

# **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**

<b>PENGANTAR EKSPLORASI GEOTEKNIK.....</b>	<b>1</b>
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**

<b>PERANCANGAN EKSPLORASI GEOTEKNIK.....</b>	<b>14</b>
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
<b>BAB 4</b>	<b>PENYELIDIKAN TANAH DI LAPANGAN .....</b>	<b>92</b>
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 ( $\sigma'_o$ ), 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 ( $\phi'$ ).....	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
<b>BAB 5 PENYELIDIKAN TANAH DI LABORATORIUM .....</b>		<b>158</b>
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 ( $\gamma$ ).....	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
<b>BAB 6</b>	<b>INSTRUMENTASI GEOTEKNIK .....</b>	<b>201</b>
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**

	<b>GEOTEKNIK .....</b>	<b>244</b>
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
<b>BAB 8 PENUTUP .....</b>	<b>267</b>
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 sondir104	
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 $\phi$ , 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 <sub>10</sub> 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 <sub>75</sub> , D <sub>60</sub> , D <sub>30</sub> , D <sub>25</sub> , dan D <sub>10</sub> . ....	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 Inclinomometer dan bagian-bagiannya.....	203
Gambar 6. 2 Casing Inclinomometer .....	204
Gambar 6. 3 Jenis Inclinomometer.....	206
Gambar 6. 4 Proses pemasangan Inclinomometer.....	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 $D_r$ , $\phi$ , $\gamma$ dari tanah berbutir berdasarkan nilai $N$ Koreksi .....	122
Tabel 4.5	Dimensi ASTM yang Direkomendasikan untuk Vaneshear <sup>a)</sup> lapangan .....	126
Tabel 4.6	dimensi untuk diameter probe dan diameter lubang bor .....	134
Tabel 4.7	Nilai $\beta_k$ .....	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

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 penghalangpenghalang 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 <sup>2</sup> dalam pola grid dengan jarak 10 m sampai 30 m dengan minimum 3 titik per blok

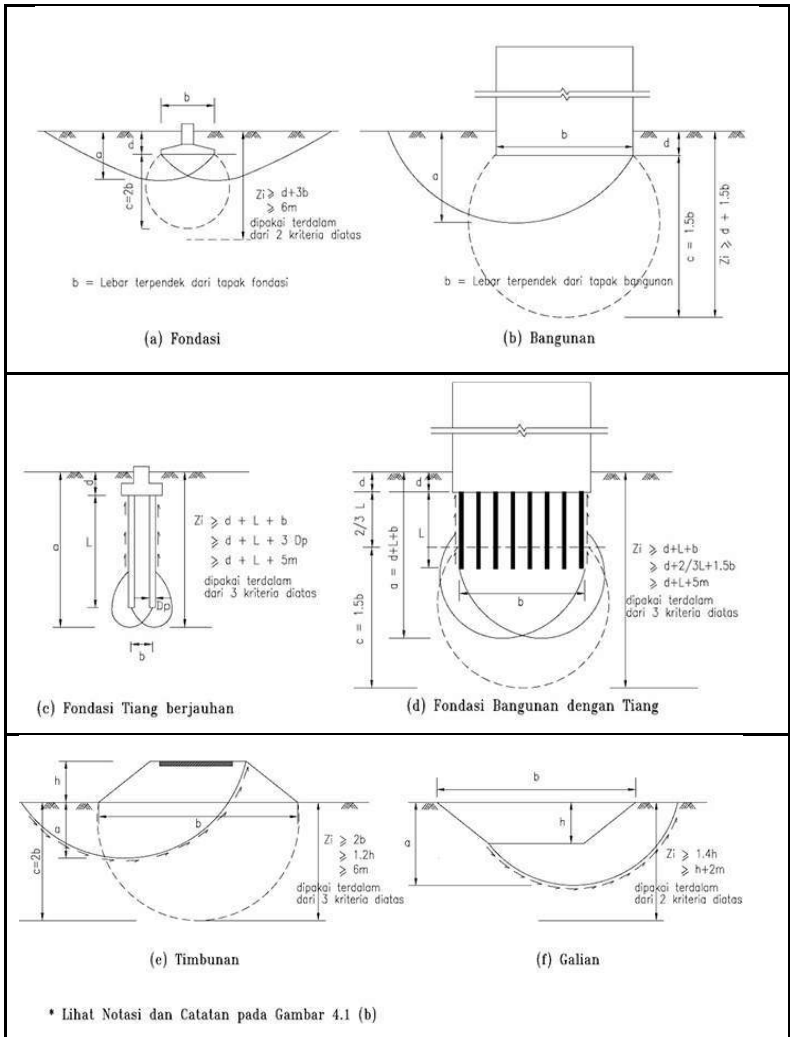
Gedung tinggi 8 lantai ke atas	<p>menara.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dalam hal beberapa menara terletak berdekatan, dijadikan satu kesatuan dan digunakan kaidah yang sama.</li> <li>- Tambah titik apabila hasil investigasi menunjukkan anomali lapisan tanah</li> </ul>
Gedung dengan 4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

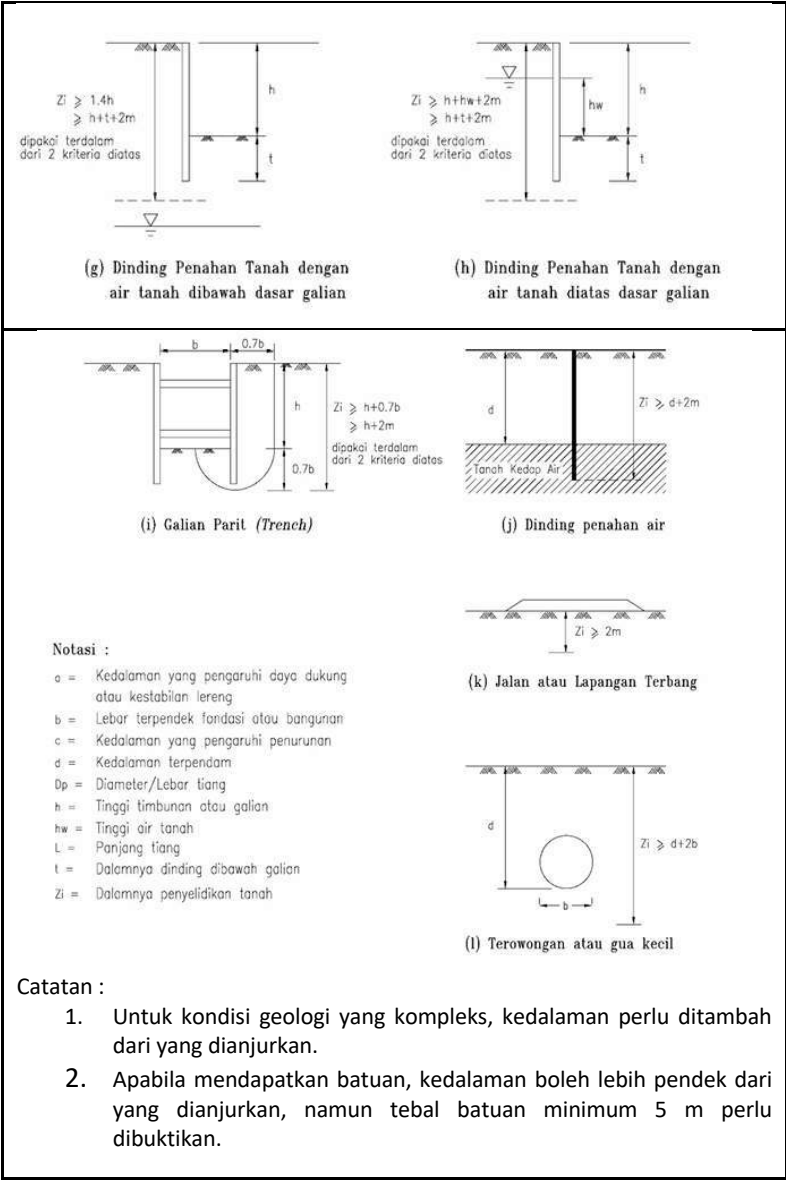
kereta, kanal, tanggul, runway dan taxiway)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jarak yang besar dapat dipakai pada investigasi awal.</li> <li>- Tambah titik di antaranya apabila hasil investigasi awal menunjukkan adanya variasi tanah yang perlu diinvestigasi lebih</li> </ul>
Terowongan transportasi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

mesin berat, tangki)	minimum 1 titik.
Bendungan besar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pada tahap perencanaan awal, minimum 5 titik, 3 pada sumbu bendungan dan 2 titik, masing-masing di hulu dan hilir.</li> <li>- 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</li> <li>- Tambahkan titik pada pintu air, terowongan pengelak, spillway, outlet, power house dll.</li> </ul>
Stabilitas lereng, galian dalam, dan timbunan tinggi dengan ketinggian > 6m untuk tanah normal dan > 3m pada tanah lunak	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 – 5 titik pada potongan kritis untuk menghasilkan model untuk dilakukan analisis. Jumlah potongan kritis tergantung tingkat masalah stabilitas.</li> <li>- Untuk kelongsoran yang masih aktif, minimum satu titik pada sisi atas lereng yang longsor.</li> </ul>
Reklamasi	1 per 1000 m2 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

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*)**

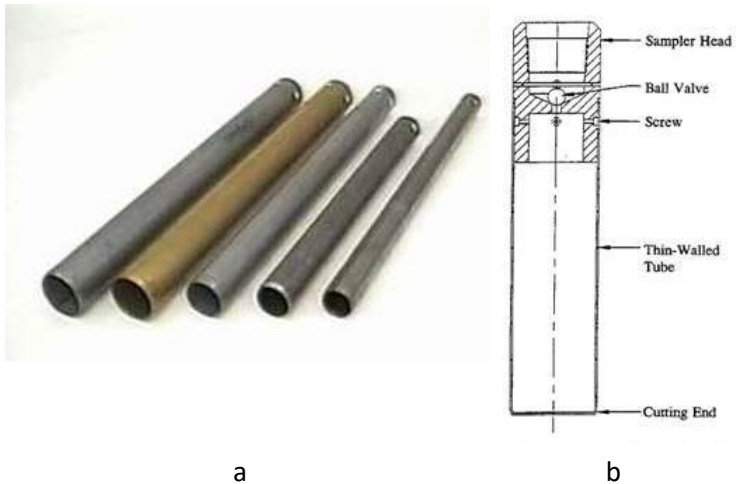
Umumnya tabung ini digunakan untuk memperoleh sampel tanah kohesif yang relatif tidak terganggu untuk pengujian kekuatan dan konsolidasi. Pengambil sampel yang umum digunakan (Gambar 3.6a) memiliki diameter luar 76 mm (3,071 inci) dan diameter dalam 73 mm (2,875 inci), sehingga menghasilkan rasio area 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 berdinging 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 berdinging 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 berdinging 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

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

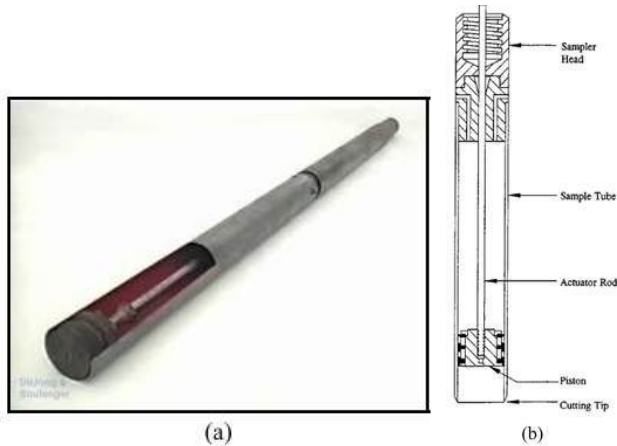
Selanjutnya ditulis di bagian atas tabung dan di tutup ujung atas dituliskan: nomor proyek, nomor lubang, nomor sampel, dan interval kedalaman. Pengawas lapangan juga harus menulis nama proyek dan tanggal pengambilan sampel di tabung. Di dekat ujung atas tabung, kata "atas" dan tanda panah yang menunjuk 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

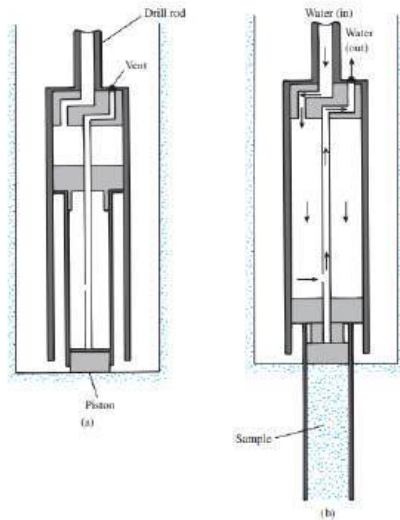
atas dan bawah sampel untuk tujuan identifikasi. Tabung kemudian diberi label dan disegel dengan cara yang sama seperti tabung Shelby yang dijelaskan di bagian sebelumnya.



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 hidraulik, 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).

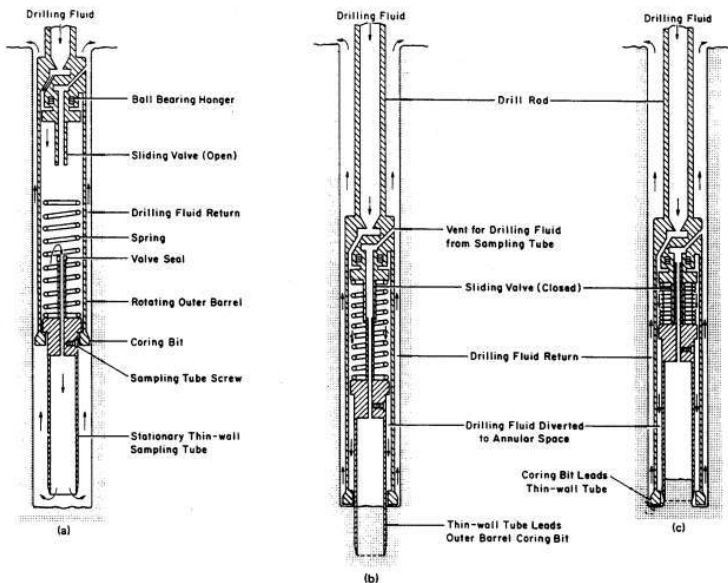
### **Pitcher Tube Sampler**

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.

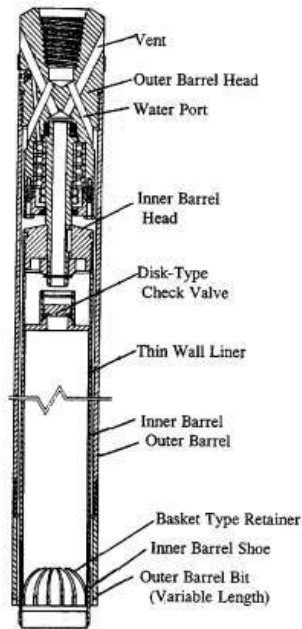
Jika tanah yang akan ditembus lunak, pegas akan sedikit terkompresi (Gambar 3.11b) dan ujung pemotong tabung akan dipaksa masuk ke dalam tanah saat tekanan ke bawah diberikan. Hal ini menyebabkan ujung pemotong mengarah ke mata bor tabung inti luar. Jika materialnya keras, pegas akan terkompresi lebih 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
<b>Sifat tanah yang tidak dapat berubah</b>					
Ukuran butiran	*	*	*	*	
Kadar air	*	*	*		
Kepadatan, indeks kepadatan, permeabilitas	*	*			
Kompresibilitas, kuat geser	*				
<b>Sifat tanah yang dapat ditentukan</b>					
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
<b>A. Sifat Indeks atau Klasifikasi</b>				
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 $\geq 20$ kN/m <sup>3</sup>		4	3	2
- untuk nilai $\leq 20$ kN/m <sup>3</sup>		3	2	1
7. Indeks kepadatan (kepadatan relatif)	Tes	Secukupnya (ditentukan oleh Ahli Geoteknik yang bertanggungjawab)		
8. Berat jenis	Tes	2	1	1
<b>B. Sifat Mekanikal</b>				
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 $\leq 1.25$				
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
<b>C.Sifat Hidrolis</b>				
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
<b>D. Sifat Kimia</b>				
1. Kandungan Karbonat 2. Kandungan Sulfat 3. pH tes 4. Kandungan Klorit	Tes Tes Tes Tes	Secukupnya (ditentukan oleh Ahli Geoteknik yang bertanggungjawab)		
<b>E. Lain-lain</b> 1 Dispersibilitas tanah 2 Uji kembang tanah	Tes Tes	Secukupnya (ditentukan oleh Ahli Geoteknik yang bertanggungjawab)		

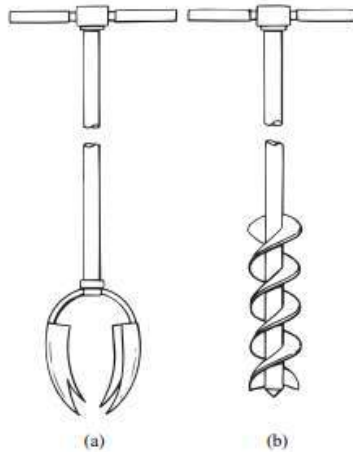
## 3.8 Teknik Pengambilan Sampel Tanah dengan Boring

### 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.



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

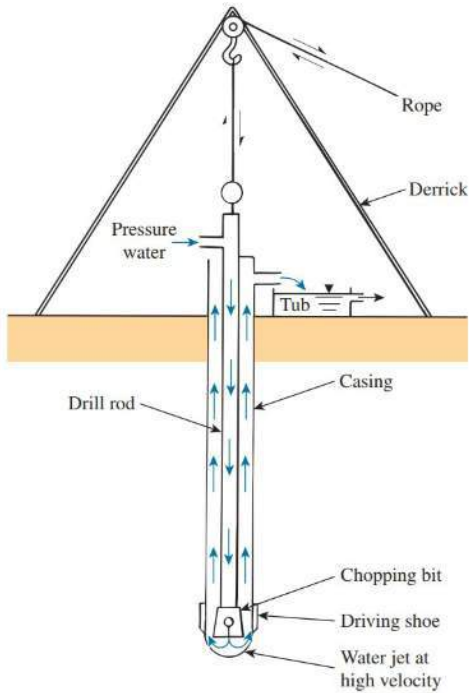
Di dalam pekerjaan pengeboran dilaksanakan juga pengambilan contoh tanah asli (undisturbed sample) maupun contoh tanah terganggu (disturbed sample). Tujuan pengambilan contoh tanah asli adalah untuk pemeriksaan di laboratorium mekanika tanah agar memperoleh sifat-sifat fisik

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 :

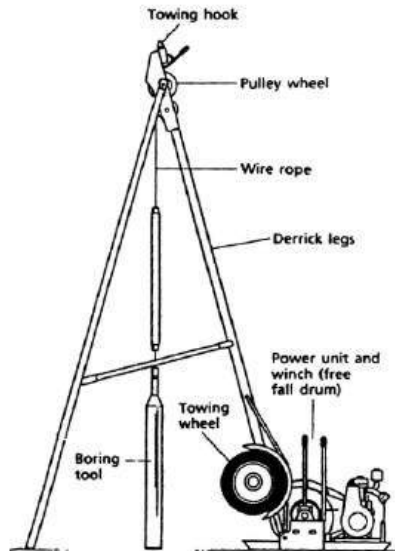
- Pengeboran perkusi sangat efektif dalam menembus formasi batuan keras tempat bor putar mungkin kesulitan.
- Peralatan yang digunakan untuk pengeboran perkusi umumnya lebih sederhana, lebih kuat, dan lebih toleran terhadap kondisi abrasif, sehingga berpotensi menurunkan biaya perawatan.
- Metode ini 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, penggalan, 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

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  $60^\circ$  dengan luas dasar  $10 \text{ cm}^2$  ( $1,55 \text{ in}^2$ ) didorong ke dalam tanah dengan kecepatan tetap sekitar  $20 \text{ mm/detik}$  dan resistansi terhadap penetrasi (disebut resistansi titik) diukur.

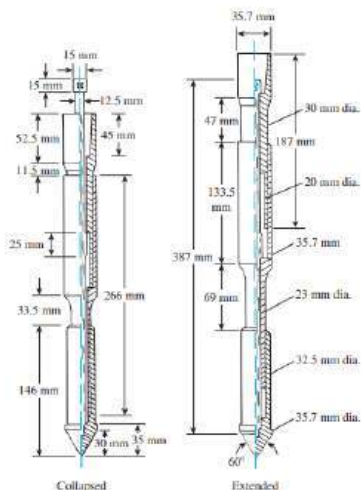
Penetrometer kerucut yang digunakan saat ini mengukur:

- (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 :

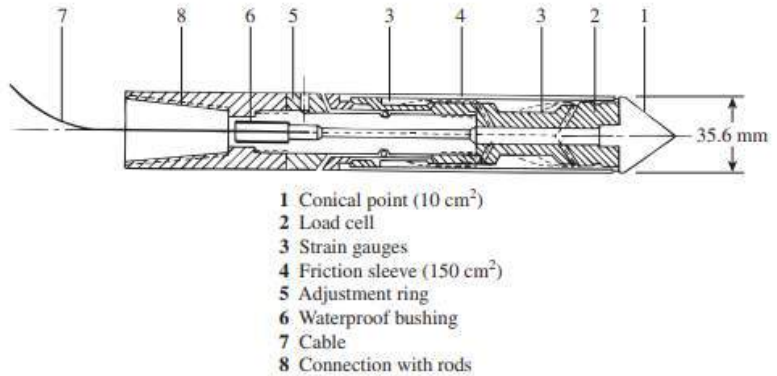
1. Penetrometer kerucut gesek mekanis (Gambar 4.1). Ujung penetrometer ini dihubungkan ke satu set batang bagian dalam. Ujungnya pertama-tama dimajukan sekitar 40 mm, sehingga menghasilkan resistansi kerucut. Dengan dorongan lebih lanjut, ujungnya akan menyentuh selongsong gesek. Saat batang bagian dalam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



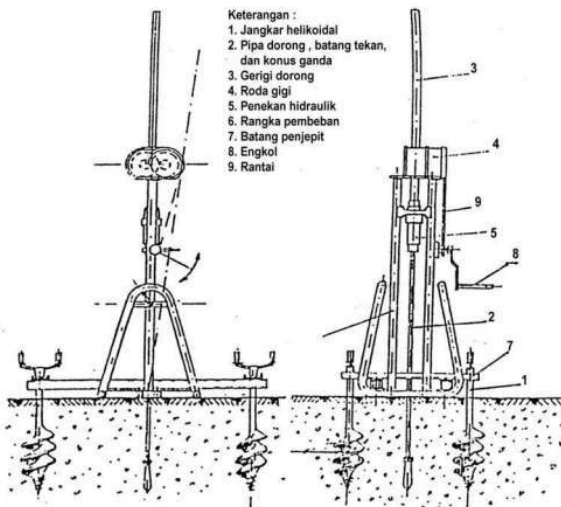
Gambar 4. 2 Penetrometer kerucut gesek elektrik

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

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

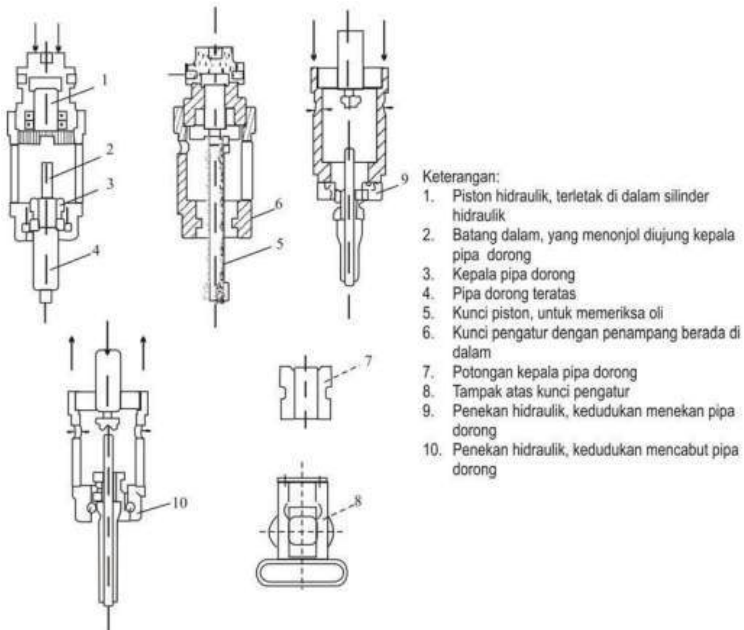


Gambar 4. 3 Rangkaian alat penetrasi konus (sondir Belanda)  
(SNI 2827: 2008)

#### 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:

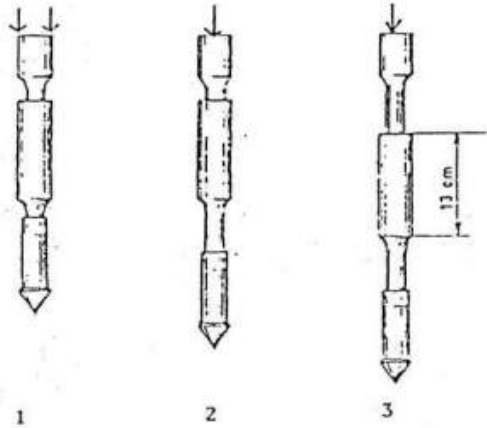
- a) Tegakkan batang dalam dan pipa dorong di bawah penekan hidrolik pada kedudukan yang tepat

- 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)

$P_{\text{konus}}$  : gaya pada ujung konus (kN)

$P_{\text{piston}}$  : 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)

$A_{\text{pi}}$  : luas penampang piston (cm<sup>2</sup>)

$D_{\text{pi}}$  : diameter piston (cm)

$A_c$  : luas penampang konus (cm<sup>2</sup>)

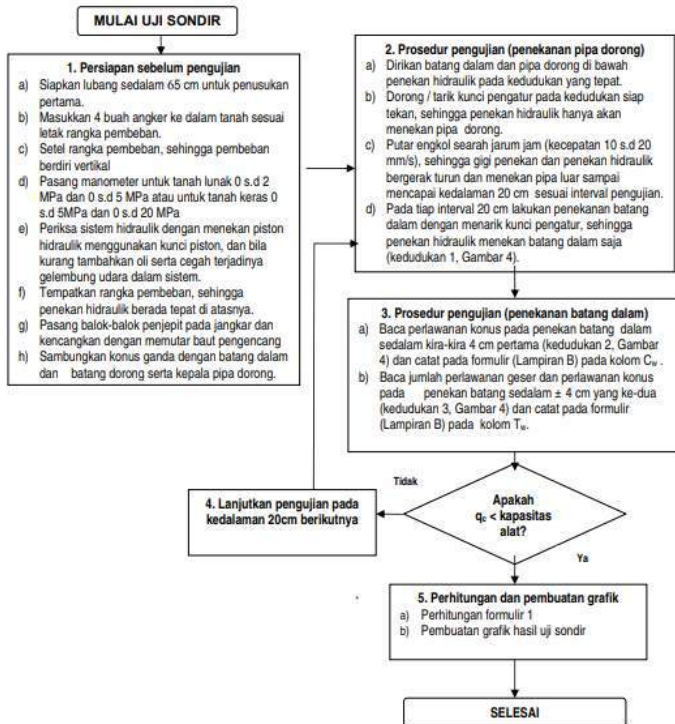
$D_c = D_s$  : diameter konus sama dengan diameter selimut geser (cm)

$A_s$  : luas selimut geser (cm<sup>2</sup>)

$D_s$  : diameter selimut geser (cm)

$L_s$  : panjang selimut geser (cm)

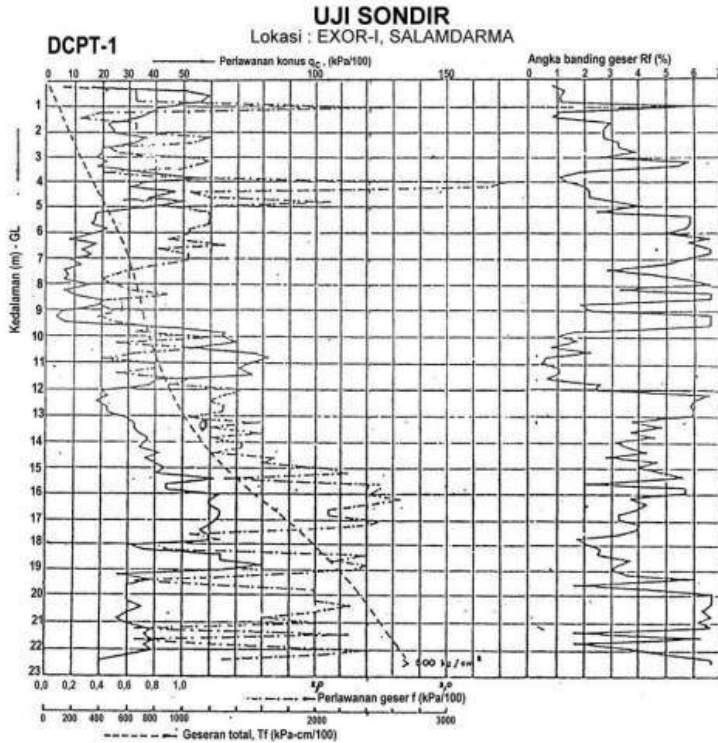
Pengujian dan pengolahan data sondir ditunjukkan pada Gambar 4.7.



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/cm<sup>2</sup>  $\approx$  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 :

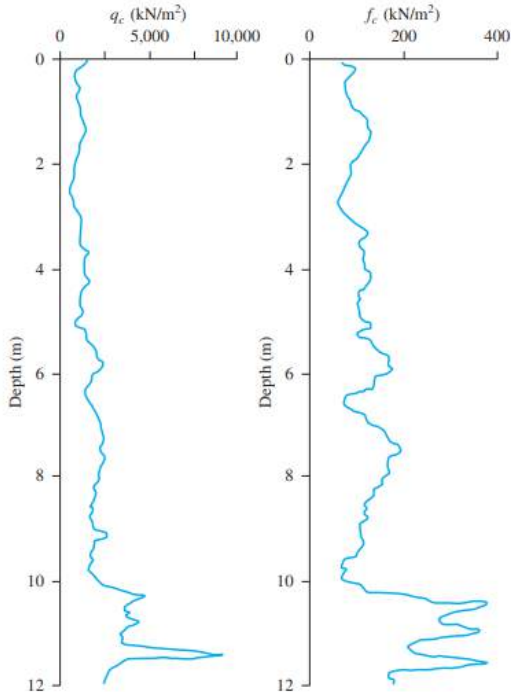
$$F_r = \frac{\text{Frictional resistance}}{\text{Cone resistance}} = \frac{f_c}{q_c} \quad (4.11)$$

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.



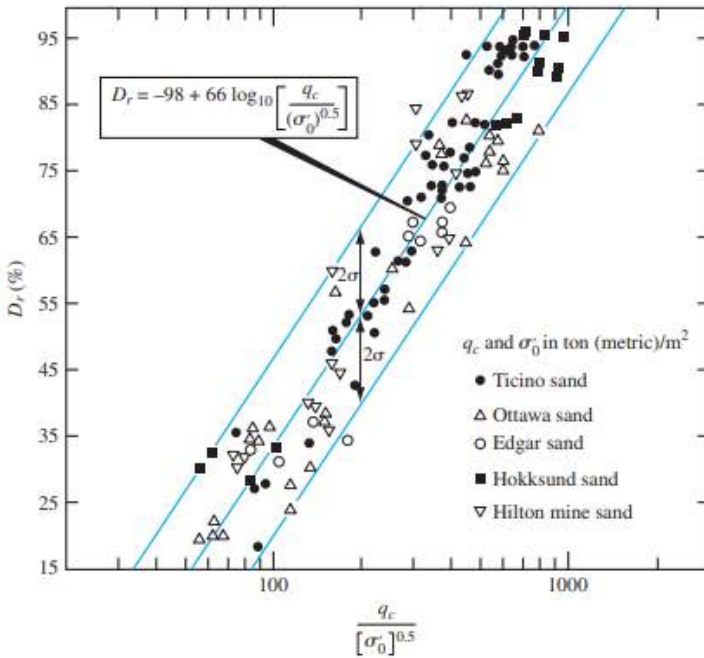
Gambar 4.9 Uji penetrometer kerucut dengan pengukuran gesekan

(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) :

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

Dimana,

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

$\sigma_o'$  : tegangan efektif vertikal

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

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

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 ( $\sigma_o'$ ), 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,

$\sigma_o$  : 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)

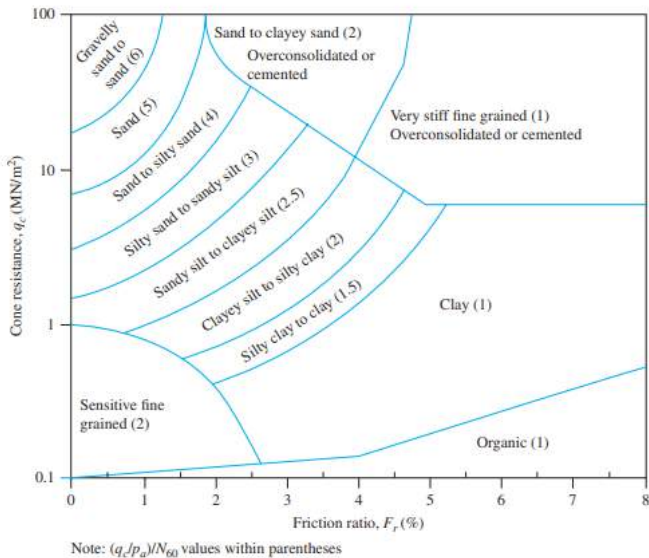
Pengujian lapangan ini juga menunjukkan bahwa :

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

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

#### 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.



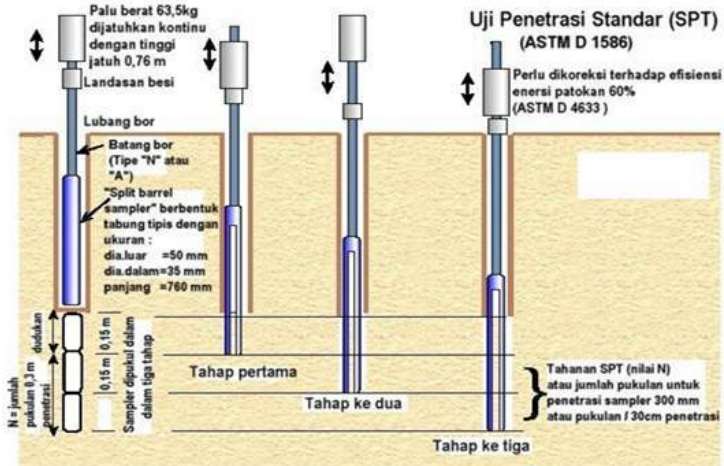
Gambar 4. 11 Korelasi Robertson dan Campanella (1986) antara  $q_c$ ,  $F_r$  dan jenis tanah

#### 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.

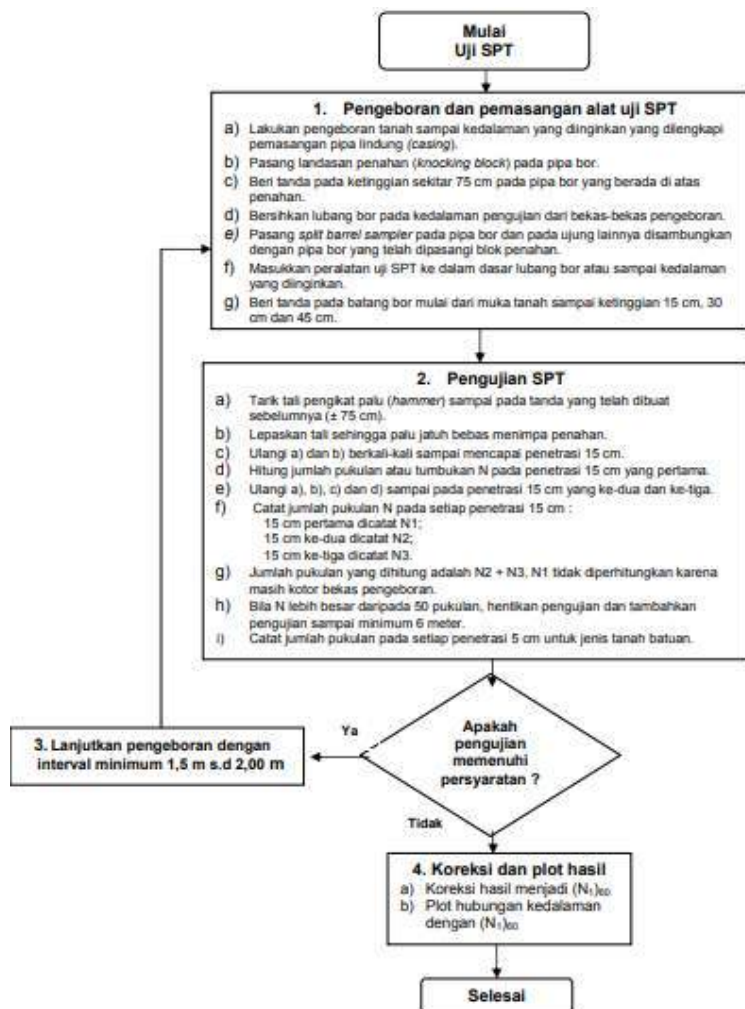
#### 4.5.1 Pengujian SPT

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)

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

Tabel 4. 4 Nilai Empiris untuk  $D_r$ ,  $\phi$ ,  $\gamma$  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 ( $\phi^\circ$ )	25 - 30	27 - 32	30 - 35	35 - 40	38 - 43
Berat volume tanah ( $\gamma$ ) ( $\text{kN/m}^3$ )	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

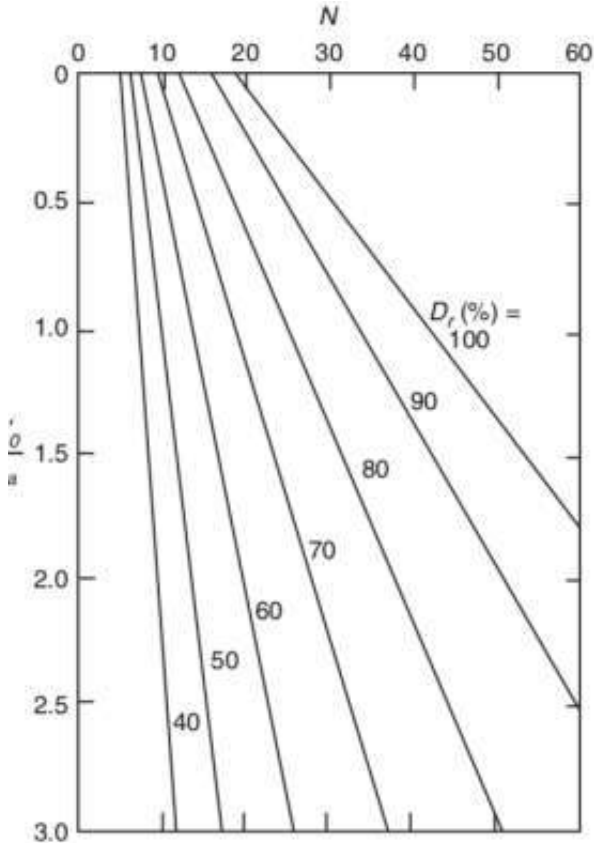
Dalam tahap awal, Meyerhof (1959) merumuskan korelasi nilai peak drained friction (triaxial) angle ( $\phi$ ) terhadap nilai N-SPT sebagai berikut,

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

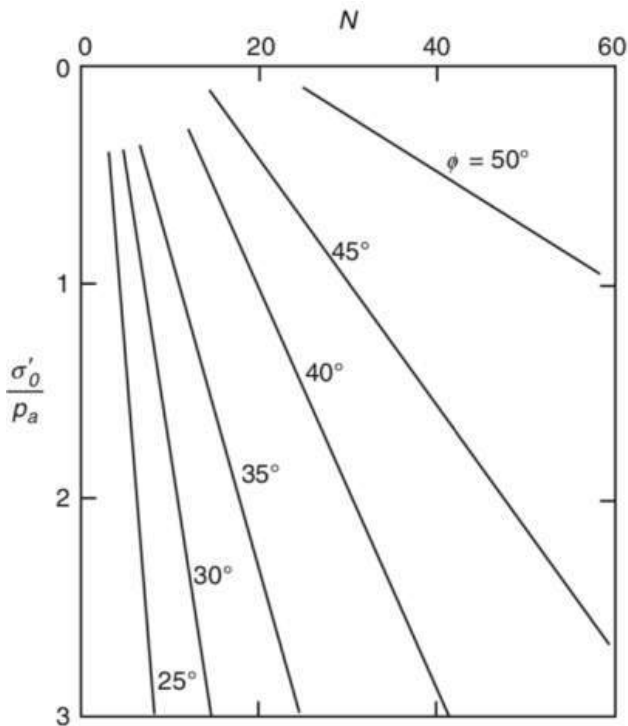
Schertmann (1975) mengusulkan grafik korelasi antara tekanan overburden efektif, Nilai N (sama dengan  $N_{60}$ ) dan seperti pada

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  $e'/e_o/Pa$  dan N-SPT (Gibbs dan Holtz, 1979)



Gambar 4. 16 Variasi nilai  $\phi$ , 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**

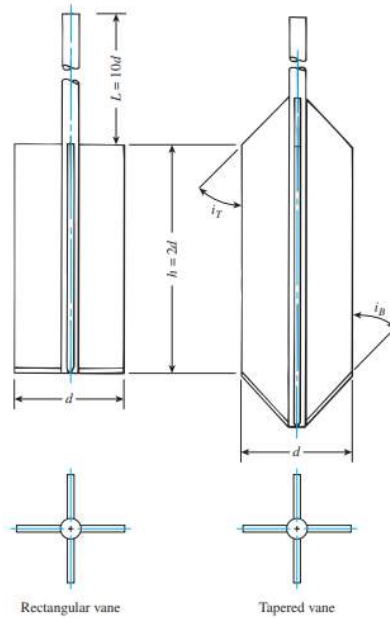
Pengujian geser kipas merupakan salah satu metode pengujian lapangan untuk mengukur tahanan geser tanah kohesif. Hasil pengujian geser kipas yaitu nilai kuat geser tak terdrainase ( $S_u/c_u$ ) dan nilai sensitivitas tanah ( $St$ ). Prosedur pelaksanaan uji geser kipas mengacu kepada SNI 03-2487-1991 (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<sup>a)</sup> 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 <sup>b)</sup>	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 :  $\lambda$  adalah faktor koreksi.