yang berbeda.

4.10.3 Tanah Granuler (Granular soils)

Tanah granuler memiliki permeabilitas yang lebih tinggi dibandingkan oleh tanah kohesif. Karena memiliki permeabilitas yang relatif besar, tanah granuler sering digunakan sebagai bahan filter. Gambar 4.28 berikut merupakan grafik hubungan antara permeabilitas (k)-void ratio (e) – ukuran butir efektif D_{10} pada tanah berbutir kasar.



Gambar 4. 29 Grafik hubungan antara permeabilitas (k)-void ratio (e) – ukuran butir efektif D10 pada tanah berbutir kasar.

(US Navy (1982) dan Chapuis (2004))

4.10.4 Tanah Kohesif

Pada tanah kohesif, hubungan antara koefisien permeabilitas dengan void ratio seperti pada persamaan berikut :

$$\log k = \log k_0 - (e_0 - e) / Ck \quad (4.65)$$

dengan,

k_0 adalah koefisien permeabilitas lapangan pada kondisi void ratio lapangan e_0 . Ck merupakan indeks perubahan permeabilitas yang dapat diambil sekitar $0.5 e_0$.

4.11 Umpan Balik

4.11.1 Pilihlah jawaban yang tepat !

Soal 1. Apa tujuan utama dari penyelidikan tanah di lapangan?

- A. Menentukan lokasi terbaik untuk proyek konstruksi
- B. Mengidentifikasi sifat fisik dan mekanik tanah secara langsung di lokasi proyek
- C. Menentukan jenis material bangunan yang digunakan
- D. Mengukur suhu permukaan tanah

Soal 2. Alat yang digunakan untuk mengetahui profil tanah dan mengambil sampel tanah dari kedalaman tertentu adalah:

- A. Inklinometer
- B. Bor tanah
- C. Ekstensometer
- D. Piezometer

Soal 3. Uji Standard Penetration Test (SPT) dilakukan untuk:

- A. Menentukan kadar air tanah
- B. Mengukur kepadatan relatif dan kekuatan tanah pasir
- C. Mengidentifikasi lapisan tanah yang mengandung air
- D. Menentukan permeabilitas tanah

Soal 4. Pada penyelidikan tanah di lapangan, uji Cone Penetration Test (CPT) dilakukan untuk:

- A. Mengukur daya dukung tanah tanpa pengeboran
- B. Menentukan distribusi ukuran butiran tanah
- C. Menguji kekuatan geser tanah
- D. Mengukur kadar air tanah

Soal 5. Manfaat uji bor log dalam penyelidikan tanah di lapangan adalah:

- A. Mengukur kemiringan lereng
- B. Memperoleh gambaran visual stratifikasi tanah
- C. Menghitung kandungan mineral tanah
- D. Mengetahui kadar air tanah di lapangan

Soal 6. Uji lapangan yang dilakukan untuk mengetahui permeabilitas tanah adalah:

- A. Uji Triaxial
- B. Uji Konsolidasi
- C. Uji Lefranc atau uji packer
- D. Uji Atterberg

Soal 7. Uji plate load test dilakukan untuk:

- A. Menentukan kekuatan geser tanah
- B. Menilai daya dukung tanah langsung di lapangan
- C. Mengetahui distribusi butiran tanah
- D. Mengukur kepadatan tanah di bawah beban dinamis

Soal 8. Uji lapangan yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar tanah mampu menahan beban tanpa mengalami kerusakan permanen adalah:

- A. Uji SPT
- B. Uji CPT
- C. Uji Plate Load Test
- D. Uji Proctor

4.11.2 Jawablah pertanyaan dengan singkat, jelas dan benar !

Soal 1. Jelaskan langkah-langkah yang dilakukan dalam uji Standard Penetration Test (SPT) di lapangan. Apa informasi penting yang diperoleh dari hasil uji ini?

Soal 2. Jelaskan bagaimana Cone Penetration Test (CPT) dilakukan di lapangan dan sebutkan kelebihan uji CPT dibandingkan dengan SPT dalam penyelidikan tanah.

Soal 3. Bagaimana proses pelaksanaan Plate Load Test di lapangan? Jelaskan bagaimana hasil dari pengujian ini digunakan untuk menilai daya dukung tanah di bawah pondasi.

Soal 4. Jelaskan pengertian dari bor log dan bagaimana data bor log digunakan dalam interpretasi kondisi tanah di lapangan. Mengapa penting untuk membuat log bor selama penyelidikan tanah?

Soal 5. Jelaskan tujuan dan prosedur pelaksanaan uji permeabilitas tanah di lapangan. Bagaimana pengujian ini penting dalam merancang sistem drainase atau mitigasi risiko banjir?

Soal 6. Dalam rangka mitigasi bencana seperti longsor atau likuifaksi, jelaskan bagaimana penyelidikan tanah di lapangan membantu mengidentifikasi area rawan bencana. Sebutkan jenis uji yang relevan dan bagaimana hasilnya dapat digunakan dalam perencanaan mitigasi.

4.12 Rangkuman

Penyelidikan tanah di lapangan merupakan bagian penting dari proses perencanaan dan pelaksanaan proyek konstruksi serta mitigasi bencana. Melalui berbagai uji lapangan seperti Standard Penetration Test (SPT), Cone Penetration Test (CPT), dan uji permeabilitas, penyelidikan

tanah memberikan informasi mendalam tentang sifat fisik dan mekanik tanah. Dari penyelidikan tanah di lapangan akan diperoleh informasi mengenai kekuatan tanah dalam menahan beban sehingga dapat ditentukan jenis fondasi, memprediksi potensi penurunan tanah akibat beban struktur, selain itu penyelidikan tanah di lapangan membantu mengidentifikasi potensi risiko seperti likuifaksi atau pergerakan lereng.

Uji permeabilitas tanah di lapangan memberikan informasi penting mengenai kemampuan tanah dalam mengalirkan air. Hal ini berperan penting dalam perencanaan sistem drainase untuk mencegah genangan atau banjir yang dapat merusak fondasi bangunan dan menyebabkan longsor. Dengan memahami karakteristik tanah di lapangan, risiko kegagalan struktur akibat ketidakcocokan antara jenis pondasi dan kondisi tanah dapat dikurangi. Jadi penyelidikan tanah di lapangan berperan penting dalam memastikan keberhasilan dan keamanan proyek konstruksi serta dalam mitigasi risiko bencana alam seperti longsor dan likuifaksi.

BAB 5

PENYELIDIKAN TANAH DI LABORATORIUM

5.1 Capaian Pembelajaran

Materi penyelidikan tanah di laboratorium sangat penting karena berkaitan dengan karakteristik fisik dan mekanik tanah untuk kegiatan konstruksi dan juga hubungannya dengan mitigasi bencana. Capaian pembelajaran yang diharapkan pada Bab 5 ini adalah mahasiswa mempunyai Kemampuan untuk mengembangkan dan melakukan eksperimen yang tepat, menganalisis dan menafsirkan data, serta menggunakan penilaian teknik untuk menarik kesimpulan. Mahasiswa mampu menentukan jenis-jenis eksplorasi tanah berbutir kasar dan berbutir halus di laboratorium, pengolahan dan analisis data, dan menginterpretasi data hasil eksplorasi geoteknik. Berikut adalah capaian pembelajaran yang diharapkan untuk bab penyelidikan tanah di laboratorium :

- Mengklasifikasikan jenis tanah berdasarkan pengujian sifat fisik tanah di laboratorium
- Mengidentifikasi sifat mekanis tanah berbutir kasar dan halus melalui pengujian di laboratorium.

Dengan capaian pembelajaran ini, diharapkan mahasiswa Program S2 Teknik Sipil mampu memahami sifat fisik dan

mekanis tanah berdasarkan hasil penyelidikan tanah di laboratorium sehingga mahasiswa mampu menganalisis kapasitas dukung tanah untuk keperluan konstruksi dan kebencanaan dam mampu menerapkannya dalam praktek profesional untuk merancang, menganalisis, dan membangun infrastruktur lingkungan yang aman, efisien, dan berkelanjutan.

5.2 Relevansi

Mata kuliah eksplorasi geoteknik dan penyelidikan tanah di laboratorium saling melengkapi, memberikan pemahaman yang holistik tentang prinsip-prinsip geoteknik dan aplikasinya dalam praktik rekayasa sipil dan konstruksi.

Mata kuliah eksplorasi geoteknik memberikan dasar teoritis tentang penyelidikan tanah di laboratorium sehingga memungkinkan mahasiswa untuk menerapkan konsep-konsep teoritis ini dalam praktek, dengan melakukan pengujian fisik dan mekanik langsung pada sampel tanah. Melalui mata kuliah eksplorasi geoteknik, mahasiswa akan memperoleh pengalaman dalam melakukan pengujian di laboratorium sehingga mampu menganalisis sampel tanah dengan menggunakan berbagai teknik pengujian untuk memahami sifat-sifat tanah secara lebih mendalam.

Penyelidikan tanah di laboratorium memungkinkan mahasiswa untuk mengintegrasikan data dari pengujian laboratorium dengan data lapangan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih komprehensif tentang perilaku tanah dalam merencanakan konstruksi bangunan dan juga mitigasi bencana.

5.3 Pengantar Umum

Pengujian tanah di laboratorium merupakan bagian penting dari investigasi geoteknik yang bertujuan untuk memahami

sifat-sifat fisik dan mekanik tanah. Hasil dari pengujian ini sangat diperlukan dalam perencanaan dan desain berbagai proyek teknik sipil, seperti fondasi bangunan, jalan raya, bendungan, terowongan, dan infrastruktur lainnya. Tanah, sebagai material yang heterogen, memiliki perilaku yang sangat bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan dan bebannya, sehingga analisis yang mendalam melalui pengujian laboratorium menjadi kunci untuk mengantisipasi potensi masalah di lapangan. Pengujian tanah di laboratorium dilakukan untuk memperoleh parameter-parameter seperti kuat geser, kadar air, plastisitas, kepadatan, permeabilitas, dan konsolidasi. Parameter-parameter ini membantu para insinyur geoteknik dalam merancang bangunan yang aman dan stabil, dengan mempertimbangkan perilaku tanah di bawah berbagai kondisi beban dan lingkungan.

Pengujian tanah di laboratorium memberikan data yang akurat mengenai karakteristik tanah, yang tidak selalu dapat diperoleh dari pengamatan visual di lapangan. Hasil-hasil pengujian ini membantu insinyur untuk mengantisipasi masalah yang mungkin terjadi pada struktur bangunan, seperti penurunan yang berlebihan, pergerakan lateral, atau kegagalan struktur akibat kondisi tanah yang tidak stabil. Dengan demikian, pengujian tanah di laboratorium memainkan peran krusial dalam memastikan keselamatan dan keberhasilan proyek-proyek konstruksi.

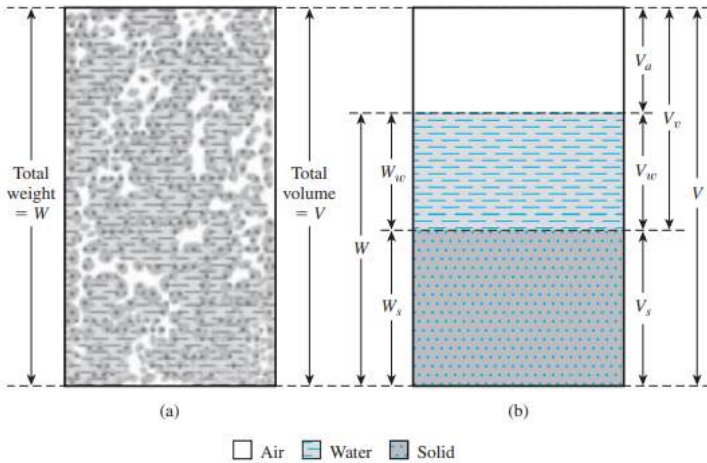
5.4 Uji Sifat Fisik Tanah

Pengujian sifat-sifat fisik tanah merupakan langkah dasar yang sangat penting dalam proses perencanaan konstruksi dan mitigasi bencana geoteknik. Tanah sebagai material alam memiliki karakteristik yang bervariasi secara fisik, kimia, dan mekanis, tergantung pada lokasi, lingkungan, dan kondisi

geologinya. Sifat fisik tanah seperti kepadatan, kadar air, distribusi ukuran butiran, dan batas plastisitas memengaruhi kekuatan, stabilitas, dan perilaku tanah di bawah beban struktur. Dalam konteks perencanaan konstruksi, pengujian sifat fisik tanah membantu memastikan bahwa pondasi bangunan dirancang sesuai dengan kondisi tanah yang mendasarinya. Misalnya, struktur yang dibangun di atas tanah lempung yang ekspansif atau tanah berpasir yang lepas membutuhkan desain fondasi yang berbeda dibandingkan dengan yang dibangun di atas tanah padat. Selain itu, data sifat fisik tanah menjadi dasar bagi perhitungan stabilitas lereng, daya dukung tanah, dan potensi penurunan (settlement) yang dapat memengaruhi keselamatan struktur di masa depan.

5.4.1 Berat Volume Tanah (γ)

Material tanah dapat terdiri atas dua atau tiga unsur, yakni butiran, air dan udara. Pada dalam kondisi tanah jenuh (γ_{sat}) terdapat dua unsur yaitu butiran dan air ; pada kondisi tanah yang kering (γ_{dry}) juga hanya terdapat dua unsur yaitu butiran dan udara; sedangkan pada tanah dengan kondisi basah (γ_{wet}) terdapat tiga unsur yaitu butiran, air dan udara. Ketiga kondisi tersebut dapat diilustrasikan sebagai berikut :



Gambar 5. 1 (a) Unsur tanah dalam keadaan alami; (b) tiga fase unsur tanah

(Das, 2006)

Dengan,

- W = berat total tanah
- W_a = berat udara = 0 (diabaikan)
- W_w = berat air
- V = volume total tanah
- V_a = volume udara
- V_w = volume air
- V_v = volume pori
- V_s = volume butir

Dari gambar diagram fase tanah di atas, dapat dirumuskan beberapa hubungan sebagai berikut :

$$\text{Berat tanah } (W) = W_s + W_w \quad (5.1)$$

$$\text{Volume pori } (V_v) = V_w + V_a \quad (5.2)$$

$$\text{Volume tanah (V)} = V_s + V_w + V_a \quad (5.3)$$

$$V = V_s + V_v \quad (5.4)$$

Selanjutnya berat volume tanah dapat dirumuskan sebagai berikut :

Berat Volume Basah adalah perbandingan antara berat butiran tanah termasuk air dan udara (W) dengan volume total tanah (V). Parameter ini dituliskan dengan formula sebagai berikut :

$$\gamma_b = V \times W \quad (5.5)$$

Berat Volume Kering adalah perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume total tanah (V). Parameter ini dituliskan dengan formula sebagai berikut :

$$\gamma_d = V \times W_s \quad (5.6)$$

Berat Volume Butiran Padat adalah perbandingan antara berat butiran padat (W_s) dengan volume butiran padat (V_s). Parameter ini dituliskan dengan formula sebagai berikut :

$$\gamma_s = V_s \times W_s \quad (5.7)$$

5.4.2 Porositas (n) dan Angka pori (e)

Porositas (n) dan Angka Pori (e) adalah dua parameter penting dalam analisis tanah yang membantu menggambarkan hubungan antara volume partikel padat tanah dan ruang kosong (void) di antara partikel-partikel tersebut. Kedua parameter ini sangat berperan dalam menentukan karakteristik fisik tanah, seperti daya serap, permeabilitas, dan stabilitas.

Porositas adalah persentase dari volume total tanah yang merupakan ruang kosong atau rongga (voids) di antara partikel tanah. Porositas menunjukkan seberapa banyak ruang yang tersedia untuk air dan udara di dalam tanah, yang merupakan faktor penting dalam menentukan bagaimana tanah menyerap dan mengalirkan air. Porositas dapat dihitung dengan rumus:

$$n = V_v / V \times 100\% \quad (5.8)$$

dengan,

n : porositas (%),

V_v : volume void (ruang kosong dalam tanah)

V : volume total sampel tanah (volume padat + volume void)

Nilai porositas tinggi menunjukkan bahwa tanah memiliki banyak ruang kosong, sehingga air dan udara dapat bergerak dengan lebih bebas. Tanah berpasir atau tanah lempung longgar cenderung memiliki porositas yang tinggi. Nilai porositas rendah menunjukkan tanah yang lebih padat, seperti tanah lempung yang sudah terkonsolidasi atau tanah yang dipadatkan. Porositas juga memengaruhi daya dukung dan kekuatan geser tanah, karena tanah dengan porositas tinggi sering kali kurang stabil dan memiliki daya dukung yang lebih rendah.

Angka pori adalah perbandingan antara volume void (ruang kosong) dengan volume padatan dalam tanah. Angka pori juga memberikan gambaran seberapa besar ruang kosong relatif terhadap partikel padat tanah, yang berpengaruh pada kepadatan, stabilitas, dan kemudahan pergerakan air dalam tanah. Angka pori dihitung dengan rumus:

$$e = V_s / V_v \quad (5.9)$$

Angka pori besar berarti terdapat lebih banyak ruang kosong dibandingkan dengan volume padatan. Hal ini biasanya terdapat pada tanah yang longgar atau tanah yang belum dipadatkan, sehingga dapat menurunkan daya dukung sedangkan angka pori kecil menunjukkan tanah yang lebih padat, dengan ruang kosong yang lebih sedikit. Tanah dengan angka pori rendah cenderung lebih stabil dan memiliki daya dukung lebih baik, karena partikelnya lebih rapat.

Porositas dan angka pori berkaitan erat dan dapat dikonversi satu sama lain dengan rumus :

$$n = e / (1 + e) \text{ atau } e = n / (1 - n) \quad (5.10)$$

5.4.3 Uji kadar air (w) dan berat jenis (Gs)

Pengujian kadar air tanah bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak air yang terkandung dalam tanah, dinyatakan sebagai persentase berat. Kadar air tanah sangat penting dalam menentukan kekuatan, plastisitas, dan kompresibilitas tanah, yang memengaruhi perencanaan struktur fondasi dan konstruksi lainnya. Hasil kadar air membantu dalam mengidentifikasi kondisi konsistensi tanah (plastik, semi-plastik, atau cair) dan memperkirakan sifat-sifat lainnya seperti daya dukung dan kemudahan pemadatan. Untuk menghitung kadar air digunakan rumus di bawah ini.

$$w = \left(\frac{W_{kering} - W_{cawan}}{W_{basah} - W_{kering}} \right) \times 100 \% \quad (5.11)$$

Pengujian berat jenis tanah bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara berat partikel tanah kering dengan berat air pada volume yang sama. Berat jenis penting untuk klasifikasi tanah dan perhitungan parameter volume tanah, seperti porositas dan void ratio, yang berguna dalam analisis geoteknik. Untuk menghitung berat jenis digunakan alat piknometer. Berat jenis tanah dihitung dengan rumus di bawah ini.

$$G_s = \left(\frac{W_{tanah}}{((W_{pikno+air}) - W_{pikno}) - (W_{pikno+tanah+air}) - (W_{pikno+tanah})} \right) \quad (5.12)$$

Atau nilai G_s dapat dicari dengan rumus di bawah ini.

$$G_s = \gamma_s / \gamma_w \quad (5.13)$$

Nilai parameter G_s tidak berdimensi. Interval nilai G_s untuk berbagai jenis tanah, berkisar antara 2,58 sampai 2,75. Kecuali untuk jenis tanah humus dan gambut biasanya interval G_s

antara 1,25 sampai 1,80. Nilai berat jenis untuk berbagai jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Nilai berat jenis (G_s) pada berbagai jenis tanah.

Jenis Tanah	Berat jenis (G_s)
Kerikil	2,65 – 2,68
Pasir	2,65 – 2,68
Lanau anorganik	2,62 – 2,68
Lempung organik	2,58 – 2,65
Lempung anorganik	2,65 – 2,75
Humus	1,37
Gambut	1,25 – 1,80

Derajat kejenuhan (S) adalah perbandingan antara volume air (V_w) dengan volume total rongga pori (V_v). Parameter ini dituliskan dengan rumus sebagai berikut :

$$S = (V_v / V_w) \times 100 \% \quad (5.13)$$

Apabila tanah dalam kondisi jenuh air, maka nilai $S = 1$. Nilai derajat kejenuhan ini dapat digunakan untuk mengklasifikasi konsistensi tanah (Tabel 5.2)

Tabel 5. 2 Derajat Kejenuhan dan Konsistensi Tanah

Konsistensi Tanah	Derajat kejenuhan (S)
Tanah kering	0,00
Tanah agak lembab	> 0 - 0,25
Tanah lembab	0,26 – 0,50
Tanah sangat lembab	0,51 – 0,75
Tanah basah	0,76 – 0,99
Tanah jenuh	1,00

5.4.4 Uji analisis saringan dan hidrometer

Uji Analisis Saringan dan Hidrometer adalah dua metode utama dalam analisis distribusi ukuran butiran tanah, yang bertujuan untuk menentukan proporsi dari berbagai ukuran partikel dalam sampel tanah. Uji saringan dan hidrometer memberikan

data penting tentang distribusi ukuran partikel tanah yang mempengaruhi daya dukung, stabilitas, dan permeabilitas tanah. Informasi ini digunakan dalam klasifikasi tanah dan perencanaan teknik sipil, seperti desain fondasi, pemadatan tanah, drainase, dan pengendalian erosi.

Analisis ukuran butiran tanah adalah penentuan prosentase berat butiran pada ukuran diameter tertentu. Untuk menganalisis ukuran butiran tanah, perlu dilakukan dua pengujian yang simultan, dan tak dapat dipisahkan satu sama lain, yakni : analisis saringan (sieve analysis), dan analisis hydrometer (hydrometer analysis).

Analisis saringan dipergunakan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran tanah yang berbutir kasar (granuler), yang dilakukan terhadap sampel tanah yang kering. Pelaksanaan pengujian ini adalah dengan melakukan penyaringan bersusun pada satu unit alat saringan standar. Berat tanah yang tertinggal pada setiap saringan ditimbang, lalu dipresentasikan terhadap berat total sampel tanah yang dianalisis. Susunan saringan berdasarkan standar ASTM (American Standard of Testing Material), dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5. 3 Susunan Saringan berdasarkan ASTM

No saringan	Diameter lubang (mm)		No saringan	Diameter lubang (mm)
3	6,35		40	0,42
4	4,75		50	0,30
6	3,35		60	0,25
8	2,36		70	0,21
10	2,00		100	0,15
16	1,18		140	0,106
20	0,85		200	0,075
30	0,60			

Pengujian dilakukan dengan cara mengayak sampel tanah yang diuji selanjutnya setiap berat butir yang tertahan di saringan tertentu dihitung sebagai persentase dari berat total sampel, menghasilkan data tentang distribusi ukuran butir. Data ini kemudian disajikan dalam grafik kurva distribusi ukuran butir (grading curve) yang menunjukkan persentase kumulatif partikel tanah lebih kecil dari ukuran tertentu. Hasil dari grafik yang diperoleh dapat berupa tanah bergradasi baik atau buruk. Gambar 5.2 menunjukkan satu set saringan yang biasa digunakan di laboratorium.



Gambar 5. 2 Satu set saringan untuk pengujian di laboratorium.

(Das, 2006)

Uji hidrometer digunakan untuk mengukur distribusi ukuran butir tanah berbutir halus, seperti lanau dan lempung, yang partikel-partikelnya lebih kecil dari 0,075 mm (terlalu halus untuk disaring). Uji hidrometer didasarkan pada prinsip Hukum Stokes, yang menyatakan bahwa partikel dengan diameter

lebih besar akan mengendap lebih cepat dalam cairan daripada partikel yang lebih kecil. Dengan demikian, waktu pengendapan partikel digunakan untuk menentukan ukuran partikel dalam tanah berbutir halus. Menurut Stokes bahwa kecepatan mengendap butiran didapatkan dengan formula sebagai berikut :

$$Vv = ((\gamma_s - \gamma_w) / (18\mu)) * D^2 \quad (5.14)$$

Dengan,

v = kecepatan, atau ratio jarak terhadap waktu (L/t)

γ_w = berat volume air (gram/cm³)

γ_s = berat volume butiran padat (gram/cm³)

μ = kekentalan air absolute (gram.det/cm³)

D = diameter butiran tanah (mm)

Hukum Stokes tidak efektif berlaku pada butiran yang lebih kecil dari 0,0002 mm. Hal ini disebabkan karena gerak turun butiran akan terpengaruh oleh gerak Brownian, yaitu gerakan yang diakibatkan oleh gaya di permukaan fluida.



Figure 2.23
ASTM 152H hydrometer
(Courtesy of ELE
International)

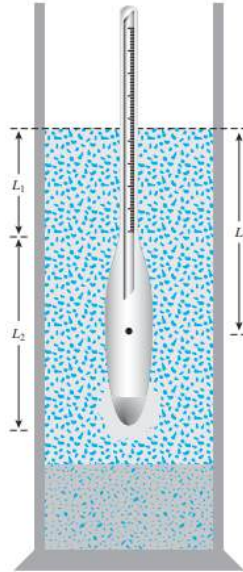
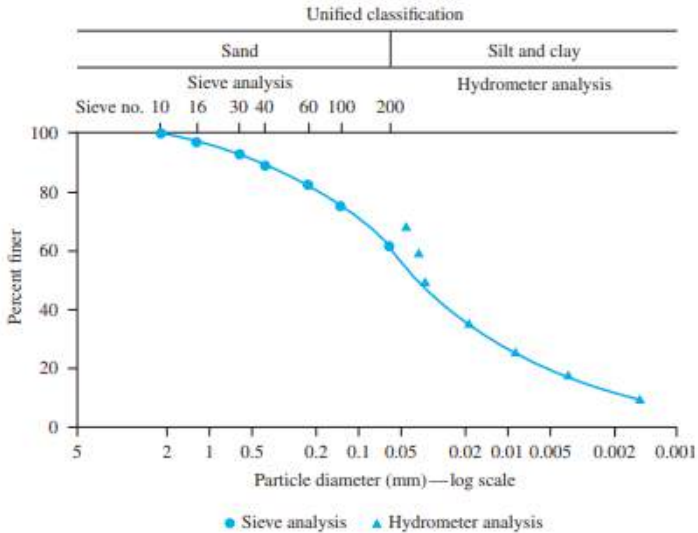


Figure 2.24 Definition of L in hydrometer test

Gambar 5. 3 Hidrometer (Das, 2006)

Uji hidrometer dilakukan dengan melarutkan sampel tanah yang telah bebas dari zat organik, ke dalam air destilasi yang dicampur dengan bahan pendeflokulasi (deflocculating agent), bahan anti pembekuan. Bahan ini dapat berupa sodium hexametaphosphate, yang dimaksudkan agar partikel-partikel butiran tanah tetap menjadi bagian terpisah satu dengan yang lainnya. Kemudian larutan suspensi tersebut dimasukkan ke dalam tabung hidrometer. Hasil pengujian analisis saringan dan hidrometer selanjutnya dibuatkan grafik seperti pada Gambar 5.4.



Gambar 5. 4 Kurva distribusi ukuran partikel—analisis saringan dan analisis hidrometer.

Kurva distribusi ukuran partikel dapat digunakan untuk menentukan empat parameter berikut untuk tanah tertentu (Gambar 5.5).

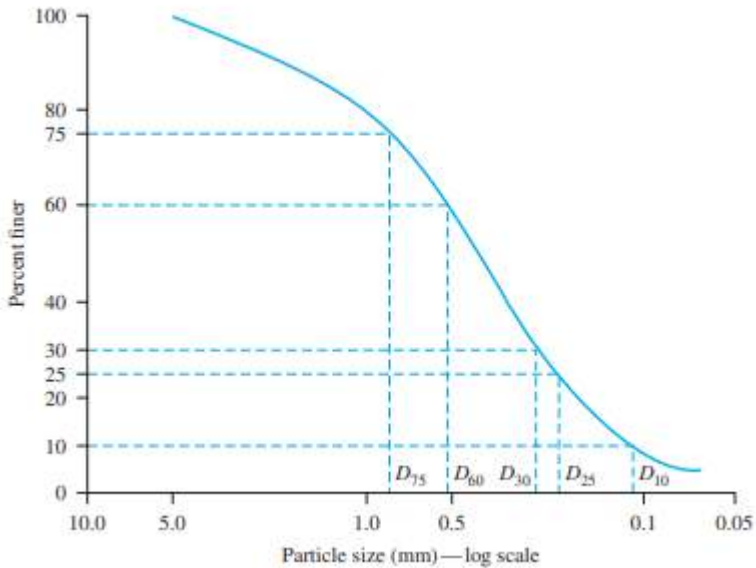
1. Ukuran efektif (D_{10}): Parameter ini adalah diameter dalam kurva distribusi ukuran partikel yang sesuai dengan 10% lebih halus. Ukuran efektif tanah granular merupakan ukuran yang baik untuk memperkirakan konduktivitas hidrolik dan drainase melalui tanah.
2. Koefisien keseragaman (C_u): Parameter ini didefinisikan sebagai.

$$C_u = D_{60} / D_{10} \quad (5.15)$$

Dengan, D_{60} = diameter sesuai dengan 60% lebih halus

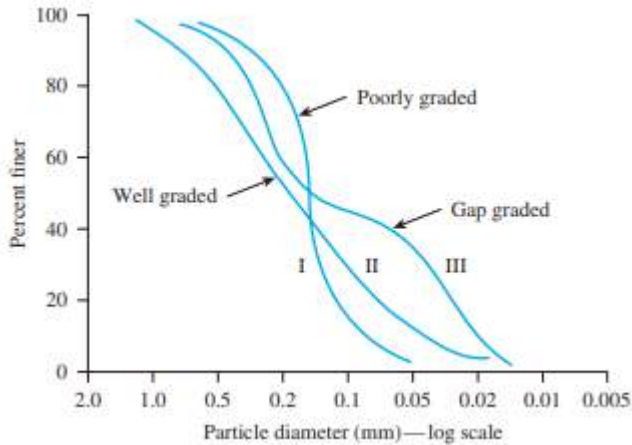
3. Koefisien gradasi (C_c): Parameter ini didefinisikan sebagai.

$$C_c = (D_{30})^2 / (D_{60} \times D_{10}) \quad (5.16)$$



Gambar 5. 5 Cara menentukan D_{75} , D_{60} , D_{30} , D_{25} , dan D_{10} .

Kurva distribusi ukuran partikel tidak hanya menunjukkan kisaran ukuran partikel yang ada di dalam tanah, tetapi juga jenis distribusi partikel dengan berbagai ukuran. Jenis distribusi tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.6 . Kurva I menunjukkan jenis tanah yang sebagian besar butiran tanahnya berukuran sama. Ini disebut tanah bergradasi buruk. Kurva II menunjukkan tanah yang ukuran partikelnya terdistribusi pada rentang yang luas, disebut bergradasi baik. Tanah bergradasi baik memiliki koefisien keseragaman lebih besar dari sekitar 4 untuk kerikil dan 6 untuk pasir, dan koefisien gradasi antara 1 dan 3 (untuk kerikil dan pasir). Tanah mungkin memiliki kombinasi dua atau lebih fraksi bergradasi seragam. Kurva III menunjukkan tanah seperti itu. Jenis tanah ini disebut bergradasi celah.



Gambar 5. 6 Berbagai jenis kurva distribusi ukuran partikel
(Das, 2006)

Nilai koefisien ini digunakan untuk menggolongkan tanah, bahwa disebut tanah bergradasi baik, jika :

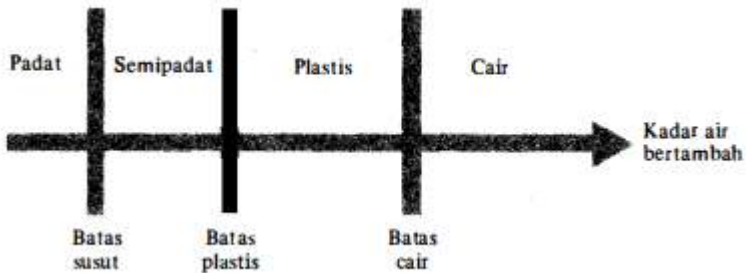
Tanah Berbutir Halus : $1 < C_c < 3$ $C_u > 15$

Pasir (berbutir kasar) : $1 < C_c < 3$ $C_u > 6$

Kerikil : $1 < C_c < 3$ $C_u > 4$

5.4.5 Uji batas-batas Atterberg

Uji Batas-batas Atterberg adalah serangkaian pengujian yang dilakukan untuk mengukur sifat plastisitas tanah berbutir halus, seperti lempung dan lanau. Batas-batas Atterberg menunjukkan perubahan karakteristik tanah berdasarkan kadar air, yang berguna dalam klasifikasi tanah dan perancangan geoteknik. Batas-batas ini terdiri dari tiga nilai penting: Batas Cair (Liquid Limit), Batas Plastis (Plastic Limit), dan Batas Susut (Shrinkage Limit). Gambar 5.6 menunjukkan hubungan antara kadar air dengan konsistensi tanah.



Gambar 5. 7 Batas-batas Atterberg.

Batas Cair (LL) adalah nilai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dengan keadaan plastis tanah, atau nilai batas atas pada daerah plastis.

Pengujian batas cair dilakukan dengan Uji Casagrande (1948), yang mana contoh tanah dimasukkan ke dalam cawan Casagrande kemudian permukaannya diratakan, dan dialur (grooving) tepat ditengah. Selanjutnya dengan alat penggetar cawan tersebut diketuk-ketukan pada landasannya dengan tinggi jatuh 1 cm sebanyak 25 ketukan. Bila alur selebar 12,7 mm yang berada di tengah tertutup sampai batasan 25 ketukan, maka kadar air tanah pada saat itu merupakan “batas cair”.

Karena sulitnya membuat percobaan yang memungkinkan alur tertutup tepat pada ketukan 25 kali, maka perlu dilakukan percobaan berulang-ulang dengan mengambil nilai ketukan antara 15 sampai 35 ketukan saat alur tertutup. Dari data tersebut dibuat grafik semilog, kemudian dicari berapa nilai kadar udara pada ketukan ke-25. Kemiringan grafik semilog yang dibuat pada percobaan Casagrande ini adalah merupakan nilai Indeks Aliran (flow index), yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_f = (w_1 - w_2) / \log (N_2/N_1) \quad (5.17)$$

dengan,

I_F = Indeks aliran

w_1 = kadar air (%) pada N1 pukulan

w_2 = kadar air (%) pada N2 pukulan

Nilai w_1 dan w_2 , dapat dipertukarkan untuk memperoleh nilai positif agar dapat dilogartmekan, tetapi arah kemiringan kurva harus diperhatikan (positif/negative). Batas Cair (Liquid Limit) oleh Waterways Experiment Station di Mississippi (1949), mengusulkan formula sebagai berikut.

$$LL = w_N (N / 25)^{\tan\beta} \quad (5.18)$$

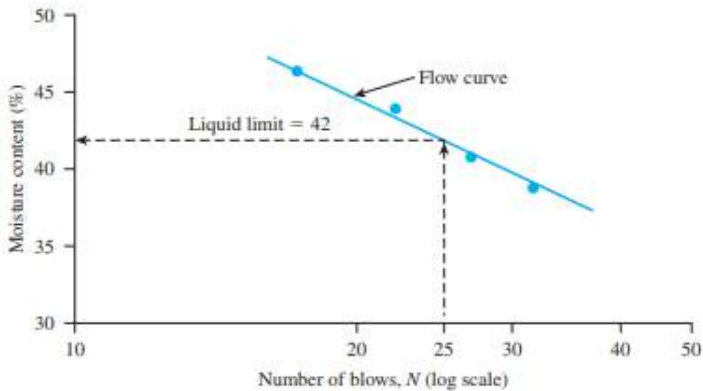
dengan,

N = jumlah pukulan untuk menutup celah 0,5 inci (12,7mm)

w_N = kadar air $\tan \beta = 0,121$ (beberapa tanah tertentu nilainya tidak sama dengan 0,121).



Gambar 5. 8 Alat uji Batas Cair
(Das, 2006)



Gambar 5. 9 Kurva untuk penentuan batas cair pada lanau berlempung

(Das, 2006)

Batas plastis (PL) didefinisikan sebagai nilai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dengan daerah semi padat. Nilai batas plastis ini ditentukan dengan percobaan menggulung tanah hingga diameter 3,2 mm dan mulai mengalami retak-retak. Kadar air tanah yang digulung dalam kondisi tersebut merupakan nilai “batas plastis” tanah.

Indeks Plastisitas (PI) adalah selisih antara batas cair dengan batas plastis pada tanah, dituliskan dengan persamaan di bawah ini.

$$PI = LL - PL \quad (5.19)$$

Indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah, jika nilai PI tinggi maka tanah mengandung banyak lempung, dan jika nilai PI rendah maka tanah mengandung banyak lanau. Ciri dan sifat dari tanah lanau adalah dengan kadar air yang berkurang sedikit saja tanah akan menjadi kering. Oleh Atterberg diberikan batasan nilai Indeks Plastisitas dengan sifat-sifat, ragam tanah dan kohesifitasnya (Tabel 5.4).

Tabel 5. 4 Nilai Indeks Plastisitas pada berbagai jenis tanah

PI (%)	Sifat	Jenis Tanah	Kohesi
0	Non Plastis (NP)	Pasir	Non kohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 – 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	kohesif

Indeks Cair adalah kadar air tanah asli relative yang berada pada kedudukan plastis dan cair. Indeks cair (LI) dapat dinyatakan dengan persamaan di bawah ini.

$$LL = (w_N - PL) / (LL - PL) = (w_N - PL) / PI \quad (5.20)$$

Dengan,

$$w_N = \text{kadar air di lapangan}$$

Dari persamaan di atas, dapat terlihat bahwa :

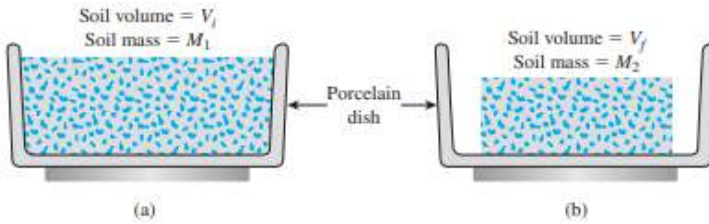
$$\text{Bila } w_N = LL, \text{ maka } LI = 1$$

$$\text{Bila } w_N = PL, \text{ maka } LI = 0$$

Dengan demikian maka dapat disimpulkan bahwa :

- Nilai LI berada antara 0 sampai 1.
- Untuk tanah yang plastis maka $LL > w_N > PL$. Jika kadar air tanah bertambah dari PL menuju LL, maka nilai LI juga akan bertambah dari 0 sampai 1.

Batas susut adalah kadar air maksimum pada saat tanah mulai kehilangan volume saat dikeringkan. Setelah melewati batas susut, pengeringan lebih lanjut tidak akan menyebabkan perubahan volume tanah. Gambar 5.9 menunjukkan proses pengujian batas susut pada sampel tanah.



Gambar 5. 10 Uji batas penyusutan: (a) tepuk tanah sebelum pengeringan; (b) tepuk tanah setelah pengeringan
(Das, 2006)

Persamaan yang digunakan untuk mencari batas susut (SL) seperti di bawah ini.

$$SL = \left(\frac{M_1 - M_2}{M_2} \right) (100) - \left(\frac{(V_i - V_f)}{M_2} \right) (\gamma_w)(100) \quad (5.21)$$

Dengan,

SL : batas susut

M_1 : Berat tanah sebelum dikeringkan (gram)

M_2 : Berat tanah setelah dikeringkan (gram)

V_i : Volume tanah sebelum dikeringkan (cm^3)

V_f : Volume tanah setelah dikeringkan (cm^3)

γ_w : berat volume air (kN/m^3)

Batas susut memberikan informasi mengenai potensi penyusutan tanah saat kadar air berkurang. Semakin rendah batas susut, semakin kecil perubahan volume tanah saat kering.

5.4.6 Uji Relatif Density

Kerapatan Relatif (Relative Density, D_r) adalah parameter yang menggambarkan kepadatan tanah berbutir kasar, seperti pasir dan kerikil, relatif terhadap kondisi paling longgar dan paling padatnya. Kerapatan relatif memberikan informasi

tentang kekuatan geser, kompresibilitas, dan perilaku pemadatan tanah granular, yang penting dalam desain fondasi dan struktur yang menahan beban dinamis. Istilah kerapatan relatif (relative density) umumnya dipakai untuk menunjukkan tingkat kerapatan dari tanah berbutir (granular soil) di lapangan. Kerapatan relatif didefinisikan sebagai:

$$D_r = (e_{maks} - e) / (e_{maks} - e_{min}) \quad (5.22)$$

Dengan,

D_r : kerapatan relatif (%)

e : angka pori tanah di lapangan

e_{maks} : angka pori tanah dalam keadaan paling lepas

e_{min} : angka pori tanah dalam keadaan paling padat

Harga kerapatan relatif (D_r) bervariasi dari harga terendah = 0 untuk tanah yang sangat lepas, sampai harga tertinggi = 1 untuk tanah yang sangat padat. Para ahli tanah secara kualitatif menjelaskan tentang keactaan tanah berbutir kasar atas dasar kerapatan relatifnya. Beberapa harga angka pori, kadar air dari tanah yang jenuh air, dan berat volume kering dari tanah asli diberikan dalam Tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Kriteria Kerapatan relatif (D_r) dan sifat tanah

Kerapatan relatif (%)	Penjelasan deposit tanah
0 – 15	Sangat lepas
15 – 50	Lepas
50 – 70	Menengah/ sedang
70 – 85	Padat
85 - 100	Sangat padat

Kerapatan relatif juga dapat dinyatakan dengan istilah berat

volume kering maksimum dan minimum, sehingga untuk mencari kerapatan relatif (D_r) dapat dituliskan pada rumus di bawah ini.

$$D_r = \left(\frac{\gamma_d - \gamma_{d(\min)}}{\gamma_{d(\max)} - \gamma_{d(\min)}} \right) \left(\frac{\gamma_{d(\max)}}{\gamma_d} \right) \quad (5.23)$$

Dengan,

$\gamma_{d(\min)}$: berat volume kering tanah dalam keadaan yang paling lepas (pada angka pori maksimum, e_{\max})

γ_d : berat volume tanah asli di lapangan (pada angka pori e)

$\gamma_{d(\max)}$: berat volume kering tanah dalam keadaan yang paling padat (pada angka pori minimum, e_{\min}) .

Semakin tinggi nilai kerapatan relatif, semakin stabil dan kuat tanah tersebut dalam menahan beban. Tanah dengan kerapatan relatif tinggi memiliki daya dukung lebih tinggi dan risiko penurunan (settlement) yang lebih kecil.

Kerapatan relatif adalah parameter penting dalam menentukan daya dukung tanah dan stabilitas fondasi, serta dalam desain dan kontrol kualitas pemadatan tanah granular. Kerapatan relatif juga digunakan dalam analisis ketahanan terhadap likuifaksi pada tanah pasir yang mungkin mengalami penurunan kekuatan drastis selama beban dinamis seperti gempa bumi.

5.4.7 Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah adalah proses pengelompokan tanah berdasarkan karakteristik fisik dan perilaku mekaniknya. Dalam rekayasa geoteknik, klasifikasi tanah menjadi langkah awal yang penting karena memberikan informasi mengenai sifat-sifat dasar tanah, seperti ukuran butiran, plastisitas, dan kemampuan tanah dalam menahan beban. Informasi ini sangat penting untuk perancangan dan analisis berbagai struktur

teknik sipil, termasuk fondasi bangunan, jalan, bendungan, dan proyek infrastruktur lainnya.

Dua sistem klasifikasi tanah yang paling umum digunakan dalam praktik geoteknik adalah **Unified Soil Classification System (USCS)** dan **American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Soil Classification System**. Kedua sistem ini memiliki pendekatan dan kriteria yang berbeda, tetapi keduanya digunakan untuk membantu para insinyur dalam memahami karakteristik tanah secara komprehensif untuk keperluan desain dan konstruksi.

Unified Soil Classification System (USCS) adalah sistem klasifikasi tanah yang dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan klasifikasi tanah yang lebih seragam dalam proyek-proyek teknik sipil. Sistem ini dirancang untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan ukuran partikel dan plastisitas, yang keduanya sangat mempengaruhi stabilitas dan kekuatan tanah. Dalam USCS, tanah dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu tanah berbutir kasar (seperti pasir dan kerikil) dan tanah berbutir halus (seperti lanau dan lempung). Klasifikasi lebih lanjut dilakukan berdasarkan karakteristik seperti plastisitas dan gradasi butiran. USCS sangat berguna dalam proyek-proyek teknik sipil yang membutuhkan analisis stabilitas tanah, daya dukung, dan pemadatan tanah. Sistem ini banyak digunakan dalam konstruksi bangunan, penggalian, dan proyek teknik lainnya karena memberikan deskripsi yang jelas mengenai sifat-sifat utama tanah, yang sangat memengaruhi performa tanah di bawah beban.

Sistem klasifikasi AASHTO dikembangkan oleh **American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)** dan dirancang khusus untuk memenuhi kebutuhan dalam bidang transportasi, terutama untuk perancangan dan pembangunan jalan. Sistem ini mengklasifikasikan tanah berdasarkan kemampuan mereka untuk digunakan sebagai

bahan dasar dan lapisan permukaan jalan. Dalam klasifikasi ini, tanah diberi kode **A-1 hingga A-7** berdasarkan ukuran butiran, plastisitas, dan karakteristik lainnya yang memengaruhi daya dukung dan stabilitas jalan.

Sistem AASHTO mengutamakan penilaian terhadap sifat tanah dalam mendukung beban lalu lintas dan dalam mempertahankan kestabilan permukaan jalan dalam berbagai kondisi cuaca. Tanah dengan nilai klasifikasi lebih rendah, seperti **A-1 (tanah granular kasar)**, dianggap lebih cocok untuk konstruksi jalan, sedangkan tanah dengan nilai klasifikasi lebih tinggi, seperti **A-7 (lempung berplastisitas tinggi)**, biasanya memerlukan perbaikan tanah atau penggunaan material tambahan untuk mencapai stabilitas yang diperlukan.

5.5 Uji Sifat Mekanis Tanah

Sifat mekanis tanah adalah karakteristik fisik yang menentukan respons tanah terhadap beban atau tekanan yang dikenakan padanya. Sifat-sifat ini membantu dalam menganalisis perilaku tanah di bawah beban, khususnya dalam hal daya dukung, stabilitas, dan deformasi. Sifat mekanis tanah, seperti kekuatan geser, daya dukung, kompresibilitas, permeabilitas, dan kohesi, secara langsung mempengaruhi perilaku tanah. Setiap jenis tanah memiliki sifat mekanis yang berbeda, tergantung pada faktor-faktor seperti ukuran butir, distribusi ukuran butir, kadar air, plastisitas, dan kepadatan. Pengujian dan analisis sifat mekanis tanah dilakukan melalui berbagai metode laboratorium dan lapangan, seperti uji geser langsung, uji tekan bebas, uji triaxial, uji pemadatan, dan uji permeabilitas. Sifat-sifat ini menentukan bagaimana tanah akan berperilaku ketika menerima beban statis, seperti bangunan, atau beban dinamis, seperti gempa bumi atau getaran dari lalu lintas.

5.5.1 Kuat Geser Tanah

Kuat Geser Tanah adalah kemampuan maksimum tanah untuk menahan gaya geser sebelum mengalami kegagalan atau perubahan bentuk permanen. Kuat geser ini sangat penting dalam perencanaan dan perancangan geoteknik karena berpengaruh langsung pada kestabilan lereng, daya dukung tanah untuk fondasi, serta perilaku tanah dalam struktur penahan seperti dinding penahan tanah.

Kuat geser tanah terutama ditentukan oleh dua komponen utama: **kohesi (c)** dan **sudut gesek dalam (ϕ)**. Komponen-komponen ini merupakan parameter dalam **Kriteria Mohr-Coulomb**, yang menyatakan hubungan antara tegangan geser (τ) dan tegangan normal (σ) sebagai berikut:

$$\tau = c + \sigma \tan(\phi) \quad (5.24)$$

Dengan,

- τ adalah tegangan geser tanah,
- c adalah kohesi, atau daya lekat antar partikel tanah,
- σ adalah tegangan normal yang bekerja pada bidang geser,
- ϕ adalah sudut gesek dalam tanah, yang mewakili tingkat kekasaran dan kekakuan antar butir tanah.

a. Uji Geser Langsung

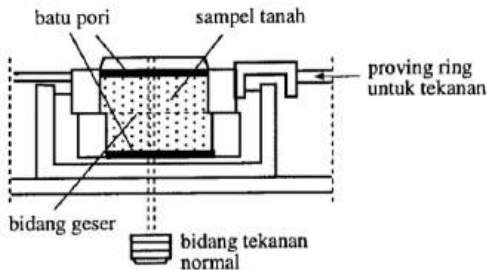
Uji geser langsung (Direct Shear Test) adalah metode pengujian laboratorium yang digunakan untuk menentukan kekuatan geser tanah. Dalam uji ini, sampel tanah ditempatkan dalam kotak geser yang terdiri dari dua bagian, yang kemudian diberi beban vertikal (normal) dan digeser secara horizontal. Proses ini mengukur tegangan geser yang dibutuhkan hingga tanah mulai mengalami keruntuhan atau deformasi. Hasil dari uji ini memberikan parameter kekuatan geser tanah, seperti kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ), yang penting untuk analisis

kestabilan lereng, fondasi, dan desain konstruksi.

Kelebihan uji geser langsung adalah metode yang relatif mudah dilakukan dan cepat memberikan hasil, lebih ekonomis dibanding beberapa uji geser lainnya. Sedangkan kekurangannya adalah distribusi tegangan tidak seragam sehingga bagian bawah dan atas sampel dapat mengalami tegangan yang berbeda, adanya pembatasan arah geser sehingga gesekan hanya terjadi dalam satu arah (horizontal), Uji ini tidak mengukur tekanan pori secara langsung, sehingga sulit menilai kondisi drainase penuh.



Gambar 5. 11 Alat Uji Geser Langsung
(SNI 2813:2008)



Gambar 5. 12 Potongan Melintang Alat Uji Geser langsung
(<https://tambangunp.blogspot.com/2017/05/direct-shear-test-uji-kuat-geser-batuan.html>)

b. Uji Kuat Tekan Bebas

Kuat tekan bebas adalah nilai tegangan aksial pada kekuatan maksimum yang dapat ditopang oleh suatu benda sebelum mengalami kerusakan yang disebabkan oleh gaya tekan. Uji kuat tekan bebas harus dilakukan terhadap benda uji tanah dengan permeabilitas yang cukup rendah untuk mempertahankan kondisi tak terdrainase selama pengujian. Metode ini terutama digunakan untuk tanah jenuh dan kohesif yang diambil dari tabung sampel berdinding tipis. Uji ini tidak berlaku untuk tanah tak kohesif atau berbutir kasar. Pengujian kuat tekan bebas harus mengacu pada SNI 3638:2012.

Uji ini digunakan dalam semua desain rekayasa geoteknik (misalnya, desain dan analisis stabilitas pondasi, dinding penahan, lereng, dan tanggul) untuk memperoleh perkiraan kasar kekuatan tanah dan menentukan teknik konstruksi yang layak. Uji Tekan Bebas atau Unconfined Compression Strength Test (UCST) adalah salah satu metode pengujian untuk menentukan kekuatan tekan bebas dari tanah kohesif, terutama tanah lempung. Uji ini sederhana dan cepat, karena dilakukan tanpa memberikan tekanan samping pada sampel tanah.

Prinsip Dasar Uji Tekan Bebas

UCST dilakukan tanpa tekanan lateral atau pembatas samping, sehingga sampel hanya diberi tekanan aksial atau vertikal. Nilai kekuatan tekan bebas adalah tekanan maksimum yang dapat ditahan oleh sampel tanah hingga mengalami kegagalan atau retak. Hasil ini memberikan gambaran kekuatan geser tanah dalam kondisi tidak terdrainase (undrained). Uji ini cocok untuk tanah kohesif (seperti lempung) yang dapat berdiri sendiri tanpa dukungan, karena tanah non-kohesif (seperti pasir) akan runtuh tanpa tekanan lateral.

Prosedur Uji Tekan Bebas

Sampel tanah diambil dalam bentuk silinder dengan ukuran diameter dan tinggi tertentu. Sampel sebaiknya dalam kondisi jenuh atau lembab. Sampel tanah ditempatkan pada alat uji tekan bebas yang dilengkapi dengan penekanan aksial atau vertikal. Tekanan aksial ditambahkan secara bertahap ke sampel hingga sampel mengalami kegagalan. Selama uji ini, nilai tegangan dan deformasi aksial dicatat. Nilai kekuatan tekan bebas dihitung berdasarkan beban maksimum yang diterima sampel sebelum mengalami keruntuhan. Kekuatan geser tanah diambil sebagai setengah dari nilai kekuatan tekan bebas, karena diasumsikan tekanan lateral bernilai nol.

Kekuatan geser tanah (c_u) dalam uji tekan bebas dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$c_u = qu / 2 \quad (5.25)$$

di mana:

c_u = nilai kohesi tanah

qu = kekuatan tekan bebas, yaitu tekanan aksial maksimum pada saat sampel tanah mengalami kegagalan.

Kelebihan dan Kekurangan Uji Tekan Bebas

UCST tidak memerlukan peralatan khusus seperti dalam uji triaksial atau uji geser langsung, sehingga lebih mudah dan cepat dilakukan. Untuk tanah kohesif yang jenuh, hasil uji ini cukup memberikan perkiraan kekuatan geser tanah dalam kondisi tidak terdrainase. Kekurangan UCST adalah tidak akurat untuk tanah non kohesif seperti pasir atau tanah berbutir tidak dapat diuji dengan metode ini karena membutuhkan dukungan samping untuk berdiri, uji ini tidak memperhitungkan perubahan tekanan pori atau konsolidasi, sehingga tidak cocok untuk analisis jangka panjang atau kondisi drainase, kurang

akurat pada tanah dengan sifat strain softening (tanah yang mengalami pelemahan pada saat regangan (strain softening) dapat memberikan hasil kekuatan yang tidak mencerminkan kondisi sebenarnya di lapangan). Karena sederhana dan cepat, uji ini umum digunakan dalam pekerjaan lapangan sebagai estimasi awal kekuatan tanah kohesif.

c. Uji Triaksial

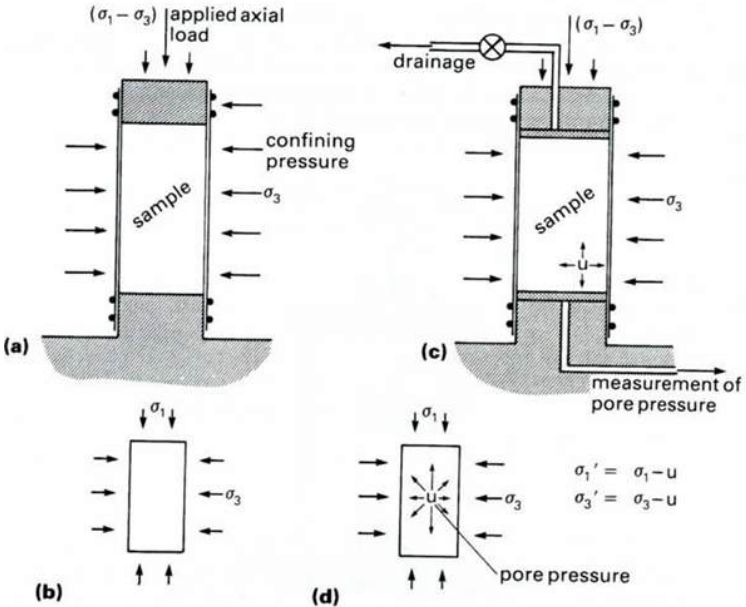
Uji triaksial adalah salah satu metode pengujian yang dilakukan di laboratorium untuk menentukan sifat kekuatan geser tanah. Dalam uji triaksial, sampel tanah diberi tekanan dari berbagai arah dalam kondisi terkontrol untuk mengetahui respons tanah terhadap gaya-gaya yang bekerja. Terdapat tiga jenis uji triaksial utama berdasarkan kondisi drainase dan tekanan pori selama pengujian, yaitu UU (Unconsolidated Undrained), CU (Consolidated Undrained), dan CD (Consolidated Drained). Berikut penjelasan dari masing-masing uji. Pengujian Triaksial UU harus merujuk pada SNI 4813:2015.

Uji Triaksial UU (Unconsolidated Undrained)

Tanah diuji dalam kondisi tanpa konsolidasi dan tidak terdrainase. Sampel tanah langsung diberikan tekanan deviatorik (tekanan yang diterapkan secara vertikal) tanpa membiarkan air keluar dari sampel artinya, tekanan diberikan segera setelah pengambilan sampel dan tidak ada waktu untuk konsolidasi atau pengeluaran air pori. Uji UU umumnya dilakukan untuk mengetahui kekuatan geser tanah dalam kondisi jenuh saat tidak ada drainase atau proses konsolidasi, seperti pada kondisi tanah basah yang mendadak terpapar beban.

Kelebihan uji ini adalah prosesnya cepat karena tidak memerlukan waktu untuk konsolidasi. Sedangkan kekurangan adalah tidak memberikan informasi mengenai parameter kekuatan efektif, hanya parameter kekuatan total. Kurang

cocok untuk kondisi yang memerlukan analisis jangka panjang.



Gambar 5. 13 Proses Pengujian Triaksial.

Uji Triaksial CU (Consolidated Undrained)

Tanah diuji dalam kondisi terkonsolidasi tetapi tidak terdrainase. Sampel tanah diberikan tekanan yang cukup untuk mencapai kondisi konsolidasi awal, di mana tekanan pori diizinkan untuk stabil. Setelah kondisi stabil, tekanan deviatorik ditambahkan tanpa mengeluarkan air pori. Uji CU digunakan untuk memperoleh parameter kekuatan efektif, yang memberikan gambaran yang lebih akurat tentang perilaku tanah di bawah beban jangka pendek dan jangka panjang.

Kelebihan uji CU adalah menghasilkan parameter kekuatan efektif karena tanah mengalami konsolidasi terlebih dahulu. Cocok untuk kondisi di mana tanah jenuh akan dibebani secara bertahap. Sedangkan kekurangannya Membutuhkan waktu

lebih lama dibanding uji UU karena proses konsolidasi, tetapi lebih cepat dari uji CD.

Sedangkan pengujian triaksial terkonsolidasi harus merujuk pada SNI 2455:2015. Pengujian harus dilakukan pada benda uji terganggu dari kelas Kualitas 1. Evaluasi dan penggunaan hasil pengujian harus memperhitungkan hal-hal berikut: Kuat geser tak terdrainase, parameter tekanan air pori dan hubungan tegangan-regangan dipengaruhi oleh gangguan contoh tanah yang lebih besar daripada parameter kekuatan terdrainase, tergantung pada jenis pengujiannya, dapat diperoleh kuat geser terdrainase atau tak terdrainase dari tanah. Dengan demikian, nilai-nilainya adalah sudut geser dalam efektif (ϕ') dan kohesi efektif (c'), atau kekuatan geser tak terdrainase (c_u). Nilai-nilai tersebut dapat digunakan pada analisis stabilitas terdrainase maupun tak terdrainase.

Uji Triaksial CD (Consolidated Drained)

Tanah diuji dalam kondisi terkonsolidasi dan terdrainase. Sampel tanah diberi tekanan hingga mencapai konsolidasi awal, seperti pada uji CU, tetapi selama penerapan tekanan deviatorik, air pori dikeluarkan sepenuhnya dari sampel tanah. Uji CD bertujuan untuk memperoleh data kekuatan geser tanah pada kondisi drainase penuh dan konsolidasi, sehingga dapat digunakan untuk analisis kestabilan jangka panjang.

Kelebihan uji CD adalah menghasilkan data kekuatan geser tanah efektif yang sangat cocok untuk kondisi drainase jangka panjang, seperti pada bangunan atau lereng yang stabil secara alami. Sedangkan kekurangannya membutuhkan waktu paling lama karena membutuhkan drainase penuh, sehingga tekanan pori dapat terdisipasi sepenuhnya.

Perbandingan Singkat antara uji UU, CU dan CD adalah

UU : Tidak ada konsolidasi, tidak ada drainase; cepat,

untuk analisis jangka pendek.

CU : Konsolidasi, tidak ada drainase saat diuji; sedang, untuk kondisi tanah jenuh dan beban bertahap.

CD : Konsolidasi dan drainase penuh; lambat, untuk kondisi jangka panjang dan stabilitas alami.

Ketiga jenis uji triaksial ini memberikan data yang berbeda, dan pilihan uji bergantung pada kebutuhan proyek serta kondisi tanah di lapangan.

5.5.2 Konsolidasi Tanah

Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh berpermeabilitas rendah akibat pembebanan, dimana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori keluar dari rongga pori tanah (Hardiyatmo, 2017). Proses konsolidasi terjadi pada tanah kohesif karena memiliki permeabilitas yang rendah.

Pengujian ini mencakup uji oedometer (uji konsolidasi) dan pengembangan serta evaluasi potensi keruntuhan (collapse potential). Selain itu dapat dilakukan pula pengujian dengan pembebanan kontinu (laju regangan konstan, constant rate of strain). Pengujian ini dilakukan untuk menentukan kompresi, konsolidasi dan karakteristik pengembangan tanah, sedangkan pengujian potensi keruntuhan dilakukan untuk menetapkan parameter kompresibilitas tanah dalam keadaan jenuh, serta mengevaluasi penambahan tekanan selama penggenangan (pemberian air) akibat runtuhnya struktur tanah. Pengujian kompresibilitas oedometer (uji konsolidasi) harus merujuk pada SNI 2812:2011.

5.5.3 Uji Pemadatan Tanah dan CBR Laboratorium

Pemadatan tanah di laboratorium adalah proses untuk menentukan karakteristik pemadatan tanah dengan mengatur hubungan antara kadar air dan kepadatan maksimum yang

dapat dicapai tanah. Uji pemadatan digunakan untuk mengetahui kondisi optimum (kadar air optimum dan kepadatan maksimum) yang diperlukan agar tanah mencapai stabilitas terbaik dalam proyek konstruksi, seperti pada fondasi, jalan, atau tanggul. Pengujian pemadatan tanah (uji Proctor) digunakan untuk menentukan hubungan antara kepadatan kering dan kadar air ketika sejumlah upaya pemadatan diberikan serta harus memenuhi persyaratan-persyaratan yang diberikan di dalam SNI 1742:2008 untuk cara uji kepadatan ringan tanah dan SNI 1743:2008 untuk cara uji kepadatan berat tanah.

Prinsip Dasar Pemadatan Tanah

Pemadatan adalah proses mekanis untuk mengurangi rongga udara (void) dalam tanah tanpa mengeluarkan air, sehingga tanah menjadi lebih padat. Tujuan pemadatan adalah untuk meningkatkan kekuatan geser, mengurangi kompresibilitas, dan memperbaiki stabilitas tanah. Faktor yang memengaruhi pemadatan antara lain :

- a) Kadar air : air bertindak sebagai pelumas, membantu partikel tanah saling mengisi.
- b) Jenis tanah: tanah berbutir halus (lempung) memiliki karakteristik pemadatan yang berbeda dibandingkan dengan tanah berbutir kasar (pasir).
- c) Energi pemadatan: semakin besar energi yang diberikan, semakin tinggi kepadatan tanah.

Parameter penting pemadatan tanah meliputi kadar air optimum (W_{opt}) dan berat volume kering maksimum (γ_d maks). Kepadatan tertinggi yang bisa dicapai tanah pada kadar air tertentu dengan energi pemadatan tertentu.

Metode Uji Pemadatan Tanah di Laboratorium

Ada dua metode utama uji pemadatan tanah di laboratorium, yaitu:

a) Uji Pemadatan Standar (Standard Proctor Test)

Uji ini digunakan untuk mencari kadar air optimum dan berat keing maksimum. Alat yang Digunakan cetakan silinder (volume 944 cm^3 atau $1/30 \text{ ft}^3$), palu pemadat dengan berat 2,5 kg, tinggi jatuh palu sebesar 30,5 cm. Prosedur yang digunakan yaitu sampel tanah dikeringkan dan dibagi menjadi beberapa bagian dengan kadar air yang berbeda; tiap sampel dimasukkan ke dalam cetakan silinder, lalu dipadatkan dalam 3 lapisan, masing-masing diberi 25 pukulan menggunakan palu pemadat; Berat tanah yang dipadatkan dicatat, kemudian dihitung kepadatannya; selanjutnya diplotkan sehingga diperoleh hubungan antara kadar air dan berat volume kering, hasil akhir akan diperoleh kadar air optimum (w_{opt}) dan kepadatan maksimum ($\gamma_d \text{ max}$).

b) Uji Pemadatan Modifikasi (Modified Proctor Test)

Metode ini digunakan untuk proyek yang membutuhkan kepadatan lebih tinggi (misalnya jalan raya atau bandara). Perbedaan dari Standard Proctor Test adalah Palu pemadat lebih berat (4,5 kg), tinggi jatuh palu lebih besar (45,7 cm), sampel dipadatkan dalam 5 lapisan, dengan 25 pukulan per lapisan dan energi pemadatan yang diberikan lebih besar dibandingkan metode standar.

Kelebihan dan Kekurangan Pemadatan Tanah di Laboratorium

Kelebihan dari pengujian ini adalah memberikan nilai parameter yang akurat untuk desain konstruksi, menggunakan energi dan kondisi yang terkontrol. Kekurangannya adalah kurang mencerminkan kondisi lapangan, terutama jika tanah heterogen, membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan uji

lapangan.

Uji California Bearing Ratio (CBR)

Uji CBR (California Bearing Ratio) adalah salah satu metode pengujian untuk menentukan kekuatan lapisan tanah atau material jalan terhadap beban penetrasi. Uji ini biasa digunakan dalam perancangan dan evaluasi perkerasan jalan, termasuk tanah dasar, lapisan subbase, dan lapisan base. Nilai CBR merupakan indikator daya dukung tanah yang dinyatakan dalam bentuk persentase dibandingkan dengan material standar (batu pecah dengan sifat tertentu).

Prinsip Dasar Uji CBR

Menentukan kemampuan tanah atau material lapisan jalan dalam menahan beban dengan membandingkan resistensi penetrasi material uji terhadap material standar.

Prosedur Uji CBR

Uji CBR dapat dilakukan di laboratorium (pada sampel tanah yang telah dipadatkan) atau di lapangan (pada tanah asli di lokasi).

a) Uji CBR Laboratorium

Sampel tanah diambil dari lokasi proyek. Sampel dipadatkan ke dalam cetakan silinder sesuai dengan kadar air optimum dan kepadatan maksimum berdasarkan hasil uji pemadatan (Proctor Standar/Modifikasi). Cetakan tanah biasanya memiliki diameter 150 mm dan tinggi 127 mm. Selanjutnya cetakan dipasang di bawah mesin CBR. Pelat piston ditekan secara vertikal dengan kecepatan 1,27 mm/menit.

Gaya (beban) yang dibutuhkan untuk mencapai penetrasi 2,5 mm dan 5 mm dicatat. Nilai CBR dihitung sebagai rasio antara beban material uji dengan beban standar.

b) Uji CBR Lapangan

Pengujian dilakukan langsung di lapangan pada material asli. Permukaan tanah diratakan, lalu mesin CBR dipasang. Langkah-langkah pengujian serupa dengan uji laboratorium, tetapi tanpa pemadatan ulang. Hasil uji lapangan biasanya digunakan untuk mengevaluasi kekuatan tanah dasar pada kondisi asli.

Faktor yang Mempengaruhi Nilai CBR

- a) Kadar Air : nilai CBR berkurang dengan meningkatnya kadar air, terutama jika tanah menjadi jenuh.
- b) Kepadatan Tanah : tanah yang lebih padat memiliki nilai CBR lebih tinggi.
- c) Jenis Tanah : material granular (pasir, kerikil) memiliki nilai CBR lebih tinggi dibandingkan tanah kohesif (lempung).
- d) Metode Pemadatan : uji CBR sangat dipengaruhi oleh tingkat pemadatan material.

Kelebihan dan Kekurangan Uji CBR

Uji CBR merupakan metode sederhana dan langsung untuk mengukur daya dukung material jalan, memiliki standar yang luas untuk berbagai jenis material. Kekurangan metode CBR adalah tidak memperhitungkan efek beban dinamis (misalnya lalu lintas berat yang berulang), hasil sangat bergantung pada kadar air dan kepadatan material uji.

5.5.4 Uji Permeabilitas Tanah di Laboratorium

Pengujian ini dilakukan untuk menetapkan koefisien permeabilitas (konduktivitas hidraulik) untuk aliran air melalui tanah jenuh air. Pengujian permeabilitas harus merujuk pada SNI 03- 6870-2002 dan SNI 03-6871-2002. Untuk pengujian permeabilitas di tanah lempung, lanau atau tanah organik, hanya benda uji tanah dengan Kelas Kualitas 1 atau 2 yang

sebaiknya digunakan. Untuk material pasir dan kerikil, benda uji dengan Kelas Kualitas 3 dan remasan atau contoh tanah dipadatkan kembali dapat digunakan.

Pengujian permeabilitas di laboratorium adalah metode untuk menentukan kemampuan tanah atau material berbutir untuk mengalirkan air melalui pori-porinya. Hasil uji permeabilitas memberikan nilai koefisien permeabilitas (k) yang merupakan parameter penting dalam analisis aliran air bawah tanah, desain sistem drainase, perhitungan rembesan, stabilitas lereng, dan desain bendungan tanah.

Metode Pengujian Permeabilitas di Laboratorium

Terdapat dua metode utama pengujian permeabilitas di laboratorium, yaitu:

- a) Metode Tinggi Konstan (Constant Head Permeability Test)

Digunakan untuk tanah berbutir kasar seperti pasir atau kerikil yang memiliki permeabilitas tinggi. Prinsip metode ini adalah air dialirkan melalui sampel tanah pada kecepatan tetap, dan debit air yang mengalir diukur. Sampel tanah ditempatkan dalam tabung permeabilitas (permeameter). Air dialirkan melalui sampel dengan tinggi air (head) yang dijaga konstan.

- b) Metode Tinggi Jatuh (Falling Head Permeability Test)

Digunakan untuk tanah berbutir halus seperti lempung atau lanau dengan permeabilitas rendah. Prinsipnya adalah air dialirkan melalui sampel tanah, tetapi tinggi air (head) dibiarkan turun secara bertahap, dan perubahan tinggi air (h) diukur seiring waktu.

Parameter yang Berpengaruh pada Permeabilitas

- a) Jenis Tanah : tanah berbutir kasar (pasir, kerikil) memiliki permeabilitas tinggi karena pori-porinya

besar. Tanah berbutir halus (lempung, lanau) memiliki permeabilitas rendah karena pori-porinya kecil dan saling tertutup.

- b) **Kepadatan Tanah** : Tanah yang lebih padat memiliki pori-pori yang lebih kecil sehingga permeabilitasnya menurun.
- c) **Kadar Air Awal** : Tanah jenuh memiliki nilai permeabilitas berbeda dibandingkan tanah tidak jenuh.
- d) **Struktur Butiran** : Tanah dengan butiran tidak beraturan dan bersemen memiliki permeabilitas lebih rendah dibandingkan tanah dengan butiran seragam.
- e) **Suhu dan Viskositas Air** : Air yang lebih hangat (viskositas rendah) cenderung lebih mudah mengalir, sehingga meningkatkan nilai permeabilitas.

Kelebihan dan Kekurangan Pengujian Permeabilitas di Laboratorium

Kelebihan pengujian di laboratorium adalah memberikan hasil yang terkontrol dan konsisten karena dilakukan dalam kondisi laboratorium dan cocok untuk sampel tanah homogen. Sedangkan kekurangannya adalah kurang mewakili kondisi alami di lapangan, terutama jika tanah heterogen, sulit untuk mensimulasikan kondisi tekanan air pori lapangan, prosesnya memerlukan waktu lebih lama pada tanah berbutir halus dengan permeabilitas rendah.

5.6 Umpan Balik

5.6.1 Pilihlah jawaban yang tepat di bawah ini !

Soal 1. Apa tujuan utama dari pengujian tanah di laboratorium?

- A. Menentukan jenis material bangunan yang digunakan.
- B. Menghitung anggaran proyek konstruksi
- C. Menilai sifat fisik dan mekanik tanah untuk perencanaan konstruksi.
- D. Menentukan lokasi proyek terbaik

Soal 2. Uji Direct Shear Test digunakan untuk menentukan:

- A. Kekuatan geser tanah
- B. Tekanan air pori
- C. Kepadatan tanah
- D. Kadar air optimum

Soal 3. Uji Proctor di laboratorium digunakan untuk mengukur:

- A. Kekuatan tarik tanah
- B. Kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum.
- C. Daya dukung tanah
- D. Permeabilitas tanah

Soal 4. Uji Atterberg Limits digunakan untuk menentukan:

- A. Kadar air optimum
- B. Batas plastisitas dan batas cair tanah
- C. Berat jenis tanah
- D. Kepadatan tanah di lapangan

Soal 5. Untuk mengetahui distribusi ukuran butiran tanah, uji laboratorium yang dilakukan adalah:

- A. Uji Direct Shear
- B. Uji Konsolidasi
- C. Analisis Saringan (Sieve Analysis)
- D. Uji Proctor

Soal 6. Uji konsolidasi dilakukan untuk menentukan:

- A. Kepadatan tanah
- B. Kecepatan air mengalir melalui tanah
- C. Kompresibilitas tanah di bawah beban
- D. Kekuatan geser tanah

Soal 7. Uji permeabilitas tanah dilakukan untuk mengukur:

- A. Kekuatan geser tanah
- B. Kandungan mineral tanah
- C. Kemampuan tanah dalam menghantarkan air
- D. Gradasi butiran tanah

Soal 8. Pada uji kadar air, tanah dikeringkan dalam oven pada suhu:

- A. 50°C
- B. 80°C
- C. 105°C
- D. 150°C

Soal 9. Uji hidrometer digunakan untuk mengukur distribusi ukuran partikel tanah yang :

- A. Lebih besar dari 4,75 mm
- B. Lebih kecil dari 0,075 mm
- C. Lebih besar dari 2 mm
- D. Lebih besar dari 1 mm

Soal 10. Pengujian di laboratorium yang digunakan untuk menentukan kadar air tanah adalah:

- A. Uji Proctor
- B. Uji Konsolidasi
- C. Uji Geser Langsung

D. Uji Kadar Air

5.6.2 Jawablah dengan singkat dan jelas !

Soal 1. Jelaskan langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian Atterberg Limits di laboratorium, dan apa tujuan dari pengujian tersebut dalam analisis tanah?

Soal 2. Dalam uji konsolidasi tanah, jelaskan proses pengujian yang dilakukan dan bagaimana hasilnya digunakan untuk merencanakan pondasi bangunan?

Soal 3. Apa yang dimaksud dengan uji permeabilitas tanah? Jelaskan bagaimana uji permeabilitas dilakukan di laboratorium dan sebutkan kondisi tanah yang memiliki nilai permeabilitas tinggi dan rendah.

Soal 4. Jelaskan tujuan dari uji Proctor dalam penyelidikan tanah di laboratorium. Bagaimana hasil uji ini dapat membantu dalam proses pemadatan tanah di lapangan?

Soal 5. Jelaskan bagaimana uji geser langsung (Direct Shear Test) dilakukan di laboratorium dan sebutkan dua parameter utama yang diperoleh dari pengujian ini. Bagaimana hasil pengujian ini membantu dalam perencanaan konstruksi?

Soal 6. Uji kadar air tanah merupakan salah satu pengujian dasar dalam penyelidikan tanah. Jelaskan prosedur pengujian kadar air tanah di laboratorium, dan sebutkan peran penting hasil pengujian ini dalam konstruksi di daerah beriklim tropis.

Soal 7. Jelaskan pengertian analisis saringan (sieve analysis) dan langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian ini di laboratorium. Apa informasi penting yang diperoleh dari hasil uji ini terkait sifat fisik tanah?

Soal 8. Dalam uji laboratorium, mengapa penting untuk mengetahui kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum suatu tanah? Bagaimana uji Proctor membantu mendapatkan kedua parameter ini?

Soal 9. Jelaskan pentingnya melakukan pengujian konsistensi tanah di laboratorium. Sebutkan tiga batas yang diukur dalam pengujian ini dan bagaimana hasilnya digunakan untuk menilai potensi perubahan volume tanah akibat perubahan kadar air.

Soal 10. Bagaimana pengujian tanah di laboratorium dapat membantu dalam mitigasi bencana, seperti longsor atau likuifaksi? Sebutkan contoh pengujian dan bagaimana hasilnya digunakan untuk mengurangi risiko bencana tersebut.

5.7 Rangkuman

Penyelidikan tanah di laboratorium merupakan bagian terpenting dalam proses perencanaan dan pembangunan infrastruktur. Pengujian tanah ini membantu memahami karakteristik fisik dan mekanik tanah, yang berperan penting dalam memastikan stabilitas dan keamanan struktur yang akan dibangun, baik untuk gedung, jalan, jembatan, maupun infrastruktur lainnya. Hasil dari penyelidikan tanah di laboratorium dapat menentukan daya dukung tanah (seperti uji direct shear, uji Triaxial, dan uji Bearing Capacity), penurunan tanah (uji konsolidasi) dan sifat kembang susut tanah (uji Atterberg Limit). Data yang dihasilkan dari pengujian laboratorium tanah dapat menjadi dasar bagi perancangan konstruksi yang aman dan efektif, baik dalam skala kecil maupun besar, serta membantu dalam menghadapi tantangan geoteknik di wilayah yang rawan bencana seperti gempa dan longsor.

BAB 6

INSTRUMENTASI

GEOTEKNIK

6.1 Capaian Pembelajaran

Mahasiswa diharapkan mempunyai kemampuan untuk mengembangkan dan melakukan eksperimen yang tepat, menganalisis dan menafsirkan data, serta menggunakan penilaian teknik untuk menarik kesimpulan, juga mampu mengumpulkan dan menganalisis data dengan baik dan tepat. Hal yang terpenting pada Bab ini adalah mahasiswa mampu menentukan jenis Instrumentasi geoteknis yang diperlukan pada eksplorasi geoteknik yang terdiri dari tujuan pemasangan & pemantauan, jenis instrumentasi, kuantitas pengukuran, desain instrumen, serta beberapa contoh aplikasinya pada beberapa permasalahan geoteknis.

6.2 Relevansi

Instrumentasi geoteknik sangat relevan dengan mata kuliah Eksplorasi Geoteknik bagi mahasiswa Program S2 Teknik Sipil. Instrumentasi geoteknik menyediakan berbagai manfaat yang esensial untuk keberhasilan dan keamanan proyek konstruksi.

6.3 Pengantar Umum

Instrumentasi geoteknik adalah penggunaan alat untuk mengukur dan memantau parameter fisik dan mekanik tanah, batuan, dan struktur terkait selama dan setelah proses konstruksi. Tujuannya adalah untuk memastikan keamanan dan stabilitas struktur serta mengidentifikasi potensi masalah geoteknik secara dini. Beberapa aspek penting dari instrumentasi geoteknik yaitu jenis dan guna alat instrumentasi, prosedur instalasi dan pemantauan, perencanaan instalasi, pemasangan instrumen, kalibrasi dan uji coba, pengumpulan dan analisis data serta pelaporan.

Instrumentasi geoteknik adalah alat penting dalam memastikan keberhasilan, keamanan, dan efisiensi proyek konstruksi. Dengan memberikan data yang akurat dan real-time, instrumentasi ini memungkinkan deteksi dini masalah geoteknik, mengoptimalkan desain, menghemat biaya, mengendalikan risiko, memastikan kepatuhan terhadap regulasi, dan memantau kinerja jangka panjang. Manfaat ini membuat instrumentasi geoteknik menjadi investasi yang sangat berharga bagi setiap proyek konstruksi besar.

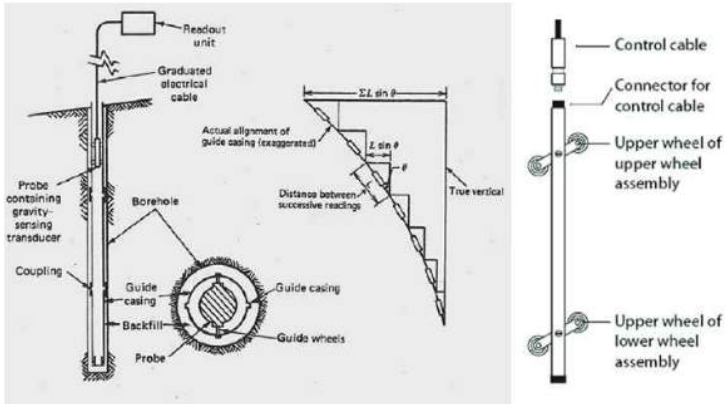
6.4 Pengukuran Gerakan Tanah

Pengukuran gerakan tanah dapat dilakukan di permukaan atau di dalam massa tanah. Beberapa jenis alat yang sering digunakan untuk memonitor gerakan tanah adalah inclinometer, tiltmeter dan Ekstensometer.

6.4.1 Uji Inclinometer

Inclinometer adalah alat instrumen monitoring geoteknik yang berguna untuk membaca pergerakan tanah atau kemiringan tanah. Inclinometer adalah sensor yang digunakan untuk mengukur besar sudut inklinasi atau deformasi, digambarkan

dalam presentase derajat mengenai gravitasi. inclinometer atau alat pengukur kemiringan ini digunakan untuk melakukan pengukuran lateral deformation.



Gambar 6. 1 Inclinometer dan bagian-bagiannya.

(<https://www.encardio.com/blog/inclinometer-types-how-it-works-uses>)

Sistem inclinometer digital terdiri dari komponen-komponen berikut:

- Probe inclinometer

Probe inclinometer transversal terdiri dari beberapa akselerometer penginderaan gravitasi dalam wadah baja tahan karat. Wadah ini berisi dua set roda bertekanan pegas yang memandu probe secara akurat pada kedalaman berapa pun di dalam casing. Jarak antar roda biasanya 0,5m. Pengukuran dilakukan pada sumbu A, yaitu searah roda dan sumbu B, yaitu tegak lurus terhadap sumbu A. Probe untuk casing horizontal dibuat berbeda. Sensor dipasang untuk mengukur perpindahan vertikal sambil menjaga roda pelacak bawah tetap diam.

- Casing inclinometer

Casing inclinometer digunakan untuk memandu probe di

dalam casing dengan empat alur roda longitudinal, yang diberi jarak 90° . Dari semua alur ini, hanya satu set alur yang berlawanan arah dengan arah perpindahan yang diharapkan yang digunakan.



Gambar 6. 2 Casing Inclinometer

Casing inclinometer umumnya dipasang di dalam tanah, di dalam lubang bor dan ruang annular diberi grouting. Namun, ada instalasi lain di mana casing tertanam dalam struktur beton. Gulungan kabel inclinometer dipasang pada probe pengukur kemiringan dan perangkat pembacaan. Kabel ini digunakan untuk mengirimkan sinyal listrik selama pengukuran dan berfungsi sebagai kontrol kedalaman yang tepat dan dapat diulang untuk probe. Kabel ini memiliki desain yang unik dan dibuat untuk memberikan stabilitas longitudinal jangka panjang. Kabel ini pada dasarnya dibuat untuk berfungsi sebagai pita pengukur. Dengan kata lain, kabel ini dibuat agar tahan lama, kedap air, tidak melar, dan tidak menyusut dengan ketahanan torsi yang tinggi.

Unit Pembacaan Seluler Android sebagai unit pembacaan untuk merekam data pada setiap interval kedalaman. Alat ini

mampu menyimpan beberapa set data dan dapat melakukan pemeriksaan lapangan untuk memverifikasi validitas pengukuran.

Sistem inklinometer digital adalah yang paling umum digunakan. Untuk probe inklinometer manual, dua sensor MEMS dipasang 90° satu sama lain (biaxial). Probe berkisar hingga $\pm 30^\circ$ dari vertikal. Alat ini juga sering digunakan pada pengukuran kecepatan dan pengukuran besaran pergerakan pada tanah. Prosedur pemasangan inclinometer tergantung pada bidang aplikasi dapat dipasang secara vertikal untuk memonitoring kemiringan yang terpotong atau gerakan apa pun di dinding dan tanggul penopang. Untuk memonitoring penyelesaian tanah diatas titik tunneling, inclinometer dipasang secara horizontal.

kegunaan pemasangan Inclinometer

- Memantau Kinerja Struktur Penahan

Kinerja struktur penahan, seperti dinding pile sheet, dinding pile soldier atau mechanically stabilized earth (MSE) sangat dipengaruhi oleh tekanan lateral atau gerakan tanah. Deformasi pada struktur penahan dapat terjadi selama dan setelah konstruksi. Sistem inclinometer dirancang untuk mengukur besarnya kemiringan dan deformasi diferensial di belakang atau di dalam permukaan dinding.

- Pemantauan Longsor

Penentuan kedalaman dan ketebalan zona geser, besaran, laju dan arah gerakan tanah longsor adalah aspek penting dari pemantauan tanah longsor. Selubung inclinometer dipasang didalam lubang bor, di beberapa lokasi, tergantung pada ukuran tanah longsor.

- Memantau Penggalian

Dampak penggalian dipantau untuk mempelajari pengaruhnya

terhadap struktur di dekatnya, utilitas, dan fasilitas penting lainnya. Dalam kasus seperti itu, selongsong inclinometer ditempatkan di dalam lubang bor vertikal yang terletak di antara batas penggalian dan fasilitas terdekat. Casing inclinometer juga dapat dipasang di sistem penggalian.

- Pemantauan selama pengeboran terowongan

Inclinometer dapat digunakan untuk memantau pergerakan tanah yang menghilangkan stres dan kemungkinan perpindahan blok batuan selama pembangunan terowongan dan poros. Gradient meter digunakan untuk memverifikasi kecukupan dukungan tanah, mendeteksi potensi kelemahan dalam pendekatan konstruksi, dan berfungsi sebagai sistem peringatan untuk potensi kegagalan tanah.

- Memantau kinerja tiang pancang dan bor

Inclinometer dapat digunakan untuk mengukur deformasi fondasi dalam yang dikenai beban lateral yang besar. Casing sensor level meter / kemiringan dapat tertanam di dalam atau melekat pada elemen struktural.



Digital Inclinometer



Digital Inclinometer System Model Ean-26m

Gambar 6. 3 Jenis Inclinometer.

Pemasangan Inclinometer

Inclinometer dapat dipasang dengan dua cara:

1. Pemasangan Inclinometer Vertikal

Sistem inclinometer vertikal digunakan untuk mengukur perpindahan horizontal relatif yang memengaruhi bentuk selubung pemandu yang tertanam di tanah atau bangunan. Sumur pengukur hampir vertikal dibangun dengan memasang selubung inclinometer di lubang bor dan menanamkannya di timbunan tanah/batu atau struktur beton selama dan setelah konstruksi. Probe inclinometer kemudian dilewatkan melalui seluruh panjang sumur pengukur dari bawah ke atas, mengambil pembacaan pada interval tetap yang telah ditentukan sebelumnya. Sebuah probe (torpedo) yang terdiri dari beberapa akselerometer presisi mendeteksi kemiringan tabung akses 90° satu sama lain. Ujung bawah casing pemandu berfungsi sebagai referensi stabil (datum) dan harus tertanam di luar zona perpindahan. Perpindahan relatif dari waktu ke waktu ditentukan dengan mengulangi pengukuran pada kedalaman yang sama dan membandingkan kumpulan data.

2. Pemasangan Inclinometer Horizontal

Sistem inclinometer horizontal dipasang untuk memantau profil penurunan atau kenaikan tanah di bawah tangki penyimpanan, tanggul, bendungan, dan tempat pembuangan sampah. Probe inclinometer horizontal terdiri dari servo-akselerometer dengan keseimbangan gaya yang mengukur kemiringan dari horizontal pada bidang roda probe. Perubahan sudut kemiringan dicatat, dan ini menunjukkan bahwa gerakan telah terjadi. Gerakan dihitung dengan mencari perbedaan antara pembacaan kemiringan saat ini dan pembacaan awal sambil mengubah hasil menjadi jarak vertikal.

Langkah- langkah Pemasangan Inclinometer

Pengeboran Lubang: Bor lubang hingga kedalaman yang

diperlukan.

Pemasangan Selubung Inclinometer: Masukkan selubung inclinometer ke dalam lubang bor. Pastikan selubung terpasang dengan benar dan lurus.

Pengisian Lubang Bor: Isi lubang bor dengan grout untuk memastikan selubung tetap pada tempatnya.

Kalibrasi dan Pengujian: Kalibrasi alat inclinometer dan lakukan pengujian awal untuk memastikan alat berfungsi dengan baik.



Gambar 6. 4 Proses pemasangan Inclinometer

(<https://tigenco.com/monitoring-geoteknik-dengan-instrumen-inclinometer/>)

Cara kerja inclinometer

Pada prinsipnya, *casing* inclinometer ditanam di dalam tanah sedalam ketentuan yang telah ditentukan. Penanaman ini dilakukan dengan asumsi bahwa akan terjadi pergerakan tanah. Untuk mendapatkan informasi pergerakan tanah

di kedalaman tertentu, maka profil casing yang telah tertanam akan mengikuti pergerakan yang akan terjadi. Informasi yang diperoleh dari alat *Mems Digital Inclinometer* ini adalah berupa besarnya pergerakan dan arah pergerakan yang terjadi. Setelah pengukuran selesai, hasil dari pengukuran tersebut dapat digunakan sebagai informasi pada lokasi atau titik yang mengalami kritis akibat dari pergerakan tanah. Hasil pengukuran ini akan dimunculkan pada layar monitor.

Sejak pertama diciptakan hingga sekarang alat inclinometer telah mengalami banyak perubahan. Salah satunya adalah ditemukannya sensor yang disebut digital inclinometer. Alat ini mampu mengubah tenaga analog yang kemudian akan dihasilkan menjadi sinyal digital. Dalam pengaplikasiannya, digital inclinometer menggunakan casing inclinometer untuk melakukan penahanan serta penarikan pada roda pegas. Pada setiap kali peningkatan maka akan dilakukan pembacaan pada probe yang akan menjauh secara vertikal. Pada jarak kenaikannya akan ditentukan dengan menggunakan spidol berbahan logam yang sebelumnya sudah dikerutkan. Dalam proses perekaman akan dilakukan dengan cara menekan tombol enter yang ada pada monitor, setelah itu lakukan penarikan pada selubung ke arah luar dan memutar selubung 180° lalu menurunkannya ke arah bawah. Prosedur ini dilakukan berulang beberapa kali.

6.4.2 Tiltmeter (Pengukuran kemiringan di permukaan)

Tiltmeter adalah alat yang berfungsi untuk memonitoring kemiringan dan perubahan didalam suatu struktur. Alat ini sangat sensitif dan mampu mendeteksi perubahan kecil dalam kemiringan yang mungkin terjadi karena berbagai faktor seperti beban, gerakan tanah, atau deformasi struktur. Alat ini biasanya digunakan untuk memonitoring pada jembatan, terowongan, bendungan dan lain-lain. Tiltmeter bekerja berdasarkan prinsip gravitasi. Alat ini mengukur sudut

kemiringan relatif terhadap arah gravitasi bumi. Terdapat beberapa jenis tiltmeter, namun prinsip kerjanya pada dasarnya sama, yaitu mendeteksi perubahan sudut melalui sensor internal. Tujuan pemantauan menggunakan alat ini adalah untuk menganalisa rotasi gaya struktur yang mendapatkan gaya dari tanah. Kemiringan struktur dapat terjadi disebabkan dorongan tanah dengan gaya leteral, struktur merupakan elemen penting pembangunan untuk menopang beban atas, agar bangunan berdiri dengan seimbang. Pengukuran dengan **tiltmeter** dapat dilakukan jika suatu bangunan sudah menunjukkan perubahan posisi secara horizontal atau vertikal supaya dapat diketahui gaya serta getarannya.

6.4.2.1 Pemasangan Tiltmeter

Komponen Utama Tiltmeter terdiri dari :

Sensor Inklinomete, sensor ini mengukur sudut kemiringan dengan akurasi tinggi.

Unit Pemrosesan Data, data dari sensor dikumpulkan dan diproses untuk menghasilkan informasi kemiringan.

Output Digital, tiltmeter modern dilengkapi dengan tampilan digital yang menunjukkan hasil pengukuran dalam bentuk angka.



Gambar 6. 5 Tiltmeter

(<https://alatujigeoteknik.com/mengenal-lebih-tiltmeter/>).

Proses Pengukuran terdiri dari kalibrasi, penempatan alat pada objek atau struktur yang akan dipantau, pengambilan data dan analisis data.

Analisis data, data dianalisis untuk mendeteksi perubahan sudut dan tren kemiringan. Kabel dari data logger disambungkan ke laptop untuk proses analisa dengan menggunakan bantuan software khusus yang telah di install sebelumnya. Tiltmeter akan bekerja saat struktur beton mendapatkan gaya yang terjadi. Langkah selanjutnya catat dan lakukan analisa agar struktur tersebut bisa dilakukan perbaikan atau masih dalam ambang batas yang diperbolehkan dalam dunia pembangunan.

6.4.2.2 Jenis Tiltmeter

MEMS

Alat ini merupakan kelas menengah dengan menawarkan pengukuran lebih luas kurang lebih 10 derajat. Alat ini tahan air, mempunyai versi dalam biaksial dan uniaksial, dapat dibaca jarak jauh, mudah dipasangkan.

Portable

Alat ini sangat praktis dibawa untuk setiap pengukuran. Alat ini ini dapat memantau kemiringan dengan baik dan akurat, hemat biaya dan memiliki sensor servo-accelometer reliable yang sama digunakan pada probe inclinometer.

EL Beam Sensor

Sesor ini akan dipasang pada blok kaku yang panjang yang sudah ditentukan dan dipasang di gauge. Biasanya blok memiliki panjang 1-2 meter dan diletakkan pada struktur. Sensor ini akan mempermudah perubahan kemiringan pada blok tersebut dalam suatu milimeter, selain itu sensor ini juga dapat memantau pergerakan leteral dan dihubungkan secara end to end untuk memantau pergerakan deferensial.

Track Monitor

Alat ini dapat memantau pada rel kereta api, sensor ini mempunyai dua versi yaitu sensor EL dan MEMS yang lebih lebar. Dapat dipantau jarak jauh, mudah penggunaannya, bisa bertahan dalam keadaan cuaca apapun.

Tiltmeter adalah alat yang sangat penting dalam pemantauan dan pemeliharaan struktur dan infrastruktur. Dengan kemampuan untuk mendeteksi perubahan kemiringan dengan akurasi tinggi, tiltmeter membantu memastikan keselamatan dan stabilitas bangunan, jembatan, bendungan, dan berbagai infrastruktur lainnya. Penggunaan tiltmeter, terutama yang digital, memberikan keuntungan dalam hal akurasi,

kemudahan penggunaan, dan pemantauan real-time, menjadikannya investasi yang sangat berharga dalam industri konstruksi dan pemantauan struktur.

6.4.3 Ekstensometer

Ekstensometer adalah alat penting dalam pemantauan geoteknik dan struktural untuk mendeteksi perubahan atau deformasi tanah dan struktur secara akurat. Ekstensometer digunakan untuk mengukur perubahan jarak atau pergerakan relatif antara dua titik pada suatu struktur atau formasi tanah/batuan. Ekstensometer sering digunakan untuk memantau pergerakan tanah, deformasi struktur, atau pergerakan massa batuan di area-area seperti lereng, terowongan, bendungan, dan tambang bawah tanah. Penggunaan ekstensometer memungkinkan tindakan preventif yang dapat diambil sebelum terjadi kegagalan struktur atau bencana alam, seperti tanah longsor atau runtuhnya terowongan.

Ekstensometer berfungsi untuk :

- **Memantau Pergerakan Tanah:** Ekstensometer digunakan untuk mengukur pergerakan vertikal dan horizontal tanah atau batuan. Ini sangat penting di daerah yang rentan terhadap pergerakan tanah, seperti lereng curam atau wilayah rawan longsor.
- **Pemantauan Stabilitas Struktur:** Alat ini dapat dipasang pada struktur bangunan seperti jembatan, gedung tinggi, atau dinding penahan tanah untuk mengukur deformasi akibat beban atau perubahan lingkungan.
- **Pengukuran Retakan atau Rangkaian Batuan:** Dalam dunia pertambangan dan konstruksi bawah tanah, ekstensometer dapat digunakan untuk mengukur pergerakan atau pelebaran retakan di batuan akibat galian atau tekanan internal bumi.

- Pemantauan Bendungan dan Terowongan: Ekstensometer dipasang untuk mengukur deformasi atau pergeseran yang terjadi di bendungan dan terowongan sebagai bagian dari pemantauan keamanan struktur jangka panjang.

Ekstensometer Mekanis: Menggunakan batang atau kabel baja yang terpasang di antara dua titik yang diukur. Perubahan panjang batang atau kabel diukur secara manual untuk menentukan pergerakan relatif.

Ekstensometer Elektronik: Menggunakan sensor elektronik untuk mengukur perubahan jarak atau panjang dengan lebih presisi. Data biasanya dikumpulkan secara otomatis dan dapat diakses melalui sistem pemantauan jarak jauh.

Ekstensometer Magnetik: Menggunakan magnet yang dipasang di titik-titik sepanjang lubang bor untuk mendeteksi pergerakan relatif antara titik-titik tersebut. Ekstensometer ini sering digunakan di lubang bor untuk memantau deformasi tanah pada kedalaman yang berbeda.



Gambar 6. 6 Ekstensometer Tanah Model EDS-92

(<https://www.encardio.com/blog/extensometer-types-how-it-works-applications>).

Ekstensometer Encardio Rite model EDS-92 digunakan untuk memantau perpindahan antara dua permukaan yang dapat bergeser satu sama lain seiring waktu. Ekstensometer tanah banyak digunakan dalam pengukuran regangan lateral dan penurunan di dalam atau di bawah tanggul tanah/batuan. Alat ini digunakan dalam pengukuran pergerakan pondasi dan pengendalian lereng alami dan lereng potong. Pergeseran dinding penahan, pilar jembatan, dan abutmen juga dapat dipantau oleh ekstensometer tanah. Alat ini juga mengukur perpindahan di antara sambungan konstruksi pada beton dan di antara sambungan/patahan pada batu. Ekstensometer biasanya dipasang di parit selebar sekitar 500 mm x kedalaman 600 mm. Ekstensometer biasanya dipasang di parit selebar sekitar 500 mm x kedalaman 600 mm.

Cara Kerja Ekstensometer

Ekstensometer biasanya dipasang di lubang bor atau pada permukaan tanah dan dihubungkan dengan dua atau lebih titik pengukuran. Saat tanah atau struktur bergerak, panjang atau jarak antara titik-titik yang diukur akan berubah. Ekstensometer mengukur perubahan ini dan memberikan data tentang pergerakan atau deformasi yang terjadi. Data yang dihasilkan dapat digunakan untuk menganalisis stabilitas tanah atau struktur dan untuk merencanakan tindakan mitigasi jika diperlukan.

6.5 Pengukur Tekanan Air Pori

Keberadaan muka air tanah di dekat pondasi sangat memengaruhi daya dukung beban pondasi dan penurunannya. Jika ditemukan air di lubang bor selama eksplorasi lapangan, fakta tersebut harus dicatat. Pada tanah dengan konduktivitas hidrolik tinggi, kadar air di lubang bor akan stabil sekitar 24 jam

setelah pengeboran selesai. Kedalaman muka air tanah kemudian dapat dicatat dengan menurunkan rantai atau pita ke dalam lubang bor. Pada lapisan yang sangat kedap air, kadar air di lubang bor mungkin tidak stabil selama beberapa minggu. Dalam kasus seperti itu, jika diperlukan pengukuran kadar air yang akurat, piezometer dapat digunakan.

Untuk mengukur tekanan air pori diperlukan piezometer yang jenisnya dapat bervariasi, di antaranya adalah: pisometer pipa terbuka (open-stand pipe piezometer), pisometer pneumatik, dan pisometer vibrating wire. Piezometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur tekanan air pori (pore water pressure) dalam tanah, batuan, atau struktur bawah tanah. Pengukuran tekanan air pori sangat penting dalam bidang geoteknik untuk memahami kondisi hidrogeologi suatu area, memantau stabilitas tanah, serta mendesain fondasi, bendungan, dan lereng.

6.5.1 Fungsi Piezometer

Piezometer atau pengukur tekanan pori memberikan data kuantitatif yang signifikan tentang besarnya dan distribusi tekanan pori dan variasinya terhadap waktu. Alat ini juga membantu dalam mengevaluasi pola rembesan, dan efektivitas tindakan pengendalian rembesan yang dilakukan. Secara garis besar fungsi dari Piezometer adalah sebagai berikut :

- **Mengukur Tekanan Air Pori:** Piezometer mengukur tekanan air yang ada dalam pori-pori tanah atau batuan. Tekanan air pori ini berpengaruh pada kekuatan geser tanah dan potensi likuifaksi, serta stabilitas lereng atau fondasi.
- **Memantau Ketinggian Muka Air Tanah:** Piezometer dapat digunakan untuk menentukan level muka air tanah, yang penting dalam pengendalian drainase dan pengelolaan sumber daya air.

- Studi Hidrogeologi: Piezometer membantu dalam memahami pergerakan air tanah dan memetakan aliran air bawah tanah di area proyek, seperti bendungan, tambang, atau lereng yang terancam longsor.
- Memantau Kondisi Jangka Panjang: Piezometer sering digunakan untuk memantau kondisi tekanan air pori dalam waktu lama, baik selama maupun setelah konstruksi, untuk memastikan stabilitas struktur dan lereng.

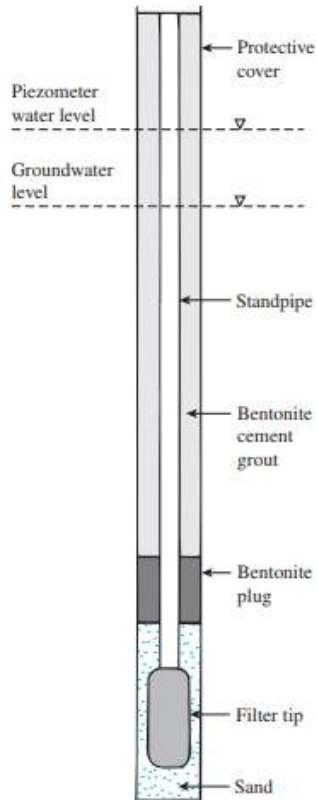
Evaluasi yang tepat dari tekanan pori membantu dalam memantau gerakan tanah setelah konstruksi dan menunjukkan kondisi yang sekiranya berpotensi berbahaya dan dapat mempengaruhi stabilitas struktur, pondasi dan perlengkapannya.

6.5.2 Jenis Piezometer

Piezometer Pipa tegak terbuka : dianggap sebagai bentuk paling sederhana dari piezometer yang terdiri dari ujung saling terhubung ke panjang pipa ekstensi. Ketinggian air di dalam pipa diukur dengan menggunakan dipmeter. Jenis alat satu ini berupa pipa plastik, dengan diameter kecil (hingga 20mm) dan bagian berpori ada di bawah. Pipa dipasang di dalam lubang bor dan bagian berpori tersebut diposisikan pada kedalaman tempat tekanan air pori akan diukur. Lingkaran antara filter berpori dan lubang bor diisi dengan pasir, permukaan atas dan bawah pasir ditutup dengan bentonit dan sisa lubang bor diisi dengan nat semen/bentonit. Tekanan air tanah mendorong air ke dalam dan ke atas pipa tegak hingga level air di dalam pipa tegak (h) setara dengan tekanan air pori di dalam tanah pada elevasi filter berpori.

Secara umum alat ini digunakan untuk memantau

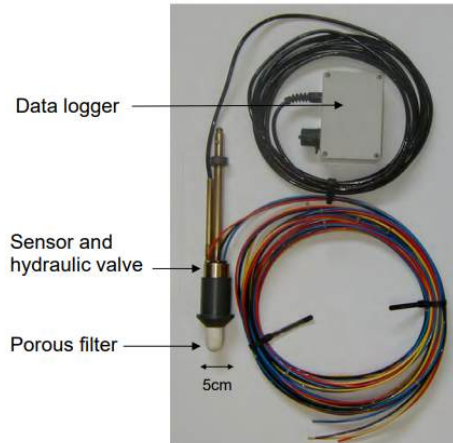
perubahan tekanan air dalam tanah sepanjang waktu, sehingga memungkinkan pemahaman yang lebih baik tentang perilaku air tanah dan potensi dampaknya pada proyek konstruksi, pengelolaan air tanah, atau penelitian geoteknik.



Gambar 6. 7 Piezometer tipe Casagrande/ pipa tegak terbuka
(Sivakugan, James Cook University, Australia).

Piezometer hidrolis (dapat disiram) : Piezometer hidrolis terdiri dari filter berpori yang membungkus reservoir air, yang dipisahkan dari pengukur tekanan oleh tabung fleksibel berisi

air. Tabung tersebut digunakan untuk mengalirkan air melalui sistem, membuang udara, dan memastikan bahwa reservoir tetap terisi air. Piezometer mengukur tekanan hidrolik keseluruhan dari mana tekanan pori dapat dihitung. Piezometer hidrolik yang dapat mengukur tekanan air pori positif dan negatif.



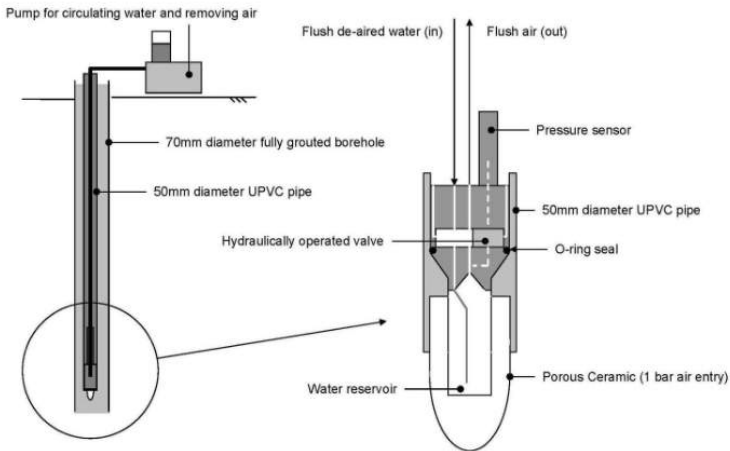
Gambar 6. 8 Salah satu contoh Piezometer Hidraulik yaitu GeO Flushable Piezometer

(<https://www.geo-observations.com/piezometers>).

Piezometer yang dapat disiram dipasang di lubang bor yang sudah diberi grouting penuh dan grouting tersebut berfungsi sebagai filter sekunder, yang membantu menjaga saturasi piezometer di bawah pengaruh hisapan. Jika terbentuk udara di piezometer, udara tersebut dapat dikeluarkan dengan mengalirkan air melalui tabung hidrolik.

Piezometer yang dapat disiram dipasang di lubang bor yang sudah diberi grouting penuh dan grouting tersebut berfungsi sebagai filter sekunder, yang membantu menjaga saturasi piezometer di bawah pengaruh hisapan. Jika

terbentuk udara di piezometer, udara tersebut dapat dikeluarkan dengan mengalirkan air melalui tabung hidraulik.

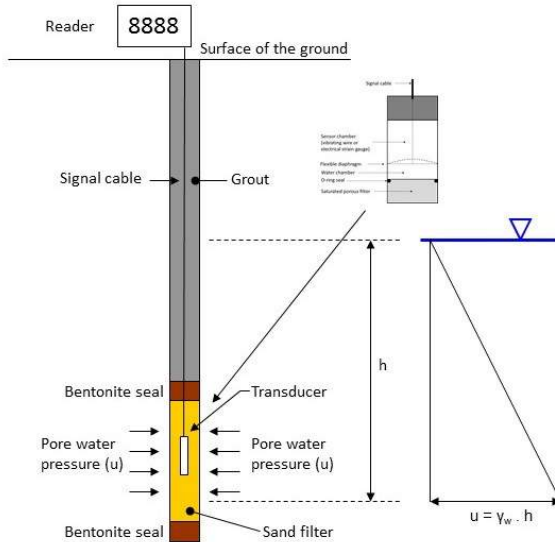


Gambar 6. 9 Prinsip Kerja Piezometer Hidraulik

(<https://www.geo-observations.com/piezometers>).

Piezometer Elektrik : Jenis piezometer berikutnya adalah terdiri dari diafragma pembelok dan filter berpori yang dibagi dengan reservoir kecil air. Vibrating wire atau strain gauge digunakan untuk menghitung defleksi diafragma. Hasil yang dihitung kemudian dikonversi ke tekanan setara menggunakan kalibrasi yang tepat. Prosedur selanjutnya sama persis dengan piezometer open standpipe. Piezometer listrik dimasukkan ke dalam lubang bor sedangkan anulus antara filter berpori dan lubang bor diisi dengan semen/bentonit nat. Air dari dalam tanah mendorong dirinya sendiri karena gaya apung ke dalam reservoir dan menyebabkan defleksi pada diafragma sampai tekanan di dalam reservoir sama dengan tekanan air pori (piezometric level). Jika piezometer listrik dipasang di atas

muka air tanah saat ini, tekanan pori di dalam tanah adalah negatif dan air dalam piezometer akan ditarik keluar dari reservoir. Jika hal ini terjadi, piezometer akan terisi dengan udara, yang menyebabkan disfungsinya.



Gambar 6. 10 Piezometer Elektrik

<https://www.geo-observations.com/piezometers>.

Piezometer Vibrating Wire: Piezometer ini menggunakan sensor kawat bergetar untuk mengukur tekanan air pori secara elektronik. Ketika tekanan air meningkat, tegangan pada kawat bergetar berubah, dan perubahan frekuensi getaran ini dikonversi menjadi nilai tekanan. Digunakan dalam aplikasi yang memerlukan pemantauan otomatis dan data real-time.

Piezometer Pneumatik: Piezometer ini menggunakan gas bertekanan untuk mengukur tekanan air pori. Aliran gas diatur ke dalam sistem, dan tekanan yang dibutuhkan untuk menyeimbangkan tekanan air pori diukur. Biasanya digunakan

di lokasi dengan akses terbatas atau di area yang sulit dijangkau.

6.5.3 Cara kerja Piezometer

Cara kerja piezometer bervariasi tergantung pada jenis piezometer yang digunakan, namun prinsip dasar semua jenis piezometer adalah mengukur tekanan air pori di dalam tanah, batuan, atau struktur bawah tanah. Secara garis besar cara kerja piezometer terdiri dari :

Instalasi Piezometer: Piezometer dipasang ke dalam tanah atau struktur yang akan dipantau. Lokasi pemasangan disesuaikan dengan kedalaman atau area yang ingin diukur tekanannya.

Pengukuran Tekanan Air Pori: Piezometer mengukur tekanan air pori berdasarkan metode yang digunakan (standpipe, kawat bergetar, pneumatik, atau elektronik). Tekanan air di dalam pori-pori tanah dihitung berdasarkan tekanan hidrostatik atau aliran air tanah di sekitar alat.

Pengambilan Data: Data pengukuran dapat diambil secara manual, atau dalam kasus piezometer elektronik, data dapat diakses secara otomatis dan real-time melalui sistem pemantauan jarak jauh.

Interpretasi Tekanan: Tekanan air pori yang diukur digunakan untuk menganalisis stabilitas tanah atau batuan. Jika tekanan air pori terlalu tinggi, tanah bisa kehilangan kekuatan gesernya, meningkatkan risiko pergerakan tanah atau kegagalan struktur.

6.5.4 Pemasangan Piezometer

Pemasangan piezometer terdiri dari beberapa tahapan yaitu pengeboran lubang bor, pemasangan piezometer di kedalaman yang ditentukan, grouting untuk penyegelan, dan kalibrasi instrumen. Instalasi yang benar sangat penting untuk mendapatkan pengukuran tekanan air pori yang akurat dan

dapat diandalkan, yang berguna dalam pemantauan stabilitas tanah, desain struktur, dan mitigasi risiko geoteknik.

Langkah-langkah pemasangan instrumentasi Piezometer terdiri dari :

Perencanaan Lokasi Instalasi : Studi awal dilakukan untuk menentukan lokasi instalasi yang tepat. Tentukan lokasi pengeboran berdasarkan analisis geoteknik. Lokasi biasanya dipilih berdasarkan desain geoteknik atau kebutuhan pemantauan, seperti pada lereng, di bawah bendungan, fondasi, atau di dalam terowongan. Kedalaman instalasi juga harus dipertimbangkan, karena piezometer perlu dipasang pada kedalaman di mana tekanan air pori relevan untuk dianalisis (misalnya, di zona air tanah atau pada lapisan tanah yang kritis).

Pengeboran lubang bor dilakukan hingga kedalaman yang diinginkan. Diameter lubang bor biasanya disesuaikan dengan ukuran piezometer yang akan dipasang. Pada instalasi di lereng atau struktur tanah yang berisiko, pengeboran harus dilakukan dengan hati-hati untuk mencegah gangguan pada kondisi tanah. Biasanya, lubang bor memiliki diameter antara 50 hingga 100 mm, tetapi ini dapat bervariasi tergantung pada jenis piezometer.

Pemasangan Casing (bila diperlukan) : Untuk beberapa jenis piezometer (seperti standpipe piezometer), casing atau pipa pelindung dipasang ke dalam lubang bor untuk melindungi instrumen dan mencegah tanah atau batuan runtuh ke dalam lubang bor. Casing juga memastikan bahwa air hanya bisa masuk melalui zona yang diinginkan (zona berlubang) dan mencegah air dari lapisan lain mempengaruhi pengukuran.

Pemasangan Piezometer: Masukkan piezometer ke dalam lubang bor dan pastikan posisinya benar.

Piezometer Standpipe:

Pipa piezometer (tabung berlubang di bagian bawah) dimasukkan ke dalam lubang bor hingga kedalaman pengukuran yang diinginkan. Bagian bawah pipa berada di zona pengukuran tekanan air pori.

Lapisan pasir kasar atau kerikil ditempatkan di sekitar pipa di area yang akan diukur untuk memfasilitasi pergerakan air pori ke dalam tabung.

Setelah pemasangan, lapisan bentonit atau campuran semen ditempatkan di atas pasir untuk mencegah masuknya air dari lapisan yang tidak relevan ke dalam pipa.

Piezometer Vibrating Wire:

Piezometer ini memiliki sensor kawat bergetar yang dihubungkan dengan kabel. Sensor dimasukkan ke dalam lubang bor atau diletakkan di dalam casing pada kedalaman yang ditentukan. Setelah dipasang, kabel ditarik keluar menuju perangkat pembaca di permukaan. Lubang bor diisi dengan pasir atau gravel pack untuk memberikan kontak yang baik antara sensor dan tanah. Bagian atas biasanya disegel dengan bentonit untuk mencegah aliran air dari permukaan.

Piezometer Pneumatik:

Mirip dengan piezometer kawat bergetar, piezometer pneumatik dipasang dengan menghubungkan sensor dengan sel tekanan yang dihubungkan ke alat pneumatik di permukaan.

Piezometer pneumatik dipasang pada kedalaman yang diinginkan, dan lubang bor diisi dengan pasir untuk memastikan alat dapat mendeteksi tekanan air pori secara tepat. Tabung gas diletakkan di sepanjang lubang bor dan dihubungkan ke perangkat pemompa di permukaan.

Grouting dan Penyegelan: Setelah piezometer dipasang di

tempat, lubang bor disegel menggunakan campuran bentonit atau grout semen. Ini dilakukan untuk memastikan bahwa air dari permukaan atau lapisan tanah lainnya tidak mengganggu pengukuran tekanan air pori di zona pengukuran yang diinginkan. Bentonit digunakan di atas zona pengukuran untuk memastikan pemisahan lapisan tanah yang lebih tinggi dari lapisan yang diukur.

Kalibrasi : Setelah instalasi selesai, kalibrasi awal dilakukan untuk memastikan piezometer bekerja dengan baik. Tekanan awal biasanya diambil sebagai data baseline. Untuk piezometer otomatis seperti vibrating wire, data diambil dengan alat pembaca atau data logger untuk memastikan bahwa sensor mengirimkan sinyal yang benar. Jika menggunakan piezometer manual, seperti standpipe, pengukuran ketinggian air pertama diambil untuk mengkalibrasi pengukuran selanjutnya.

Pengambilan data : Pada Piezometer Standpipe, pengukuran dilakukan secara manual dengan mengukur ketinggian air di dalam tabung menggunakan alat pengukur air (water level indicator). Data ini mencerminkan tekanan air pori pada kedalaman tertentu. Sedangkan pada Piezometer Vibrating Wire dan Pneumatik, data diambil secara otomatis melalui alat pembaca atau sistem data logger yang memantau perubahan tekanan air pori secara real-time atau berkala.

Perawatan dan Pemantauan Jangka Panjang : Setelah instalasi selesai, pemantauan berkala dilakukan untuk mengambil data tekanan air pori. Pengukuran rutin sangat penting untuk memantau perubahan dalam tekanan air pori yang dapat memengaruhi stabilitas tanah atau struktur. Jika menggunakan piezometer otomatis, sistem ini biasanya dilengkapi dengan perangkat pemantauan jarak jauh, sehingga data dapat diperoleh secara real-time. Secara umum, piezometer digunakan untuk mengukur tekanan air pori tanah. Namun, piezometer memiliki fungsi lainnya

diantaranya adalah sebagai antisipasi atau backup data jika data yang diterima dari settlement plate tidak akurat. Piezometer sangat diandalkan dalam menentukan penurunan tanah, karena instrument ini berfungsi untuk mengukur tekanan air pori, sehingga jika tekanan air porinya sudah diketahui maka periode terjadinya penurunan tanah bisa diketahui dengan mudah.

6.6 Settlement Plate

Settlement plate adalah alat yang efektif dan sederhana untuk memantau penurunan tanah selama proyek konstruksi. Alat ini digunakan untuk mengukur pergerakan vertikal tanah di bawah timbunan atau beban dan membantu memastikan bahwa tanah mengalami penurunan sesuai dengan yang diharapkan dan dalam batas aman. Settlement plate berfungsi untuk :

Memantau Penurunan Tanah: Settlement plate membantu mengukur penurunan tanah yang terjadi atau bergerak vertikal selama proses konsolidasi akibat beban konstruksi.

Pemantauan Stabilitas Struktur: untuk memantau pergerakan vertikal pada area konstruksi besar seperti tanggul, timbunan tanah, atau fondasi untuk mendeteksi masalah stabilitas sejak awal.

Pengendalian Dampak Beban: dapat digunakan untuk memantau respon tanah terhadap bebang yang diberikan misalnya, timbunan atau struktur bangunan dan mengevaluasi risiko kegagalan tanah atau penurunan yang signifikan.

Komponen Settlement Plate

Pelat (Plate): Pelat baja atau logam yang ditempatkan di bawah permukaan tanah pada kedalaman tertentu. Pelat ini bertindak sebagai titik referensi untuk pengukuran pergerakan vertikal.



Gambar 6. 11 Settlement Plate dan komponen-komponennya (<https://www.geoants.com/en/products/oturma-plakasi>).

Batang Pengukur (Measuring Rod): Batang baja atau tabung yang dipasang tegak lurus di atas pelat dan menjulur hingga ke permukaan tanah. Batang ini digunakan untuk mengukur pergerakan pelat (dan tanah di sekitarnya) saat tanah mengalami penurunan.

Tutup Pelindung (Protective Cover): Tutup atau casing yang ditempatkan di sekitar batang pengukur di permukaan tanah untuk melindungi alat dari kerusakan atau gangguan lingkungan eksternal, seperti hujan atau angin.

Cara Kerja Settlement Plate

Settlement plate dipasang di dasar timbunan atau di bawah permukaan tanah sebelum material timbunan atau konstruksi dilakukan. Pelat diletakkan di permukaan tanah asli atau di

lapisan yang ingin dipantau. Batang pengukur dihubungkan secara vertikal ke pelat dan diizinkan untuk menonjol hingga permukaan tanah.

Timbunan atau Beban: Setelah instalasi, timbunan tanah, material konstruksi, atau beban tambahan ditempatkan di atas settlement plate. Ketika tanah mengalami penurunan atau konsolidasi akibat beban, pelat dan batang pengukur akan bergerak vertikal ke bawah.

Pengukuran: Pergerakan batang pengukur diukur secara berkala menggunakan alat pengukur tingkat (level) atau alat survei. Pengukuran dilakukan pada berbagai interval waktu selama proses konsolidasi untuk memantau penurunan tanah. Setiap perubahan ketinggian batang pengukur menunjukkan jumlah penurunan tanah yang terjadi di lokasi pelat. Data ini kemudian digunakan untuk memantau tingkat konsolidasi atau deformasi tanah dan untuk memastikan bahwa penurunan tanah tidak melebihi batas yang dapat menyebabkan kegagalan struktur atau kerusakan proyek konstruksi.

Analisis Data: Data penurunan tanah yang dikumpulkan dari settlement plate dianalisis untuk menentukan laju dan besaran penurunan total. Ini membantu insinyur memahami bagaimana tanah merespons beban konstruksi dan apakah perlu tindakan perbaikan atau perubahan desain.

Pemasangan Settlement Plate

Pemasangan settlement plate merupakan proses penting dalam memantau penurunan tanah selama proyek konstruksi, khususnya pada area timbunan tanah atau beban berat. Pemasangan yang benar sangat krusial untuk mendapatkan data yang akurat dan andal mengenai pergerakan tanah. Pemasangan settlement plate melibatkan beberapa langkah penting, termasuk pemilihan lokasi, pemasangan pelat dan batang pengukur, serta pengukuran penurunan tanah secara

berkala. Alat ini membantu memantau pergerakan vertikal tanah akibat beban konstruksi dan memastikan bahwa penurunan tanah tetap dalam batas aman. Hasil pemantauan settlement plate sangat penting untuk mencegah masalah stabilitas di proyek konstruksi besar, seperti jalan raya, tanggul, atau fondasi bangunan.

Pengukuran Awal dan pengukuran rutin

Pengukuran awal (baseline measurement) dilakukan segera setelah pemasangan settlement plate dan sebelum penimbunan tanah dimulai.

Data ini berfungsi sebagai referensi untuk pengukuran penurunan selanjutnya. Pengukuran dapat dilakukan dengan alat survei level, di mana ketinggian batang pengukur dicatat pada titik waktu tertentu.

Setelah penimbunan atau konstruksi berlangsung, pengukuran rutin dilakukan untuk memantau pergerakan vertikal atau penurunan tanah.

Pengukuran dapat dilakukan secara manual menggunakan water level indicator, alat theodolite, atau alat survei optik lainnya. Pada interval waktu tertentu, insinyur melakukan pengukuran dengan mencatat perbedaan ketinggian batang pengukur terhadap baseline.

Analisis Data

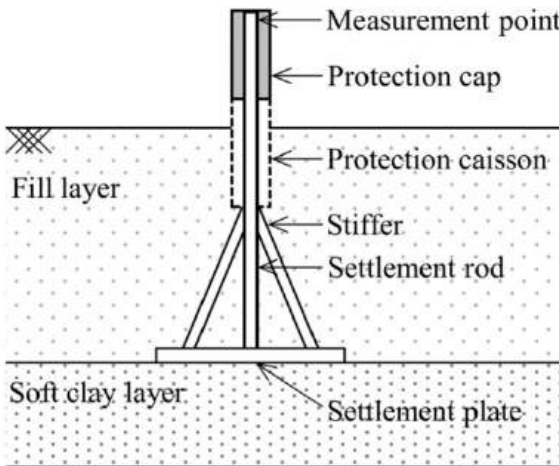
Setelah pengukuran dilakukan berkala, data yang terkumpul dianalisis untuk memantau tingkat penurunan tanah di area yang dipasang settlement plate. Jika terjadi penurunan signifikan atau penurunan yang lebih cepat dari perkiraan, langkah-langkah mitigasi dapat diambil, seperti penguatan timbunan atau penyesuaian beban konstruksi.

Hal-hal yang Perlu Diperhatikan

- Kondisi Tanah: Settlement plate harus dipasang di atas

tanah asli yang stabil. Jika tanah terlalu lunak atau tidak stabil, bisa menyebabkan hasil pengukuran yang tidak akurat atau penurunan tanah yang tidak merata.

- Batang Pengukur yang Stabil: Pastikan batang pengukur tetap stabil selama proses konstruksi. Gangguan pada batang dapat menyebabkan pengukuran yang salah.
- Pemantauan Berkala: Pengukuran penurunan tanah harus dilakukan secara berkala untuk mendapatkan data penurunan yang konsisten dan mengidentifikasi potensi masalah secara tepat waktu.
- Jumlah Settlement Plate: Pada proyek besar, beberapa settlement plate sering kali dipasang di lokasi yang berbeda untuk mendapatkan gambaran yang lebih komprehensif mengenai distribusi penurunan tanah di area konstruksi.



Gambar 6. 12 Pemasangan settlement plate
(Hong dkk, 2024).

Aplikasi Settlement Plate

- **Proyek Jalan dan Jembatan:** Digunakan untuk memantau penurunan tanah di bawah timbunan jalan atau jembatan. Hal ini penting untuk memastikan bahwa timbunan stabil sebelum pengerasan jalan dilakukan.
- **Konstruksi Bendungan dan Tanggul:** Memantau pergerakan vertikal tanah di bawah bendungan atau tanggul untuk mencegah kegagalan struktural akibat penurunan tanah yang berlebihan.
- **Fondasi Bangunan Besar:** Untuk mengukur dan memantau penurunan tanah di bawah fondasi gedung tinggi atau konstruksi lainnya yang mempengaruhi kestabilan fondasi.
- **Bandara dan Area Industri:** Pemantauan penurunan tanah pada proyek infrastruktur besar, seperti landasan pacu bandara atau kawasan industri, untuk memastikan tanah tidak mengalami deformasi signifikan yang dapat mengganggu operasi.

Keunggulan Settlement Plate

- **Sederhana dan Ekonomis:** Alat ini memiliki desain yang sederhana dan relatif murah untuk dipasang serta dioperasikan, tetapi tetap memberikan informasi penting tentang stabilitas tanah.
- **Data Real-time:** Dengan pengukuran yang dilakukan secara berkala, alat ini memberikan data real-time tentang penurunan tanah, yang penting dalam pengambilan keputusan selama proses konstruksi.
- **Meminimalisir Risiko Kegagalan:** Dengan memantau penurunan tanah secara akurat, risiko kegagalan tanah atau fondasi yang bisa berakibat pada kerusakan

bangunan atau infrastruktur dapat diminimalisir.

Keterbatasan Settlement Plate

- Data Terbatas pada Lokasi Pemasangan: Settlement plate hanya memberikan informasi penurunan tanah di lokasi spesifik tempat alat tersebut dipasang. Untuk cakupan yang lebih luas, perlu digunakan beberapa settlement plate di berbagai titik.
- Pengukuran Manual: Pengukuran biasanya dilakukan secara manual, yang memerlukan tenaga kerja dan peralatan survei, sehingga tidak selalu praktis untuk pemantauan otomatis.

6.7 Persyaratan minimum instrumentasi geoteknik

Untuk keamanan lereng persyaratan minimum instrumentasi geoteknik harus memenuhi persyaratan. Langkah-langkah untuk merencanakan instrumentasi sebagai berikut:

- a) menentukan parameter yang hendak diukur;
- b) menentukan jenis alat yang diperlukan;
- c) memilih jenis instrumen yang paling sesuai;
- d) menentukan jumlah, lokasi, dan kedalaman instrumen;
- e) menggunakan teknik pencatatan.

Proses perancangan instrumentasi memerlukan pengembangan ide dari sebab-sebab kelongsoran dan batas yang mungkin dari kedalaman dan batas-batas pergerakan dari bidang gelincir, pengenalan kondisi lapangan, mempelajari geologi lokal, peninjauan catatan hujan, dan observasi dari topografi.

6.8 Penyelidikan Tanah dengan Geolistrik dan Georadar

Penggunaan alat **geofisika** dalam penyelidikan tanah, seperti **geolistrik** dan **georadar (Ground Penetrating Radar/GPR)**, sangat penting untuk memahami karakteristik bawah permukaan tanpa melakukan pengeboran atau penggalian langsung. Kedua metode ini sering digunakan dalam bidang teknik sipil, geoteknik, eksplorasi mineral, arkeologi, dan pemetaan lingkungan untuk mendapatkan informasi mengenai struktur dan kondisi bawah permukaan tanah atau batuan. Metode geolistrik dan georadar merupakan dua teknik geofisika yang sangat berguna untuk penyelidikan tanah dan bawah permukaan. **Geolistrik** lebih cocok untuk pemetaan yang lebih dalam, seperti identifikasi lapisan tanah, air tanah, dan mineral, sementara **georadar** lebih cocok untuk pemetaan dangkal dengan resolusi tinggi, seperti deteksi pipa, kabel, atau artefak bawah tanah. Kedua metode ini saling melengkapi dan dapat digunakan secara bersamaan untuk mendapatkan gambaran yang lebih lengkap tentang kondisi bawah permukaan di lokasi yang diteliti.

6.8.1 Geolistrik

Metode geolistrik adalah teknik geofisika yang digunakan untuk menyelidiki resistivitas (hambatan listrik) bawah permukaan tanah atau batuan dengan mengalirkan arus listrik ke dalam tanah melalui elektroda. Hasil resistivitas yang diperoleh dari metode ini digunakan untuk menginterpretasi struktur bawah permukaan, seperti lapisan tanah, air tanah, atau keberadaan rongga di bawah tanah. Metode geolistrik memiliki beragam manfaat yang mencakup berbagai bidang, seperti eksplorasi sumber daya alam, pemantauan lingkungan, konstruksi, mitigasi bencana, dan arkeologi. Selain berfungsi sebagai alat eksplorasi geoteknik, geolistrik juga dapat

membantu mengidentifikasi potensi ancaman lingkungan dan menyediakan data penting bagi pengelolaan sumber daya air dan tanah secara berkelanjutan.

Prinsip Kerja Geolistrik:

- Arus listrik dialirkan ke tanah melalui dua elektroda arus (C1 dan C2), dan tegangan yang dihasilkan diukur melalui dua elektroda potensial (P1 dan P2).
- Resistivitas diukur dengan menghitung rasio antara tegangan yang diukur dan arus yang dialirkan.
- Nilai resistivitas bawah permukaan akan berbeda-beda tergantung jenis tanah atau batuan, tingkat kelembapan, dan keberadaan air tanah.

Aplikasi Geolistrik:

- Pencarian air tanah: Metode ini sering digunakan untuk mengidentifikasi akuifer atau sumber air tanah.
- Pemetaan lapisan bawah permukaan: Berguna dalam memetakan lapisan tanah atau batuan dan mendeteksi keberadaan rongga atau retakan.
- Eksplorasi mineral: Digunakan untuk memetakan mineral logam atau sumber daya alam yang memiliki resistivitas berbeda dari tanah sekitarnya.
- Identifikasi potensi bencana geoteknik: Mengidentifikasi area yang berpotensi longsor atau memiliki tanah lemah yang berisiko bagi bangunan atau infrastruktur.

Keuntungan Geolistrik:

- Non-invasif: Tidak memerlukan penggalian atau pengeboran, sehingga tidak merusak struktur tanah atau lingkungan.

- Efisien dan cepat: Dapat mencakup area yang luas dalam waktu relatif singkat.

Keterbatasan Geolistrik:

- Resolusi terbatas: Interpretasi hasil sering kali bersifat umum dan bergantung pada model resistivitas bawah permukaan yang diperoleh.
- Pengaruh faktor eksternal: Kondisi seperti kelembapan tanah, salinitas air, atau vegetasi dapat memengaruhi hasil pengukuran.

6.8.2 Georadar

Georadar adalah metode geofisika yang menggunakan gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi untuk memetakan kondisi bawah permukaan. Gelombang elektromagnetik ini dipantulkan kembali oleh objek atau lapisan bawah tanah dengan konduktivitas listrik yang berbeda-beda, dan waktu yang diperlukan untuk pantulan tersebut diukur untuk mengetahui kedalaman dan posisi objek.

Prinsip Kerja Georadar:

- Gelombang elektromagnetik dipancarkan dari antena GPR ke dalam tanah, dan sebagian gelombang tersebut akan dipantulkan kembali ketika menemui perubahan material (misalnya, antara lapisan tanah dan batuan, atau air tanah).
- Waktu pantulan (time delay) antara gelombang yang dipancarkan dan dipantulkan kembali diukur untuk menghitung kedalaman objek atau lapisan.
- Data hasil pemantulan diolah menjadi citra atau profil bawah permukaan yang menunjukkan adanya perubahan material atau keberadaan objek.

Aplikasi Georadar:

- Pemetaan lapisan tanah dan struktur bawah permukaan: Digunakan untuk memetakan lapisan tanah, mengidentifikasi rongga, atau struktur bawah tanah yang tersembunyi.
- Arkeologi: Berguna dalam mendeteksi artefak yang terkubur tanpa harus menggali situs arkeologi.
- Deteksi utilitas bawah tanah: Digunakan untuk memetakan pipa, kabel, atau infrastruktur lain yang tertanam di bawah tanah.
- Eksplorasi geoteknik: Memeriksa lapisan permukaan tanah untuk mendukung konstruksi infrastruktur atau bangunan, misalnya memeriksa stabilitas tanah.
- Identifikasi area rawan bencana: GPR digunakan untuk mendeteksi kondisi geologis yang dapat memicu longsor atau penurunan tanah, serta mengidentifikasi retakan atau rongga.

Keuntungan Georadar:

- Resolusi tinggi: GPR memiliki resolusi yang lebih tinggi dibandingkan metode geofisika lainnya, sehingga dapat mendeteksi objek atau lapisan kecil di bawah permukaan.
- Non-destruktif: Seperti geolistrik, GPR tidak memerlukan penggalian atau pengeboran.
- Cepat dan efisien: Alat GPR dapat digunakan dengan cepat untuk mencakup area yang luas, terutama untuk pemetaan permukaan yang dangkal.

Keterbatasan Georadar:

- Rentan terhadap konduktivitas tanah: Efektivitas GPR berkurang di tanah yang sangat konduktif, seperti tanah liat basah atau tanah yang jenuh air, karena gelombang elektromagnetik akan lebih banyak diserap daripada dipantulkan.
- Keterbatasan kedalaman: GPR memiliki kedalaman penetrasi yang terbatas, biasanya hanya efektif hingga beberapa meter di bawah permukaan, tergantung pada frekuensi antena yang digunakan dan kondisi tanah.

Perbandingan Geolistrik dan Georadar

Georadar dan geolistrik adalah dua teknik geofisika yang digunakan untuk mengukur sifat-sifat bawah permukaan bumi, tetapi keduanya beroperasi berdasarkan prinsip yang berbeda. Berikut adalah perbedaan antara georadar dan geolistrik:

a) Prinsip Dasar:

Georadar: Georadar menggunakan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan ke bawah permukaan bumi. Gelombang ini memantul kembali ke permukaan saat bertemu dengan perubahan dielektrik atau keberadaan objek di bawah permukaan, seperti batuan, air tanah, atau struktur arkeologi. Informasi tentang kedalaman dan sifat bahan bawah permukaan dapat diperoleh dari waktu tempuh dan amplitudo gelombang yang dipantulkan.

Geolistrik: Metode geolistrik berdasarkan pada pengukuran resistivitas listrik atau konduktivitas bahan di bawah permukaan bumi. Arus listrik diberikan ke tanah melalui elektroda dan kemudian diukur potensial listrik yang dihasilkan. Perbedaan resistivitas atau konduktivitas dalam formasi geologi diinterpretasikan untuk menentukan sifat-sifat lapisan bawah permukaan.

b) **Sifat Bahan yang Diukur:**

Georadar: Georadar umumnya berguna untuk mendeteksi batas antara bahan yang berbeda, seperti batuan, tanah, air tanah, atau struktur seperti reruntuhan arkeologi atau pipa bawah tanah.

Geolistrik: Geolistrik biasanya digunakan untuk mengukur resistivitas atau konduktivitas bahan di bawah permukaan, yang dapat memberikan informasi tentang kandungan mineral, kelembaban tanah, atau struktur geologi.

c) **Aplikasi:**

Georadar: Digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk eksplorasi arkeologi untuk mendeteksi sisa-sisa bangunan kuno, pencarian dan pemetaan air tanah, pemantauan perubahan lapisan es, dan pemetaan infrastruktur bawah tanah seperti pipa atau kabel.

Geolistrik: Digunakan dalam eksplorasi mineral untuk mengidentifikasi kandungan mineral di bawah permukaan, eksplorasi minyak dan gas untuk memetakan reservoir, pemetaan struktur geologi seperti patahan atau lipatan, dan penentuan lokasi sumur bor untuk air tanah.

Meskipun keduanya berbeda dalam prinsip dasar dan aplikasi, baik georadar maupun geolistrik memiliki peran yang penting dalam ilmu geofisika dan sering digunakan bersama-sama dalam survei bawah permukaan bumi untuk memberikan pemahaman yang lebih lengkap tentang sifat-sifat geologi di bawah permukaan. Tabel 6.1 menunjukkan perbandingan antara geolistrik dan georadar.

Tabel 6. 1 Perbandingan Geolistrik dan Georadar

Aspek	Geolistrik	Georadar (GPR)
Metode	Mengukur resistensi tanah melalui arus listrik	Menggunakan gelombang elektromagnetik
Kedalaman penetrasi	Bisa mencapai puluhan atau ratusan meter	Umumnya beberapa meter di bawah permukaan tanah
Resolusi	Lebih rendah, hasil bersifat umum	Resolusi tinggi, cocok untuk detail dangkal
Aplikasi utama	Pemetaan lapisan tanah, air tanah, mineral	Deteksi struktur dangkal, pipa, artefak
Kondisi Ideal	Semua jenis tanah	Tanah dengan konduktivitas rendah (kering)
Keterbatasan	Pengaruh kelembaban tanah dan faktor lain.	Efektivitas menurun di tanah jenuh air.

6.9 Umpan Balik

6.9.1 Soal Pilihan Ganda

1. Apa fungsi utama dari inclinometer dalam eksplorasi geoteknik?
 - A. Mengukur tekanan air pori

- B. Mengukur pergerakan tanah secara lateral
 - C. Mengukur kedalaman tanah
 - D. Mengukur regangan pada struktur bangunan
2. Alat yang digunakan untuk mengukur pergerakan vertikal tanah atau penurunan permukaan tanah disebut:
- A. Piezometer
 - B. Ekstensometer
 - C. Settlement Plate
 - D. Strain Gauge
3. Metode geofisika yang menggunakan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi struktur bawah permukaan disebut:
- A. Geolistrik
 - B. Georadar (GPR)
 - C. Seismik Refleksi
 - D. Ekstensometer
4. Alat yang digunakan untuk mengukur tekanan air pori di dalam tanah adalah:
- A. Piezometer
 - B. Settlement Plate
 - C. Inklinometer
 - D. Ekstensometer
5. Jenis piezometer yang digunakan untuk mengukur tekanan air pori secara langsung pada kedalaman tertentu disebut:
- A. Piezometer Standpipe
 - B. Piezometer Vibrating Wire
 - C. Piezometer Pneumatik

D. Ekstensometer Magnetik

6.9.2 Soal (Benar/Salah)

1. Inklinometer digunakan untuk memantau penurunan tanah. (Benar/Salah)
2. Strain gauge digunakan untuk mengukur deformasi atau regangan pada material di bawah tanah. (Benar/Salah)
3. Settlement plate dipasang di permukaan tanah untuk memantau pergerakan horizontal tanah. (Benar/Salah)
4. Geolistrik hanya efektif digunakan di tanah kering karena resistansi listrik sangat sensitif terhadap kelembapan. (Benar/Salah)
5. Ekstensometer digunakan untuk mengukur perubahan panjang tanah atau lapisan batuan akibat deformasi. (Benar/Salah)

6.9.3 Soal Esai

1. Jelaskan prinsip kerja piezometer dan sebutkan jenis-jenis piezometer yang sering digunakan dalam eksplorasi geoteknik !
2. Apa perbedaan utama antara georadar (GPR) dan geolistrik dalam penyelidikan bawah permukaan? Jelaskan keunggulan dan kelemahan masing-masing metode !
3. Sebutkan langkah-langkah instalasi settlement plate dan jelaskan fungsinya dalam pemantauan pergerakan tanah ?
4. Bagaimana cara kerja alat inclinometer dalam mendeteksi pergerakan tanah? Berikan contoh penerapannya dalam mitigasi longsor !
5. Jelaskan bagaimana strain gauge digunakan dalam pemantauan deformasi struktur geoteknik, dan sebutkan aplikasi praktisnya dalam proyek konstruksi.

6.9.4 Soal Studi Kasus

Studi Kasus 1

Sebuah proyek pembangunan jalan raya berada di daerah yang rawan longsor. Sebagai bagian dari kajian geoteknik, alat inclinometer dipasang di lereng untuk memantau pergerakan tanah.

- a. Jelaskan bagaimana inclinometer bekerja dalam mendeteksi pergerakan tanah di lereng tersebut.
- b. Apa langkah-langkah yang perlu diambil jika terdeteksi pergerakan signifikan pada lereng?

Studi Kasus 2

Dalam sebuah proyek bendungan, tekanan air pori yang tinggi di lapisan tanah dasar teridentifikasi sebagai risiko utama yang bisa menyebabkan ketidakstabilan.

- a. Jelaskan bagaimana piezometer digunakan untuk memantau tekanan air pori di bawah bendungan.
- b. Apa yang harus dilakukan jika tekanan air pori melebihi batas aman?

6.10 Rangkuman

Instrumentasi geoteknik adalah penggunaan alat dan teknologi untuk memantau kondisi bawah permukaan tanah dan batuan, serta mengukur responsnya terhadap perubahan lingkungan atau aktivitas manusia, seperti konstruksi, penambangan, atau bencana alam. Instrumentasi geoteknik digunakan untuk memantau pergerakan tanah, tekanan air pori, deformasi struktur, dan parameter lainnya yang penting untuk evaluasi keamanan dan kinerja proyek konstruksi. Instrumentasi geoteknik memainkan peran krusial dalam memahami perilaku tanah dan batuan, terutama pada proyek konstruksi, tambang,

dan mitigasi bencana. Alat-alat ini memberikan data penting yang digunakan untuk memantau dan mengelola risiko terkait stabilitas tanah dan struktur, serta memastikan keselamatan proyek dan keberlanjutan lingkungan di sekitarnya.

BAB 7

PENYUSUNAN LAPORAN PENYELIDIKAN GEOTEKNIK

7.1 Capaian Pembelajaran

Capaian pembelajaran untuk bab pelaporan dan analisis hasil geoteknik adalah mencakup berbagai aspek yang mengintegrasikan teori, analisis, dan aplikasi eksplorasi geoteknik dalam konteks proyek konstruksi dan kebencanaan. Mahasiswa mengikuti perkuliahan ini diharapkan dapat mengorganisir bahan laporan penyelidikan tanah secara tertulis dengan baik dan sesuai dengan kaidah-kaidah pelaporan hasil geoteknik, mampu menginterpretasi dan menganalisis hasil penyelidikan geoteknik secara tertulis berupa laporan penyelidikan tanah.

Yang tidak kalah pentingnya pada bab ini, mahasiswa diharapkan mampu mempresentasikan hasil geoteknik dari hasil pengujian di lapangan dan di laboratorium serta mampu menginterpretasi hasil penyelidikan tanah untuk keperluan konstruksi dan kebencanaan.

7.2 Relevansi

Materi pelaporan dan analisis geoteknik sangat relevan dengan

mata kuliah Eksplorasi Geoteknik bagi mahasiswa Program S2 Teknik Sipil. Pelaporan geoteknik adalah proses mendokumentasikan temuan dan analisis dari studi geoteknik, yang merupakan hasil dari berbagai metode eksplorasi tanah. Laporan geoteknik adalah alat penting yang digunakan oleh insinyur, arsitek, dan pemangku kepentingan lainnya untuk membuat keputusan yang tepat terkait desain dan konstruksi. Pelaporan geoteknik terdiri dari Pendahuluan, tujuan dan ruang lingkup, Lokasi Proyek, metode eksplorasi dan prosedur pengambilan Sampel, hasil pengujian geoteknik, analisis dan interpretasi hasil, rekomendasi yang diberikan untuk pembangunan konstruksi, dan kesimpulan.

7.3 Pengantar Umum

Laporan geoteknik adalah dokumen kunci yang memberikan gambaran mendalam tentang kondisi tanah dan batuan di lokasi proyek, sehingga dapat diperoleh desain yang tepat, struktur yang aman, dan efisiensi biaya. Tanpa laporan ini, risiko kegagalan konstruksi, kerugian finansial, dan bencana lingkungan akan meningkat secara signifikan.

Laporan geoteknik memberikan informasi tentang kondisi tanah dan batuan di lokasi proyek, termasuk daya dukung tanah, stabilitas lereng, dan kemungkinan pergerakan tanah sehingga akan diperoleh desain fondasi dan struktur yang sesuai, mengurangi risiko kegagalan struktur yang bisa menyebabkan keruntuhan atau bencana. Laporan geoteknik menyediakan data yang bisa digunakan di masa depan untuk pemeliharaan atau perluasan proyek. Data ini menjadi referensi penting jika ada masalah struktural atau perubahan lingkungan yang memengaruhi kondisi tanah. Laporan geoteknik menyertakan rekomendasi teknis yang membantu dalam pengambilan keputusan terkait metode konstruksi, penggunaan alat berat, atau tindakan mitigasi risiko. Ini

memastikan proyek berjalan sesuai dengan kondisi lapangan yang terdeteksi, mengurangi potensi masalah selama dan setelah proses konstruksi.

Laporan Perancangan Geoteknik umumnya terdiri atas hal-hal berikut ini, yaitu :

- a) deskripsi lapangan dan sekitarnya,
- b) deskripsi kondisi tanah,
- c) deskripsi konstruksi yang direncanakan, termasuk gaya-gaya yang bekerja,
- d) parameter perancangan tanah dan batuan, termasuk hasil justifikasi, jika sesuai,
- e) pernyataan standar dan pedoman yang digunakan,
- f) pernyataan kesesuaian lokasi dengan mempertimbangkan konstruksi yang direncanakan serta besaran risiko yang dapat diterima,
- g) perhitungan perancangan dan gambar rencana,
- h) rekomendasi perancangan fondasi,
- i) hal-hal yang perlu diperiksa selama konstruksi maupun kebutuhan pemeliharaan atau monitoring.

Laporan Perancangan Geoteknik harus meliputi rencana supervisi dan monitoring, sesuai kebutuhan. Hal-hal yang membutuhkan pemeriksaan selama konstruksi, atau yang membutuhkan pemeliharaan setelah konstruksi harus jelas diidentifikasi. Saat pemeriksaan yang dibutuhkan sudah dilakukan selama konstruksi, hasilnya harus dicatat di dalam adendum laporan.

Berkaitan dengan supervisi dan monitoring, Laporan Perancangan Geoteknik harus menyatakan :

- a) tujuan setiap pengamatan dan pengukuran,

- b) bagian dari struktur yang harus dipantau serta lokasi pengamatan,
- c) cara evaluasi hasil yang diperoleh,
- d) rentang nilai hasil yang diharapkan,
- e) periode waktu monitoring setelah konstruksi selesai,
- f) pihak-pihak yang bertanggungjawab dalam melakukan pengukuran dan pengamatan, interpretasi hasil dan memelihara instrumentasi. Kutipan dari Laporan Perancangan Geoteknik yang berisi persyaratan supervisi, monitoring dan pemeliharaan untuk struktur yang telah selesai, harus diberikan kepada pemilik pekerjaan. Penyusunan Laporan Hasil Penyelidikan Geoteknik.

7.4 Jenis-jenis Laporan

Dalam rangka penyelesaian program penyelidikan lapangan dan pengujian laboratorium, maka tenaga ahli geoteknik harus mengkompilasi, mengevaluasi dan menginterpretasi data dan melakukan analisis untuk desain fondasi, galian, bendungan (urugan), dan bangunan lain yang diperlukan. Selain itu, tenaga ahli geoteknik bertanggung jawab dalam pembuatan laporan penyelidikan geoteknik dan rekomendasi teknik khusus.

Pemilihan jenis laporan bergantung pada ketentuan perwakilan (pemilik) proyek dan kesepakatan antara tenaga ahli geoteknik dan perencana bangunan. Kebutuhan berbagai jenis laporan pada proyek utama bergantung pada ukuran proyek, tahapan dan kompleksitasnya. Pada umumnya harus disiapkan satu atau lebih dari tiga jenis laporan, yaitu :

7.4.1 Laporan Penyelidikan Geoteknik

Laporan penyelidikan geoteknik menyajikan data khusus

lapangan dan mencakup tiga komponen utama sebagai berikut:

Latar belakang informasi

Bagian laporan pendahuluan merangkum penjelasan tenaga ahli geoteknik, fasilitas pelaporan yang akan disiapkan dan tujuan penyelidikan geoteknik. Bagian ini mencakup informasi persyaratan beban, deformasi dan tambahan kinerja, deskripsi umum kondisi lapangan, bentuk (ciri-ciri) dan sifat geologi, drainase, lapisan penutup tanah dasar dan kemampuan jalan masuk, serta setiap keganjilan di lapangan yang dapat mempengaruhi pekerjaan desain.

Lingkup pekerjaan

Bagian kedua dari laporan penyelidikan memuat dokumentasi yang melingkupi program penyelidikan dan prosedur khusus yang digunakan untuk melaksanakan penyelidikan. Bagian ini menguraikan identifikasi jenis-jenis metode penyelidikan, jumlah, lokasi dan kedalaman pengeboran, sumuran uji dan uji setempat, jenis dan frekuensi pengambilan contoh, tanggal penyelidikan lapangan, sub kontraktor pelaksana pekerjaan, jenis dan jumlah uji laboratorium, standar uji, dan setiap perubahan dari prosedur konvensional.

Presentasi data

Bagian laporan ini umumnya memuat lampiran-lampiran, penyajian data yang diperoleh dari program penyelidikan lapangan dan uji laboratorium, yang mencakup log bor akhir, sumuran uji, dan pemasangan pisometer atau sumuran, pembacaan elevasi muka air, plotting data dari setiap lubang uji setempat, tabel rangkuman dan formulir masing-masing data uji laboratorium, foto bor inti, lembaran data pemetaan geologi dan plot rangkuman, profil geoteknik yang dikembangkan dari data uji lapangan dan uji laboratorium maupun rangkuman, serta interpretasi dan rekomendasi data geoteknik secara statistik. Biasanya laporan penyelidikan akan

mencakup salinan (copy) informasi yang ada, seperti data log bor atau data uji laboratorium dari penyelidikan pendahuluan di lokasi proyek.

Laporan penyelidikan geoteknik dimaksudkan sebagai dokumentasi penyelidikan yang dilakukan dan penyajian data yang terdiri atas rangkuman data geoteknik lapangan dan laboratorium, serta interpretasi dan rekomendasi parameter geoteknik tanah dan batuan. Contoh isi laporan penyelidikan geoteknik diperlihatkan pada Tabel 7.1 di bawah ini.

Tabel 7. 1 Contoh isi laporan penyelidikan geoteknik.

(FHWA, 2002)

Summary
Pendahuluan
Lingkup pekerjaan
Deskripsi lapangan
Program penyelidikan lapangan dan pengujian setempat
Uji kelulusan air lapangan
Pembahasan uji laboratorium yang dilakukan
Informasi kondisi lapangan, susunan geologi dan topografi
Rangkuman kondisi geoteknik dan profil tanah.
Pembahasan interpretasi dan rekomendasi
Umum
Jenis tanah/batuan lapisan dasar dan fondasi
Sifat-sifat tanah/batuan
Kondisi/pengamatan air tanah
Topik khusus (misal sifat-sifat dinamik, kegempaan, lingkungan)
Analisis kimiawi

Kesimpulan dan saran-saran

Daftar pustaka

Daftar Lampiran

Lampiran A Rencana lokasi bor dan profil geoteknik

Lampiran B Log bor uji dan log inti dengan foto-foto inti

Lampiran C Pendugaan uji penetrasi konus

Lampiran D Hasil-hasil uji dilatometer, alat ukur tekanan, geser baling

Lampiran E Data survei geofisik

Lampiran F Hasil-hasil uji kelulusan air lapangan dan uji pemompaan

Lampiran G Hasil-hasil uji laboratorium

Lampiran H Informasi yang tersedia

Daftar gambar

Daftar tabel

Laporan penyelidikan geoteknik kadang-kadang digunakan jika pekerjaan penyelidikan lapangan dibuat secara sub kontrak kepada konsultan geoteknik, tetapi interpretasi data dan pekerjaan desain dilaksanakan oleh pemilik atau konsultan dengan staf geotekniknya sendiri.

7.4.2 Laporan desain geoteknik

Laporan desain geoteknik khususnya memberikan penilaian/penaksiran kondisi geoteknik yang ada di lokasi proyek, penyajian, pembahasan dan rangkuman prosedur dan penyelidikan dari hasil analisis geoteknik yang dilakukan, dan pembahasan desain dan konstruksi fondasi, bangunan penahan tanah, urugan atau bendungan, galian dan bangunan lain yang diperlukan.

Tabel 7. 2 Contoh isi laporan utama geoteknik
(FHWA, 2002)

1. Summary
 2. Pendahuluan
 3. Geologi
 4. Informasi geoteknik yang tersedia
 5. Program penyelidikan geoteknik
 6. Kondisi geoteknik/bawah permukaan
 7. Interpretasi dan rekomendasi data geoteknik
 8. Pembahasan fondasi jembatan
 9. Pembahasan bangunan penahan tanah
 10. Pembahasan jalan inspeksi
 11. Pembahasan kegempaan
 12. Pembahasan konstruksi
- Daftar pustaka
- Daftar gambar
- Lampiran-lampiran
- Lampiran A Log bor
- Lampiran B Data uji laboratorium
- Lampiran C Informasi geoteknik yang ada

Jika laporan penyelidikan (buku data) telah dibuat secara terpisah, laporan desain geoteknik akan mencakup dokumentasi dari setiap penyelidikan geoteknik yang dilakukan dan penyajian data hasil penyelidikan. Contoh isi laporan utama geoteknik diperlihatkan dalam Tabel 7.2.

Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut.

- a) Karena ruang lingkup, kondisi lapangan dan persyaratan desain/konstruksi dari setiap proyek bersifat khusus, laporan utama geoteknik juga harus disusun masing-masing untuk setiap proyek. Untuk mengembangkan laporan ini, penyusun harus mempunyai pengetahuan bangunan yang luas. Pada umumnya, laporan utama geoteknik harus menunjukkan semua hasil penyelidikan geoteknik yang mungkin terjadi pada suatu proyek.
- b) Laporan harus mengidentifikasi setiap satuan tanah dan batuan yang signifikan, dan harus memberikan parameter desain satuan tanah yang dianjurkan. Oleh karena itu, diperlukan rangkuman dan analisis dari semua data asli untuk menentukan parameter indeks dan parameter geoteknik yang disarankan. Kondisi air tanah khususnya diperlukan untuk desain dan konstruksi, sehingga diperlukan penilaian dan pembahasan secara hati-hati. Untuk setiap proyek, kondisi geoteknik yang tercakup dalam penyelidikan lapangan harus dibandingkan dengan susunan geologi agar dapat dipahami lebih dalam sifat-sifat deposit dan diperkirakan tingkat perubahan antara pengeboran.
- c) Setiap hasil desain geoteknik harus diperlihatkan sesuai dengan metodologi yang diuraikan dalam modul pelatihan secara berurutan, dan hasil-hasil studi juga diuraikan dengan singkat dan jelas dalam laporan. Oleh karena itu, penaksiran dampak dari kondisi geoteknik yang ada pada pengoperasian konstruksi, tahapan dan jadwal waktu merupakan bagian yang penting. Penunjukan butir-butir tersebut secara jelas dan baik dalam laporan akan memberikan masukan sebagai bahan pertimbangan perubahan persyaratan/ketentuan desain.

- d) Aspek-aspek yang perlu ditinjau.
- 1) batas-batas vertikal dan lateral penggalian dan pemindahan yang disarankan dari setiap deposit permukaan dangkal yang tidak cocok (gambut, muck, top soil dan lain-lain);
 - 2) persyaratan penggalian dan pemotongan (misal lereng yang aman untuk galian terbuka atau keperluan sheeting atau shoring);
 - 3) fluktuasi muka air tanah yang mungkin terjadi sesuai dengan risiko muka air tanah tinggi pada galian;
 - 4) pengaruh bongkah pada pemancangan tiang atau pengeboran fondasi dalam; dan
 - 5) kekerasan batuan pada kemampuan perlengkapan. Pembahasan yang harus disajikan dimaksudkan sebagai bahan pertimbangan untuk pemecahan masalah yang mungkin terjadi.
- e). Hasil-hasil di atas perlu diperlihatkan dalam laporan utama geoteknik. Untuk membantu tenaga ahli dalam pengkajian laporan geoteknik, telah disiapkan daftar pemeriksaan kajian dan pedoman teknik. Salah satu tujuan utama dokumentasi adalah menyusun standar/kriteria geoteknik minimum untuk memperlihatkan kepada institusi transportasi dan konsultan mengenai informasi geoteknik dasar yang harus disediakan dalam laporan geoteknik maupun laporan perencanaan dan spesifikasi (FHWA, 1995).
- f) Kedua pedoman laporan teknik tersebut harus disediakan sebagai informasi umum penyelidikan lapangan pada laporan penyelidikan geoteknik serta informasi dasar dan pembahasan desain geoteknik khusus. Daftar pemeriksaan disajikan dalam bentuk format pertanyaan dan jawaban.

- g) Ciri-ciri geoteknik khusus terdiri atas: sumbu galian dan timbunan, urugan di atas tanah dasar lunak, koreksi longsoran, tembok penahan, fondasi bangunan (fondasi dengan kaki menyebar, tiang pancang dan tiang bor/turap), lokasi material borow.

7.4.3 Laporan pengaruh lingkungan pada tanah

Jika hasil penyelidikan geoteknik menunjukkan adanya pencemaran di lokasi proyek, tenaga ahli geoteknik diminta menyiapkan laporan mengenai pengaruh lingkungan pada tanah dengan meringkas hasil penemuan penyelidikan dan saran-saran perbaikan lokasi lapangan. Dalam persiapan laporan biasanya tenaga ahli geoteknik harus bekerja sama dengan tim ahli, karena banyaknya aspek pencemaran atau perbaikan di luar bidang keahliannya.

Tim yang representatif yang menyiapkan laporan pengaruh lingkungan pada tanah biasanya terdiri atas tenaga-tenaga ahli kimia, geologi, hidrogeologi, ilmu lingkungan, toksikologi, kualitas udara dan pengatur alat (regulatory) maupun satu atau lebih tenaga ahli geoteknik. Laporan harus berisi semua komponen laporan penyelidikan geoteknik, seperti yang diuraikan di atas. Selain itu, juga berisi pembahasan yang jelas dan singkat mengenai sifat dan perluasan pencemaran, faktor-faktor risiko yang digunakan, model transportasi pencemaran dan jika diketahui sumber pencemaran (misal urugan tanah, batas air limbah industri, buangan limbah rumah tangga, tangki penyimpanan di atas atau di bawah tanah, truk terbalik atau kereta api yang keluar jalur, dan lain-lain). Kemungkinan diperlukan pula tim pemecahan masalah untuk perbaikan kondisi lapangan (misalnya penggantian material tercemar, pemompaan dan perbaikan air tanah, pemasangan dindinghalang slari, atau membiarkan bagian tersebut, pencampuran tanah dalam, perbaikan kehidupan, elektrokinetik).

Laporan lingkungan tanah harus pula menggambarkan hasil-hasil pengaturan mengenai pencemaran yang ditemukan dan metode perbaikan lapangan yang disarankan.

7.5 Analisis dan Rekomendasi Eksplorasi Geoteknik

Hasil penyelidikan geoteknik harus disusun di dalam Laporan Penyelidikan Tanah yang merupakan bagian dari Laporan Perancangan Geoteknik. Laporan Penyelidikan Tanah terdiri atas:

- Penyampaian semua informasi geoteknik terkait termasuk fitur geologi dan data yang relevan
- Evaluasi geoteknik terhadap informasi yang disampaikan termasuk penjelasan mengenai asumsi-asumsi yang digunakan di dalam interpretasi hasil pengujian Informasi yang dapat disajikan di dalam satu laporan atau beberapa laporan yang terpisah.

Laporan Penyelidikan Tanah dapat juga menyampaikan nilai dari parameter-parameter tanah yang diturunkan dari data hasil pengujian. Laporan Penyelidikan Tanah harus menyatakan keterbatasan dari hasil-hasil yang diperoleh dari pengujian. Laporan Penyelidikan Tanah harus mengusulkan penyelidikan lapangan dan laboratorium lanjutan atau tambahan yang diperlukan. Usulan tersebut harus disertai penjelasan mengenai kebutuhan dari pekerjaan lanjutan tersebut termasuk penjelasan secara rinci mengenai program penyelidikan lanjutan yang akan dilakukan tersebut.

7.5.1 Penyampaian informasi geoteknik

Penyampaian informasi geoteknik harus mencakup hasil faktual penyelidikan lapangan dan laboratorium. Laporan faktual harus mencakup informasi yang relevan seperti berikut:

- a) Tujuan dan ruang lingkup penyelidikan geoteknik termasuk penyampaian deskripsi kondisi lapangan dan topografi, struktur bangunan yang direncanakan dan tahapan perencanaan dari laporan faktual tersebut.
- b) Klasifikasi struktur ke dalam kategori geoteknik.
- c) Nama semua konsultan dan sub kontraktor.
- d) Tanggal yang menunjukkan dimulainya penyelidikan tanah sampai dengan pelaksanaan pekerjaan laboratorium.
- e) Hasil pengamatan lapangan lokasi proyek dan daerah sekitarnya terutama yang terkait dengan:
 - bukti adanya air tanah;
 - perilaku struktur bangunan sekitar;
 - penampakan kondisi tanah di lokasi kuari atau daerah galian bahan timbunan;
 - daerah-daerah yang tidak stabil;
 - aktivitas penambangan di lokasi dan di lingkungan sekitar;
 - kendala yang ditemukan pada kegiatan penggalian;
 - penjelasan mengenai riwayat dari lokasi pekerjaan;
 - geologi di lokasi pekerjaan, termasuk patahan;
 - survei data dengan peta-peta yang memperlihatkan denah struktur bangunan dan lokasi semua titik penyelidikan; informasi dari hasil foto udara
 - pengalaman lokal di lokasi penyelidikan
 - informasi tentang kegempaan di lokasi penyelidikan.

Isi dari presentasi informasi geoteknik mencakup dokumentasi metode, prosedur dan hasil termasuk semua laporan yang relevan dari hasil:

- a) Studi meja;
- b) Penyelidikan lapangan, seperti pengambilan sample, uji lapangan dan pengukuran air tanah;
- c) Pengujian laboratorium.

Hasil penyelidikan lapangan dan laboratorium harus disampaikan dan dilaporkan sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan dalam standar SNI dan/atau standar-standar lainnya yang digunakan dalam penyelidikan.

7.5.2 Evaluasi informasi geoteknik

Hasil evaluasi dari informasi geoteknik harus didokumentasikan dan mencakup hal-hal berikut sesuai dengan kebutuhan:

- a) Hasil penyelidikan lapangan dan uji laboratorium yang dievaluasi sesuai dengan standar yang digunakan yaitu SNI 8460 tahun 2017 bagian 5.4; 5.5 dan 5.6).
- b) Review hasil hasil pengujian laboratorium dan lapangan serta semua informasi lain yang tercantum di dalam SNI 8460 bagian 5.4, 5.5 dan 5.6; c) Deskripsi geometri lapisan-lapisan tanah/batuan;
- d) Deskripsi yang detail dari semua lapisan termasuk sifat-sifat fisik dan karakteristik deformasi serta kekuatan, berdasarkan hasil penyelidikan;
- e) Ulasan mengenai kondisi yang tidak lazim seperti adanya rongga dan zona-zona ditemukannya material yang tidak menerus (terputus).

Hal-hal berikut harus didokumentasikan, jika sesuai, bahwa:

- interpretasi sudah dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh level muka air tanah, jenis tanah, metode pengeboran, metode pengambilan contoh, pengiriman, penanganan dan persiapan benda uji;

- Pembagian lapisan yang diasumsikan berdasarkan hasil studi meja dan inspeksi lapangan sudah disesuaikan kembali berdasarkan hasil-hasil yang ditemukan.

Pembuatan dokumentasi dari hasil evaluasi informasi geoteknik harus mencakup hal-hal berikut sesuai kebutuhan:

- Tabulasi dan presentasi grafis dari hasil penyelidikan lapangan dan pengujian laboratorium pada potongan melintang tanah yang memperlihatkan lapisan-lapisan yang relevan beserta batas-batasnya termasuk lokasi permukaan air tanah sesuai dengan persyaratan proyek
- Nilai-nilai parameter geoteknik untuk setiap lapisan;
- Pembahasan mengenai nilai-nilai yang diturunkan untuk parameter-parameter geoteknik.

Melakukan perhitungan nilai rata-rata dapat menyembunyikan keberadaan zona lemah dan harus digunakan secara hati-hati. Zona lemah penting untuk diidentifikasi. Variasi-variasi dari parameter dan koefisien geoteknik dapat menunjukkan variasi yang signifikan dalam kondisi lapangannya.

Dokumentasi harus mencakup perbandingan-perbandingan antara hasil-hasil yang spesifik, dari setiap parameter geoteknik, dengan pengalaman, memberikan pertimbangan khusus untuk hasil-hasil yang anomali dari lapisan tertentu jika dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dengan cara pengujian laboratorium dan lapangan yang berbeda yang juga mampu mengukur parameter geoteknik yang sama.

Dokumentasi evaluasi harus berisi juga mengenai hal berikut: lapisan-lapisan yang memiliki parameter tanah dengan nilai-nilai hanya berbeda sedikit dapat dianggap sebagai satu lapisan.

Beberapa lapisan berbutir halus yang beurutan dengan komposisi dan/atau sifat mekanik sangat berbeda dapat

dianggap sebagai satu lapisan jika perilaku keseluruhan lapisan tersebut saling berhubungan, dan perilakunya dapat diwakili oleh parameter tanah yang dipilih untuk lapisan-lapisan tersebut. Menentukan batas-batas antara lapisan tanah yang berbeda dan posisi permukaan air tanah dapat dibuat dengan cara interpolasi linier antara titik-titik penyelidikan dengan syarat jarak antara titik-titik penyelidikan cukup rapat serta kondisi geologi yang cukup homogen. Penggunaan cara seperti interpolasi linear tersebut dan alasan dibalik pemilihan cara tersebut harus dijelaskan di dalam laporan.

Jika korelasi-korelasi telah digunakan untuk menentukan parameter atau koefisien geoteknik, metode korelasi tersebut dan cara penerapannya harus didokumentasikan.

7.6 Presentasi atau Penyajian Data

7.6.1 Log bor

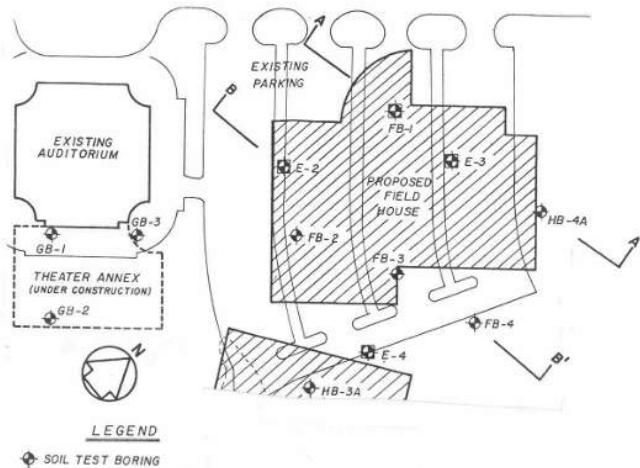
Data log bor uji dan sumuran uji dapat disiapkan dengan menggunakan perangkat lunak yang mampu untuk menyimpan, mengumpulkan dan menyajikan data geoteknik dalam profil satu dimensi sederhana, atau secara alternatif dengan grafik dua dimensi (profil geoteknik), atau penyajian tiga dimensi. Perangkat lunak ini dan yang sejenisnya digunakan dengan penyimpanan data proyek secara berurutan untuk referensi yang akan datang.

Terdapat banyak program perangkat lunak baru menawarkan daftar rencana program yang didasarkan pada log bor, format log bor yang dapat mencakup log grafik, pemantauan sumur dengan rinci, dan plot data. Biasanya legenda dibuat untuk menggambarkan simbol-simbol grafik dan catatan yang ditambahkan pada log bor untuk memberikan informasi yang lebih luas. Hal tersebut mencakup referensi jenis-jenis tanah, tabung contoh dan simbol-simbol sumur maupun nomenklatur

lain yang digunakan pada log bor. Profil geologi dapat diuraikan dari program dan dilengkapi dengan paparan dan gambar-gambar.

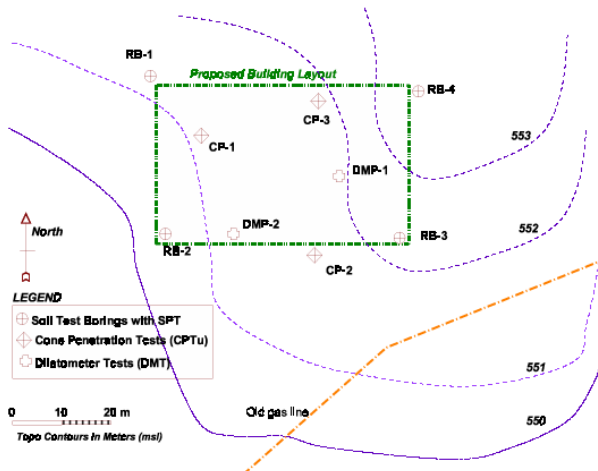
7.6.2 Rencana lokasi uji

Rencana lokasi uji harus disiapkan sebagai acuan pada skala regional atau lokal, dengan menggunakan peta-peta daerah atau jalan kota atau peta topografi USGS. Informasi topografi dapat diperoleh dari Bakorsurtanal atau instansi terkait. Lokasi uji lapangan, pengambilan contoh, dan penyelidikan harus diperlihatkan dengan jelas pada peta berskala rencana penyelidikan lapangan khusus.



Gambar 7. 1 Rencana lokasi uji pada lokasi bor inti (skala horisontal: 1 cm = 10 m).

Gambar 7.2 memperlihatkan denah lokasi uji yang diusulkan untuk gabungan bor uji tanah dengan SPT, pendugaan uji penetrasi konus (CPT), dan uji dilatometer (DMT).



Gambar 7. 2 Rencana lokasi-lokasi pengeboran dan uji in-situ.

7.6.3 Profil geoteknik

Laporan geoteknik biasanya dilengkapi dengan penyajian profil geoteknik yang dikembangkan dari data hasil uji lapangan dan laboratorium. Profil memanjang secara khusus dikembangkan sepanjang alinyemen bangunan, jalan lalu lintas atau jembatan, dan sejumlah profil bangunan yang merupakan acuan lokasi-lokasi seperti fondasi bangunan jembatan utama, lereng galian atau timbunan yang tinggi. Profil ini akan memberikan rangkuman informasi geoteknik yang efektif dan menggambarkan hubungan dari berbagai lokasi penyelidikan. Profil geoteknik, yang dipertimbangkan berdasarkan keputusan teknik dan pemahaman susunan geologi, akan membantu tenaga ahli geoteknik dalam memberikan interpretasi kondisi geoteknik antarlokasi penyelidikan. Profil geoteknik harus disajikan dengan skala yang cocok dari kedalaman bor, frekuensi pengeboran dan pendugaan, dan seluruh panjang penampang melintang. Pada umumnya digunakan skala yang lebih besar dari 1(V):10(H) atau 1(V):20(H). Contoh profil

geoteknik yang representatif berdasarkan hasil interpretasi dapat dilihat dalam Gambar 7.3.



Gambar 7. 3 Profil geoteknik berdasarkan data pengeboran yang menunjukkan gambaran penampang melintang

7.7 Umpan Balik

7.7.1 Jawablah pertanyaan dengan singkat dan jelas !

- Soal 1.** Apa saja komponen utama yang harus ada dalam laporan hasil penyelidikan geoteknik?
- Soal 2.** Mengapa analisis data hasil penyelidikan geoteknik sangat penting dalam penyusunan laporan?
- Soal 3.** Apa peran pengujian laboratorium dalam penyusunan laporan penyelidikan geoteknik? Sebutkan beberapa jenis pengujian yang umum dilakukan.
- Soal 4.** Apa yang dimaksud dengan bor log dalam laporan geoteknik, dan mengapa bor log penting dalam penyelidikan tanah?
- Soal 5.** Mengapa lampiran hasil uji laboratorium penting dalam laporan geoteknik, dan apa saja yang biasanya dilampirkan?

7.7.2 Pilihlah jawaban yang tepat

Soal 1. Apa tujuan utama dari laporan hasil penyelidikan geoteknik?

- A. Mengidentifikasi risiko lingkungan di sekitar proyek.
- B. Menyediakan informasi untuk desain struktur pondasi dan stabilitas tanah
- C. Menentukan anggaran proyek
- D. Menghitung waktu pelaksanaan proyek

Soal 2. Komponen utama yang harus ada dalam laporan hasil penyelidikan geoteknik adalah:

- A. Data ekonomi proyek
- B. Perencanaan anggaran
- C. Hasil uji tanah, analisis, dan rekomendasi teknis
- D. Daftar kontraktor proyek

Soal 3. Apa yang dimaksud dengan "bor log" dalam laporan geoteknik?

- A. Data pengukuran bor
- B. Profil vertikal tanah berdasarkan hasil pengeboran
- C. Peralatan yang digunakan untuk pengeboran
- D. Catatan harian aktivitas pengeboran

Soal 4. Uji laboratorium yang sering digunakan dalam penyelidikan geoteknik untuk menentukan kekuatan tanah adalah:

- A. Uji tarik
- B. Uji geser langsung (Direct Shear Test)
- C. Uji beban tekan
- D. Uji vibrasi

Soal 5. Informasi tentang kondisi muka air tanah di lokasi proyek biasanya disajikan dalam bagian mana dari laporan geoteknik?

- A. Pendahuluan
- B. Kesimpulan
- C. Hasil investigasi lapangan
- D. Daftar pustaka

Soal 6. Salah satu aspek penting yang harus dianalisis dalam laporan geoteknik adalah:

- A. Stabilitas lereng dan potensi longsor
- B. Harga bahan bangunan
- C. Lokasi kontraktor proyek
- D. Waktu pelaksanaan proyek

Soal 7. Dalam penyelidikan geoteknik, faktor yang paling mempengaruhi daya dukung tanah adalah:

- A. Warna tanah
- B. Kadar air tanah
- C. Tekstur permukaan tanah
- D. Letak geografis

Soal 8. Salah satu rekomendasi teknis yang bisa diberikan dalam laporan geoteknik adalah:

- A. Saran mengenai jenis pondasi yang cocok
- B. Rencana anggaran belanja
- C. Metode penentuan durasi proyek
- D. Jenis bahan bangunan yang harus digunakan

Soal 9. Dalam laporan geoteknik, analisis yang diperlukan untuk struktur yang berada di area rawan gempa adalah:

- A. Analisis likuifaksi
- B. Analisis vibrasi
- C. Analisis beban angin
- D. Analisis kepadatan

Soal 10. Apa yang harus dicantumkan dalam bagian lampiran laporan geoteknik?

- A. Data hasil pengujian lapangan dan laboratorium
- B. Detail metode konstruksi
- C. Informasi kontraktor
- D. Analisis biaya proyek

7.7.3 Jawablah soal di bawah ini dengan Benar/ Salah

Soal 1. Laporan hasil geoteknik hanya mencakup data uji laboratorium dan tidak memerlukan hasil investigasi lapangan (B/S)

Soal 2. Salah satu tujuan laporan geoteknik adalah untuk memberikan rekomendasi mengenai jenis pondasi yang cocok untuk suatu bangunan (B/S).

Soal 3. Data muka air tanah tidak diperlukan dalam laporan hasil penyelidikan geoteknik (B/S)

Soal 4. Uji geser langsung (Direct Shear Test) adalah salah satu uji laboratorium yang digunakan untuk menentukan kekuatan geser tanah (B/S).

Soal 5. Laporan geoteknik tidak perlu memasukkan gambar profil tanah dari hasil pengeboran (B/S).

Soal 6. Laporan geoteknik bisa digunakan untuk menilai potensi likuifaksi di daerah yang rawan gempa (B/S).

Soal 7. Kesimpulan dan rekomendasi dalam laporan geoteknik hanya berdasarkan data lapangan, tanpa mempertimbangkan hasil uji (B/S).

- Soal 8.** Salah satu tujuan laporan hasil penyelidikan geoteknik adalah untuk memperkirakan tingkat penurunan tanah (settlement) setelah bangunan didirikan (B/S).
- Soal 9.** Informasi tentang beban lalu lintas di sekitar area proyek tidak perlu disertakan dalam laporan geoteknik (B/S).
- Soal 10.** Hasil pengujian geoteknik harus diinterpretasikan oleh ahli geoteknik yang memiliki pengalaman dalam evaluasi kondisi tanah di lapangan (B/S).

7.8 Rangkuman

Laporan geoteknik adalah dokumen penting yang berisi hasil penyelidikan tanah untuk mendukung perencanaan dan desain proyek konstruksi. Laporan ini harus disusun dengan hati-hati, berdasarkan data lapangan dan laboratorium yang diperoleh selama penyelidikan geoteknik. Komponen utama dalam teknik penyusunan laporan geoteknik: Pendahuluan, tinjauan Lokasi dan Kondisi Geologi, metode Penyelidikan, hasil Penyelidikan, analisis dan evaluasi, kesimpulan dan rekomendasi, lampiran-lampiran.

Laporan geoteknik memberikan dasar ilmiah bagi perancangan struktur pondasi dan stabilitas bangunan. Keakuratan penyusunan laporan ini sangat penting untuk mengurangi risiko kegagalan konstruksi dan memastikan keamanan proyek dalam jangka panjang.

BAB 8

PENUTUP

Eksplorasi geoteknik merupakan aspek krusial dalam berbagai proyek konstruksi dan infrastruktur, tujuannya adalah untuk mendapatkan informasi yang komprehensif mengenai kondisi tanah dan batuan di lokasi proyek. Pemahaman yang mendalam tentang sifat dan karakteristik tanah tidak hanya penting untuk menjamin stabilitas dan keselamatan struktur, tetapi juga untuk mengoptimalkan biaya dan efisiensi dalam pelaksanaan proyek.

Pemilihan metode eksplorasi geoteknik yang tepat adalah kunci untuk mendapatkan informasi yang akurat tentang kondisi tanah dan batuan di lokasi proyek. Data yang diperoleh dari metode eksplorasi ini sangat penting dalam merancang fondasi, struktur penahan, dan langkah-langkah mitigasi untuk memastikan kestabilan dan keamanan konstruksi. Dengan menggunakan kombinasi metode eksplorasi yang sesuai, risiko yang terkait dengan kondisi tanah yang tidak diketahui dapat diminimalkan, sehingga mendukung keberhasilan proyek konstruksi dan keselamatan struktur jangka panjang.

Pemilihan metode eksplorasi geoteknik harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifik proyek, kondisi tanah di

lokasi, dan anggaran yang tersedia. Biaya metode eksplorasi harus dipertimbangkan dalam konteks manfaat yang diberikan: metode yang lebih mahal sering kali memberikan data yang lebih akurat dan rinci, yang dapat mengurangi risiko dan potensi biaya tambahan di masa mendatang akibat masalah geoteknik yang tidak terduga. Sebuah strategi yang efektif adalah menggabungkan beberapa metode untuk memanfaatkan kekuatan masing-masing, sehingga mendapatkan hasil yang optimal baik dari segi biaya maupun kualitas data.

Interpretasi data geoteknik adalah langkah penting untuk memastikan desain dan konstruksi yang aman dan efisien. Proses ini membutuhkan pemahaman mendalam tentang berbagai metode eksplorasi, analisis data yang tepat, dan kemampuan untuk mengintegrasikan informasi dari berbagai sumber. Dengan interpretasi data yang akurat, risiko geoteknik dapat diminimalkan, dan proyek konstruksi dapat berjalan lebih lancar dan aman.

Eksplorasi geoteknik yang menyeluruh dan akurat adalah hal terpenting dalam merancang dan membangun struktur yang aman dan stabil. Dengan memperhatikan semua aspek penting dalam eksplorasi geoteknik, kita dapat mengidentifikasi potensi masalah sejak dini dan mengambil langkah-langkah yang tepat untuk mengatasinya, sehingga mendukung keberhasilan proyek konstruksi dan meminimalkan risiko bencana.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*.
- AASHTO T 258-81. *Standard Method of Test for Determining Expansive Soils*.
- ASTM D 1452-80. *Standard Practice for Soil Investigation and Sampling by Auger Borings*.
- ASTM D 1586-84. (1984). *Standard Penetration Test and Split Barrel Sampling of Soils*.
- Bowles, J. E. (1977). *Foundation Analysis and Design*. McGraw-Hill. Michigan.
- Das, B.M. (2006). *Principles of Geotechnical Engineering* edisi 7 di PWS Publishers, USA
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2014). *Fundamentals of Geotechnical Engineering. Translation of the 8th North American Edition* (562 p.). Cengage Learning.
- De Beer, E.E., Goelen, E., Heynen, W.J., & Joustra, K. (1988). *Cone Penetration Test (CPT): International Reference Test Procedure*. In *Penetration Testing 1988*, Volume 1, Edited by J. De Ruiter, A.A. Balkema, Rotterdam/Brookfield.
- Federal Highway Administration (FHWA). (1977). *Guidelines for Cone Penetration Test, Performance and Design*. FHWA-TA-78-209.
- Federal Highway Administration (FHWA). (2001). *Manual on Subsurface Investigations*. FHWA NHI-01-031.
- Gibbs K.J., & Holtz WG (1979) Research on determining the density of sands by spoon penetration testing.

- Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, 35–39.
- Hardiyatmo, H. C. (2017). *Mekanika Tanah 1 Edisi Ketujuh*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Pers.
- Hong, S., dkk. (2024). *Time-series forecasting of consolidation settlement using LSTM network*. *Applied Intelligence*, 54, 1386–1404. <https://doi.org/10.1007/s10489-023-05219-7>
- HVORSLEV, M.J. (1948), “Subsurface Exploration And Sampling For Engineering Purposes”, U.S. Army Corps Of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS
- Iwasaki, K. & Kamei, T. (1994). Evaluation of in situ strength and deformation characteristics of soils using Flat Dilatometer. *JSCÉ, Journal of Geotechnical Engineering*, No. 499, 111-28, pp. 167-176 (in Japanese)
- Jamiolkowski M., Lancellotta R., Wolski W. (1983). *Precompression and Speeding-up Consolidation*. S.O.A. and General Report, VIII ECSMFE, Helsinki.
- Kulhawy & Mayne (1990) provides a comprehensive summary on commonly used correlation models used in geotechnical engineering. EPRI.
- Lancellotta, R. (1983). *Analisi di adidabilita in ingegneria geotecnica*. *Atti Istituto Scienza Costruzioni*. No. 625. Politecnico di Torino.
- PT M-01-2002-B. (2002). *Panduan Geoteknik 3, Timbunan Jalan pada Tanah Lunak: Penyelidikan Tanah Lunak, Pengujian Laboratorium*.
- PT T-08-2002-B. (2002). *Panduan Geoteknik 1, Timbunan*

Jalan pada Tanah Lunak – Proses Pembentukan dan Sifat-Sifat Dasar Tanah Lunak.

- PT T-09-2002-B. (2002). Panduan Geoteknik 2, Timbunan Jalan pada Tanah Lunak: Penyelidikan Tanah Lunak, Desain, dan Pekerjaan Lapangan.
- PT T-10-2002-B. (2002). Panduan Geoteknik 4, Timbunan Jalan pada Tanah Lunak: Desain dan Konstruksi.
- Robertson, P.K., Campanella, R.G., Gillespie, D. and Greig, J. (1986) Use of Piezometer Cone Data. Proceedings of American Society of Civil Engineers, ASCE, In-Situ 86 Specialty Conference, Blacksburg, 23-25 June 1986, 1263-1280.
- Schmertmann, J.H. (1975). State of the art paper: measure of in situ strength. Proceedings of ASCE Conference on in situ Measurements of Soil Properties, Raleigh, North Carolina, pp. 57–138.
- Schultze, E. & Muhs, H. (1967), "*Bodenuntersuchungen fur Ingenieurbauten*", Springer – Verlag , Berlin/ Heidelberg/ New York, page 147 – 169.
- Sivakugan, Nagarathnam, Gnanendran, Carthigesu T., Tuladhar, Rabin, and Kannan, M. Bobby (2017) *Civil Engineering Materials*. Cengage Learning, Boston, MA, USA.
- SNI 03-1743. Metode Pengujian Kepadatan Berat untuk Tanah.
- SNI 03-1964. Metode Pengujian Berat Jenis Tanah.
- SNI 03-1965. Metode Pengujian Kadar Air Tanah.
- SNI 03-1966. Metode Pengujian Batas Plastis.
- SNI 03-1967. Metode Pengujian Batas Cair Tanah dengan Alat Cassagrande.

- SNI 03-2455. Metode Pengujian Triaksial A.
- SNI 03-2812. Metode Pengujian Konsolidasi Tanah Satu Dimensi.
- SNI 03-2813. Metode Pengujian Geser Langsung Tanah Terkonsolidasi dengan Drain.
- SNI 03-2827. Metode Pengujian Lapangan dengan Sondir.
- SNI 03-2827-1992. Metode Pengujian Lapangan dengan Alat Sondir.
- SNI 03-2832. Metode Pengujian untuk Mendapatkan Kepadatan Tanah Maksimum dengan Kadar Air Maksimum.
- SNI 03-3420. Metode Pengujian Geser Langsung Tanah Tidak Terkonsolidasi Tanpa Drain.
- SNI 03-3422. Metode Pengujian Batas Susut Tanah.
- SNI 03-3423. Metode Pengujian Analisis Ukuran Butir Tanah dengan Alat Hidrometer.
- SNI 03-3638. Metode Pengujian Kuat Tekan Bebas Tanah Kohesif.
- SNI 03-4153. Metode Pengujian Penetrasi SPT.
- SNI 03-4813. Metode Pengujian Triaksial untuk Tanah Kohesif dalam Keadaan Tanpa Konsolidasi dan Drain.
- SNI 03-6376. Metode Prosedur Penggalan Parit Uji.
- SNI 8460 (2017) Persyaratan Perancangan Geoteknik
- Terzaghi, K., & Peck, R.B. (1948). Soil Mechanics in Engineering Practice,. Wiley, New York.
- Terzaghi, K., & Peck, R.B. (1967). Mekanika Tanah dalam Praktik Teknik. John Wiley & Sons, New York
- U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Offices of Research and

Development, Implementation Div. (1977).
Washington, D.C., 20590.

https://id.wikipedia.org/wiki/Menara_Pisa#/media/Berkas:Italy_-_Pisa_-_Leaning_Tower.jpg

<https://civilhex.com/soil-boring-different-methods-of-soil-boring/#types-of-soil-boring>

<https://www.globalgilson.com/blog/dcp-test>

<https://tambangunp.blogspot.com/2017/05/direct-shear-test-uji-kuat-geser-batuan.html>

<https://www.encardio.com/blog/inclinometer-types-how-it-works-uses>

<https://www.encardio.com/blog/extensometer-types-how-it-works-applications>

<https://www.geo-observations.com/piezometers>

<https://www.geoants.com/en/products/oturma-plakasi>

GLOSARIUM

Abrasion test	: Uji abrasi/ gerusan
Apparent	: Semu
Barrel	: Tabung/ laras bor
Block samples	: Contoh tanah berbentuk blok kubus
Borrow Area	: Sumber material tanah berbutir halus
Boulder	: Batu bongkah
Casing	: Pipa lindung
Casing shoe	: Sepatu pipa lindung
Clay (C)	: Lempung
Coarse materials	: Tanah berbutir kasar
Cobble	: Kerakal
Compaction	: Pemadatan
Cone Penetration Test	: Sondir (CPT)
Consolidation	: Pemampatan/ konsolidasi
Core box	: Peti penyimpan contoh inti
Culvert	: Gorong-gorong
Dense	: Padat
Density	: Kepadatan
Disturbed samples	: Contoh tanah terganggu
Double barrel	: Tabung ganda dua
Drilling bit	: Mata bor
Drilling rod	: Pipa/ batang bor
Drilling	: Pengeboran
Dry density	: Kepadatan kering

Dry drilling/boring	: Bor cara kering
Durability	: Ketahanan
Dynamic Penetration Test	: Uji penetrasi dinamik (DP)
Engineering properties	: Sifat teknik
Fine materials	: Tanah berbutir halus
Firm	: Teguh/ kaku
Gap graded "gap"	: Gradasi yang mempunyai
Gradation	: Gradasi
Gravel (G)	: Kerikil
Hand boring	: Pengeboran tangan/ manual
Hard	: Keras
Hollow stem auger	: Bor auger batang berlubang
In situ testing lapangan	: Pengujian di tempat/
Index properties	: Sifat fisik
Liquifaction	: Likuifaksi
Loose	: Terurai
Materials	: Material
Maximum dry density	: Kepadatan kering maksimum
Modified Proctor	: Proctor modifikasi/ berat
Natural moisture content	: Kadar air asli

Normally consolidated	: Terkonsolidasi normal
Optimum moisture content	: Kadar air optimum
Over consolidated	: Terkonsolidasi berlebih
Penetration test	: Uji penetrasi
Permeability	: Kelulusan air
Piezocone	: Pisokon
Poorly graded	: Bergradasi buruk
Pressure	: Tekanan
Proctor test	: Uji Proctor
Relative density (DR)	: Kepadatan relatif
Rotary drilling	: Bor putar
Rotary wash drilling	: Bor air putar
Sample recovery	: Perolehan contoh tanah
Samples	: Contoh tanah
Sampler	: Tabung
Sand (S)	: Pasir
Shear strength	: Kuat geser
Silt (M)	: Lanau
Single barrel	: Tabung tunggal
Sink holes	: Lubang benam
Soft Soil	: Tanah Lunak
Soil consistency	: Konsistensi tanah
Soil description	: Deskripsi tanah
Soil properties	: Sifat tanah
Soil sampler	: Tabung contoh tanah
Solid stem continuous flight drilling	: Bor auger batang menerus

Specimen	: Benda uji
Specific gravity (Gs)	: Berat spesifik/ berat jenis
Split sampler	: Tabung laras belah
Standard Penetration Test	: Uji penetrasi standar (SPT)
Standard Proctor	: Proctor standar/ ringan
Stress	: Tegangan
Test pit	: Sumur uji
Thin wall sampler	: Tabung pengambil dinding tipis
Trenches	: Paritan uji
Triple barrel	: Tabung ganda tiga
Tube sampler	: Tabung contoh tanah
Unconfined compression	: Kuat tekan bebas
Undisturbed samples	: Contoh tanah tak terganggu
Unit weight	: Berat isi
Vane shear test	: Uji baling-baling
Void	: Pori/ rongga
Void ratio	: Angka pori
Water/moisture content	: Kadar air
Well graded	: Bergradasi baik
Wet density	: Kepadatan basah

TENTANG PENULIS



Dr. Ir. Andriani, ST., MT merupakan Dosen pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas, Padang. Pendidikan S1 dan S2 diselesaikan pada Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjra Mada Yogyakarta dengan konsentrasi bidang Perbaikan Tanah untuk pekerjaan jalan.

Pendidikan S3 diselesaikan pada bidang Ilmu Lingkungan di Universitas Sriwijaya, Palembang. Sejak tahun 2000 sampai dengan sekarang menjadi dosen PNS di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas pada KK Geoteknik. Selain aktif mengajar, juga aktif melakukan penelitian tentang perbaikan tanah terutama tanah lunak dan tanah gambut, keruntuhan lereng, likuifaksi, mitigasi bencana dan pemodelan spasial.



Ir. Hendri Gusti Putra, MT merupakan Dosen dan Kepala Laboratorium Mekanika Tanah di Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas. Pendidikan S1 dan S2 diselesaikan pada Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung. Pengalaman dan penelitian banyak dilakukan tentang bidang geoteknik.